

Die positiven Auswirkungen der menschlichen CO₂-Emissionen auf das Überleben des Lebens auf der Erde

geschrieben von Admin | 12. Juni 2019

KURZFASSUNG

Diese Studie untersucht die positiven Umweltauswirkungen von Kohlendioxid (CO₂)-Emissionen, ein Thema, das in der wissenschaftlichen Literatur gut verankert ist, in der aktuellen Diskussion über die Klimapolitik aber viel zu oft ignoriert wird.

Alles Leben basiert auf Kohlenstoff, und die Hauptquelle dieses Kohlenstoffs ist das CO₂ in der globalen Atmosphäre. Noch vor 18.000 Jahren, auf dem Höhepunkt der jüngsten großen Vereisung, sank das CO₂ mit 180 ppm auf den niedrigsten Stand der Geschichte, niedrig genug, um das Pflanzenwachstum zu bremsen. Das sind nur 30 ppm über einem Niveau, das zum Tod von Pflanzen durch CO₂-Hunger führen würde. Es wird berechnet, dass, wenn der Rückgang des CO₂-Gehalts in der gleichen Geschwindigkeit wie in den letzten 140 Millionen Jahren anhalten würde, das Leben auf der Erde bereits in zwei Millionen Jahren zu sterben beginnen und langsam fast vollständig untergehen würde, da weiterhin Kohlenstoff an die Sedimente der Tiefsee verloren geht.

Die Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Energiegewinnung für die menschliche Zivilisation hat den Abwärtstrend beim CO₂ umgedreht und verspricht, es wieder auf ein Niveau zu bringen, das einen erheblichen Anstieg der Wachstumsrate und der Biomasse von Pflanzen, einschließlich Nahrungspflanzen und Bäumen, fördern dürfte. Die menschlichen CO₂-Emissionen haben den globalen Kohlenstoffkreislauf wieder ins Gleichgewicht gebracht und damit die langfristige Fortsetzung des Lebens auf der Erde sichergestellt.

Dieser äußerst positive Aspekt der menschlichen CO₂-Emissionen muss gegen die unbewiesene Hypothese abgewogen werden, dass die menschlichen CO₂-Emissionen in den kommenden Jahren zu einer katastrophalen Erwärmung des Klimas führen werden.

Die einseitige politische Behandlung von CO₂ als Schadstoff, der radikal reduziert werden sollte, muss im Hinblick auf die unbestreitbaren wissenschaftlichen Beweise, dass er für das Leben auf der Erde unerlässlich ist, korrigiert werden.

INHALTSVERZEICHNIS

- Kurzfassung
- Einführung
- Die Geschichte von CO₂ in der globalen Atmosphäre
 - *Die Entstehung terrestrischer hölzerner Pflanzen*
 - *Die zweite grosse Reduktion des CO₂-Gehaltes*
 - *CO₂ steigt über die Schwelle*
- Die heutige Verteilung des Kohlenstoffs
 - *CO₂ in den Ozeanen*
 - *CO₂ in der modernen Zeit*
- Höhere CO₂-Konzentrationen werden Pflanzenwachstum und Biomasse erhöhen
 - *Diskussion*
 - *Atmosphärische CO₂-Konzentrationen in der Zukunft*
 - *Ein Paradigmenwechsel in der Wahrnehmung von CO₂*
- Schlussbetrachtung
- Fussnoten
- Bibliographie

EINFÜHRUNG

Es besteht die weit verbreitete Ansicht, dass die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Energiegewinnung eine Bedrohung für das Klima der Erde darstellen und dass die Mehrheit der Arten, einschließlich der Spezies Mensch, stark leiden wird, wenn diese Emissionen nicht drastisch reduziert oder sogar beseitigt werden. [1]

Dieses Papier bietet eine radikal andere Perspektive, die auf der geologischen Geschichte des CO₂ basiert. CO₂ ist einer der wichtigsten Nährstoffe für Leben auf der Erde. Es hat sich in den letzten Perioden der großen Vereisung in der Eiszeit des Pleistozäns einem gefährlich niedrigen Niveau angenähert, und die menschlichen CO₂-Emissionen können das Aushungern und den letztendlichen Tod des meisten Lebens auf dem Planeten aufgrund eines CO₂-Mangels verhindern. [2] Dies ist nicht in erster Linie eine Diskussion über den möglichen Zusammenhang zwischen CO₂ und der globalen Erwärmung oder dem Klimawandel, obwohl einige Erwähnungen davon gemacht werden müssen. Es gab viele Diskussionen zu diesem Thema, und es ist sowohl im wissenschaftlichen als auch im politischen Bereich heftig umstritten. Es steht außer Frage, dass sich das Klima in den letzten 300 Jahren seit dem Höhepunkt der Kleinen Eiszeit erwärmt hat. Es steht auch außer Frage, dass CO₂ ein Treibhausgas ist und *unter ansonsten gleichen Bedingungen* würden die Emissionen zu einer gewissen Erwärmung führen, wenn der CO₂-Anteil in der Atmosphäre auf ein höheres Niveau stiege. Es gibt jedoch keinen eindeutigen wissenschaftlichen Beweis dafür, dass CO₂ ein wesentlicher Faktor für den Einfluss auf das Klima in der realen Welt ist. Das Erdklima ist ein chaotisches, nichtlineares, multivariantes System mit vielen

unvorhersehbaren Rückkopplungen, sowohl positiven als auch negativen. In erster Linie geht es hier um die Rolle des atmosphärischen CO₂ bei der Erhaltung des Lebens auf der Erde und die positive Rolle der menschlichen Zivilisation bei der Verhinderung dessen, dass CO₂ auf ein Niveau absinkt, das die Existenz von Leben überhaupt bedroht.

DIE GESCHICHTE VON CO₂ IN DER GLOBALEN ATMOSPHERE

Es ist eine unbestrittene Tatsache, dass alles Leben auf der Erde auf Kohlenstoff basiert und dass die Quelle dieses Kohlenstoffs CO₂ ist, das durch die globale Atmosphäre strömt. Als ursprüngliche CO₂-Quelle in der Atmosphäre gelten massive Vulkanausbrüche in der Frühgeschichte der Erde, deren extreme Hitze die Oxidation von Kohlenstoff im Erdinneren zu CO₂ verursacht hat. [3] Heute durchdringt CO₂ als Nebengas mit 0,04 Prozent die gesamte Atmosphäre und wird von den Ozeanen und anderen Gewässern (der Hydrosphäre) aufgenommen, wo es die Nahrung für photosynthetische Arten wie Phytoplankton und Kelp liefert. Wenn es kein CO₂ oder einen unzureichenden CO₂-Gehalt in der Atmosphäre und der Hydrosphäre gäbe, gäbe es kein Leben, wie wir es auf unserem Planeten kennen.

Auf relativ kurzfristiger Basis (Jahre bis Hunderte von Jahren) ist der Kohlenstoffkreislauf eine komplexe Serie von Austauschvorgängen zwischen der Atmosphäre, der Hydrosphäre, lebenden Arten und dem Abbau organischer Substanz in Böden und Sedimenten. Langfristig (Millionen bis Milliarden von Jahren) ist der größte Teil des Kohlenstoffs, der von den Pflanzen aus der Atmosphäre aufgenommen wurde, für den Kreislauf in tiefe Lagerstätten von fossilen Brennstoffen und kohlenstoffhaltigem Gestein (Mineralien) wie Kreide, Kalkstein, Marmor und Dolomit verloren gegangen. Der weitaus größte Teil des langfristig gebundenen Kohlenstoffs liegt in Form von kohlenstoffhaltigem Gestein vor.

Wir haben keine gute Schätzung der Gesamtmenge an CO₂, die durch vulkanische Aktivitäten in die globale Atmosphäre ausgestoßen wurde. Wir kennen nicht die Gesamtmenge an Kohlenstoff, die durch die langfristige Sequestrierung in fossilen Brennstoffen und kohlenstoffhaltigem Gestein verloren gegangen ist, aber wir haben Schätzungen der Größenordnung. Wir verfügen über quantitative Schätzungen des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre, die mehr als 600 Millionen Jahre zurückreichen, d.h. das Nettoergebnis von Zugängen durch vulkanische Ereignisse, Verluste durch tiefe Ablagerungen in kohlenstoffhaltigen Gesteinen und fossilen Brennstoffen, die Biomasse lebender Arten und den Abbau organischer Substanz. Diese Schätzungen werden umso genauer, je näher sie an der Gegenwart liegen. Dieses Papier wird sich auf die letzten 540 Millionen Jahre und insbesondere auf die letzten 140 Millionen Jahre konzentrieren.

Die beste Schätzung der CO₂-Konzentration in der globalen Atmosphäre vor 540 Millionen Jahren liegt bei 7.000 ppm, mit einer großen Fehlerquote.

(Siehe Abbildung 1). Um der Diskussion willen werden wir diese Zahl akzeptieren, die eine Masse von mehr als 13.000 Milliarden Tonnen (Gigatonnen, Gt) Kohlenstoff in der Atmosphäre angibt, 17-mal so hoch wie heute, während der Kambrischen Explosion, als sich das multizelluläre Leben entwickelte. Dies gilt als das Aufkommen des modernen Lebens, als sich sowohl Pflanzen- als auch Tierarten in warmen Meeren rasch diversifizierte und später bei warmem Erdklima das Land besiedelten. [4] Davor war das Leben mehr als drei Milliarden Jahre lang weitgehend einzellig, mikroskopisch klein und auf das Meer beschränkt.

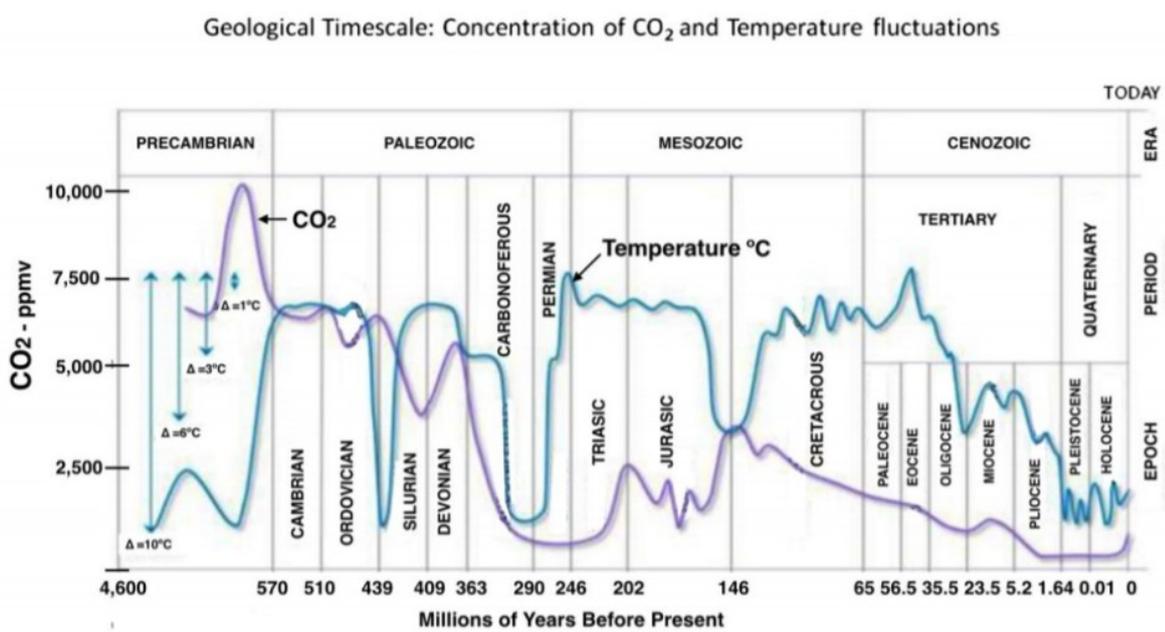


Abbildung 1. Grafik der globalen Temperatur und der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre über die letzten 600 Millionen Jahre. Beachten Sie, dass sowohl Temperatur als auch CO₂ heute niedriger sind als zu den meisten Zeiten des modernen Lebens auf der Erde seit dem Kambrium. Beachten Sie auch, dass dies nicht auf eine Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen den beiden Parametern in direkter Folge hinweist. [5]

