

ABGESAGT!

Dem

KLIMANOTSTAND

bricht die Basis weg

Warum die Natur den
Kohlenstoffkreislauf der
Erde viel stärker beeinflusst
als der Mensch

EIKE ROTH

Inhaltsverzeichnis

Abstract

1. Einleitung und Problemstellung

2. Begriffe

3. Ausgangslage

4. Von IPCC abgeleitete Konsequenzen

5. Diskussion

5.1 Unverändertes Gleichgewicht?

5.2 Anthropogene Freisetzungen

5.3 CO₂ in der Atmosphäre

5.4 Gefärbte Moleküle

5.5 Zwei Zeitkonstanten bei gleichen Molekülen?

5.6 Ein Modell mit Münzen zum Beweis

5.7 Individuelle Moleküle und Gruppen von Molekülen

5.8 Eine weitere Quelle für CO₂?

5.9 Konstante natürliche Umwälzung?

5.10 Was verbleibt: 50 % oder 2 %?

5.11 Unbegrenztes Wachstum und Null-Freisetzung

5.12 ¹⁴C, ein unbeabsichtigtes Experiment in der Atmosphäre

5.13 Natürliche Umwälzung

5.14 Nicht-Linearitäten, Prinzip

5.15 Nicht-Linearitäten, real

- 5.16 Störungszeit (adjustment time)
- 5.17 Die falsche Antwort auf eine gute Frage
- 5.18 Weitere Modelle
- 5.19 Erfolg von CO₂-Reduzierungsmaßnahmen

6. Ein verbessertes Modell

- 6.1 Anforderungen an ein Modell
- 6.2 Das »Umwälz-Modell«
- 6.3 Ergebnisse des Umwälz-Modells
- 6.4 Die Unterschiede zwischen Verweilzeit und Störungszeit:
- 6.5 Modelle und Wirklichkeit

7. Bern Carbon Cycle Model

- 7.1 Grundzüge und mathematische Formulierung
- 7.2 Parallelität zum radioaktiven Zerfall
- 7.3 Sättigung
- 7.4 Bewertung

8. Zusammenfassung

9. Schlussbemerkung

10. Sachregister

11. Literaturverzeichnis

12. Über den Autor

Abstract

Der Kohlenstoffkreislauf der Erde regelt, wie viel CO_2 sich in der Atmosphäre ansammelt. Er ist damit die Basis aller Klimarechnungen. Gegenstand der Untersuchungen hier ist eine Überprüfung der Modelle, mit denen der »Weltklimarat« IPCC diesen Kreislauf beschreibt. Es zeigt sich, dass sie das nur unbefriedigend können.

Der zentrale Ansatz in diesen Modellen ist die Annahme eines »natürlichen Gleichgewichtes« mit hohem CO_2 -Austausch zwischen der Atmosphäre und den Speichern »Wasser« und »Biomasse«, dem durch die vergleichsweise kleinen anthropogenen CO_2 -Freisetzungen eine »Störung« aufgesetzt wird, die sich nach eigenen Gesetzen entwickelt. Diese Gesetze werden in den Modellen so festgelegt, dass mit ihnen der beobachtete Anstieg der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre vollständig als Folge der anthropogenen CO_2 -Freisetzungen erklärt werden kann. Für eine fortgesetzte anthropogene Freisetzung berechnen die Modelle folgerichtig eine weitere hohe Zunahme der CO_2 -Konzentration. Zusammen mit der Annahme einer hohen Klimawirksamkeit des CO_2 ist das die Basis für die Forderung nach einer drastischen Reduzierung der anthropogenen CO_2 -Freisetzungen. Als Reaktion darauf haben Kommunen, Länder und die EU den Klimanotstand ausgerufen.

In diesem Buch wird gezeigt, dass die genannten Annahmen von IPCC logisch zwingend die Existenz von unterschiedlichen Zeitkonstanten für die Entnahme von CO_2

aus der Atmosphäre voraussetzen, dass es unterschiedliche Zeitkonstanten aber infolge der guten Durchmischung der Atmosphäre, der Gleichheit aller CO₂-Moleküle und der Konzentrationsabhängigkeit der natürlichen Umwälzung nicht geben kann! Als Folge davon kann das in der Atmosphäre angesammelte CO₂ gar nicht vollständig aus den anthropogenen Freisetzungen kommen, ein Großteil muss vielmehr *aus einer anderen Quelle stammen!* Der wahrscheinlichste Kandidat hierfür ist die allgemeine Erwärmung, wodurch auch immer diese ausgelöst worden ist, doch kommen prinzipiell auch andere Quellen infrage.

