

Ein gesättigtes gashaltiges Argument

Abgelegt unter:

- [Klimawissenschaft](#)
- [Treibhausgase](#)

- Gruppe am 26. Juni 2007 - () ()

Ein Gastbeitrag von Spencer Weart in Zusammenarbeit mit Raymond T. Pierrehumbert

Die einfachen physikalischen Erklärungen für den Treibhauseffekt, die Sie im Internet finden, sind oft völlig falsch. Diese gutgemeinten Fehler können Verwirrung darüber stiften, ob die Menschheit tatsächlich die globale Erwärmung verursacht, indem sie der Atmosphäre Kohlendioxid hinzufügt. Einige Leute haben argumentiert, dass die einfache Physik zeigt, dass bereits so viel CO_2 in der Luft ist, dass seine Wirkung auf die Infrarotstrahlung "gesättigt" ist - was bedeutet, dass die Zugabe von mehr Gas kaum einen Unterschied darin machen kann, wie viel Strahlung durch die Atmosphäre gelangt, da die gesamte Strahlung bereits blockiert ist. Und blockiert Wasserdampf nicht bereits alle Infrarotstrahlen, die CO_2 jemals blockieren würde?

Die Argumente klingen gut, so gut, dass sie tatsächlich dazu beigetragen haben, die Erforschung des Treibhauseffekts für ein halbes Jahrhundert zu unterdrücken. Im Jahr 1900, kurz nachdem Svante Arrhenius sein wegweisendes Argument veröffentlicht hatte, dass unser Einsatz fossiler Brennstoffe den Planeten schließlich erwärmen wird, bat ein anderer Wissenschaftler, Knut Ångström, einen Assistenten, Herrn J. Koch, um ein einfaches Experiment. Er sandte Infrarotstrahlung durch eine mit Kohlendioxid gefüllte Röhre, die insgesamt etwas weniger Gas enthielt als in einer Luftsäule, die bis zum oberen Ende der Atmosphäre reichte. Das ist nicht viel, da die Konzentration in der Luft nur wenige hundert ppm beträgt. Herr Koch führte seine Experimente in einem 30 cm langen Röhrchen durch, obwohl 250 cm näher an der richtigen Länge gewesen wären, um die Menge an CO_2 in der Atmosphäre darzustellen. Herr Koch berichtete, als er die Gasmenge in der Röhre um ein Drittel reduzierte, änderte sich die Menge der durchgelassenen Strahlung kaum. Die amerikanische meteorologische Gemeinschaft wurde auf das Ergebnis von Ångström in einem Kommentar aufmerksam gemacht, der in der Ausgabe des Monthly Weather Review vom Juni 1901 erschien und verwendete das Ergebnis, um "Geologen" davor zu warnen, an Arrhenius 'wilden Ideen festzuhalten.

Noch überzeugender für die damaligen Wissenschaftler war die Tatsache, dass Wasserdampf, der in der Luft weitaus häufiger vorkommt als Kohlendioxid, auch Infrarotstrahlung abfängt. Im Infrarotspektrum überlappten sich die Hauptbänder, in denen jedes Gas die Strahlung blockierte. Wie könnte die Zugabe von CO_2 die Strahlung in Bändern des Spektrums beeinflussen, das H_2O (ganz zu schweigen von CO_2 selbst) bereits undurchsichtig gemacht hat? Als sich diese Ideen verbreiteten, entschieden sogar Wissenschaftler, die von Arrhenius 'Arbeit begeistert waren, dass es ein Fehler war. Die Arbeit an der Frage stagnierte. Wenn es jemals eine „etablierte“ Ansicht über den Treibhauseffekt gab, war man zuversichtlich, dass das vom Menschen emittierte CO_2 nichts so Großartiges wie das Erdklima beeinflussen kann.

Niemand war daran interessiert, tief genug über die Angelegenheit nachzudenken, um den Fehler in der Argumentation zu bemerken. Die Wissenschaftler untersuchten sozusagen die

Erwärmung vom Boden aus und fragten nach der Strahlung, die die Erdoberfläche erreicht und verlässt. Wie Ångström neigten sie dazu, die Atmosphäre über sich als Einheit zu behandeln, als wäre es eine einzelne Glasscheibe. (So die „Gewächshaus“-Analogie.) Aber so funktioniert die globale Erwärmung tatsächlich nicht.