Die Entstehung terrestrischer hölzerner Pflanzen

Eine der wichtigsten Entwicklungen bei der Etablierung terrestrischer Pflanzenarten war die Evolution von Holz, einem Komplex aus Cellulose und Lignin, der einen starren Stamm bildete. Dadurch konnten die Pflanzen ihre photosynthetischen Strukturen höher zur Sonne hin platzieren und sich so einen Wettbewerbsvorteil verschaffen. Die Entwicklung von Lignin bot auch Schutz vor Angriffen durch Bakterien und Pilzen, da noch keine Art Enzyme entwickelt hatte, die Lignin verdauen konnten. Im Devon folgte die Ausbreitung riesiger Wälder von Baumfarnen, Bäumen und Sträuchern, was zu einem massiven Anstieg der lebenden Biomasse im Vergleich zur tief gelegenen Vegetation vor der holzigen Ära führte. Diese Größenzunahme der Biomasse führte zu einem unvermeidlichen

CO₂-Abbau aus der Atmosphäre, da Holz fast 50 Prozent Kohlenstoff enthält. Von damals bis heute übertrifft die Biomasse von Bäumen und anderen Gehölzen bei weitem die Summe aller anderen Arten zusammen. [6]

Es war zu erwarten, dass, sobald die lebende Biomasse einen viel höheren, aber relativ stabilen Zustand erreicht hatte, dieser den Nettoentzug von CO₂ beenden und bei einer Konzentration, die etwas niedriger ist als die etwa 4.000 ppm (7.600 Gt Kohlenstoff) im mittleren Devon, abflachen würde. Dies war jedoch nicht der Fall. Der CO₂-Gehalt sank in den nächsten 80 bis 100 Millionen Jahren bis in die Mitte des Karbons hinein, bis er ein Niveau von etwa 400 ppm (760 Gt Kohlenstoff) erreichte, ähnlich dem heutigen Niveau. Deshalb wurde in dieser Zeit der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre um etwa 90 Prozent reduziert. Viele der massiven Kohlelagerstätten, die wir heute abbauen, sind in dieser Zeit entstanden.

Es gibt zwei konkurrierende Hypothesen über die Entstehung von Kohle in dieser Zeit. Eine Hypothese geht davon aus, dass Kohleablagerungen entstanden sind, als Bäume starben und in riesige Sümpfe fielen, wo sie konserviert, schließlich durch tiefe Sedimente begraben und im Laufe der Zeit durch Hitze und Druck in Kohle verwandelt wurden. [7] Eine alternative Erklärung ist, dass die Zersetzerarten von Bakterien, Pilzen und Insekten noch nicht den komplexen Satz von Verdauungsenzymen entwickelt hatten, der für die Holzverdauung notwendig ist. Deshalb stapelten sich die toten Bäume in den Wäldern einfach übereinander und neue Bäume wuchsen auf einer immer tiefer werdenden Schicht toter Bäume, bis sie schließlich begraben wurden, und Hitze und Druck verwandelten sie in Kohle. [8]

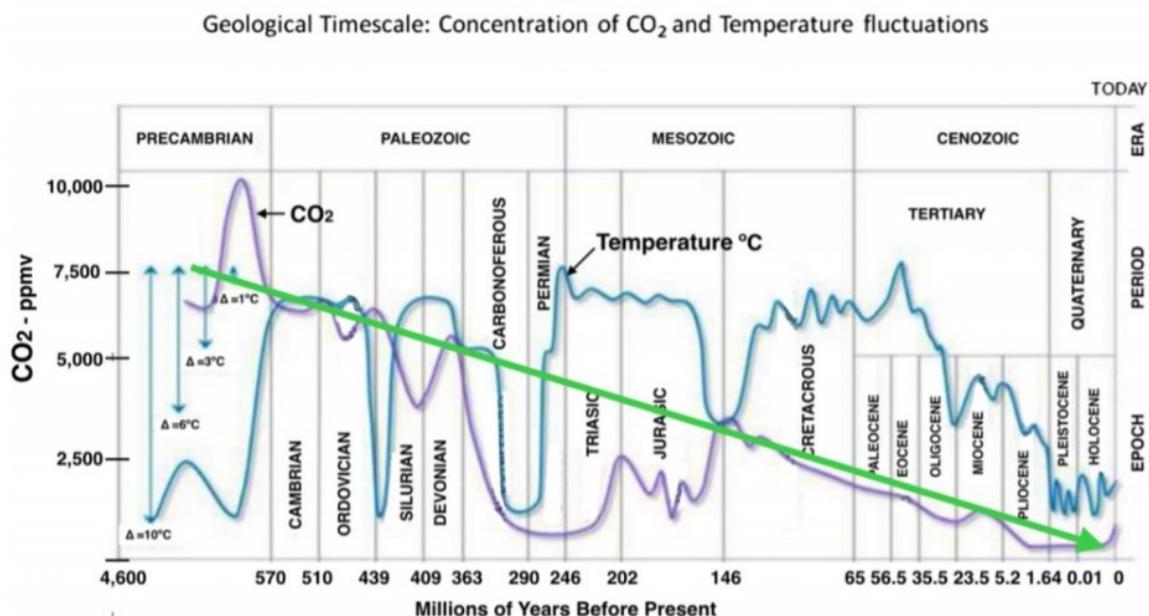


Abbildung 2. Die in Abbildung 1 dargestellte Grafik von CO₂ und Temperatur mit dem Trend der CO₂-Konzentration in der globalen

Atmosphäre, dargestellt durch den grünen Pfeil. Beachten Sie den Anstieg ganz rechts in der Grafik, der die Umkehrung des Abwärtstrends von 600 Millionen Jahren darstellt, der vor allem auf die CO₂-Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe für Energie zurückzuführen ist. Beachten Sie, dass das CO₂ auch heute noch mit 400 ppm weitaus geringer ist als in den meisten Jahren dieser 600 Millionen Jahre Geschichte.

Das Ende des Karbon und der Beginn des Perm markierten eine Umkehrung des Abwärtstrends bei CO₂, und in den nächsten 125 Millionen Jahren stieg CO₂ auf etwa 2.500 ppm in der Jurazeit. Während dieser Zeit entwickelten Pilzarten Enzyme, die das Lignin im Holz verdauen konnten. [9] Es ist plausibel, dass diese Arten oberflächennahe Totholzvorräte mit der damit verbundenen Freisetzung von CO₂ in die Atmosphäre aufnahmen. Gleichzeitig mit der Entwicklung von Zersetzern, die Lignin verdauen konnten, wurde die Kohlebildung deutlich reduziert. Vulkanische Aktivitäten und die Ausgasung von CO₂ aus den Ozeanen könnten ebenfalls dazu beigetragen haben, den CO₂-Gehalt zu erhöhen.

Unabhängig davon, welche kohlebildende Hypothese man favorisiert, und eine Kombination aus beidem ist plausibel, wenn Pilze und andere Arten sich nicht entwickelt hätten, um die Enzyme zu produzieren, die für die Verdauung von Lignin notwendig sind, wäre es wahrscheinlich, dass das atmosphärische CO₂ weiter zurückgegangen wäre, bis es die 150 ppm-Schwelle für das Überleben von Pflanzen erreicht hätte. Zu diesem Zeitpunkt würden Pflanzenarten an CO₂-Mangel sterben, und da mehr Kohlenstoff als Holz und als Kalziumkarbonat in Meeresablagerungen gebunden wurde, würde lebende Biomasse stetig schrumpfen, bis sie ganz oder zum größten Teil stirbt. Es war daher ein höchst glücklicher Zufall, dass Weißfäulepilze und andere Arten die Enzyme zum Verdauen von Lignin entwickelten, sonst wäre die Geschichte des Lebens auf der Erde wesentlich kürzer gewesen.

Die zweite grosse Reduktion des CO₂-Gehaltes

Vor diesem historischen Hintergrund werden wir uns nun auf den Zeitraum von vor 140 Millionen Jahren bis heute konzentrieren. Mit einer Erholung auf etwa 2.500 ppm sank die CO₂-Konzentration allmählich und stetig auf das wahrscheinlich niedrigste Niveau in der Erdgeschichte. Die Eiskerne, die in der Wostok-Station in der Antarktis gebohrt wurden, zeigen, dass auf dem Höhepunkt des letzten großen Vergletscherungsereignisses, vor 18.000 Jahren, das CO₂ auf etwa 180 ppm gesunken ist (siehe Abbildung 3). [10] Dies liegt nur 30 ppm über dem Hungerniveau der meisten Pflanzenarten, das 150 ppm beträgt. [11]

Vor hundertvierzig Millionen Jahren bei 2.500 ppm hielt die Atmosphäre 4.750 Gt Kohlenstoff als CO₂. Bei 180 ppm hielt die Atmosphäre 342 Gt Kohlenstoff als CO₂, was über den Zeitraum von 140 Millionen Jahren einen Verlust von 4.530 Gt Kohlenstoff oder 92,8 Prozent des atmosphärischen CO₂ bedeutete. Obwohl wir keine genauen Schätzungen der vulkanischen CO₂-

Emissionen oder der Tiefseesequestrierung von CO_2 in diesem Zeitraum haben, haben wir eine sehr gute Repräsentation der Nettoauswirkungen auf den atmosphärischen CO_2 -Spiegel. Aufgrund dieses Rückgangs ist das CO_2 während der gegenwärtigen Eiszeit des Pleistozäns mehrmals auf ein gefährlich niedriges Niveau gesunken, verglichen mit den Bedürfnissen der Pflanzen für ihr Wachstum und Überleben. Bei 180 ppm besteht kein Zweifel daran, dass das Wachstum vieler Pflanzenarten erheblich eingeschränkt war. [12]

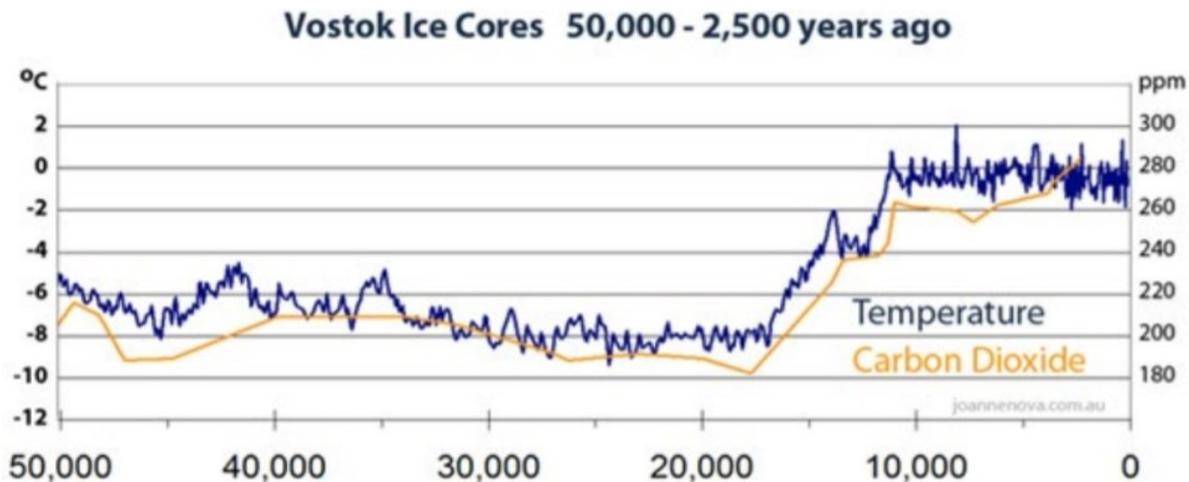


Abbildung 3. Grafik der Temperatur und CO_2 -Konzentration aus den Wostok-Eiskernen in der Antarktis, die zeigt, dass die atmosphärische CO_2 -Konzentration bei 18.000 YBP (Jahre zuvor) um fast 180 ppm gesunken ist. Beachten Sie, dass der CO_2 -Gehalt tendenziell den Temperaturschwankungen hinterherhinkt. [14]

Die Löslichkeitspumpe und die biologische Pumpe entfernen kontinuierlich Kohlendioxid aus der Atmosphäre. [13] Die Löslichkeitspumpe verweist auf die hohe Löslichkeit von CO_2 im kalten Meerwasser in höheren Breitengraden, wo es durch sinkendes kaltes Meerwasser in die Tiefe des Ozeans getragen wird. Die biologische Pumpe bezieht sich auf die Abscheidung von Kohlenstoff aus Biomasse und Calciumcarbonat (CaCO_3) aus planktonischen Muscheln, Korallen und Schalentieren in die Sedimente der Tiefsee. In den letzten 140 Millionen Jahren haben diese Prozesse mehr als 90 Prozent des CO_2 aus der Atmosphäre entfernt. Die stetige Reduktion des CO_2 aus der Atmosphäre in den letzten 140 Millionen Jahren von 2.500 ppm auf 180 ppm vor der Zwischeneiszeit des Holozäns und vor erheblichen menschlichen CO_2 -Emissionen bedeutet einen Nettoverlust aus der globalen Atmosphäre von 32.000 Tonnen (Kt) Kohlenstoff pro Jahr. Wir können mit Fug und Recht vermuten, dass die Hauptursache für diesen Abwärtstrend die CaCO_3 -Ablagerung aus Plankton- und Korallenriffen in marinen Sedimenten war. [15] Während der großen Vereisungen können kühlende Ozeane auch zusätzliches CO_2 aufgenommen haben.

