

Ohne CO₂ kein Leben

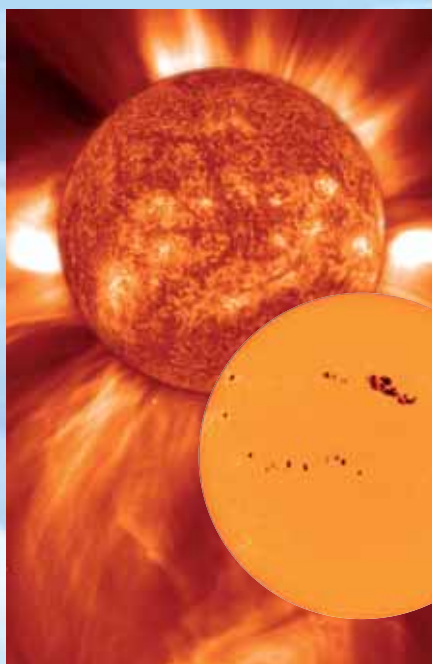
Das Kohlendioxid im globalen Kreislauf

Von Prof. Dr.-Ing. Bert Küppers, Roetgen.

„CO₂ ist einer der größten Klimakiller“, propagieren Umweltschützer und Wissenschaftler. *raum&zeit* hat die Treibhausthese bereits mehrmals kritisch hinterfragt. Dr. Wolfgang Thüne wies in „Die Märchen von Erderwärmung, Polschmelze und Treibhauseffekt“ darauf hin, dass heutige Klimaforscher zu voreilig Schlüsse aus kurzfristigen Beobachtungen ziehen (*raum&zeit* Nr. 114). Seiner Meinung nach relativieren sich die höheren Durchschnittstemperaturen, wenn man sie vor dem Hintergrund der gesamten Erdgeschichte betrachtet. Prof. Dr. Bert Küppers stellt nun in diesem Artikel heraus, dass CO₂ in einen umfassenden Kreislauf aus Fotosynthese, Kalkbildung im Meer und Vulkanausstoß eingebunden ist, der der menschlichen Einflussnahme völlig entzogen ist.

Die gegenwärtige CO₂-Diskussion ist gekennzeichnet von ziemlich vagen Annahmen und Beobachtungen über die physikalischen Gegebenheiten in der Erdatmosphäre. Es geht im Wesentlichen um die steigende von Menschen verursachte Kohlendioxidemission, die dazu beitragen soll, dass das in der Atmosphäre sich ansammelnde Kohlendioxid irreversibel unsere Umwelt zerstören wird. Diese Theorie konnte bisher nicht bewiesen werden. Angesichts der enormen finanziellen Mittel, die weltweit aufgewandt werden, um der Bedrohung durch eine angedachte Klimakatastrophe zu entkommen, ist es notwendiger denn je, die wissenschaftlichen Voraussetzungen dazu stets erneut kritisch zu überprüfen. Sieht man, wie das Kohlendioxid in die großen Gleichgewichtssysteme des Lebens eingebunden ist und welche Rolle es bei der Entwicklung des Lebens auf der Erde spielte, offenbaren sich Zusammenhänge, die das heutige Klima in einem völlig anderen Licht erscheinen lassen, als dies in der heutigen öffentlichen Diskussion der Fall ist. Bisher geht ein Großteil der Wissenschaftler davon aus, dass ein beträcht-

licher Teil der jährlich in die Atmosphäre eingebrachten anthropogenen Kohlendioxid-Emission von 25 Gigatonnen pro Jahr, nicht gänzlich in der Atmosphäre verbleibt, sondern vom Meer gewissermaßen passiv in einem rein physikalisch wirkenden Absorptionsprozess aufgenom-



men wird. Naheliegender ist aber auch die Vermutung, dass das Leben auf der Erde, Flora und Fauna, daran einen wesentlichen Anteil haben, und es sich hier möglicherweise um einen aktiven sich selbst kontrollierenden biochemischen Prozess handelt, der die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre beeinflusst.

Messdaten und Interpretation

Die laufende Erfassung von Klimadaten ist natürlich die Voraussetzung für jede wissenschaftliche Aussage zum Klimageschehen. Ebenso wichtig für eine solche Aussage ist jedoch die Art und Weise, wie die gewonnenen Daten verarbeitet werden. Es ist heute üblich, aus kurz nacheinander gewonnenen Daten das Geschehen in die Vergangenheit sowie in die Zukunft zu extrapolieren. Wer dabei die Konvergenzkriterien für solche Extrapolationen nicht beachtet, läuft Gefahr, dabei völlig in die Irre zu gehen. Was die bisherigen Klimavorhersagen gezeigt haben. Diese Vorgehensweise geht außerdem davon aus, dass alle Phänomene des Klimas von vornherein instabil sind und es nur eines geringen Anlasses bedarf, das System aus dem Gleichgewicht zu bringen.

