

Meine Ansichten zum Einfluss von CO₂ auf das Klima



1. Warum haben wir geglaubt, dass mehr CO₂ die Atmosphäre erwärmen würde?

Dieser Gedanke basierte auf den Ergebnissen von Laborversuchen von Svante Arrhenius, die in zwei Studien in den Jahren 1896 und 1906 veröffentlicht worden waren. Er folgerte aus seinen ersten Messungen, dass Infrarotstrahlen von Luft absorbiert werden können, die CO₂ enthält, wobei Wärme freigesetzt wird. Die Erdoberfläche erhält Energie von der Sonne, wo diese in Infrarotstrahlung umgewandelt wird, die zumindest teilweise vom atmosphärischen CO₂ absorbiert wird, wodurch ein Temperaturanstieg ausgelöst wird. Die Temperatur an der Erdoberfläche steigt auch, um einen konstanten Wärmefluss in die Atmosphäre zu gewährleisten. Dies wird „Treibhauseffekt“ genannt. Aus der erwärmten Luftschicht wird Energie nach oben transportiert.

2. Wie bedeutend ist der Treibhauseffekt von CO₂?

Arrhenius interessierte sich für diesen Effekt, weil er die Erwärmung der Atmosphäre nach jeder Eiszeit erklären wollte. In der Zwischenzeit wurde klar, dass wir die relativ milden Temperaturen der Atmosphäre dem kombinierten Treibhauseffekt von CO₂ und Wasserdampf verdanken (was jedoch von einigen Wissenschaftlern bezweifelt wird). Der Effekt des Wasserdampfes ist bei Weitem der Größte. Arrhenius nahm an, dass die Atmosphäre in Zukunft wärmer werden würde wegen der Verbrennung fossiler Treibstoffe. Dies nennt man den „zusätzlichen Treibhauseffekt“. Er schätzte, dass dieser Effekt bei einer Verdoppelung der CO₂-Konzentration etwa 5°C ausmachen würde; die damalige Konzentration betrug etwa 300 ppm. In seiner zweiten Studie korrigierte er diesen Wert auf nur 1,6°C. In den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde oft auf diese erste Studie verwiesen, und man befürchtete, dass der steigende CO₂-Gehalt infolge der zunehmenden Verbrennung fossiler Treibstoffe zu einer merklichen Erwärmung der Atmosphäre führen würde. Die zweite Studie wurde, glaube ich, erst nach dem Jahr 2000 neu entdeckt. Der Effekt erscheint darin weniger bedrohlich, aber immer noch bedeutend. So weit ich weiß, wird diese zweite Schätzung inzwischen als korrekt angesehen.

(Anmerkung: Manchmal wird behauptet, dass sich die Erdoberfläche erwärmt durch Rückstrahlung der erwärmten Luftschicht, die CO₂ enthält. Das ist aber

falsch, da Wärme nicht von kälteren zu wärmeren Temperaturen fließen kann)

3. Ist der „zusätzliche Treibhauseffekt“ von CO₂ in der realen Welt bewiesen worden?

Nein, ist er nicht! Es ist unmöglich, geeignete Experimente in der Atmosphäre durchzuführen. In der Atmosphäre wurde im 20. Jahrhundert keine signifikante Erwärmung beobachtet, trotz einer enormen Zunahme des CO₂-Gehaltes. Es gab lediglich eine Erwärmung zwischen 1979 und 1998 um 0,4°C. Von 1940 bis 1979 gab es eine leichte Abkühlung um 0,2°C, und nach 1998 war die Temperatur konstant geblieben. Der mittlere Anstieg seit 1940 betrug etwa 0,2°C. Der CO₂-Gehalt hat während dieses gesamten Zeitraumes zugenommen. Wenn die Messungen mit der Theorie nicht übereinstimmen, ist die Theorie falsch. [Medien{allen voran die Süddeutsche Zeitung} und Politik sehen das natürlich genau anders herum. Sie halten die Theorie für richtig und die Messungen für falsch. Anm. d. Übers.]