CO₂ steigt über die Schwelle

Nachdem die jüngste große Vergletscherung vor 18.000 Jahren ihren Höhepunkt erreichte, begann der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre zu steigen und erreichte vor 10.000 Jahren 260 ppm und vor der industriellen Revolution 280 ppm, als fossile Brennstoffe für die Energieerzeugung zu dominieren begannen. Die plausibelste Erklärung für den größten Teil dieses Anstiegs ist die Ausgasung von CO₂ aus den Ozeanen, während sie sich mit einem sich erwärmenden Klima erwärmten. [16] Seitdem haben menschliche CO₂-Emissionen dazu beigetragen, den Wert auf etwa 400 ppm anzuheben, ein Wert, der vielleicht in den letzten 10 bis 20 Millionen Jahren nicht erreicht wurde. Seit Beginn des Industriezeitalters ist CO₂ in etwas mehr als 100 Jahren um 120 ppm oder etwa 230 Gt Kohlenstoff gestiegen, während der geringere "natürliche" Anstieg von 180 ppm auf 280 ppm etwa 15.000 Jahre dauerte. Der Anstieg im Industriezeitalter ist wahrscheinlich auf eine Kombination aus Verbrennung fossiler Brennstoffe, Landnutzungsänderung, Zementherstellung und möglicherweise Ausgasung von CO₂ aus den Ozeanen aufgrund der steigenden globalen Temperatur zurückzuführen. Dieser letzte Punkt ist Gegenstand vieler Diskussionen und Auseinandersetzungen, ist aber im Rahmen dieser Arbeit nicht von grundlegender Bedeutung. [11]

DIE HEUTIGE VERTEILUNG DES KOHLENSTOFFS

Die globale Atmosphäre enthält heute bei etwa 400 ppm CO₂ etwa 850 Gt Kohlenstoff im Vergleich zu den Ozeanen, die etwa 38.000 Gt Kohlenstoff enthalten, von denen die meisten zunächst als CO₂ aus der Atmosphäre aufgenommen wurden. (Siehe Abbildung 4) Daher würde die Emission oder Absorption von 1 Prozent CO₂ aus oder in die Ozeane eine 45-prozentige Änderung des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre bei der gegenwärtigen CO₂-Konzentration bewirken.

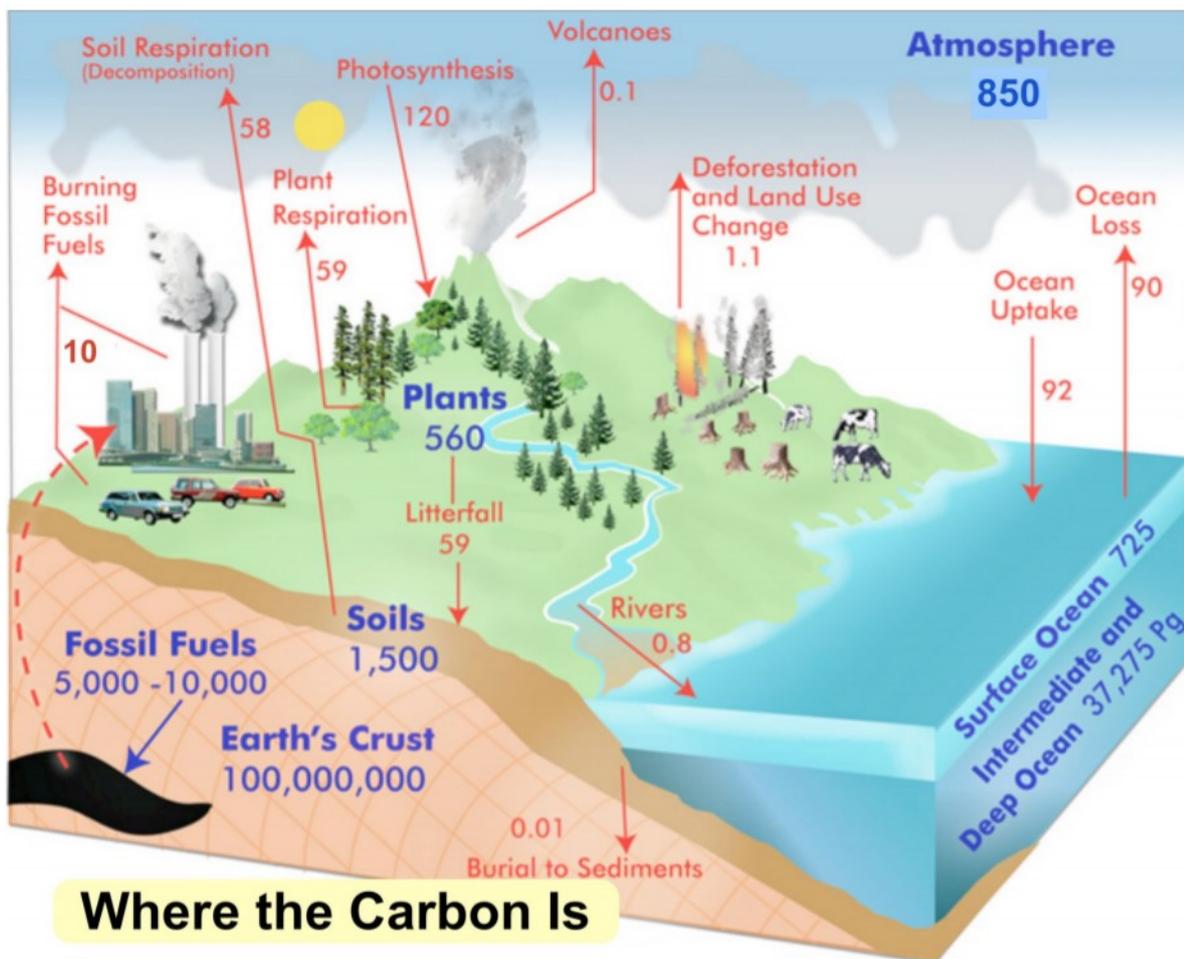


Abbildung 4. Darstellung des globalen Kohlenstoffhaushalts in Gt Kohlenstoff. Blaue Werte sind Kohlenstoffvorräte, rote Werte sind Jahresströme. Beachten Sie, dass der Ozean fast 50 mal so viel Kohlenstoff enthält wie die Atmosphäre, und der Ozean und die Atmosphäre sind in ständigem Fluss. [17]

Die wahrhaft erstaunliche Zahl ist die Schätzung von 100.000.000.000 Gt (hundert Millionen Milliarden Tonnen, auch bekannt als 100 Quadrillionen Tonnen) Kohlenstoff in kohlenstoffhaltigen Gesteinen, die ganz oder größtenteils aus CO_2 in der globalen Atmosphäre stammen. Wäre das gesamte CO_2 in der Atmosphäre geblieben, würde es gewichtsmässig etwa 70 aktuelle globale Atmosphären bei 100 Prozent CO_2 darstellen. Dies unterstreicht die Tatsache, dass in der Frühzeit der Erde riesige Mengen an CO_2 aus dem Vulkanismus ausgegast wurden. In den letzten 3,5 Milliarden Jahren wurde die überwiegende Mehrheit (etwa 99,5 Prozent) des Kohlenstoffs dadurch gebunden, dass CO_2 in kohlenstoffhaltigen Gesteinen und in viel geringerem Maße in fossilen Brennstoffen gebunden wurde. Es ist interessant festzustellen, dass unsere nächsten Nachbarplaneten, Venus und Mars, Atmosphären haben, die vom CO_2 dominiert werden, wahrscheinlich aus frühen Vulkanausbrüchen. Keiner von beiden entwickelte ein Leben, das das CO_2 in CaCO_3 umwandeln konnte, um es in marinen Sedimenten zu vergraben.

CO₂ in den Ozeanen

Die Löslichkeit von CO₂ in den Ozeanen ist abhängig von der Salinität und Temperatur der Ozeane und von der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre. Der Salzgehalt variiert zwischen 30 Teilen pro Tausend und 38 Teilen pro Tausend und ist im Laufe der Zeit relativ konstant. Die Ozeane haben sich seit dem Höhepunkt der Kleinen Eiszeit erwärmt, so dass es wahrscheinlich ist, dass in den letzten 300 Jahren eine Nettoausgasung aus ihnen stattgefunden hat, zumindest bis die vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen ernsthaft begannen. Aus der Literatur geht hervor, dass wir keine endgültigen quantitativen Daten über das Schicksal der derzeitigen 10 Gt Kohlenstoffemissionen haben, die jährlich durch menschliche Aktivitäten entstehen. Wir können den Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre messen, aber ein Teil davon kann auf die Ausgasung aus den sich erwärmenden Ozeanen und nicht auf vom Menschen verursachte Emissionen zurückzuführen sein. Viele Wissenschaftler kommen zum Schluss, dass die Ozeane etwa 25 Prozent der menschlichen CO₂-Emissionen absorbieren und damit die Möglichkeit einer Nettoausgasung von CO₂ ausschließen. Es ist allgemein anerkannt, dass die globale pflanzliche Biomasse aufgrund des erhöhten CO₂-Ausstoßes in der Atmosphäre zunimmt, aber es ist schwierig, dies genau zu quantifizieren. Ein kürzlich erschienenes Papier kam zum Schluss, dass der größte Teil der kurzfristigen CO₂-Aufnahme von terrestrischen Pflanzen stammt und dass sehr wenig, wenn überhaupt, von den Ozeanen aufgenommen wird. [18]

In den letzten Jahren gab es eine Fülle von Papieren, die davor warnten, dass bei anhaltenden CO₂-Emissionen und weiter steigenden CO₂-Werten in der Atmosphäre ein Phänomen eintreten wird, das als "Ozeanversauerung" bezeichnet wird und die gesamte marine Nahrungskette bedroht. Einige postulieren, dass die Abnahme des pH-Wertes der Ozeane es unmöglich macht, dass verkalkende Arten wie Korallen, Muscheln und verkalkende Planktonarten wie Coccolithophore und Foraminiferen ihre Schalen aus CaCO₃ herstellen können. Der Autor hat kürzlich ein ausführliches Papier zu diesem Thema veröffentlicht. Das Papier kommt zum Schluss, dass die "Ozeanversauerung" eine Fabrikation ist und liefert fünf Schlüsselfaktoren, die ein solches Ergebnis verunmöglichen. [19]

CO₂ in der modernen Zeit

Die wichtigste Frage, mit der sich eine Spezies heute auf der Erde konfrontiert sieht, ist, wie lange es ohne vom Menschen verursachte CO₂-Emissionen gedauert hätte, bis der allmähliche Abbau von CO₂ in der Atmosphäre auf ein Niveau gefallen wäre, das aufgrund von CO₂-Hunger die Biomasse zu verringern beginnt und damit den Beginn des Endes des Lebens auf der Erde signalisierte?