Gleichgewichtsprozesse in der Natur

Diese Betrachtungsweise wird jedoch dem Geschehen in der Natur nicht gerecht. Denn es handelt sich bei allen in der Natur zu beobachtenden Phänomenen um Gleichgewichtsprozesse, die sich selbst kontrollieren und zunächst in sich stabil sind. Deshalb muss eine vernünftige Vorgehens-

Die Sonne strahlt mal mehr mal weniger Energie ab. Diese Schwankungen sind jedoch Teil eines Gleichgewichtssystems, vergleichbar mit dem des Kohlendioxid ist.

© SOHO, NASA

weise die Frage stellen: Woraus bestehen die Antagonisten dieser Gleichgewichtsprozesse? Wie stabil ist das jeweilige System? Und natürlich die Frage: Ist dieses System vom Menschen beeinflussbar?

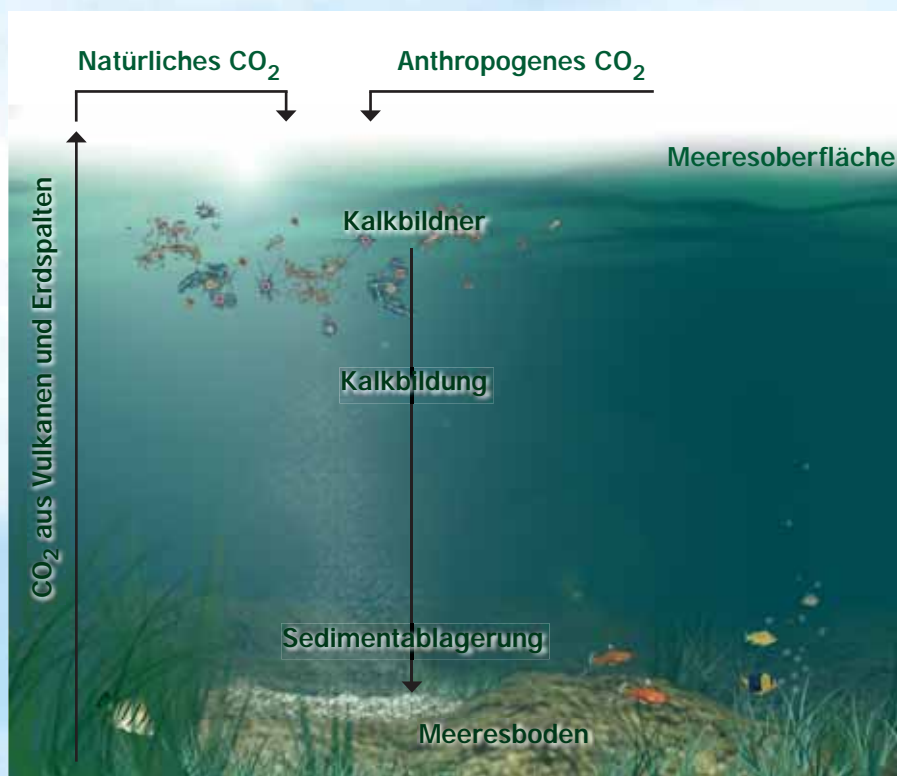
Ein typisches Beispiel für ein sich selbst kontrollierendes System ist die Energieabstrahlung der Sonne. Die Energieabstrahlung der Sonne schwankt, sichtbar an den Sonnenflecken, in bestimmten Perioden um wenige Zehntel Prozent. Diese Schwankungen zeigen, dass es sich hier um einen dynamischen adaptiven Gleichgewichtsprozess handelt. Der Antagonismus besteht hier in der Gravitation einerseits, und der Expansion der durch die Dichte geführten Kernreaktion andererseits.

Auch beim Klimageschehen auf der Erde bewirkt eine von der Sonne ausgehende erhöhte Strahlung eine von der Temperatur abhängige Verdunstung des Wassers an der Meeresoberfläche. Im Gegenzug bildet sich durch die verstärkte Kondensation des Wasserdampfes in großen Höhen eine Wolkendecke, die die einfallende Sonnenenergie wieder ins All zurückstrahlt und das darunter befindliche Meerwasser wieder abkühlen lässt. Deshalb wird auch eine theoretisch angenommene Erderwärmung die Gletscher an den Polen nicht abschmelzen, sondern eher anwachsen lassen.