Auch sollten wir sorgfältiger mit dem Begriff „Klima“ umgehen. Ursprünglich bezog sich dieser Begriff auf das lokale Klima eines Landes oder eines Gebietes. Wenn wir jetzt in den Zeitungen von „dem Klima“ lesen, ist damit ein mittleres „Weltklima“ gemeint. Allerdings existiert ein solches Klima gar nicht und kann auch nicht deutlich definiert werden. Genauso kann eine „mittlere Temperatur“ nicht eindeutig bestimmt werden (siehe Abschnitt 6).

4. Warum bemerken wir einen zusätzlichen Treibhauseffekt nicht?

Der Treibhauseffekt von CO₂ ist bisher weder in Laborexperimenten noch über realen Beobachtungen bestätigt worden. Obwohl die Hypothese von Arrhenius durchaus plausibel erscheint, fehlt ihr damit jeder wissenschaftliche Beweis. Der Grund mag darin liegen, dass er zu schwach ist, um sich bemerkbar zu machen und deswegen von stärkeren Forcings überlagert wird.

Die physikalische Konstellation in der Atmosphäre ist sehr viel komplizierter und kann im Labor nicht reproduziert werden. In der realen Atmosphäre ereignen sich mehrere zusätzliche Phänomene gleichzeitig, als da wären Solarstrahlung, Reflektion an Wasser- und Eisoberflächen, Verdunstung, Konvektion (vertikaler Luftaustausch), Wolkenbildung (die nach oben strahlen und Solarstrahlung reflektieren), Regen, Schnee usw. Wir können das gleichzeitige Auftreten und die Wechselwirkungen zwischen diesen Phänomenen nicht vorhersagen, besonders weil sie deutlich von einem Gebiet zum nächsten variieren. Es ist wichtig festzuhalten, dass die Verdunstung und die Wolkenbildung jedweder Erwärmung entgegen wirken und als negative Rückkopplung fungieren. Tatsächlich ist nicht schlüssig gezeigt worden, dass eine CO₂-Zunahme in der Atmosphäre einen definitiven Einfluss auf das Klima hat.

5. Gibt es noch andere Faktoren, die das Klima

beeinflussen?

Ja, es gibt zwei natürliche Phänomene, die die Temperatur beeinflussen und unberechenbar fluktuieren können. Das sind die Sonnenaktivität und die großen Meeresströme. Die Sonnenaktivität (die sich durch Sonnenflecken manifestiert) verursacht den „Sonnenwind“, d. h. einen Fluss geladener Partikel, die von der Sonne emittiert werden und in den Weltraum fliegen. Sie treffen auch die Erde und stehen in Wechselwirkung mit der kosmischen Strahlung (die von entfernten Sternen stammt). Dies wiederum beeinflusst die Wolkenbildung in der Atmosphäre, wodurch bestimmt wird, wie viel Solarstrahlung die Erdoberfläche erreicht. Durch diesen komplizierten Mechanismus sorgt höhere Sonnenaktivität für höhere Temperaturen in der Atmosphäre. Die Sonnenaktivität ändert sich langsam und unvorhersagbar. Während des letzten Viertels des 20. Jahrhunderts war die Sonnenaktivität hoch, nahm nach dem Jahr 2000 ab und ist derzeit (2015) sehr niedrig. Es ist *möglich* (aber nicht bewiesen), dass die gemessene Temperaturzunahme von $0,4^{\circ}\text{C}$ von 1979 bis 1998 der hohen Sonnenaktivität geschuldet ist.

Die großen Meeresströme verteilen die überschüssige Wärme, die in den Tropen anfällt, über die gesamte Erdoberfläche. Wenn in einem bestimmten Jahr etwas mehr warmes Wasser zu einem der Pole strömt, wird es dort etwas wärmer. Und umgekehrt. Dies beeinflusst auch die mittlere globale Temperatur. So weit ich weiß, ist der Grund für diese Änderungen der Meeresströme noch völlig unbekannt. Diese beiden Effekte sind möglicherweise die Gründe für die Variationen der mittleren Temperaturen der Welt, die von einem Jahr zum nächsten zwischen $0,1^{\circ}\text{C}$ und $0,5^{\circ}\text{C}$ variieren können.