Es wird allgemein angenommen, dass vulkanische Aktivität zu massiven CO₂-Emissionen führt, die mit den vom Menschen verursachten Emissionen vergleichbar oder größer sind. Dies ist nicht der Fall. Während das

ursprüngliche atmosphärische CO₂ das Ergebnis einer massiven Ausgasung aus dem Erdinneren war, gibt es keine Hinweise darauf, dass der Atmosphäre während des 140 Millionen Jahre andauernden Rückgangs, der bis zur Gegenwart anhielt, große Mengen an neuem CO₂ zugeführt wurden. Der Ausbruch des Pinatubo, des größten in der jüngeren Geschichte, hat schätzungsweise 2 Prozent der jährlichen vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen verursacht. Daher könnte man ohne vom Menschen verursachte Emissionen vernünftigerweise davon ausgehen, dass der CO₂-Gehalt wie in den letzten 140 Millionen Jahren weiter gesunken wäre. [20]

Nach dem Timing der vielen glazialen und interglazialen Perioden während der pleistozänen Eiszeit zu urteilen, könnte die nächste große Eiszeit jederzeit beginnen. Interglaziale Perioden waren im Allgemeinen von 10.000 Jahren Dauer, und die jetzige holozäne Interglazialperiode begann vor fast 12.000 Jahren. Ohne vom Menschen verursachte CO₂-Emissionen und andere Umweltauswirkungen besteht kein Grund zu bezweifeln, dass eine weitere große Vergletscherung stattgefunden hätte, die dem Muster folgt, das seit mindestens 800.000 Jahren besteht, wie es das Europäische Projekt für Eiskerne in der Antarktis (EPICA) [21] festgestellt hat, und das vermutlich seit 2,5 Millionen Jahren der Pleistozän-Eiszeit besteht. Diese Gletscher haben mit den Milankovitch-Zyklen übereingestimmt. [22] (Siehe Abbildung 5) Die Milankovitch-Zyklen werden durch Schwankungen in der Erdumlaufbahn und durch Zyklen der Neigung der Erde zur Sonne bestimmt. Die starke Korrelation zwischen dem Beginn großer Eiszeiten in den letzten 800.000 Jahren und den Milankovitch-Zyklen hat die Mehrheit der Geowissenschaftler und Klimatologen veranlasst, die Hypothese zu akzeptieren, dass die großen Eiszeiten in einer Kausalwirkungsbeziehung mit den Milankovitch-Zyklen verbunden sind.

90 Millionen Jahre lang, von der späten Jurazeit bis zum frühen Tertiär, stieg die globale Temperatur erheblich an, während der CO₂-Spiegel stetig zurückging.

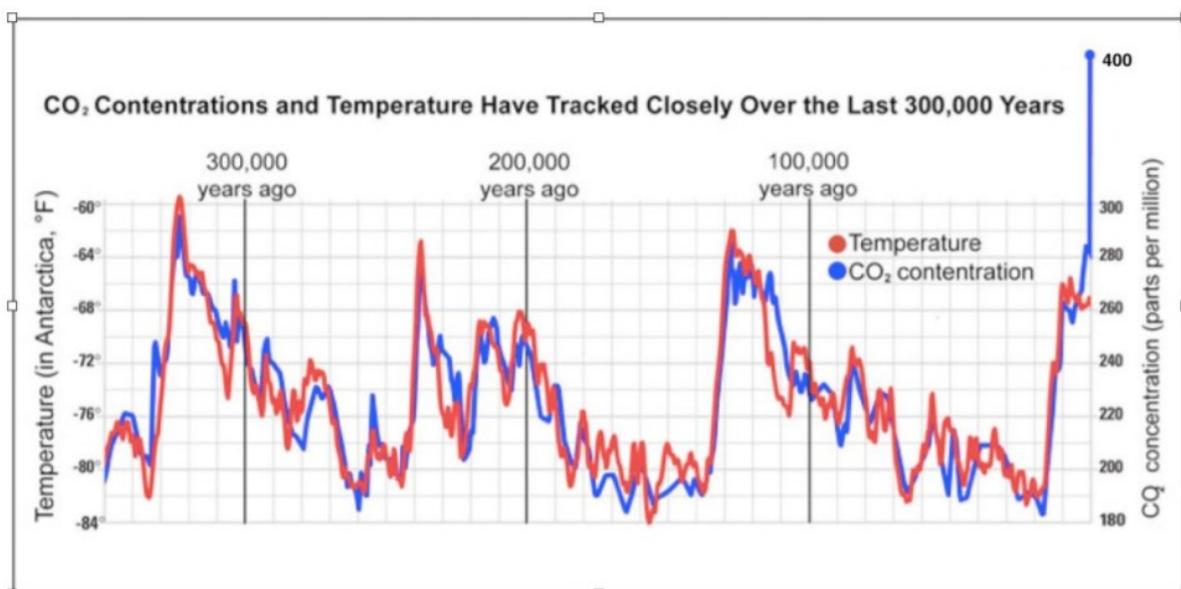


Abbildung 5. Grafik, die die atmosphärische CO₂-Konzentration und Temperatur in der Antarktis für die letzten vier Interglazialperioden zeigt, eng verbunden mit den Milankovitch-Zyklen von 100.000 Jahren. Diese Grafik basiert auf Daten aus den 420.000-Jahres-Aufzeichnungen, die aus den von russischen Wissenschaftlern gebohrten Wostok-Eiskernen gewonnen wurden. [23] Beachten Sie die allmähliche Entwicklung des Beginns kälterer Temperaturen und der schnellen Erwärmung am Ende des Zyklus. Es ist zu beachten, dass die Spitzenerwärmung während der letzten Interglazialperiode (Holozän) geringer ist als in den letzten drei Interglazialperioden. [24]

Dann, nach dem thermischen Maximum des Paläozän-Eozän, begann ein 50 Millionen Jahre dauernder Abklingtrend der globalen Temperatur bis in die heutige Zeit. (Siehe Abbildung 6) Das Paläozän-Eozän-Thermomaximum wies eine durchschnittliche globale Temperatur auf, die bis zu 16°C über der heutigen Temperatur lag. Doch die Vorfahren aller heute lebenden Arten müssen diese Zeit überlebt haben, da sie auch in früheren, viel kälteren Klimazonen überlebt hatten. Es ist lehrreich festzustellen, dass trotz der zahlreichen Perioden extremer klimatischer Bedingungen und katastrophaler Ereignisse jede heute lebende Art von Arten abstammt, die diese Bedingungen überlebt haben. Dies führt dazu, die Vorhersagen über das Massenaussterben von Spezies und den Zusammenbruch der menschlichen Zivilisation in Frage zu stellen, wenn die globale Durchschnittstemperatur einen Anstieg von 2°C über das heutige Niveau hinaus übersteigt. [25] Es mag überraschen, dass die durchschnittliche globale Temperatur in früheren Zeiten 16°C höher gewesen sein könnte, da dies Teile der Erde, die heute warm sind, praktisch unbewohnbar zu machen scheint. Der Schlüssel zum Verständnis dessen ist, dass die Erde, wenn sie sich erwärmt, dies je nach Breitengrad unterschiedlich tut. Während sich die Arktis und Antarktis erheblich erwärmen, gibt es in den Tropen viel weniger Erwärmung. So bleiben die tropischen Regionen bewohnbar, während sich die hohen Breiten von polar zu gemäßigt verschieben, und während der wärmsten Zeiten verschieben sie sich zu einem tropischen Klima.

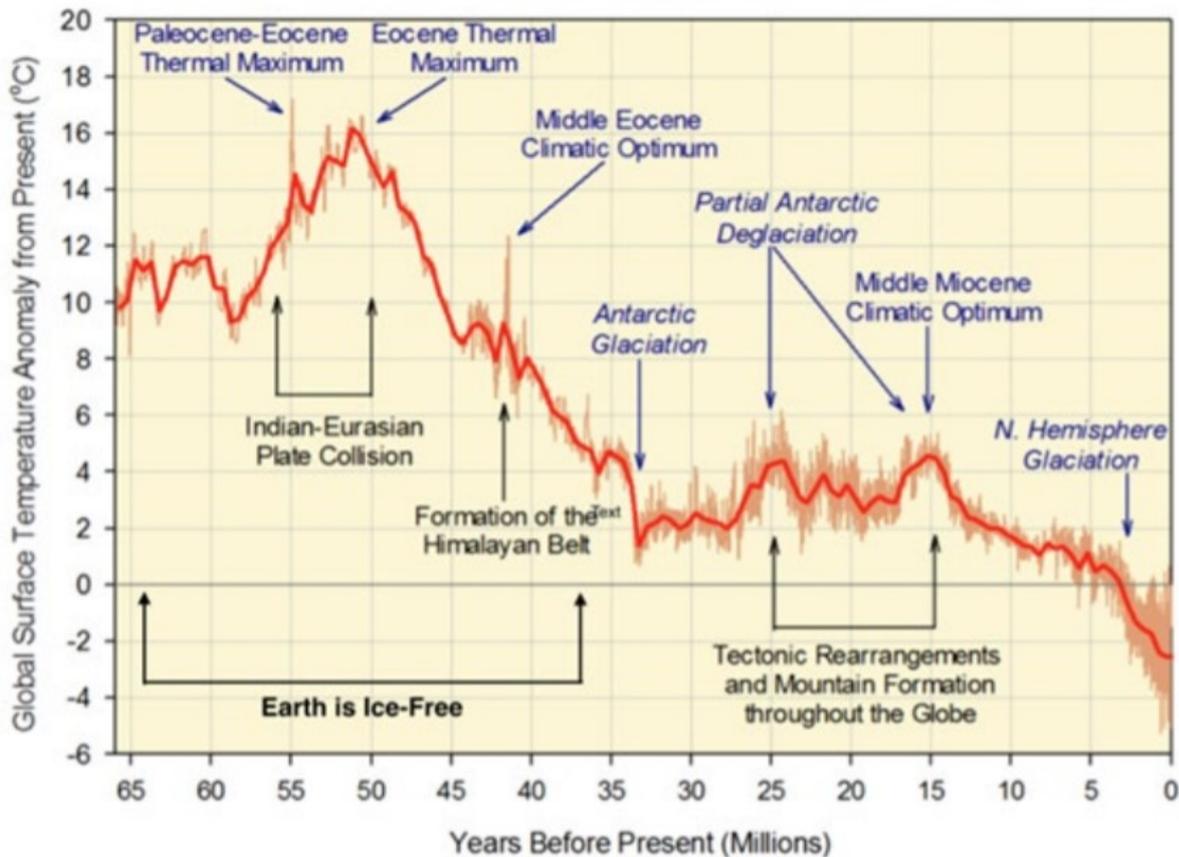


Abbildung 6. Die globale Oberflächentemperatur von 65 Millionen YBP zeigt den größten Kältetrend der letzten 50 Millionen Jahre. Während die Pole deutlich wärmer waren als heute, gab es in den Tropen eine deutlich geringere Erwärmung, die durchgehend bewohnbar blieben. Die Erde befindet sich in einer der kältesten Perioden der letzten 600 Millionen Jahre. [26]

Aus der 800.000 Jahre alten Aufzeichnung der antarktischen Eiskerne geht hervor, dass die kältesten Perioden während der großen Vergletscherungen mit den niedrigsten CO_2 -Werten in der Atmosphäre zusammenfallen. (siehe Abbildung 5) Die Korrelation ist in diesem Zeitraum sicherlich stark genug, um einen kausalen Zusammenhang zwischen CO_2 und Temperatur nahezulegen. In der Literatur gibt es jedoch Meinungsverschiedenheiten darüber, was die Ursache und was die Wirkung ist. Diejenigen, die die Erwärmung im vergangenen Jahrhundert auf Treibhausgasemissionen, insbesondere CO_2 , zurückführen, stimmen auch eher mit der Position überein, die in Al Gores *Eine unbequeme Wahrheit: Der planetarische Notstand der globalen Erwärmung und was wir dagegen tun können*, dargelegt ist, dass die Erwärmung während der Zwischeneiszeit durch steigende CO_2 -Werte verursacht wird. [27] Es ist jedoch problematisch zu postulieren, wie die Milankovitch-Zyklen einen Anstieg oder Rückgang des atmosphärischen CO_2 -Gehalts verursachen könnten, während es plausibel ist, dass die Milankovitch-Zyklen aufgrund von Veränderungen der Sonneneinstrahlung zu einer Schwankung der globalen Temperatur führen könnten, was wiederum entweder zur Ausgasung oder Absorption von CO_2 aus

den Ozeanen führen könnte. Tatsächlich zeigen beide Datensätze von Eiskerndaten aus der Antarktis, dass Temperaturänderungen in der Regel Änderungen des CO₂-Gehalts vorausgehen, was darauf hindeutet, dass Temperaturänderungen die Ursache für Veränderungen des CO₂-Gehalts sind. [28] Manche haben vorgeschlagen, dass der Beginn der Erwärmung nach einer Vergletscherung zwar durch die Milankovitch-Zyklen verursacht wird, die anschließende Ausgasung von CO₂ aus dem Ozean dann aber der vorherrschende Treiber für eine weitere Erwärmung wird. [29] Vermutlich wäre auch anzunehmen, dass die zur Vergletscherung führende Kühlung durch den Milankovitch-Zyklus ausgelöst und dann durch einen reduzierten CO₂-Spiegel aufgrund der Meeresabsorption angetrieben wird. Diese Hypothese ist nicht bewiesen.