Dies als Beispiele für sich selbst kontrollierende Prozesse aus dem Klimageschehen. Generalisierend kann man sagen, dass alles was existiert, nur in einem durch einen Antagonismus vorgegebenen, sich selbst stabilisierenden Gleichgewichtszustand existieren kann. Dies gilt für alle Phänomene im Makrokosmos, jede Existenz in der Biosphäre, genau so wie im Mikrokosmos. Man kann da auch unterscheiden zwischen statischen Gleichgewichtszuständen und dynamischen Gleichgewichtsprozessen. Etwa Zustände, die durch einen Fluss oder Strom aufrecht erhalten werden. Letzteres scheint der Vorgang zu sein, der die Zusammensetzung der Erdatmosphäre stabilisiert. Allgemein gilt: Jeder stabile Zustand des Seins setzt immer ein Gleichgewicht voraus, ein instabiles System kann nicht auf Dauer existieren.

Störfaktor Mensch

Der Mensch hat es in vielen Fällen geschafft, Gleichgewichtszustände zu zerstören. Indem er beispielsweise das Lebensumfeld verschiedener Tier- und Pflanzenarten ver-



Der Ozean ist eine große Kalkfabrik, die in einem biochemischen Prozess ausschließlich das Kohlendioxid der Atmosphäre zu Kalk verarbeitet. Die Kalkbildner „grasen“ die lichtdurchflutete Meeresoberfläche nach dem für sie lebensnotwendigen Kohlendioxid aus der Atmosphäre ab. In diesem autokatalytischen Prozess leben die Kalkbildner immer an der Existenzschwelle, weil sich ihre Population je nach verfügbarem Kohlendioxid vermehrt oder vermindert, mit der Folge, dass sie die Kohlendioxid-Konzentration der Atmosphäre immer konstant halten.

Grafik: raum&zeit

ändert hat, brachte er diese direkt oder indirekt zum Aussterben.

In diesem Zusammenhang kann man natürlich die Frage stellen:

Ist der Mensch im Rahmen seiner technischen Möglichkeiten in der Lage, die Grundlagen seiner eigenen Existenz im eigenen Biotop zu zerstören?

Ist es zum Beispiel möglich, dass sich durch die beträchtliche anthropogene Kohlendioxid-Emission das Klima verändert und dies letztlich in einer die menschliche Existenz bedrohenden Klimakatastrophe endet?

Geht man davon aus, dass ein beträchtlicher Teil der anthropogenen Kohlendioxid-Emission in der Atmosphäre verbleibt, und ein weiterer Anteil vom Meer, gewissermaßen passiv, in einem rein physikalisch wirkenden Absorptionsprozess aufgenommen wird, und rechnet man all das Kohlendioxid dagegen, das im Laufe von Jahrmillionen aus dem Erdinneren aus Vulkanen und Erdspalten in die Atmosphäre eingebracht wurde, so liegt die Vermutung nahe, dass es einen solchen passiven Speicher, der über Milliarden Jahre

das gesamte in die Biosphäre strömende Kohlendioxid hätte aufnehmen können, gar nicht geben kann.

Neueste Forschungen haben dazu ergeben, dass die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre im Mittel immer konstant war, obwohl man von einem beträchtlichen jährlichen Zufluss an Kohlendioxid aus Vulkanen oberhalb und unterhalb des Meeresspiegels ausgehen muss. Der Ätna auf Sizilien zum Beispiel speit davon etwa 40 000 Tonnen täglich in die Atmosphäre. Es ist sogar anzunehmen, dass die Kohlendioxidkonzentration weit früher in der Erdgeschichte in etwa der heutigen entsprach, denn ohne ein Konzentrationsverhältnis CO₂ zu O₂, wie wir es heute vorfinden, ist die Entwicklung höherer Lebewesen gar nicht denkbar. Es ist auch nicht anzunehmen, dass dieses Geschehen so außerhalb anerkannter und erkennbarer naturwissenschaftlicher Gesetze abläuft. Es ist hier vielmehr ein einfach zu beschreibender biochemischer Prozess erkennbar, der bereits in der frühen Erdgeschichte die Kohlendioxid-Konzentration kontrolliert hat.



Vulkane setzen riesige Mengen CO₂ frei. Links der Ätna auf Sizilien, rechts der Kilauea auf Hawaii.