Als Alternative zu den IPCC-Modellen wird, in Anlehnung an Vorbilder in der Literatur, ein Modell vorgeschlagen, das hier als »Umwälz-Modell« bezeichnet wird. In ihm ist die Umwälzung nicht fest vorgegeben, sondern sie ändert sich nach physikalischen Gesetzen in Abhängigkeit von der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre. Eine Trennung zwischen »natürlichem Gleichgewicht« und »aufgesetzter Störung« kennt das Modell nicht. Seine Ergebnisse stimmen gut mit den realen Gegebenheiten überein. Für das viele CO₂ in der Atmosphäre fordert das Modell die Existenz einer zusätzlichen Quelle. Der im Modell beschriebene Ansatz wird zur Diskussion gestellt.

Wenn tatsächlich eine andere CO₂-Quelle den überwiegenden Beitrag zum Anstieg des CO₂ in der Atmosphäre geliefert hat, dann gibt es *nur noch zwei Alternativen:*

1. Entweder ist CO₂ wirklich klimabestimmend. *Dann bestimmt überwiegend nicht anthropogen freigesetztes CO₂ unser Klima!* Eine Reduktion der anthropogenen Freisetzungen hat dann keinen nennenswerten Einfluss.

2. *Oder irgendetwas Anderes und nicht das CO₂ bestimmt das Klima.* Dann sind die anthropogenen CO₂-Freisetzungen erst recht nicht schuld an der Erwärmung!

Die Konsequenzen sind in beiden Fällen gravierend: *Der Mensch beeinflusst das Klima nicht!* Jedenfalls beeinflusst er es durch seine CO₂-Freisetzungen höchstens marginal, die müssen daher nicht drastisch reduziert werden! *Für den Klimanotstand entfällt die Berechtigung.* Das Gleiche gilt auch für den »Green Deal« der EU-Kommission, der 1000 Milliarden € oder sogar noch mehr kosten dürfte. Eine nochmalige Überprüfung scheint dringend geboten zu sein.

1 Einleitung und Problemstellung

In der Wissenschaft gibt es, so wird immer wieder gesagt, einen Konsens: CO₂ ist der wichtigste Klimatreiber, seine Konzentration in der Atmosphäre ist stark angestiegen und die wichtigste Ursache hierfür ist der Mensch mit seiner Verbrennung fossiler Energieträger. Wenn das so weiter geht, dann wird sich das Klima auf der Erde gravierend ändern, mit schmerzhaften Auswirkungen für die Menschen. Stellvertretend für eine Vielzahl entsprechender Aussagen seien die Sachstandsberichte des IPCC genannt, /1/ bis /5/.

Aber dieser Konsens ist nur vordergründig vorhanden. Real gibt es erhebliche Unsicherheiten, Zweifel und offene Fragen. Die betreffen die Zielsetzung, welches Klima wir überhaupt anstreben sollen, die Gegenrechnung positiver Auswirkungen erhöhter CO₂-Konzentrationen, das Ausmaß und die Geschwindigkeit der anthropogenen Klimaänderungen, den Einfluss anderer Verursacher, die Erfolgsaussichten der vorgeschlagenen Abhilfemaßnahmen und noch vieles anderes mehr. In /6/ wird das ausführlich dargelegt. Solange diese Fragen offen sind, ist ein »Klimanotstand« prinzipiell nicht gerechtfertigt.