6. Komplikationen und Unsicherheiten

Es gibt bedeutende Unsicherheiten, nicht nur hinsichtlich der quantitativen Effekte von CO_2 , sondern auch hinsichtlich der Massenbilanz der CO_2 -Flüsse. Diese Massenbilanzen sind ziemlich kompliziert. Die unterschiedlichen natürlichen Flüsse, welche viel größer sind als die menschlichen Emissionen, sind nicht hinreichend genau bekannt. Die vier größten Flüsse sind: Die Entstehung von CO_2 durch die Verrottung von Pflanzenteilen, die Freisetzung von CO_2 aus warmem Meerwasser, die Absorption von CO_2 aus der Luft durch wachsende Vegetation und die Absorption (Lösung) von CO_2 in kaltem Meerwasser. Diese Flüsse sind jeder über zehnmal größer als die menschlichen Emissionen, und sie können sich graduell mit der Zeit ändern. Allerdings können diese Änderungen nicht genau gemessen werden. Daher können wir nicht mit Sicherheit sagen, ob eine CO_2 -Zunahme in der Atmosphäre dem Verbrennen fossiler Treibstoffe geschuldet ist, obwohl es plausibel scheint (jedoch zweifelhaft, siehe weiter unten). Eine Zunahme kann auch in einer zeitweiligen Zunahme der natürlichen Entstehung oder einer Abnahme der natürlichen Absenkung gesucht werden (die nicht direkt gekoppelt sind).

Eine weitere unsichere Angelegenheit ist der Anteil der menschlichen CO_2 -Emissionen, der in der Atmosphäre verbleibt. Von allen in die Atmosphäre gelangenden CO_2 -Flüssen, sowohl natürlichen als auch anthropogenen Ursprungs, werden rund 98% durch die Natur absorbiert (Pflanzen und Ozeane). Die in der Atmosphäre verbleibenden 2% korrespondieren mit der gemessenen Zunahme des

CO₂-Gehaltes. Es ist keineswegs klar, ob dies irgendeine Beziehung zu menschlichen CO₂-Emissionen hat.

Wodurch wird die Größenordnung dieser Anteile bestimmt? Werden sie konstant bleiben? Das ist nicht sicher. Infolge des zunehmenden CO₂-Gehaltes der Atmosphäre nimmt das Pflanzenwachstum auf der ganzen Welt allmählich zu. Daher wird auch die CO₂-Absorption durch Pflanzen zunehmen, aber ultimativ auch die Verrottung abgestorbener Pflanzenteile. Wir können diese Entwicklungen nicht genau bestimmen. Es kann also sein, dass die 2% (die sich akkumulieren) graduell zu- oder abnehmen. In letzterem Fall kann der CO₂-Gehalt konstant werden (das ist natürlich Spekulation).

(Manchmal wird behauptet, dass etwa die Hälfte der menschlichen Emissionen in der Atmosphäre verbleibt, aber das ist mit Sicherheit falsch. Die natürlichen Absorptionsprozesse unterscheiden nicht zwischen CO₂ verschiedenen Ursprungs. Der Fehler basiert auf der Beobachtung, dass die Akkumulation von CO₂ etwa gleich ist der Hälfte der menschlichen Emissionen, aber das ist reiner Zufall).