Es ist äußerst unwahrscheinlich oder vielleicht unmöglich sich vorzustellen, wie CO₂ von vorindustriellen 280 ppm auf 400 ppm ohne vom Menschen verursachte Emissionen hätte steigen können. Keine andere Spezies, die in naher Zukunft existiert oder sich präsentiert, ist in der Lage, die massiven Lagerstätten fossiler Brennstoffe zu graben, zu bohren und dann zu verbrennen, um CO₂ wieder in die Atmosphäre freizusetzen, aus der es ursprünglich stammt. Viele Wissenschaftler denken, dass dieser Anstieg des atmosphärischen CO₂ die Hauptursache für die leichte Erwärmung (0,5°C) der Atmosphäre in den letzten 65 Jahren ist. Nur die Zeit wird zeigen, ob dies der Fall ist. Seit dem Höhepunkt der Kleinen Eiszeit um 1700 erwärmt sich das Klima seit etwa 300 Jahren. Es ist möglich, dass die jüngste Erwärmung eine Fortsetzung der längeren Erwärmungsphase ist, die bereits lange bevor menschlich verursachte CO₂-Emissionen eine Rolle spielen konnten, begonnen hatte.

HÖHERE CO₂-KONZENTRATIONEN WERDEN PFLANZENWACHSTUM UND BIOMASSE ERHÖHEN

Es ist gut nachgewiesen, dass der Anstieg des CO₂-Ausstoßes in der Atmosphäre für ein erhöhtes Pflanzenwachstum auf globaler Ebene verantwortlich ist. Viele Studien deuten darauf hin, dass fast 25 Prozent der vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen oder 2,5 Gt Kohlenstoff pro Jahr von Pflanzen aufgenommen werden, was die globale pflanzliche Biomasse erhöht. Eine aktuelle Studie geht davon aus, dass bis zu 50 Prozent der CO₂-Emissionen des Menschen durch vermehrtes Pflanzenwachstum absorbiert werden. [30] Dies wurde als "Ergrünen der Erde" bezeichnet, da CO₂-Konzentrationen erreicht werden, die weit über dem nahezu verhungerten Niveau liegen, das während der großen Vergletscherungen des Pleistozäns erreicht wurde. [31] Der renommierteste australische Wissenschaftsverband, die Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), hat gezeigt, dass CO₂ vor allem Pflanzen zugute kommt, die an trockene Klimazonen angepasst sind. In Umgebungen mit höherem CO₂-Gehalt werden sie bei der Photosynthese effizienter und wachsen schneller, ohne mehr Wasser zu verbrauchen. [32]

Eine der beeindruckendsten Aufzeichnungen stammt aus einem Versuchswald in Deutschland, in dem das Waldwachstum seit 1870 kontinuierlich dokumentiert ist. Seit 1960, als die CO₂-Emissionen rasant zu steigen begannen, ist die Wachstumsrate der einzelnen Bäume um 32 Prozent auf 77 Prozent gestiegen. Während ein Teil davon auf den leichten Temperaturanstieg seit 1960 zurückzuführen ist, steht die viel höhere Wachstumsrate im Einklang mit Labor- und Feldstudien über die Auswirkungen eines erhöhten CO₂-Gehalts auf Pflanzen. [33]



Abbildung 7. Craig Idso, CO₂-Experte und Autor der CO2Science-Website [34], die die Wachstumsrate von Kiefern unter Umgebungsbedingungen gegenüber der Zugabe von 150 ppm, 300 ppm und 450 ppm CO₂ demonstriert. In einer CO₂-höheren Welt wird das Wachstum von Nahrungsmitteln, Wäldern und wilden Landschaften auf der ganzen Welt stark zunehmen. Studien zeigen auch, dass höhere CO₂-Werte in den Ozeanen zu einem verstärkten Wachstum von Phytoplankton und anderen Meerespflanzen führen. [35]

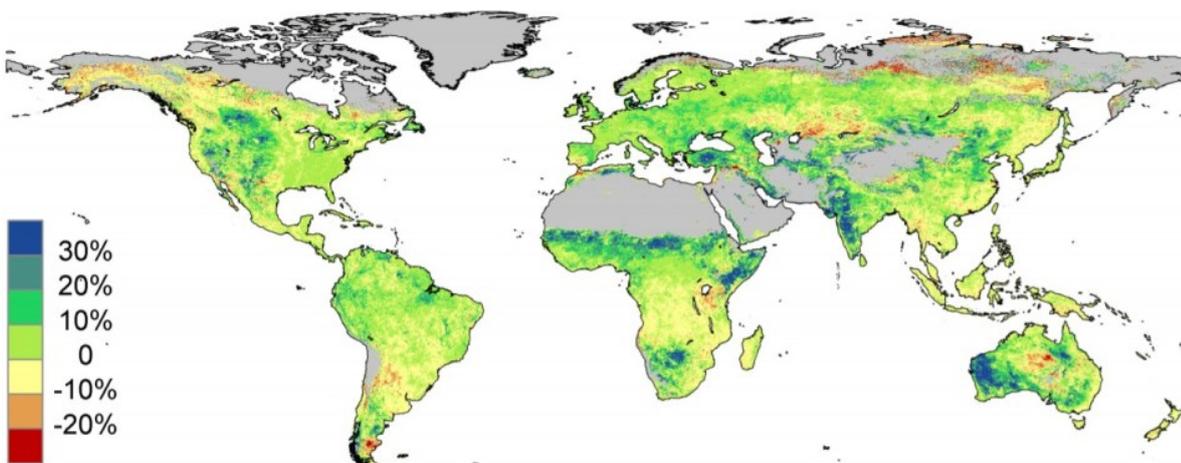


Abbildung 8. Veränderung der Netto-Primärproduktivität der Vegetation 1982 bis 2010. Die trockensten Regionen wie Westaustralien, Subsahara-

Afrika, Westindien und die Great Plains Nordamerikas weisen den größten Anstieg des Pflanzenwachstums auf. [36]

Es ist nicht allgemein bekannt, dass Treibhausgärtner weltweit zusätzliches CO₂ in ihre Gewächshäuser einspritzen, um das Wachstum und den Ertrag ihrer Pflanzen zu steigern. Unter Gartenbauern ist es bekannt, dass diese Praxis das Wachstum um 40 Prozent oder mehr steigern kann. Denn der optimale CO₂-Gehalt für das Pflanzenwachstum liegt zwischen 1.000 ppm und 3.000 ppm in der Luft, viel höher als die 400 ppm in der globalen Atmosphäre heute. [37] Jede Art auf der Erde, auch unsere eigene, stammt von Vorfahren ab, die in Klimazonen mit viel höheren CO₂-Gehalten als heute gediehen sind.

Diskussion

Die Debatte über den Klimawandel hat eine Seite, die darauf besteht, dass die "Wissenschaft geregelt ist". Es gibt jedoch keinen wissenschaftlichen Beweis dafür, dass ein erhöhter CO₂-Ausstoß zu einer Katastrophe führen wird, da das CO₂ in den meisten Zeiten des Lebens auf der Erde höher war als heute. Andererseits kann man ohne Zweifel sagen, dass, wenn CO₂ wieder auf das Niveau von vor 18.000 Jahren oder darunter fällt, eine Katastrophe eintreten würde, wie sie in der Geschichte der Menschheit unbekannt ist. Wir werden von vielen Wissenschaftlern darauf hingewiesen, dass wir uns Sorgen machen sollten, dass der CO₂-Gehalt höher steigt, während wir uns eigentlich Sorgen machen sollten, dass der CO₂-Gehalt sinken könnte.

Atmosphärische CO₂-Konzentrationen in der Zukunft

Wenn der Mensch nicht begonnen hätte, fossile Brennstoffe zur Energiegewinnung zu nutzen, ist davon auszugehen, dass die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre so weiter gesunken wäre wie in den letzten 140 Millionen Jahren. Es ist auch anzunehmen, dass das Erdklima weiterhin zwischen relativ langen Perioden der Vergletscherung und relativ kurzen Perioden des interglazialen Klimas ähnlich dem heutigen Klima schwanken würde. Angesichts des anhaltenden Rückzugs von Kohlenstoff aus der Atmosphäre in die Sedimente der Ozeane wäre es nur eine Frage der Zeit, bis das CO₂ während einer Eiszeit auf 150 ppm oder weniger sinkt. Bei einer durchschnittlichen Rate von 32 Kt Kohlenstoffverlust pro Jahr würde dies in weniger als zwei Millionen Jahren geschehen. Mit anderen Worten, der Beginn des Endes des meisten Lebens auf dem Planeten Erde würde in weniger Jahren in der Zukunft beginnen, als unsere Gattung der Primaten, der Homo, als eigenständige taxonomische Einheit existiert hat.

Es ist lehrreich festzustellen, dass es sich bei unserer Spezies um eine tropische Spezies handelt, die sich am Äquator in Ökosystemen gleich warm oder wärmer als heute entwickelt hat. Wir konnten die Wärme des tropischen Klimas nur durch die Nutzung von Feuer, Kleidung und

Gebäudeunterkünften verlassen. Dies ermöglichte es uns, uns in gemäßigten Klimazonen und sogar in der Arktis am Meer niederzulassen, wo sowohl domestizierte Hunde als auch Meeressäuger einem sehr kleinen Bestand das Leben ermöglichen. Allerdings können wir keine Nahrungspflanzen im Überfluss auf Gletschern oder in gefrorenem Boden anbauen. Außerdem könnten wir nirgendwo viel von allem anbauen, wenn der CO₂-Gehalt unter 150 ppm sinkt. Es besteht die klare Möglichkeit, dass keine zusätzliche Menge an CO₂ das Klima aus der nächsten großen Eiszeit herausverschiebt. Das ist kein Grund, die Hoffnung aufzugeben, sondern sich darüber zu wundern, dass wir tatsächlich eine Umkehrung des langfristigen CO₂-Trends herbeiführen können, der jetzt durch menschliche CO₂-Emissionen erreicht wurde. Es besteht kein Zweifel, dass sich das Erdinnere in seinem rund 4,6 Milliarden Jahre alten Bestand deutlich abgekühlt hat. Dies macht den massiven Vulkanismus zu einer immer geringer werdenden Wahrscheinlichkeit. Es gibt keinen anderen plausiblen natürlichen Mechanismus, um Kohlenstoff in Form von CO₂ der globalen Atmosphäre zuzuführen.