Es liegt daher nahe, den Einfluss der Kohlendioxid-Konzentration auf das Wachstum von Flora und Fauna näher zu untersuchen, einen Rückblick in die Erdgeschichte zu tun und zu vermuten, dass es sich hier vielmehr um einen aktiven, sich selbst kontrollierenden biochemischen Prozess handelt, der bewirkt, dass die Kohlendioxid-Konzentration stets konstant geregelt wird.

Die Entwicklung der Erdatmosphäre

Nur auf der Erde findet man eine nennenswerte Sauerstoffkonzentration, während in der Atmosphäre von Venus und Mars kaum Sauerstoff vorhanden ist. Dagegen ist die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre der Erde äußerst gering, auf Venus und Mars und Venus dagegen liegt sie bei über 95 Prozent. Offenbar hat sich die Atmosphäre der Erde, im Gegensatz zu den Atmosphären anderer Planeten, so verschiedenartig entwickelt, weil die Strahlungsdichte der Sonne eine geeignete Temperatur für die chemische Reaktion der Fotosynthese schuf. Für den Ablauf der Fotosynthese sind drei Dinge wesentlich: eine geeignete Reaktionstemperatur, eine elektromagnetische Strahlung im Spektralbereich von 530 bis 720 Mikrometer (µm) und das Vorhandensein von Wasser und Kohlendioxid. Diese Reaktionsparameter mögen im Laufe der Geschichte für den Ablauf der Reaktion einen unterschiedlichen Stellenwert gehabt haben. Gegenwärtig ist es offenbar so, dass diese



Unsere gesamte Flora nutzt CO₂ um durch Photosynthese organische Verbindungen zu gewinnen.

Reaktion von einem Mangel an verfügbarem Kohlendioxid geführt wird.

Fotosynthetische Lebewesen und Kalkbildner

Der Sauerstoffanteil in der Atmosphäre bildete sich erst allmählich mit der Entstehung fotosynthetischer Lebewesen. So wurde aus Kohlendioxid und Wasser Biomasse und Sauerstoff. Da sich der Sauerstoffanteil erst aus der reinen Kohlendioxid-Atmosphäre durch Fotosynthese gebildet haben kann, lässt sich folgern, dass die Menge an atmosphärischem Sauerstoff in direkter Beziehung steht zur global existierenden Biomasse und zur Masse vorhandener fossiler Energieträger. Mit anderen Worten, würde lebende und fossile Biomasse verbrannt, so würde der Sauerstoff aus der Atmosphäre verschwinden. Nach Abkühlung des Planeten war eine weitere noch wichtigere chemische Reaktion möglich.

Unterhalb einer Temperatur von 912 °C konnte sich aus Kalzium und Kohlendioxid Kalziumkarbonat bilden. Erst danach sind die gewaltigen Kalkgebirge entstanden, zum Teil auf chemischem Wege, zum großen Teil jedoch biochemisch durch Lebewesen, wie die Kalkbildner. Die zurückgelassenen Fossilien geben Zeugnis davon.

Die Bedeutung der Kohlendioxidkonzentration für Flora und Fauna

Es ist wohl unbestritten, dass das Kohlendioxid von zentraler Bedeutung für die Fauna auf der Erde ist, und dass ohne Kohlendioxid kein Leben möglich ist. Frage ist nur, wie sich eine Änderung der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration auf das Pflanzenwachstum auswirkt. Dazu gibt es zahlreiche wissenschaftliche Beiträge.

Eine Auswertung von 342 wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu dem Thema Kohlendioxidkonzentration und Pflanzenwachstum hat ergeben, dass Pflanzen in einer Umgebung mit erhöhter Kohlen-

dioxidkonzentration ihre Wachstumsrate erheblich steigern.¹ Als Ergebnis dieser Untersuchungen findet man, dass eine Erhöhung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre von 350 auf 650 ppmV (parts per million pro volume) das Wachstum um 45 Prozent steigert, und eine Anreicherung auf 2250 ppmV das Wachstum sogar um 165 Prozent steigen lässt.

CO₂ angereicherte Atmosphäre fördert Pflanzenwuchs

Der interessanteste Aspekt aus diesen Veröffentlichungen ist jedoch das Zusammenwirken von physiologischen Randbedingungen, CO₂ und Pflanzenwachstum.

Lichtarmut

So wurde beobachtet, dass Pflanzen bei geringerem Lichteinfall in angereicherter CO₂-Atmosphäre gut gedeihen, während dieselben bei gleichem Lichteinfall und verminderter CO₂-Konzentration bereits eingehen.