Im Zentrum der Auseinandersetzung steht die Klimawirksamkeit des CO₂. Um wie viel wird es wärmer, wenn die CO₂-Konzentration steigt? Trotz aller wissenschaftlichen Fortschritte in den letzten Jahrzehnten mit Satellitenmessungen, Supercomputern und dergleichen sind die Unsicherheiten kaum kleiner geworden und eine

Lösung der Streitfrage ist auch nicht in Sicht. In seinem neuesten Sachstandsbericht /5/ gibt IPCC die Klimasensitivität des CO₂, das ist die Erwärmung bei Verdoppelung der Konzentration, mit »1,5 bis 4,5 Grad« an. In diesem Intervall sind alle Werte gleichberechtigt, einen wahrscheinlichsten Wert kann IPCC »infolge der großen Unsicherheiten« gar nicht angeben. Ein Faktor drei als Unsicherheitsbereich und kein wahrscheinlichster Wert: Nüchtern betrachtet können wir nur extrem schlecht quantifizieren, welchen Einfluss das CO₂ auf das Klima überhaupt hat! Doch als Basis für äußerst weitreichende Forderungen soll das genügen!?

Aber wenn man noch genauer hinsieht, dann gibt es noch eine andere offene Frage, die für die Beurteilung des anthropogenen Anteils am Klimawandel möglicherweise sogar noch viel wichtiger ist: *Woher kommt das viele CO₂ in der Atmosphäre tatsächlich?* Dieser Frage wird im vorliegenden Buch detailliert nachgegangen.

IPCC meint, das viele CO₂ stamme vollständig aus den anthropogenen Freisetzungen. Aber das ist fast genau so stark umstritten, wie die Klimasensitivität des CO₂. Z. B. /7/ gibt an, dass nur ein kleiner Anteil des vielen CO₂ anthropogen ist und der überwiegende Anteil aus einer anderen Quelle stammen muss. Wenn das stimmt, dann sind Reduzierungen der anthropogenen CO₂-Freisetzungen weitgehend wirkungslos.

Die Meinung von /7/ ist zwar keine Einzelmeinung, aber doch klar in der Minderheit. *Wissenschaft ist jedoch keine demokratische Veranstaltung, bei der die Mehrheit entscheidet.* Die Mehrheit hat sich sogar schon oft geirrt. Letztlich entscheiden in der Wissenschaft immer nur die sachlichen Argumente. Und welche Argumente richtiger

sind, das kann nur durch ergebnisoffene Diskussionen geklärt werden. Dieses Buch will einen Beitrag dazu leisten.

Noch eine kleine Ergänzung: Die Entwicklung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre hängt auf jeden Fall gravierend von zwei Faktoren ab: Von der Höhe der anthropogenen Freisetzen *und* vom Anteil, der von diesen Freisetzen in der Atmosphäre verbleibt (Einschub: Sie hängt möglicherweise auch noch von anderen Dingen ab, z. B., ob es noch weitere Quellen für CO₂ gibt; das wird später noch eine wichtige Rolle spielen). Die anthropogenen Freisetzen können wir vielleicht steuern, den verbleibenden Anteil aber nicht. Der wird ausschließlich von der Physik bestimmt. Und wenn der verbleibende Anteil klein ist, dann kann das Steuern unserer CO₂-Freisetzen das Klima gar nicht stark beeinflussen, selbst wenn wir beliebig gut steuern könnten!

Also ist der Anteil wichtig. Der wird in den Überlegungen hier ein wichtiger Punkt sein: Wie viel der anthropogenen Freisetzen verbleibt tatsächlich in der Atmosphäre? Heißt die Antwort »viel«, ist die Frage nach der Klimasensitivität des CO₂ wichtig, heißt die Antwort »wenig«, kommt es darauf nicht oder zumindest nur sehr wenig an.

2 Begriffe

Der »Kohlenstoffkreislauf« beschreibt den Austausch von Kohlenstoff zwischen verschiedenen Speichern. Er kann in den »kurzfristigen« und in den »langfristigen« Kohlenstoffkreislauf unterteilt werden. Der »kurzfristige« Kohlenstoffkreislauf umfasst die drei Speicher Atmosphäre, Ozean und Biomasse. Zwischen diesen findet ein reger Austausch von CO₂-Molekülen statt (»Umwälzung«), wobei alle Prozesse »schnell« ablaufen, in Zeitbereichen bis hin zu etwa tausend Jahren. Zum »langfristigen« Kohlenstoffkreislauf gehören darüber hinaus auch langfristige Prozesse, wie die Sedimentation von Karbonatgesteinen im Meer, die Verwitterung von Gesteinen, Plattentektonik und Vulkanismus, etc. Diese Prozesse spielen sich in viel längeren Zeiträumen ab, bis hin zu Milliarden von Jahren. Sie werden hier nicht weiter betrachtet. Auch der in den fossilen Energieträgern Kohle, Öl und Gas gespeicherte Kohlenstoff gehört zum »langfristigen« Kohlenstoffkreislauf. Durch Verbrennungsprozesse dieser Energieträger wird Kohlenstoff aus dem langfristigen in den kurzfristigen Kohlenstoffkreislauf überführt.