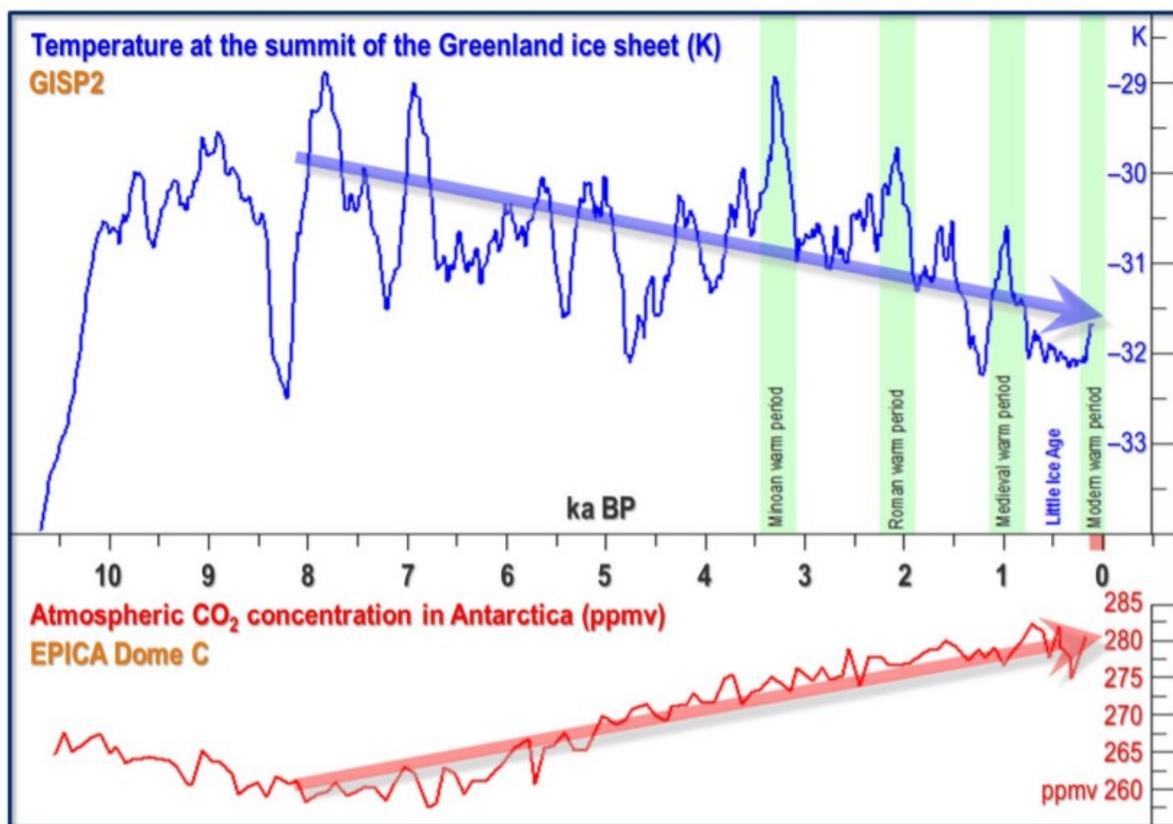


Abbildung 9. Rekonstruierte Grönland-Mitteltemperaturanomalien (oben) und antarktische CO₂-Konzentration (unten). Die Halbierung der Temperaturanomalien zur Berücksichtigung der polaren Verstärkung ergibt eine angemessene Annäherung an die globale Temperaturänderung im Holozän. Seit Beginn des Holozän-Optimums etwa 9.000 Jahre vor der Gegenwart (ka BP) ist die globale Temperatur um ~1°C gesunken, obwohl die CO₂-Konzentration durchweg gestiegen ist. [38]

Die heutige Holozän Zwischeneiszeit hat bereits länger gedauert als einige frühere Zwischeneiszeitperioden. Das Holozän ist auch etwas kühler als frühere interglaziale Perioden. Dringender als der mögliche Hunger des Lebens in zwei Millionen Jahren ist, was zu Beginn der nächsten Vergletscherung geschehen wird, möglicherweise in relativ kurzer Zeit. Ohne die CO₂-Emissionen des Menschen wären sowohl die Temperatur als auch das CO₂ auf ein Niveau gesunken, das zu einer kontinuierlichen Verringerung des Pflanzenwachstums führen würde, was zu ähnlichen oder vielleicht sogar schwereren klimatischen Bedingungen führen würde als bei früheren Vereisungen. Dies würde sicherlich zu einer weit verbreiteten Hungersnot und wahrscheinlich zum Zusammenbruch der menschlichen Zivilisation führen. Dieses Szenario würde keine zwei Millionen Jahre dauern, sondern möglicherweise nur ein paar tausend. Selbst wenn die Bedingungen der Kleinen Eiszeit in den nächsten hundert Jahren mit einer Bevölkerung von neun Milliarden oder mehr Menschen wieder auftauchten, können wir sicher sein, dass die Bevölkerung nicht lange Zeit neun Milliarden betragen würde. Es gibt ein starkes Argument dafür, dass sich die Erde bereits in einem Abkühlungstrend befindet, der in den nächsten 100.000 Jahre dauernden Zyklus der Hauptvergletscherung absinkt. Siehe Abbildung 5 und stellen Sie fest, dass in den drei vorangegangenen interglazialen Perioden ein scharfer Höhepunkt erreicht wurde, gefolgt von einem stetigen Abwärtstrend der Temperatur. Die Spitzentemperatur in dieser holozänen Interglazialzeit lag während des Holozän-Optimums vor 5.000 bis 9.000 Jahren. Seitdem nehmen die Erwärmungsspitzen ab, und die Kälteperioden sind kälter geworden. Die Kleine Eiszeit, die vor etwa 300 Jahren ihren Höhepunkt erreichte, war wahrscheinlich die kälteste Klimaperiode seit dem Holozän-Optimum. [39]

Ein Paradigmenwechsel in der Wahrnehmung von CO₂

Der unabhängige Wissenschaftler James Lovelock liefert ein interessantes Beispiel für diese beiden gegensätzlichen Vorhersagen von zukünftiger Katastrophe versus Errettung durch CO₂, einem Teil des für das Leben benötigten CO₂ zurück in die Atmosphäre und gleichzeitigem Genuss von reichlich Energie aus fossilen Brennstoffen zu günstigen Preisen. In den letzten 550 Millionen Jahren ist es zu einem allmählichen Netto-CO₂-Verlust aus der Atmosphäre gekommen, von etwa 14.000 Gt auf etwa 370 Gt auf dem niedrigsten Niveau während des Höhepunkts der letzten Eiszeit. Das ist eine Reduktion um fast 98 Prozent eines der wichtigsten Nährstoffe für das Leben auf der Erde. Wenn die CO₂-Emissionen des Menschen im vergangenen Jahrhundert fehlen, ist es schwer vorstellbar, wie dieser Prozess der kontinuierlichen CO₂-Abscheidung unterbrochen werden könnte. Für neue Emissionen wäre ein massiver Vulkanismus in einem Ausmaß erforderlich, das seit mehr als 200 Millionen Jahren nicht mehr zu beobachten war. Er ist zweifellos einer der führenden Experten in der Atmosphärenchemie, [40] weshalb ihn die NASA beauftragte, einen Teil der Lebenserkennungsausrüstung für die ersten US-Marslander zu entwickeln. [41] Aus den Ergebnissen schloss er, dass es kein Leben auf dem Mars gibt.

Seit der Veröffentlichung seines ersten Buches über die Gaia-Hypothese im Jahr 1979 beschäftigte sich Lovelock mit den Auswirkungen der menschlichen Zivilisation auf die globale Atmosphäre. [42] Er wurde ein starker Befürworter der Reduktion der CO₂-Emissionen und erklärte, dass der Mensch eine "Schurkenspezies" gegen Gaia (die Erde) geworden sei. Er ging so weit, 2006 zu erklären:

"Bevor dieses Jahrhundert vorbei ist, werden Milliarden von uns sterben, und die wenigen Brutpaare, die überleben, werden in der Arktis sein, wo das Klima erträglich bleibt... ein gebrochener Pöbel unter der Führung brutaler Warlords." [43]

Nur vier Jahre später, in einer öffentlichen Rede im Londoner Science Museum im Jahr 2010, widerrief Lovelock:

"Es lohnt sich zu bedenken, dass das, was wir bei der Schaffung all dieser Kohlenstoffemissionen tun, weit entfernt von etwas Schrecklichem, den Beginn einer neuen Eiszeit stoppt.

Wenn wir nicht auf der Erde erschienen wären, wäre es an der Zeit, eine nächste Eiszeit zu durchlaufen, und wir können uns unseren Teil anrechnen, das aufgehalten zu haben.

Ich hasse dieses ganze Getue mit dem sich schuldig fühlen für das, was wir tun." [44]

Diese abrupte Umkehrung von Lovelocks Interpretation von CO₂ ist genau das, was allgemein erforderlich ist, um die Tragödie zu vermeiden, dass Milliarden von Menschen eine preiswerte und zuverlässige Energie entzogen wird, insbesondere solche, die sich aus der Armut befreien müssen. Es muss ein totaler Paradigmenwechsel stattfinden, von der Verteufelung fossiler Brennstoffe und der Angst vor CO₂ als giftigem Schadstoff hin zur Feier des CO₂ als Lebensspender, während gleichzeitig die fossilen Brennstoffe immer effizienter genutzt werden. Wie bei Lovelock sollten wir hoffen, dass sich CO₂ als der moderate Erwärmungseinfluss erweisen wird, der in der Theorie vorhergesagt wird. Eine etwas wärmere Welt mit einem höheren CO₂-Gehalt in der Atmosphäre würde zu einer grüneren Welt mit mehr pflanzlicher Biomasse, höheren Erträgen von Nahrungsmitteln und Bäumen, einem gastfreundlicheren Klima in hohen nördlichen Breitengraden und einer möglichen Verringerung der Wahrscheinlichkeit einer weiteren großen Vereisung führen. Es ist höchst wahrscheinlich und ironisch, dass die Existenz des Lebens selbst sein eigenes Ende vorbestimmt haben könnte, vor allem durch die Entwicklung

von CaCO_3 als Panzerung in marinen Organismen. [45] Die Tatsache, dass Menschen in der Lage zu sein scheinen, dieses Schicksal vorübergehend umzukehren, weil wir CO_2 durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Energiegewinnung in die Atmosphäre zurückführen, grenzt an das Wunderbare. Dennoch gibt es nur eine begrenzte Menge fossiler Brennstoffe, die nach der Verbrennung kurz- bis mittelfristig nicht mehr erneuerbar sind. Der größte Teil des Kohlenstoffs wird in kohlenstoffhaltige Gesteine, hauptsächlich als CaCO_3 , gebunden. Heute stammen etwa 5 Prozent der menschlichen CO_2 -Emissionen aus der Umwandlung von CaCO_3 mit Wärme in CO_2 und CaO (Kalk) zur Herstellung von Zement. Wenn also fossile Brennstoffe in den kommenden Jahrhunderten knapp werden und das CO_2 wieder zu schwinden beginnt, haben wir die Möglichkeit, zusätzliches CO_2 zu erzeugen, indem wir Kalkstein mit Atom- oder Solarenergie verbrennen, wobei Kalk für Zement als nützliches Nebenprodukt entsteht. Dies hat das Potenzial, die Existenz einer hochproduktiven lebenden Erde in die ferne Zukunft zu verlängern.

Aus der vorangegangenen Diskussion geht hervor, dass die menschlichen CO_2 -Emissionen nicht zu katastrophalen klimatischen Bedingungen führen, sondern dazu dienen, ein Gleichgewicht im globalen Kohlenstoffkreislauf wiederherzustellen. Indem wir den 140 Millionen Jahre dauernden Rückgang des atmosphärischen CO_2 umkehren, tragen wir dazu bei, den Fortbestand des kohlenstoffbasierten Lebens auf der Erde sicherzustellen.