Die Ozeane enthalten etwa 50 mal mehr CO₂ als die Atmosphäre, meist als Bikarbonate. Wenn die Temperatur des Ozeans ein wenig steigt, wird mehr CO₂ in die Atmosphäre freigesetzt, und wenn es sich abkühlt, geht wieder mehr CO₂ in das Wasser. Kleine Änderungen des CO₂-Gehaltes von Wasser korrespondieren mit großen Änderungen in der Atmosphäre. Außerdem wird ein gewisser Anteil des CO₂ permanent aus dem Zyklus entfernt durch die Bildung von Kalziumkarbonat (CaCO₃) als Schalen maritimer Organismen, die auf den Grund sinken. Wir wissen nicht, wie viel das ausmacht, aber möglicherweise ist der Anteil nicht vernachlässigbar. Die Kalkklippen z. B. bei Dover in England und an vielen anderen Stellen auf der ganzen Welt sind so entstanden.

Eine weitere Komplikation ist die Tatsache, dass die die Erdoberfläche erreichende Solarstrahlung gleichzeitig durch drei Prozesse aufwärts transportiert wird: Verdunstung, gefolgt von Kondensation und Wolkenbildung, Wärmetransport durch Konvektion und infraroter Strahlung gefolgt von (teilweiser) Absorption. Obwohl die Betonung normalerweise auf Strahlung liegt, ist diese tatsächlich das am wenigsten Wichtige (10 bis 20% des Ganzen). Dies begrenzt den Treibhauseffekt. Energie wird durch diese drei Prozesse aufwärts transportiert, aber ultimativ wird die Energie aus den oberen Schichten der Atmosphäre in den Weltraum abgestrahlt. Eine quantitative Beschreibung dieser Prozesse ist kaum möglich, da sie erheblich zwischen einer Stelle und der nächsten variieren.

Wir wissen, dass die Verdunstung von Oberflächenwasser (einschließlich Wasser aus nasser Erde) eine wichtige Rolle in unserem Klima spielt. Wenn die Temperatur zu steigen beginnt, steigt auch die Verdunstung, was die Erwärmung verlangsamt (daher sind Temperaturvariationen in feuchten Ländern wie den Niederlanden kleiner als in trockenen Gebieten wie Wüsten). Auch führt Verdunstung zur Wolkenbildung, welche die Strahlung bis zur Erdoberfläche behindern. Diese Prozesse verringern den Treibhauseffekt (so genannte negative Rückkopplung). Wir können dies in weltweitem Maßstab nicht genau messen.

Eine weitere Unsicherheit ist der Treibhauseffekt von Wasserdampf, der viel größer ist als der CO₂-Effekt und der auf der Welt enorm variiert. Wir können diesen Effekt nicht genau bestimmen. Daher ist es nicht möglich, eine gegebene Temperaturänderung allein dem CO₂ zuzuordnen [dabei ist dies genau das, was IPCC und Konsorten ohne Ausnahme machen! Anm. d. Übers.]

Eine bedeutende Unsicherheit ist die Tatsache, dass es nicht wirklich möglich ist, eine mittlere Temperatur der Atmosphäre zu definieren. Wir können Mengen von Masse oder Energie mitteln, aber „Mengen“ von Temperatur gibt es nicht, also können wir sie auch nicht mitteln. Die gemeldeten mittleren Temperaturen sind aus Temperaturmessungen aus der ganzen Welt in spezieller Weise berechnet und werden auf die Gebiete ausgeweitet, aus denen keine Messungen existieren. Diese berechnete mittlere Temperatur ist nicht konstant, sie kann ohne jeden äußeren Einfluss variieren. Dies kann sich in Gestalt der Folge von Phasenübergängen ereignen wie Verdunstung, Kondensation, Eisschmelze, Eisbildung, Verdunstung über Eis und Eisbildung in feuchter Luft. Alle diese Prozesse sind gekoppelt mit Erzeugung oder Verbrauch von Wärme. Das Ausmaß dieser Phasenübergänge kann variieren im Gefolge von Variationen von Wasser- oder Luftströmungen. Und sie verursachen Erwärmung oder Abkühlung der Umgebung. Alle diese Phänomene laufen vor dem Hintergrund ab, dass die Atmosphäre und die Ozeane nicht im Gleichgewicht sind.