Temperaturrextreme

Außerdem hat sich gezeigt, dass Pflanzen in angereicherter CO₂-Atmosphäre wesentlich unempfindlicher sind gegenüber extrem hohen und extrem niedrigen Temperaturen, Temperaturrextreme, die eine Pflanze in normaler CO₂-Atmosphäre nicht überlebt.

Nährstoffarme Böden

Dazu wurde festgestellt, dass Pflanzen in einer angereicherten CO₂-Atmosphäre, in der Lage sind, ein starkes Wurzelwerk auszubilden, das ihnen hilft, in nährstoffarmen Böden an Feuchtigkeit und Mineralstoffe zu gelangen. Gleichzeitig sind sie in der Lage, Mikroben wie Stickstoff bindende Bakterien und Pilze an ihrem Wurzelwerk zu bilden. Pflanzen in verminderter CO₂-Atmosphäre können das nicht, und geben vorzeitig auf. Spurenelemente und mineralische Düngemittel wirken nur insofern wachstumsfördernd, als sie die physiologischen Randbedingungen der

Pflanzen gegeneinander verbessern, und den Assimilationsprozess erleichtern.

Wassermangel

Es hat sich gezeigt, dass Pflanzen in angereicherter CO_2 -Atmosphäre weitaus weniger Wasser benötigen, um die gleiche Menge CO_2 zu assimilieren, als jene Pflanzen in normaler Atmosphäre. Das steigert die Fähigkeit der Pflanzen, ihr Wachstum auch in trockene Gebiete auszudehnen, während diese Fähigkeit den Pflanzen in verminderter CO_2 -Atmosphäre abgeht. Das Gleiche gilt bei abnehmender Bodenfeuchtigkeit. Pflanzen in normaler CO_2 -Atmosphäre geben früher auf als Pflanzen, die in angereicherter CO_2 -Atmosphäre aufwachsen, weil sie das Gleichgewicht zwischen

gereicherter CO_2 -Atmosphäre bilden üppige Frucht- und Samenstände aus. Pflanzen in normaler Atmosphäre können das nicht, das heißt ihre Reproduktionsrate geht gegen Null oder wird sogar negativ.

Bei all den genannten physiologischen Randbedingungen entscheidet letztlich die Kohlendioxidkonzentration über Leben oder Tod der Pflanze.

CO_2 -Anstieg lässt Erde grüner werden

In dem Biotop Erde ist die Kohlendioxidkonzentration offenbar die entscheidende Größe, die das Gleichgewicht zwischen Fotosynthese einerseits und Atmung und Verwesung andererseits aufrecht erhält. Da das Kohlendioxid das einzige „Nahrungsmittel“ der Flora ist, muss man annehmen, dass alle Pflanzen in gegenseitiger Nahrungsmittelkonkurrenz stehen und infolgedessen das Kohlendioxid nur in einer wachstumsbegrenzenden Minimalkonzentration vorhanden ist. So wird jede Population letztlich an äußere Grenzen stoßen. An dieser Grenze kann sich jede Population in ihrem Bestand nur vermehren, wenn sich Existenzbedingungen verbessern. Im vorliegenden Fall müsste eine Anreicherung der Atmosphäre durch die anthropogene CO_2 -Emission die existierende Biomasse erhöhen und ein Grünerwerden der Erde auch in polaren und ariden Gebieten ermöglichen.

Auch dazu gibt es zahlreiche unabhängige Veröffentlichungen, die ein erhöhtes Wachstum in der Biosphäre auf Grund der gestiegenen CO_2 -Emission feststellen.¹ So könnte eine weitere Anreicherung mit Kohlendioxid nur positive Wirkungen für das Leben auf der Erde haben.

Es gibt aber auch Autoren, die Messwerte zur Anreicherung von anthropogenem Kohlendioxid rein messtechnisch in Frage stellen.² Hierfür spricht einiges, denn bei gleichbleibender Kohlendioxidkonzentration kann sich die global existierende Biomasse als solche niemals vermehren,



© NASA

Die Sauerstoffatmosphäre lässt den Planeten Erde im All blau erscheinen, das ist einzigartig unter den Planeten.

sondern nur in ihrer Substanz erhalten. Allgemein gilt: Die Pflanzenwelt ist vom Kohlendioxid als Nahrungsmittel abhängig, so wie die Fauna von der fotosynthetisierten Biomasse. Die Fauna kann nur existieren im Rahmen der zur Verfügung gestellten Biomasse. Ebenso wie die Flora nur im Rahmen des ihr gewissermaßen als Nahrungsmittel zur Verfügung stehenden Kohlendioxids existieren kann. Der Mensch ist hier ein Teil der Fauna.