SCHLUSSBETRACHTUNG

CO_2 ist lebensnotwendig, und zweimal in der Geschichte des modernen Lebens gab es Perioden mit einem starken Rückgang der CO_2 -Konzentration in der globalen Atmosphäre. Hätte sich dieser Rückgang in Zukunft in gleichem Maße fortgesetzt, würde CO_2 schließlich auf ein Niveau sinken, das zur Unterstützung der Pflanzenwelt unzureichend ist, möglicherweise in weniger als zwei Millionen Jahren. Besorgniserregender ist die Möglichkeit, dass in naher Zukunft während einer zukünftigen Vereisung das CO_2 auf 180 ppm oder weniger sinken kann, was das Wachstum von Nahrungsmitteln und anderen Pflanzen stark reduziert. Die menschlichen CO_2 -Emissionen haben diese Möglichkeit verhindert, so dass zumindest während einer Eiszeit das CO_2 hoch genug wäre, um eine produktive Agrarindustrie aufrechtzuerhalten.

Ein 140 Millionen Jahre dauernder Rückgang des CO_2 auf Werte, die einer Bedrohung des Überlebens jeglichen Lebens auf der Erde nahe kamen, kann kaum als "das Gleichgewicht der Natur" bezeichnet werden. Insofern stellen die menschlichen Emissionen einen Ausgleich zum globalen Kohlenstoffkreislauf her, indem sie einen Teil des CO_2 wieder in die Atmosphäre zurückführen, der durch Photosynthese und CaCO_3 -Produktion entzogen und anschließend an tiefe Sedimente verloren wurde. Dieser äußerst positive Aspekt der menschlichen CO_2 -Emissionen muss sicherlich gegen die unbewiesene Hypothese abgewogen werden, dass die menschlichen CO_2 -Emissionen in den letzten Jahren hauptsächlich für die leichte

Erwärmung des Klimas verantwortlich sind und in den kommenden Jahrzehnten eine katastrophale Erwärmung verursachen werden. Die Tatsache, dass die gegenwärtige Erwärmung vor etwa 300 Jahren während der Kleinen Eiszeit begann, deutet darauf hin, dass sie zumindest teilweise die Fortsetzung der gleichen Naturkräfte sein könnte, die das Klima im Laufe der Zeiten verändert haben.

Trotz vieler gegenteiliger Beweise ist ein Großteil der westlichen Gesellschaft davon überzeugt, dass eine globale Erwärmung und eine Klimakrise bevorstehen. Die Idee des katastrophalen Klimawandels ist stark, da sie alles und jeden auf der Erde umfasst. Vor der "Kohlenstoffbelastung" kann man sich nirgendwo verstecken. Es gibt auch die Kombination aus Angst und Schuld: Wir haben Angst, dass das Fahren mit unseren Autos unsere Enkelkinder umbringt, und wir fühlen uns dafür schuldig. Eine starke Interessenkonvergenz zwischen den wichtigsten Eliten unterstützt und treibt das Klimakatastrophennarrativ voran. Umweltschützer verbreiten Angst und sammeln Spenden ein; Politiker scheinen die Erde vor dem Untergang zu retten; die Medien haben einen Feldday mit Sensation und Konflikten; Wissenschaftler und wissenschaftliche Institutionen sammeln Milliarden von öffentlichen Zuschüssen, gründen völlig neue Institutionen und betreiben einen Nährbodenrausch für beängstigende Szenarien; Unternehmen wollen grün aussehen und erhalten riesige öffentliche Zuschüsse für Projekte, die sonst wirtschaftliche Verlierer wären, wie große Windparks und Solaranlagen. Selbst der Papst der katholischen Kirche hat sich mit einem religiösen Blickwinkel eingemischt.

Bei all diesen Machenschaften geht die unbestreitbare Tatsache verloren, dass das Wichtigste an CO₂ darin besteht, dass es für alles Leben auf der Erde unerlässlich ist und dass die atmosphärische Konzentration von CO₂ vor der Verbrennung fossiler Brennstoffe sehr lange Zeit in eine sehr gefährliche Richtung ging. Sicherlich wäre der "gefährlichste" Klimawandel auf kurze Sicht einer, der nicht genügend Nahrungsmittel produziert, um unsere eigene Bevölkerung zu ernähren. Die aktuelle "Pause" in der globalen Erwärmung, die von zwei Satelliten und Tausenden von Wetterballonen, jetzt fast zwei Jahrzehnte später, aufgezeichnet wird, unterbricht die Hypothese, dass ein höheres CO₂ unweigerlich zu höheren Temperaturen führen wird. [46] Während dieser Periode ohne nennenswerte Erwärmung wurden etwa ein Drittel aller menschlichen CO₂-Emissionen seit Beginn des Industriezeitalters in die Atmosphäre abgegeben. Das beste Ergebnis wäre, dass CO₂ eine gewisse Erwärmung verursacht, aber etwas niedriger als in extremen Vorhersagen angenommen. [47]

Wir sollten diejenigen, die einen katastrophalen Klimawandel voraussagen, einschließlich des Zwischenstaatlichen Ausschusses der Vereinten Nationen für Klimaänderungen (IPCC), einige dringende Fragen nach dem Ergebnis stellen, wenn der Mensch nicht in den Kohlenstoffkreislauf eingegriffen hätte.

- Welche Beweise oder Argumente gibt es, dass das Weltklima nicht in Übereinstimmung mit den Milankovitch-Zyklen in eine nächste Eiszeit zurückkehren würde, wie es zumindest in den letzten 800.000 Jahren wiederholt der Fall war?
- Welche Beweise gibt es, dass wir die globale Höchsttemperatur während dieser holozänen Interglazialzeit nicht bereits überschritten haben?
- Wie können wir sicher sein, dass die nächste Abkühlperiode ohne menschliche Emissionen nicht strenger wäre als die jüngste Kleine Eiszeit?
- Welchen Sinn macht es, angesichts der Tatsache, dass der optimale CO₂-Gehalt für das Pflanzenwachstum über 1.000 ppm liegt und CO₂ den größten Teil der Geschichte des Lebens über diesem Wert lag, eine Senkung des CO₂-Gehalts zu fordern, wenn es keine Anzeichen für einen katastrophalen Klimawandel gibt?
- Gibt es ein plausibles Szenario, das ohne menschliche Emissionen die allmähliche Erschöpfung des CO₂ in der Atmosphäre beenden würde, bis es das Hungerniveau für Pflanzen und damit für das Leben auf der Erde erreicht?

Diese und viele andere Fragen zu CO₂, Klima und Pflanzenwachstum erfordern unser ernsthaftes Nachdenken, wenn wir vermeiden wollen, einige sehr kostspielige Fehler zu machen.

FUSSNOTEN

- [1] IPCC AR5. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] Christopher Monckton, Willie W.-H. Soon, David R. Legates, William M. Briggs. "Why models run hot: results from an irreducibly simple model." *Science Bulletin* 60 (2015): 122–135.
- [3] D.J. Stevenson in *Earth's Earliest Biosphere: It's Origin and Evolution*. Ed. J. William Schopf. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1983, 32.
- [4] D.Y.C. Wang, S. Kumar and S.B. Hedges. "Divergence time estimates for the early history of animal phyla and the origin of plants, animals and fungi." *Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences* 266, no. 1415 (1999): 163–171.
- [5] Nasif Nahle. "Cycles of Global Climate Change." *Biology Cabinet Journal Online*, July 2009. Referencing C.R. Scotese, *Analysis of the Temperature Oscillations in Geological Eras*, 2002; W.F. Ruddiman, *Earth's Climate: Past and Future*, New York, NY: W.H. Freeman and Co., 2001; Mark Pagani et al., "Marked Decline in Atmospheric Carbon Dioxide Concentrations during the Paleocene." *Science* 309, no. 5734

(2005): 600–603.

- [6] R.H. Whittaker. "Primary Production and Plant Biomass for the Earth." Quoted in Peter Stiling, *Ecology: Theories and Applications*, Prentice Hall, 1996.
- [4] Matthew P. Nelsen, William A. DiMichele, Shanan E. Peters and C. Kevin Boyce. "Delayed fungal evolution did not cause the Paleozoic peak in coal production." *PNAS Early Edition*, December 2015.
- [8] David Biello. "White Rot Fungi Slowed Coal Formation." *Scientific American*, 2012.
- [9] Floudas, D. et al. "The Paleozoic Origin of Enzymatic Lignin Decomposition Reconstructed from 31 Fungal Genomes." *Science* 336 (2012): 1715–1719.
- [10] J.R. Petit et al. "Four Climate Cycles in Vostok Ice Core." *Nature* 387 (1997): 359–360.
- [11] J.K. Ward et al. "Carbon starvation in glacial trees recovered from the La Brea tar pits, southern California." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102 (2005): 690–694.
- [12] J.K. Ward. "Evolution and growth of plants in a low CO₂ world." In *A History of Atmospheric CO₂ and Its Effects on Plants, Animals, and Ecosystems*. Eds. J. Ehleringer, T. Cerling and D. Dearing, 232–257. Springer-Verlag, 2005.
- [13] I. Marinov. *The Ocean Carbon Pumps – How do the Oceanic Carbon Pump [sic] Control Atmospheric pCO₂? Theory and Models*, 2011.
- [14] Joanne Nova. "The 800 year lag in CO₂ after temperature – graphed." JoNova.
- [15] G. Santomauro et al. "Formation of Calcium Carbonate Polymorphs Induced by Living Microalgae." *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology* vol. 3 no.4 (2012): 413–420.
- [16] J.B. Pedro, S.O. Rasmussen and T.D. van Ommen. "Tightened constraints on the time-lag between Antarctic temperature and CO₂ during the last deglaciation." *Climate Past* 8 (2012): 1213–1221.
- [17] GLOBE Carbon Cycle Project. "Global Carbon Cycle." 2010. Adapted from R.A. Houghton, "Balancing the Global Carbon Budget," *Annu. Rev. Earth Planet*, obtained from NASA. Author updated atmospheric CO from 750 to 850 and fossil fuel CO₂ emissions from 7.7 to 10 to reflect current levels.
- [18] P. Peylin et al. "Global atmospheric carbon budget: results from an ensemble of atmospheric CO₂ inversions." *Biogeosciences* 10 (2013): 6699–6720.
- [19] Patrick Moore. "Ocean Acidification 'Alarmism' in Perspective." *Frontier Centre for Public Policy*, November 2015.
- [20] U.S. Geological Survey. "Which produces more CO₂, volcanic or human activity?" February 2007.
- [21] EPICA Community Members. "Eight glacial cycles from an Antarctic ice core." *Nature* 429 (2004): 623–628.
- [22] J.D. Hays, J. Imbrie, N.J. Shackleton. "Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages." *Science* 194 (4270) (1976): 1121–1132.