Wenn beispielsweise beobachtet wird, dass in bestimmten Perioden Eisschilde geschmolzen sind (wie es periodisch vorkommt), ist dies nicht ein Zeichen für die Erwärmung des Globus', sondern vielmehr von dessen Abkühlung. Wenn Eis schmilzt, wird der Umgebung (meist Wasser) Wärme entzogen.

Diese Situation des Ungleichgewichts wird durch die Tatsache verursacht, dass der Erde ständig Wärme zugeführt oder von dieser entfernt wird (wegen der solaren Einstrahlung und der Infrarot-Ausstrahlung in den Weltraum). Dies führt in großem Umfang zu Wasser- und Luftströmungen um die ganze Erde. Eine Konsequenz hiervon ist, dass es nicht möglich ist, eine mittlere Temperatur mit einer Genauigkeit unter 0,5°C zu berechnen (siehe am Ende von Abschnitt 5). Kleinere Variationen der mittleren Temperatur sind daher nicht signifikant. Außerdem folgt daraus, dass ein mittleres „Weltklima“ nicht definiert werden kann.

7. Die Unvorhersagbarkeit des Klimas

Lange Zeit war angenommen worden, dass das zukünftige Klima vorhergesagt werden kann, wenn wir Kenntnis der beiden folgenden Dinge hätten:

- Ein Klimamodell, welches das Erdklima hinreichend detailliert beschreibt (in diesem Falle ist ein Modell ein Satz mathematischer Gleichungen).
- Ausreichende Klimadaten (aus der ganzen Welt), die in das Modell eingehen können, um es in die Lage zu versetzen, das zukünftige Klima vorherzusagen.

Allerdings ist beides falsch. Es gibt zu viele Unsicherheiten (Abschnitt 6), um ein hinreichend genaues Modell zu erstellen. Unsere gegenwärtigen Klimamodelle sind sehr fortschrittlich, repräsentieren aber nicht alle relevanten Prozesse. Aber selbst falls wir ein solches perfektes Modell

hätten, könnten wir das zukünftige Klima nicht vorhersagen, da sich das Weltklima wie ein „chaotisches“ System verhält. Chaos ist in diesem Sinne ein mathematisches Konzept, das bedeutet, dass das System durch eine Anzahl gleichzeitiger nicht-linearer Differentialgleichungen beschrieben wird. Derartige Systeme sind extrem empfindlich hinsichtlich ihrer Anfangsbedingungen, wie Temperaturen, die an bestimmten Punkten zu bestimmten Zeiten gemessen werden. Kleine Variationen dieser Daten (kleiner als die Messgenauigkeit) kann zu völlig unterschiedlichen Ergebnissen führen. Daher kann die Zukunft des Weltklimas nicht vorhergesagt werden.

8. Erwärmt sich die Welt oder nicht?

Diese Frage kann nicht beantwortet werden. Wir können folgende Fragen stellen, die beantwortet werden können: Hat sich die Welt bisher erwärmt? Erwartet man eine Erwärmung der Welt in der Zukunft?

Messungen zeigen, dass sich die Atmosphäre im Zeitraum von 1979 bis 1998 um $0,4^{\circ}\text{C}$ erwärmt hat, aber es ist zweifelhaft, ob dies signifikant ist (siehe Abschnitt 6). Auch vor 1940 gab es eine geringe Erwärmung, jedoch gab es damals kaum CO_2 -Emissionen, so dass es andere Gründe dafür geben muss.