Was passiert mit Infrarotstrahlung, die von der Erdoberfläche emittiert wird? Während sie sich Schicht für Schicht durch die Atmosphäre nach oben bewegt, wird sie in jeder Schicht etwas gestoppt. Um genau zu sein: Ein Molekül aus Kohlendioxid, Wasserdampf oder einem anderen Treibhausgas absorbiert ein wenig Energie aus der Strahlung. Das Molekül kann die Energie in zufälliger Richtung wieder zurückstrahlen. Oder es kann die Energie bei Kollisionen mit anderen Luftmolekülen in Geschwindigkeit umwandeln, so dass die Luftschicht, in der es sich befindet, wärmer wird. Die Luftschicht strahlt einen Teil der Energie, die sie absorbiert hat, zurück zum Boden und einen Teil nach oben zu höheren Schichten. Je höher Sie steigen, desto dünner und kälter wird die Atmosphäre. Schließlich erreicht die Energie eine Schicht, die so dünn ist, dass Strahlung in den Weltraum entweichen kann.

Was passiert, wenn wir mehr Kohlendioxid hinzufügen? In den Schichten, die so hoch und dünn sind, dass ein Großteil der Wärmestrahlung von unten nach unten durchläuft, bedeutet die Zugabe von mehr Treibhausgasmolekülen, dass die Schicht mehr Strahlen absorbiert. Der Ort, von dem aus der größte Teil der Wärmeenergie die Erde verlässt, verschiebt sich also in höhere Schichten. Das sind kältere Schichten, daher strahlen sie auch keine Wärme aus. Der Planet als Ganzes nimmt jetzt mehr Energie auf als er ausstrahlt (was in der Tat unsere aktuelle Situation ist). Während die höheren Ebenen einen Teil des Überschusses nach unten ausstrahlen, erwärmen sich alle niedrigeren Ebenen bis zur Oberfläche. Das Ungleichgewicht muss so lange anhalten, bis die hohen Werte heiß genug sind, um so viel Energie zurück auszustrahlen, wie der Planet empfängt.

Eine Sättigung auf niedrigeren Ebenen würde dies nicht ändern, da die Schichten, aus denen Strahlung entweicht, den Wärmehaushalt des Planeten bestimmen. Die Grundlogik wurde bereits 1862 von John Tyndall klar erklärt: "Da ein über einen Fluss gebauter Damm eine lokale Vertiefung des Stroms verursacht, erzeugt unsere Atmosphäre, die als Barriere über die terrestrischen [Infrarot-] Strahlen geworfen wird, eine lokale Erhöhung der Temperatur an der Erdoberfläche. "

Selbst eine einfache Erklärung kann in all ihren Implikationen schwer zu verstehen sein, und die Wissenschaftler haben diese nur stückweise herausgearbeitet. Zuerst mussten sie verstehen, dass es die Mühe wert war, überhaupt über Kohlendioxid nachzudenken. Bedeutete nicht die Tatsache, dass Wasserdampf die Infrarotstrahlung gründlich blockiert, dass Änderungen des CO₂ bedeutungslos sind? Wieder gerieten die damaligen Wissenschaftler in die Falle, die Atmosphäre als eine einzige Platte zu betrachten. Obwohl sie wussten, dass die Luft umso trockener wurde, je höher Sie gingen, berücksichtigten sie nur den gesamten Wasserdampf in der Säule.

Die Durchbrüche, die die Forschung endlich wieder auf den richtigen Weg brachten, kamen aus der Forschung in den 1940er Jahren. Militäroffiziere finanzierten großzügig die Erforschung der hohen Luftschichten, in denen ihre Bomber operierten, Schichten, die von der Infrarotstrahlung durchquert wurden, in der sie möglicherweise Feinde entdecken könnten. Die theoretische Analyse der Absorption machte einen Sprung nach vorn, wobei die Ergebnisse durch Laborstudien unter Verwendung von Techniken bestätigt wurden, die um Größenordnungen besser waren, als Ångström sie einsetzen konnte. Die daraus

resultierenden Entwicklungen führten zu neuen und klareren Überlegungen zur atmosphärischen Strahlung.