- [23] J.R. Petit, J. Jouzel, D. Raynaud, N.I. Barkov, J.M. Barnola, et al. "Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 years from the Vostok Ice Core Antarctica." *Nature* 399 (1999): 429–436.
- [24] "CO₂ Concentrations and Temperature Have Tracked Closely Over the Last 300,000 Years." Southwest Climate Change Network. Credits the Marian Koshland Science Museum of the National Academy of Sciences.
- [25] M. Fischetti. "2-Degree Global Warming Limit is Called a 'Prescription for Disaster.'" *Scientific American*, 2011.
- [26] Ned Nikolov and Karl Zeller. "Unified Theory of Climate: Expanding the Concept of Atmospheric Greenhouse Effect Using Thermodynamic Principles: Implications for Predicting Future Climate Change." USFS Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, 2011.
- [27] Al Gore. *An Inconvenient Truth: The Planetary Emergency of Global Warming and What We Can Do about It*. New York: Rodale, 2006.
- [28] J.B. Pedro, S.O. Rasmussen and T.D. van Ommen. "Tightened constraints on the time-lag between Antarctic temperature and CO₂ during the last deglaciation." *Climate of the Past* 8 (2012): 1213–1221.
- [29] John Cook. "Why Does CO₂ Lag Temperature?" *Skeptical Science*, January 9, 2010.
- [30] P. Peylin et al. "Global atmospheric carbon budget: results from an ensemble of atmospheric CO₂ inversions." *Biogeosciences* 10 (2013): 6699–6720.
- [31] Randall J. Donohue, Michael L. Roderick, Tim R. McVicar, Graham D. Farquhar. "Impact of CO₂ fertilization on maximum foliage cover across the globe's warm, arid environments." *Geophysical Research Letters* 40 (2013): 3031–3035.
- [32] CSIRO Australia. "Deserts 'greening' from rising carbon dioxide: Green foliage boosted across the world's arid regions." *ScienceDaily*, July 8, 2013.
- [33] H. Pretzsch et al. "Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870." *Nature Communications* 5 (2014): 4967.
- [34] CO₂ Science, Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change, Tempe, Arizona.
- [35] M.D. Iglesias-Rodriguez et al., "Phytoplankton Calcification in a High-CO₂ World," *Science* 320 (5847) (April 2008): 336–340.
- [36] CSIRO Australia. "Deserts 'greening' from rising carbon dioxide."
- [37] R.L. Garcia, S.B. Idso and B.A. Kimball. "Net photosynthesis as a function of carbon dioxide concentration in pine trees grown at ambient and elevated CO₂." *Environmental and Experimental Botany* 34: (1994): 337–341; J.A. Teixeira da Silva, D.T.T. Giang and M. Tanaka. "Micropropagation of Sweetpotato (*Ipomoea batatas*) in a novel CO₂-enriched vessel." *Journal of Plant Biotechnology* 7 (2005): 67–74.
- [38] Michael Pacnik. "Does CO₂ correlate with temperature history? –

- A look at multiple timescales in the context of the Shakun et al. paper.” Watts Up With That? crediting this graph.
- [39] Dr. Robert G. Brown. Quoted in Anthony Watts, “A response to Dr. Paul Bain’s use of ‘denier’ in the scientific literature,” Watts up With That, June 22, 2012.
 - [40] J.E. Lovelock. “A Physical Basis for Life Detection Experiments.” *Nature* 207 (1965): 568–570.
 - [41] D.R. Hitchcock and J.E. Lovelock. “Life detection by atmospheric analysis.” *Icarus* 7 (1967): 149–159.
 - [42] J.E. Lovelock. *Gaia: A New Look at Life on Earth*. New York: Oxford University Press, 1979.
 - [43] Michael McCarthy. “Environment in crisis: ‘We are past the point of no return’.” *The Independent*, January 15, 2006.
 - [44] Donna Bowater. “How carbon gases have ‘saved us from a new ice age.’” *Daily Express*, March 11, 2010.
 - [45] Peter Ward and Donald Brownlee. *The Life and Death of Planet Earth: How the New Science of Astrobiology Charts the Ultimate Fate of Our World*. New York: Henry Holt and Company, 2004.
 - [46] Roy W. Spencer, John R. Christy, and William D. Braswell. “Version 6.0 of the UAH Temperature Dataset Released.” April 28, 2015; Christopher Monckton, Willie Soon and David R Legates. “The Profiteers of Doom Were Wrong About Climate.” *Breitbart News*, February 9, 2016.
 - [47] J. Hansen et al. “Ice melt, sea level rise and superstorms: evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that 2°C global warming is highly dangerous.” *Atmos. Chem. Phys. Discuss* 15 (2015): 20059–20179.
-

BIBLIOGRAPHIE

- Biello, David. “White Rot Fungi Slowed Coal Formation.” *Scientific American*, 2012.
- Bowater, Donna. “How carbon gases have ‘saved us from a new ice age.’” *Daily Express*, March 11, 2010.
- Brown, Robert G. Quoted in Anthony Watts, “A response to Dr. Paul Bain’s use of ‘denier’ in the scientific literature.” *Watts up With That*, June 22, 2012.
- “CO₂ Concentrations and Temperature Have Tracked Closely Over the Last 300,000 Years,” Southwest Climate Change Network.
- CO₂ Science. Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change. Tempe, Arizona.
- Cook, John. “Why Does CO₂ Lag Temperature?” January 9, 2010.
- CSIRO Australia. “Deserts ‘greening’ from rising carbon dioxide: Green foliage boosted across the world’s arid regions.” *ScienceDaily*, July 8, 2013.
- Donohue, Randall J., Michael L. Roderick, Tim R. McVicar and Graham D. Farquhar. “Impact of CO₂ fertilization on maximum foliage cover

- across the globe's warm, arid environments." *Geophysical Research Letters* 40 (2013): 3031–3035.
- EPICA Community Members. "Eight glacial cycles from an Antarctic ice core." *Nature* 429 (2004): 623–628.
 - Fischetti, M. "2-Degree Global Warming Limit is Called a 'Prescription for Disaster.'" *Scientific American*, 2011.
 - Floudas, D. et al. "The Paleozoic Origin of Enzymatic Lignin Decomposition Reconstructed from 31 Fungal Genomes." *Science* 336 (2012): 1715–1719.
 - Garcia, R.L., S.B. Idso and B.A. Kimball. "Net photosynthesis as a function of carbon dioxide concentration in pine trees grown at ambient and elevated CO₂." *Environmental and Experimental Botany* 34: (1994): 337–341.
 - GLOBE Carbon Cycle Project. "Global Carbon Cycle," 2010, adapted from R.A. Houghton, "Balancing the Global Carbon Budget," *Annu. Rev. Earth Planet*, obtained from NASA.
 - Gore, Al. *An Inconvenient Truth: The Planetary Emergency of Global Warming and What We Can Do about It*. New York: Rodale, 2006.
 - Hansen, J. et al. "Ice melt, sea level rise and superstorms: evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that 2°C global warming is highly dangerous." *Atmos. Chem. Phys. Discuss* 15 (2015): 20059–20179.
 - Hays, J.D., J. Imbrie and N.J. Shackleton. "Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages." *Science* 94(4270) (1976): 1121–1132.
 - Hitchcock, D.R. and J.E. Lovelock. "Life detection by atmospheric analysis." *Icarus* 7 (1967): 149–159.
 - Ilesias-Rodriguez, M.D., et al. "Phytoplankton Calcification in a High-CO₂ World." *Science* 320 (5847) (April 2008): 336–340.
 - IPCC AR5. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
 - Lovelock, J.E. "A Physical Basis for Life Detection Experiments." *Nature* 207 (1965): 568–570.
 - ——. *Gaia: A New Look at Life on Earth*. New York: Oxford University Press, 1979.
 - Marinov, I. *The Ocean Carbon Pumps – How do the Oceanic Carbon Pump [sic] Control Atmospheric pCO₂? Theory and Models*, 2011.
 - McCarthy, Michael. "Environment in crisis: 'We are past the point of no return.'" *The Independent*, January 15, 2006.
 - Monckton, Christopher, Willie Soon and David R Legates. "The Profiteers of Doom Were Wrong About Climate." *Breitbart News*, February 9, 2016.
 - Monckton, Christopher, Willie W.-H. Soon, David R. Legates and William M. Briggs. "Why models run hot: results from an irreducibly simple model." *Science Bulletin* 60 (2015):122–135.
 - Moore, Patrick. "Ocean Acidification 'Alarmism' in Perspective."

Frontier Centre for Public Policy, November 2015.

- Nahle, Nasif. "Cycles of Global Climate Change." *Biology Cabinet Journal Online*, July 2009. .
- Nelsen, Matthew P., William A. DiMichele, Shanan E. Peters and C. Kevin Boyce. "Delayed fungal evolution did not cause the Paleozoic peak in coal production." *PNAS Early Edition*, December 2015.
- Nikolov, Ned and Karl Zeller. "Unified Theory of Climate: Expanding the Concept of Atmospheric Greenhouse Effect Using Thermodynamic Principles: Implications for Predicting Future Climate Change." USFS Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, 2011.
- Nova, Joanne. "The 800 year lag in CO₂ after temperature – graphed." JoNova.
- Pacnik, Michael. "Does CO₂ correlate with temperature history? – A look at multiple timescales in the context of the Shakun et al. paper," *Watts Up With That?* obtained from this graph.
- Pagani, Mark et al. "Marked Decline in Atmospheric Carbon Dioxide Concentrations during the Paleocene." *Science* 309, no. 5734 (2005): 600–603.
- Pedro, J.B., Rasmussen, S.O. and van Ommen, T.D. "Tightened constraints on the time-lag between Antarctic temperature and CO₂ during the last deglaciation." *Climate Past* 8 (2012): 1213–1221.
- Petit, J.R. et al. "Four Climate Cycles in Vostok Ice Core." *Nature* 387 (1997): 359–360.
- Petit, J.R., J. Jouzel, D. Raynaud, N.I. Barkov, J.M. Barnola, et al. "Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 years from the Vostok Ice Core Antarctica." *Nature* 399 (1999): 429–436.
- Peylin, P. et al. "Global atmospheric carbon budget: results from an ensemble of atmospheric CO₂ inversions." *Biogeosciences* 10 (2013): 6699–6720.
- Pretzsch, H. et al. "Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870." *Nature Communications* 5 (2014): 4967.
- Ruddiman, W.F. *Earth's Climate: Past and Future*. New York, NY: W.H. Freeman and Co., 2001.
- Santomauro, G. et al. "Formation of Calcium Carbonate Polymorphs Induced by Living Microalgae." *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology* vol. 3 no.4 (2012): 413–420.
- Scotese, C.R. *Analysis of the Temperature Oscillations in Geological Eras*, 2002.
- Spencer, Roy W., John R. Christy, and William D. Braswell. "Version 6.0 of the UAH Temperature Dataset Released." April 28, 2015.
- Stevenson, D.J. In *Earth's Earliest Biosphere: Its Origin and Evolution*. Ed. J. William Schopf. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1983.
- Teixeira da Silva, J.A., D.T.T. Giang and M. Tanaka. "Micropropagation of Sweetpotato (*Ipomoea batatas*) in a novel CO₂-enriched vessel." *Journal of Plant Biotechnology* 7 (2005): 67–74.
- U.S. Geological Survey. "Which produces more CO₂, volcanic or human activity?" February 2007.
- Wang, D.Y.C., S. Kumar and S.B. Hedges. "Divergence time estimates

for the early history of animal phyla and the origin of plants, animals and fungi." Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences 266, no. 1415 (1999): 163–171.

- Ward, J.K. "Evolution and growth of plants in a low CO₂ world." In A History of Atmospheric CO₂ and Its Effects on Plants, Animals, and Ecosystems. Eds. J. Ehleringer, T. Cerling and D. Dearing, 232–257. Springer-Verlag, 2005.
 - Ward, J.K. et al. "Carbon starvation in glacial trees recovered from the La Brea tar pits, southern California." Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 102 (2005): 690–694.
 - Ward, Peter and Donald Brownlee. The Life and Death of Planet Earth: How the New Science of Astrobiology Charts the Ultimate Fate of Our World. New York: Henry Holt and Company, 2004.
 - Whittaker, R.H. "Primary Production and Plant Biomass for the Earth." Quoted in Peter Stiling, Ecology: Theories and Applications, Prentice Hall, 1996.
-

Dr. Patrick Moore



Dr. Patrick Moore ist Senior Fellow des Programms Energy, Ecology and Prosperity am Frontier Centre for Public Policy. Seit über 40 Jahren ist er führend im internationalen Umweltbereich. Dr. Moore ist Mitbegründer von Greenpeace und war neun Jahre lang Präsident von Greenpeace Kanada und sieben Jahre lang Direktor von Greenpeace International. Nach seiner Zeit bei Greenpeace trat Dr. Moore der Forest Alliance of British Columbia bei, wo er zehn Jahre lang an der Entwicklung der Prinzipien der nachhaltigen Forstwirtschaft arbeitete, die inzwischen von einem Großteil der Industrie übernommen wurden. Im Jahr 2013 veröffentlichte er Confessions of a Greenpeace Dropout – The Making of a Sensible

Environmentalist, das seine 15 Jahre bei Greenpeace dokumentiert und seine Vision für eine nachhaltige Zukunft beschreibt.

Der Beitrag erschien zuerst hier