Wir können nicht sagen, ob sich die Welt in Zukunft erwärmt, weil das Klima im Wesentlichen unvorhersagbar ist (Abschnitt 7). Wir können jedoch *Erwartungen* haben. Wir wissen, dass von der Infrarotstrahlung, die durch CO_2 absorbiert werden kann, bereits über 90% schon absorbiert und in Wärme umgewandelt worden sind. Wenn der CO_2 -Gehalt steigt, kann die Absorption natürlich niemals über 100% steigen. Dies wird zu einer Erwärmung unter 2°C führen. Wir wissen jedoch auch, dass dies mehr Vorteile als Nachteile hätte. Die Vorteile sind: Höhere Ernteerträge und weniger Energieverbrauch (was sich in vielen Milliarden Dollar Einsparungen pro Jahr niederschlagen würde). Wegen der negativen Rückkopplungen wird der Temperaturanstieg wahrscheinlich viel geringer ausfallen (leider!). Viele Astronomen sagen in naher Zukunft eine Abkühlung voraus, was erheblich nachteiliger wäre als eine Erwärmung.

9. Können wir eine Schlussfolgerung ziehen?

Ursprünglich hatten wir gedacht, dass es eine Beziehung geben würde zwischen dem CO_2 -Gehalt der Atmosphäre und der mittleren Temperatur. Dies wurde für die geologische Historie gezeigt, während der letzten paar einhunderttausend Jahre. Allerdings zeigt die geologische Forschung, dass eine Temperaturzunahme einem Anstieg des CO_2 -Gehaltes immer *vorausgegangen* war (zweifelloos durch Ausgasungen aus den Ozeanen). Es gibt keine Hinweise darauf, dass CO_2 signifikante Erwärmungen auslösen kann (mehr als ein paar Zehntelgrad). Wir wissen jetzt, dass die große Anzahl von in der Atmosphäre ablaufenden Prozessen so komplex ist, dass wir niemals eine quantitative Beschreibung herstellen können.

Sollten wir uns nicht Sorgen darüber machen, dass wir weiterhin große Mengen CO_2 in die Atmosphäre blasen? Soweit wir wissen, hat ein höherer CO_2 -Gehalt nur Vorteile (besseres Pflanzenwachstum), aber keine Nachteile. In bestimmten geologischen Zeiträumen war der CO_2 -Gehalt viel höher als heute ohne jedwede

dramatische Auswirkungen.

(Manche Menschen schieben eine mögliche Versauerung der Ozeane dem CO₂ in die Schuhe, aber meiner Ansicht nach ist das unwahrscheinlich. Das Ozeanwasser ist leicht basisch, und mit etwas mehr CO₂ kann es etwas weniger basisch, aber niemals sauer werden).

10. Konsequenzen

Meine Schlussfolgerung lautet, dass es *unmöglich* ist, dass eine signifikante Klimaänderung allein auf einen steigenden CO₂-Gehalt zurückzuführen ist. Dies bedeutet, dass alle Maßnahmen zur Reduktion von CO₂-Emissionen sinnlos sind. Sie hätten enorme finanzielle Konsequenzen für die Gesellschaft.

Über den Autor:

Prof. Dr. Dick Thoenes geb. 1930 lehrte Chemie-Ingenieurwesen bis 1995, dem Jahr seiner Emiretierung, an der Eindhoven University, Niederlande. Er ist Autor vieler Fachbücher und war wissenschaftlicher Berater vieler Firmen und der schwedischen wie niederländischen Regierung. Er war Chairman und ist jetzt Ehrenmitglied der KNCV (Royal Chemical Society) und wurde zum Foreign Member of the Royal Academy of Engineering Sciences (IVA) Stockholm ernannt.

Seine Schwerpunkte sind "Transportphänomene" (als erste in dem berühmten Buch von RB Vogel, et al., 1960 formuliert). Dies umfasst Fluidstrom, Mischen, Stoffübergang, Wärmeübertragung, Verdunstung, Strahlung usw. Diese Phänomene sind die Grundlage der chemischen Technik und sie sind auch die Basis für die Klimaforschung. Als daher der zweite Sachstandsbericht des IPCC erschien im Jahr 1995 (das Jahr seiner Pensionierung) studierte er diesen und dachte: Das kann nicht wahr sein! Spätere Untersuchungen bestätigten diesen Eindruck.

Übersetzt von [Chris Frey](#) EIKE