Unter anderem zeigten die neuen Studien, dass sich in der kalten und dünneren oberen Atmosphäre, in der die entscheidende Infrarotabsorption stattfindet, die Art der Absorption von der unterscheidet, die Wissenschaftler bei den alten Meeresspiegelmessungen angenommen hatten. Nehmen Sie ein einzelnes Molekül CO_2 oder H_2O . Es absorbiert Licht nur in einer Reihe spezifischer Wellenlängen, die sich in einem Spektrum als dünne dunkle Linien zeigen. In einem Gas auf Meereshöhentemperatur und -druck absorbieren die unzähligen Moleküle, die mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten miteinander kollidieren, jeweils bei geringfügig unterschiedlichen Wellenlängen, sodass die Linien verbreitert werden und sich in erheblichem Maße überlappen. Selbst bei Druck auf Meereshöhe konzentriert sich die Absorption auf diskrete Spitzen, aber die Lücken zwischen den Spitzen sind ziemlich eng und die "Täler" zwischen den Spitzen sind nicht besonders tief. (siehe [Teil II](#)) Nichts davon war vor einem Jahrhundert bekannt. Mit den im frühen 20. Jahrhundert verfügbaren primitiven Infrarotinstrumenten sahen die Wissenschaftler, wie die Absorption in breite Bänder verschmiert wurde. Und sie hatten keine Theorie, um etwas anderes vorzuschlagen.

Messungen, die für die US Air Force durchgeführt wurden, machten die Wissenschaftler auf die Details der Absorption aufmerksam, insbesondere in großen Höhen. Bei niedrigem Druck werden die Stacheln viel schärfer definiert, wie bei einem Lattenzaun. Es gibt Lücken zwischen den H_2O -Leitungen, durch die Strahlung hindurchtreten kann, sofern sie nicht durch CO_2 -Leitungen blockiert wird. Darüber hinaus war den Forschern sehr bewusst geworden, wie trocken die Luft in höheren Lagen wird - tatsächlich hat die Stratosphäre kaum Wasserdampf. Im Gegensatz dazu ist CO_2 in der gesamten Atmosphäre gut gemischt, so dass es relativ bedeutender wird, wenn Sie höher schauen. Die wichtigsten Punkte hätten bereits in den 1930er Jahren verstanden werden können, wenn Wissenschaftler den Treibhauseffekt genau untersucht hätten (tatsächlich hat ein Physiker, E. O. Hulbert, eine ziemlich gute Berechnung durchgeführt, aber die Angelegenheit war von so geringem Interesse, dass niemand sie bemerkte).

Wie wir gesehen haben, muss in den höheren Schichten, in denen die Strahlung leicht durchschlüpft, die Erde durch Zugabe von Treibhausgas erwärmt werden, unabhängig davon, wie die Absorption funktioniert. Die Änderungen der H_2O - und CO_2 -Absorptionslinien mit Druck und Temperatur verschieben nur die Schichten, in denen die Hauptwirkung stattfindet. Sie müssen alles berücksichtigen, um die Erwärmung genau berechnen zu können. In den 1950er Jahren, nachdem gute Infrarotdaten und digitale Computer verfügbar wurden, nahm sich der Physiker Gilbert Plass eine Auszeit von der scheinbar wichtigeren Forschung, um langwierige Berechnungen des Strahlungsgleichgewichts Schicht für Schicht in der Atmosphäre und Punkt für Punkt im Spektrum durchzuführen. Er kündigte an, dass die Zugabe von CO_2 wirklich ein gewisses Maß an globaler Erwärmung verursachen könnte. Die Berechnungen von Plass waren zu primitiv, um viele wichtige Effekte zu berücksichtigen. (Wärmeenergie steigt nicht nur durch Strahlung, sondern auch durch Konvektion an, ein Teil der Strahlung wird nicht durch Gas, sondern durch Wolken usw. blockiert.) Für die wenigen Wissenschaftler, die darauf achteten, war jetzt klar, dass die Frage eine Untersuchung wert war. Einige Jahrzehnte mehr vergingen, bevor die Wissenschaftler der Öffentlichkeit eine klare Erklärung darüber gaben, was in diesen Berechnungen wirklich bedeuteten und die Aufmerksamkeit auf die hohen, kalten Schichten der Atmosphäre lenkten. Noch heute versuchen viele Popularisierer, den Treibhauseffekt so zu erklären, als wäre die Atmosphäre eine einzige Glasscheibe.

Zusammenfassend ist die Art und Weise, wie Strahlung absorbiert wird, nur dann von Bedeutung, wenn Sie den genauen Erwärmungsgrad berechnen möchten. Durch Zugabe von Kohlendioxid wird

der Treibhauseffekt unabhängig von der Sättigung in der unteren Atmosphäre verstärkt. Tatsächlich ist die Erdatmosphäre jedoch nicht annähernd gesättigt. Mit den primitiven Techniken seiner Zeit erzielte Ångström ein schlechtes Ergebnis, wie im zweiten [Teil](#) erläutert. Tatsächlich ist es nicht klar, dass er die Bedeutung seines Ergebnisses geschätzt hätte, selbst wenn er die richtige Antwort auf die Art und Weise erhalten hätte, wie die Absorption mit der CO₂-Menge variiert. Nach seinem Schreiben ist es eine ziemlich gute Vermutung, dass eine Änderung der Absorption von etwa einem Prozent bei Verdoppelung von CO₂ unbedeutend wäre.