Nahrungsmittelangebot und Bevölkerungswachstum

Auf die Tatsache, dass zwischen dem Nahrungsmittelangebot und Bevölkerungswachstum ein Zusammenhang besteht, hat schon Malthus 1700 hingewiesen, der befürchtete, dass es auf Grund der geometrisch wachsenden Bevölkerung und einer nur linear ansteigenden Nahrungsmittelversorgung zu einer Hungerkatastrophe kommen müsse. Dies wäre mit einiger Sicherheit auch eingetreten, wenn nicht das Bevölkerungswachstum beträchtlich zurückgegangen wäre, und gleichzeitig die Nahrungsmittelgewinnung beträchtlich ausgebaut worden wäre. Dies ist eigentlich eine intellektuelle Leistung des Menschen, denn der Rest der Lebewesen kann das nicht. Bei ihnen ist die Hungerkatastrophe sozusagen Dauerzustand. Sie vermehren sich exponentiell, und geraten dabei sehr schnell hinsichtlich des Nahrungsmittelbedarfs an eine Grenze, die ein weiteres Wachstum verhindert. Dies gilt für die Fauna, hinsichtlich der durch die Flora angebotenen Biomasse, als auch



Die Atmosphären von Mars und Venus enthalten kaum Sauerstoff, dafür über 95 Prozent Kohlendioxid. ©NASA

CO_2 -Assimilation und Veratmung nicht aufrechterhalten können.

Anfälligkeit

Hinzu kommt, dass Pflanzen in einer CO_2 -Mangelsituation wesentlich anfälliger gegen Schadinsekten und Pilzbefall sind.

Fortpflanzung

Ganz wesentlich ist jedoch die für den Erhalt des Lebens auf der Erde notwendige Reproduktionsrate, denn Pflanzen in an-



©Curt Storzzi, www.soundwaves.usgs.gov

Korallen sind tierische Lebewesen, die vom Planeten leben und Kalk abscheiden. Sie bilden die Korallenriffe an den Rändern warmer Meere.

hinsichtlich des der Flora als Nahrungsmittel angebotenen Kohlendioxids.

Für jede Spezies lässt sich sogar ein spezifischer Nahrungsmittelbedarf ausmachen, der mindestens erforderlich ist, um die Population in ihrem Bestand zu erhalten. Als Beispiel stelle man sich einen Züchter vor, der einen Zwinger besitzt, in dem sich zwei Hunde befinden, die in der Lage sind, sich zu vermehren. Als Futtermittel steht ihm täglich eine konstante Menge Q zur Verfügung. Dann wird sich die Anzahl der Tiere n solange vermehren, bis sie an eine natürliche Grenze stößt. Diese Existenzschwelle wird dann erreicht, wenn das spezifische Nahrungsmittelangebot für das einzelne Exemplar den Wert $cs = Q/n$ unterschreitet.

An dieser Schwelle kann ein neues Exemplar nur entstehen durch die Verdrängung eines anderen. Überzählige Tiere sterben dann nicht unmittelbar am Hunger, sondern an Defiziten, die sie sich aufgrund der Unterernährung zugezogen haben. Die Anzahl der Tiere bleibt jedoch an dieser Schwelle konstant.

Wenn man nun das Nahrungsmittelangebot erhöht oder vermindert, so stellt sich die Population stets so ein, dass die physiologische Existenzschwelle für das



Kalkgehäuse bildende Schnecken sind eine der artenreichsten Tierarten aus dem Stamm der Molusken.

einzelne Exemplar erhalten bleibt. Auf diese Weise stellt sich die Natur stets so ein, dass sie sich in einem Kreislauf jedem Nahrungsmittelangebot anpasst.

Was für die Fauna gilt, gilt analog auch für die Flora. Denn das Kohlendioxid ist das einzige „Nahrungsmittel“ der fotosynthetisierenden Lebewesen. All diesen Lebewesen steht es gleichermaßen begrenzt in der Kohlendioxidkonzentration der Atmosphäre zur Verfügung.

Der Kreislauf des Kohlendioxids in der Atmosphäre

Das grundlegende elementare Ereignis, das das Leben in seiner heutigen Existenzform auf der Erde schuf, ist die Photosynthese. Die ersten Organismen, die die Photosynthese beherrschten, waren die Blaualgen oder Cyanobakterien. Für den Ablauf der Photosynthese sind drei Dinge wesentlich: Eine geeignete Reaktionstemperatur, die elektromagnetische Strahlung der Sonne und das Vorhandensein von Wasser und Kohlendioxid.