Ein System, wie der Kohlenstoffkreislauf der Erde, ist »im Gleichgewicht«, wenn das Kohlenstoffinventar in den betroffenen Speichern gleich bleibt. Dabei kann Austausch zwischen den Speichern erfolgen, er muss nur ausgeglichen sein. Ein besonderes Gleichgewicht ist das »Fließgleichgewicht«, bei dem in einem Speicher durch Gleichheit von Zu- und Ausfluss das Inventar gleich bleibt,

wobei das System insgesamt nicht im Gleichgewicht sein muss.

Der Begriff »*Störung*« wird in zwei Bedeutungen verwendet: Er bezeichnet einerseits einen *Effekt*, der ein System aus dem Gleichgewicht bringt, er kann andererseits aber auch das *Ausmaß* der Abweichung vom Gleichgewicht angeben. Je nachdem, ob man das Ausmaß der Abweichung auf das alte Gleichgewicht vor Aufbringen der Störung bezieht, oder auf das neue Gleichgewicht, das sich nach Beendigung der Störung einstellt, erhält man unterschiedliche Werte für die Störung.

Eine »Störung« ist »*reversibel*«, wenn sich nach ihrer Beendigung das alte Gleichgewicht wieder einstellt, und sie ist »*irreversibel*«, wenn sich nach ihrer Beendigung ein neues Gleichgewicht einstellt (oder keines). »Reversibel« kann eine Störung nur dann sein, wenn durch sie die Gesamt-Kohlenstoffmenge im System nicht verändert wird (und dann ist sie meist auch reversibel). Wird die Gesamt-Kohlenstoffmenge jedoch geändert, dann ist die Störung auf jeden Fall »irreversibel«.

Die »*Verweilzeit*« (»residence time« oder »turn over time«) ist die Zeit, die CO_2 -Moleküle *im Mittel in der Atmosphäre verbleiben*. Mathematisch definiert ist sie als das Inventar [Menge] in der Atmosphäre, dividiert durch die Entnahmerate [Menge pro Zeiteinheit] aus der Atmosphäre.

Die »*Zeitkonstante*« (»e-folding-time«) beschreibt generell, *wie schnell ein bestimmter Prozess abläuft*, z. B. die Entnahme von CO_2 -Molekülen aus der Atmosphäre. Angegeben wird grundsätzlich die Zeit, in der der Prozess auf den Wert $1/e$ abgelaufen ist (mit e = Eulersche Zahl $\approx 2,7$, $1/e$ ist dann $\approx 0,37 = 37\%$). Mathematisch erhält man die Zeitkonstante durch Ableitung der Gleichung für die

Prozessgröße (z. B. CO₂-Inventar in der Atmosphäre) nach der Zeit. Bei exponentiell verlaufenden Prozessen ist diese »Zeitkonstante« tatsächlich eine Konstante und sie ist um den Faktor $1/\ln(2)$ länger als die »Halbwertszeit«, das ist die Zeit, in der der Prozess zur Hälfte abgelaufen ist (mit $\ln(2) =$ natürlicher Logarithmus von 2 $\approx 0,69$). Sofern das ausfließende Inventar und die Ausflussrate bekannt sind, lässt sich die Zeitkonstante einfach als Quotient aus diesen beiden Größen berechnen.

Hinweis: Ein Prozess verläuft immer dann *exponentiell*, wenn die Geschwindigkeit des Ablaufes proportional zur Antriebskraft für den Ablauf ist. Ein Beispiel dafür ist der Ausfluss von Wasser durch eine dünne Ausflussleitung aus einem Behälter (dünn, damit laminare Strömung herrscht): Füllstand und Ausfluss sind proportional zueinander.