In Wirklichkeit erhöht dieser bloße prozentuale Anstieg in Kombination mit dem Argument "Ausdünnen und Abkühlen" die Strahlungsbilanz des Planeten um 4 Watt pro Quadratmeter für doppeltes CO₂.

Das ist nur etwa ein Prozent der von der Erde absorbierten Sonnenenergie, aber für uns ein sehr wichtiger Prozentsatz! Immerhin beträgt eine Änderung der 280-Kelvin-Oberflächentemperatur der Erde um nur ein Prozent 2,8 Kelvin (was ebenfalls 2,8 Grad Celsius entspricht). Und das ohne den Strahlungsantrieb all dieser verstärkenden Rückkopplungen zu berücksichtigen, wie sie durch Wasserdampf und Eisalbedo verursacht werden.

In jedem Fall zeigen [moderne Messungen](#), dass die Atmosphäre nicht annähernd genug CO₂ enthält, um den größten Teil der Infrarotstrahlung in den Bändern des Spektrums zu blockieren, in denen das Gas absorbiert. Dies gilt sogar für Wasserdampf an Orten, an denen die Luft sehr trocken ist. (Wenn die Nacht in einer Wüste hereinbricht, kann die Temperatur schnell von warm auf eiskalt fallen. Strahlung von der Oberfläche entweicht direkt in den Weltraum, es sei denn, es gibt Wolken, die sie blockieren.)

Wenn Sie also von einem skeptischen Freund mit dem "Sättigungsargument" gegen die globale Erwärmung geschlagen werden, müssen Sie nur Folgendes sagen: (a) Die Treibhauserwärmung würde immer noch zunehmen, selbst wenn die Atmosphäre gesättigt wäre, weil es die Absorption in der dünnen oberen Atmosphäre (die ungesättigt ist), die zählt (b) Es ist nicht einmal wahr, dass die Atmosphäre in Bezug auf die Absorption durch CO₂ tatsächlich gesättigt ist. (c) Wasserdampf überwindet die Auswirkungen von CO₂ nicht, weil es wenig Wasserdampf in den hohen, kalten Bereichen gibt, aus denen Infrarot entweicht, und bei niedrigen Drücken dort ist die Wasserdampfabsorption wie ein undichtes Sieb, das ohne CO₂ viel mehr Strahlung durchlassen würde und (d) Diese Probleme wurden vor 50 Jahren von Physikern zufriedenstellend angegangen, und die notwendige Physik ist in allen Klimamodellen enthalten.

Dann können Sie aufatmen und sich fragen, wie viel anders die Welt heute wäre, wenn diese Argumente in den 1920er Jahren verstanden würden, wie es hätte sein können, wenn jemand es für wichtig genug gehalten hätte, um darüber nachzudenken.

Zur weiteren Lektüre

Referenzen und eine detailliertere Geschichte finden Sie [hier](#) und [hier](#).

Einige Aspekte des Arguments "Ausdünnen und Abkühlen" und die Bedeutung des Strahlungsniveaus finden sich in der Post- [A-Busy-Woche für Wasserdampf](#), die auch eine Diskussion der Wasserdampf-Strahlungseffekte auf die Atmosphäre im Vergleich zur Oberfläche enthält Strahlungsbudget. Eine allgemeine Diskussion der relativen Rolle von Wasserdampf und CO₂ findet sich in [Gavins Beitrag](#) zu diesem Thema.

Sie können ein gutes Gefühl für die Art und Weise CO₂ erhalten und Wasserdampf das Spektrum der Strahlung entweicht der Erde beeinflussen, indem sie mit Dave Archer Online - Strahlungsmodell Herumspielen [hier](#). Es wäre natürlich hilfreich, die Erklärung der

Strahlungsniveaus in Archers Buch " [Understanding the Forecast](#) " [durchzulesen](#) . Eine Diskussion über strahlende Ebenen für reale und idealisierte Fälle auf einer [fortgeschritteneren](#) Ebene findet sich im Entwurf von Pierrehumberts [ClimateBook](#) ; siehe Kapitel 3 und 4.

Der Artikel zur monatlichen Wetterübersicht, in dem die Arbeit von Ångström kommentiert wird , ist [hier](#) , und der ursprüngliche Artikel von Ångström ist [hier](#) .