Die gesamte gegenwärtige Flora, in der Atmosphäre wie in der Hydrosphäre, nutzt das vorhandene anorganische Kohlendioxid, um durch Photosynthese organische Verbindungen herzustellen, die sie zum Aufbau ihrer eigenen Substanz benötigt. Bei diesem Vorgang wird Sonnenenergie in der produzierten Biomasse gespeichert und Sauerstoff frei, der global betrachtet, für die Bildung der Sauerstoff-Atmosphäre verantwortlich ist. Dieser chemische Prozess läuft auch in umgekehrter Richtung ab: Die gespeicherte Sonnenenergie reagiert mit dem Sauerstoff der Atmosphäre und wird wieder freigesetzt. In dieser Sauerstoffatmosphäre atmen und verwesen wiederum alle aeroben Lebewesen und stellen der Flora das für sie notwendi-

ge Kohlendioxid wieder zur Verfügung. So schließt sich der Kreislauf.

Der Kreislauf des Kohlendioxids in der Hydrosphäre

Unterhalb des Meeresspiegels findet zwischen Flora und Fauna auch ein CO_2 -Kreislauf von Fotosynthese, Atmung und Verwesung statt, der wie in der Atmosphäre in sich geschlossen ist.

Zusätzlich wird aber im Meer ein großer Teil des vorhandenen Kohlendioxids dauerhaft gebunden, durch tierische und pflanzliche Kalkbildner. Zunächst scheint das Leben unterhalb der Wasseroberfläche spärlicher zu sein als auf der Erdoberfläche. Es dürfte aber insgesamt dort mehr Biomasse und eine größere Artenvielfalt existieren als auf der Erdoberfläche.

Bei den Lebewesen im Meer lassen sich grundsätzlich unterscheiden:

Lebewesen, die fest am Meeresboden leben

Das sind zum Beispiel pflanzliche Algen, die Nahrungsgrundlage sind für die Kalkskelett bildenden tierischen Molusken und Korallen,

Lebewesen, die frei im Meer schweben

Diese Mikroorganismen bezeichnet man auch als Plankton. Hier unterscheidet man das Phytoplankton, das sind pflanzliche Lebewesen, wie zum Beispiel die kalkbildenden Coccolithophoriden, und das Zooplankton, das sind tierische Lebewesen, wie die Foraminiferen.

Andere tierische und pflanzliche Kalkbildner

Über die Bodenbewohner und das Plankton hinaus gibt es natürlich unterhalb der Meeresoberfläche eine Unzahl von anderen Lebewesen, sowohl tierische als pflanzliche, die Kalkbildner sind. Diese sind in der Lage, mit dem ihnen zur Verfügung stehenden Kohlendioxid und dem

im Meer reichlich in ionendisperser Form vorhandenen Kalzium, das schwerlösliche Kalziumkarbonat zu bilden.

Die Kalkbildner verarbeiten ausschließlich das Kohlendioxid aus der Atmosphäre.

Bei einem C-14 Isotopenvergleich stellt man fest, dass das gesamte von den Kalkbildnern aufgenommene Kohlendioxid der Atmosphäre entnommen ist. Dies gilt auch für den Anteil des Kohlendioxids der sich letztlich in Form des Kalziumkarbonats am Meeresboden absetzt.

Kalkalgen brauchen CO₂ und bilden Kalk

Den größten Teil der Meeresbewohner dürften die fotosynthetischen Lebewesen ausmachen wie die so genannten Cocolithophoriden (Kalkplättchenträger), weil sie in ungeheurer Anzahl in der lichtdurchfluteten Meeresoberfläche vorhanden sind. Von diesen, nur wenige Mikrometer großen pflanzlichen Organismen, findet man bis zu 35 Millionen Exemplare auf einem Liter Meerwasser. Diese auch als Kalkalgen bekannten Mikroorganismen leben im Licht durchfluteten Raum der Meeresoberfläche und benötigen zur Photosynthese das im Wasser des Meeres gespeicherte Kohlendioxid.

Dieses dürfte allerdings kaum als Gas, wie in der Atmosphäre, vorhanden sein, denn das Meerwasser ist basisch. Bei einem pH-Wert von 7,8 – 8,2 wird die schwache Kohlensäure gebunden, und liegt entweder in Form des schwerlöslichen Kalziumkarbonats vor, oder in Form des leicht löslichen Kalziumhydrokarbonats.