Die »*Störungszeit*« (»adjustment time«) beschreibt nach /5/, *wie schnell die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre nach Beendigung einer Störung wieder zurückgeht*. Jedenfalls soll sie das beschreiben. Mathematisch ist sie der Quotient aus dem Überschussinventar (Überschuss gegenüber dem neuen Gleichgewicht) und der Abbaurate des Inventars. Aber die Definition wird nicht einheitlich verwendet und der Begriff führt vielfach zu Missverständnissen. In Ziff. 5.16 wird die Problematik näher erläutert.

Ein »*Modell*« schließlich ist ein mathematisches Abbild der Natur, das manche Eigenschaften und Zusammenhänge besser transparent machen soll. Es ist immer nur eine *Annäherung an die Wirklichkeit* mit mehr oder weniger großen Abweichungen. »Fehler in einem Modell« können Fehler innerhalb des Modells sein, z. B. Rechenfehler oder logische Fehler, die Fehler können aber auch darin liegen, dass das Modell im relevanten Bereich so weit von der

Wirklichkeit abweicht, dass aus dem Modell falsche Rückschlüsse auf die Wirklichkeit gezogen werden.

3 Ausgangslage

IPCC berechnet die zukünftige Entwicklung der CO₂-Konzentration der Atmosphäre mit Modellen für den Kohlenstoffkreislauf der Erde. Dabei geht IPCC insbesondere von folgenden Beobachtungen bzw. Annahmen aus:

1. Die Natur war vor dem Eingriff durch den Menschen, IPCC nimmt dafür immer das Jahr 1750, im Gleichgewicht. Die Konzentration in der Atmosphäre betrug ca. 280 ppm und jährlich wurde etwa ein Viertel des CO₂-Inventars der Atmosphäre zwischen dieser und den Speichern Ozean und Biomasse umgewälzt.
2. Ohne menschliche Eingriffe würde dieses Gleichgewicht heute noch unverändert weiter bestehen.
3. Die anthropogenen CO₂-Freisetzungen sind diesem Gleichgewicht als Störung oben draufgesetzt und, weil sich sonst nichts geändert hat, sind sie die alleinige Ursache aller Änderungen gegenüber dem Gleichgewichtszustand.
4. Die anthropogenen CO₂-Freisetzungen betragen heute ca. 4 ppm pro Jahr.
5. Die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre liegt heute bei ca. 410 ppm und sie wächst jährlich um ca. 2 ppm.

4 Von IPCC abgeleitete Konsequenzen

Aus diesen Annahmen leitet IPCC insbesondere die nachfolgend angegebenen Konsequenzen ab. Die Diskussion darüber erfolgt in den Ziff. 5 bis 7:

1. Es gibt zwei Zeitkonstanten:

Nach Meinung von IPCC wird das CO₂ in der Atmosphäre in Abhängigkeit von seiner Herkunft mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten wieder aus der Atmosphäre entnommen (bitte den nachfolgenden Hinweis beachten!): Die natürlich freigesetzten CO₂-Moleküle werden sehr schnell wieder ausgeschieden. Die Zeitkonstante hierfür wird durch die hohe natürliche Umwälzung bestimmt. Sie beträgt nur wenige Jahre. Die anthropogen freigesetzten CO₂-Moleküle verbleiben demgegenüber sehr viel länger in der Atmosphäre, Jahrhunderte oder noch länger. Ihre Entnahme erfolgt *unabhängig von der natürlichen Umwälzung*. Die Zeitkonstante für diese Entnahme *ergibt sich aus der Höhe der anthropogenen Freisetzungen und aus dem beobachteten Anstieg der CO₂-Konzentration*.

Hinweis: Genau genommen verbleiben nach IPCC die anthropogen freigesetzten CO₂-Moleküle nicht als individuelle Moleküle so lange in der Atmosphäre, sondern es verbleibt nur *eine entsprechende Anzahl* von CO₂-Molekülen. Die individuellen Moleküle selbst werden durch die Umwälzung rasch ausgetauscht und durch