Das leicht lösliche Hydrogenkarbonat, das sich stets aus dem atmosphärischen neu bildet, dürfte die wesentliche Quelle des Kohlendioxids sein, das die Algen zur Photosynthese brauchen. So lösen die Algen das Kohlendioxid aus dieser Verbindung und bilden gleichzeitig das schwerlösliche Kalziumkarbonat. Dabei wird laufend durch die Bildung von Kalziumkarbonat, das sich am Meeresboden absetzt, der Atmosphäre Kohlendioxid entnommen.

Dieser „CO₂-Verbrauch“ ist beachtlich. Die von den Kalk bildenden Lebewesen nach dem Ableben zurückgelassenen Stützgehäuse und Skelette entziehen dem Meer Kohlendioxid, das sich als Kalziumkarbonat (CaCO₃) am Meeresboden absetzt.

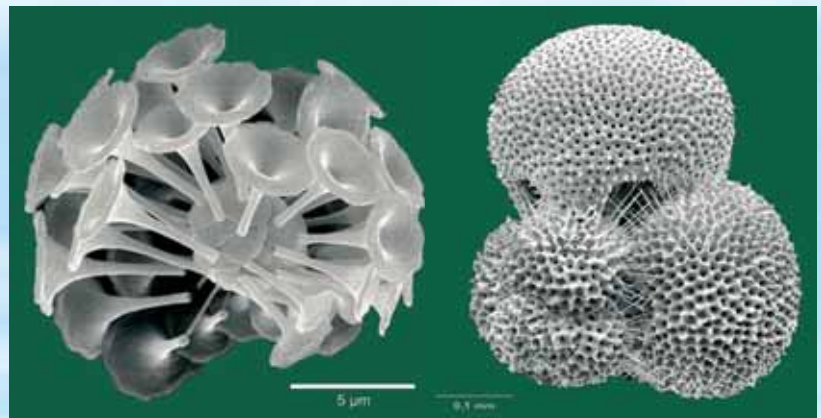
Von Ablagerungen am Meeresboden zu Gebirgen

Blickt man zurück in die Erdgeschichte, sieht man, dass die gewaltigen Kalkgebir-

ge biogenen Ursprungs sind. Dies ist auch unschwer an den hinterlassenen Fossilien zu erkennen, deren Konturen man in dem abgelagerten Kalziumkarbonatsediment ausmachen kann. Die Stützskelette der Mikroorganismen setzen sich als Schlamm am Meeresboden ab (Globigerinenschlamm). Aber auch bei Gebirgen wie den Dolomiten, die zu 80 Prozent aus Kalziumkarbonat und zu 20 Prozent aus Magnesiumkarbonat bestehen, muss ein biogener Ursprung angenommen werden, seit man

lendioxidmenge einschätzt, es muss über die Jahrtausende immer eine gegenüber dieser Kohlendioxid-Senke gleichgroße Quelle bestanden haben. Diese nie versiegende Quelle dürfte der Vulkanismus sein, die Kohlendioxid ausgasenden Vulkane oberhalb und unterhalb des Meeresspiegels, vulkanische Gebirgsformationen und die Erdspalten an den Kontinentalrändern.

Dabei wird im Erdinneren das Kalziumkarbonat in einem Prozess, der dem Kalkbrennen vergleichbar ist, bei etwa 1000 °C



Fotosynthetischer Meeresbewohner: Cocolithophoriden (links), Foraminiferen (rechts), Blaualge (unten).

©NLfB, www.bgr.de

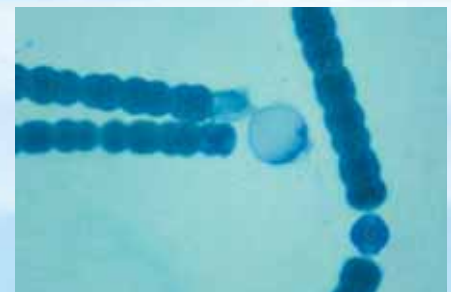
eine Spezies von Mikroorganismen gefunden hat, die auch Magnesiumkarbonat zu bilden vermag.

Die Beobachtung, dass sich etwa auf Schiffswracks im Laufe weniger Jahre eine dicke Schicht Kalziumkarbonat bildet, lässt darauf schließen, dass dieser Prozess der Kalksedimentation heute genau so abläuft, wie in den frühen Jahren der Erdgeschichte.

Geologen haben festgestellt, dass die Sedimentschicht auf dem Meeresboden in einem Jahrtausend um 3,5 Zentimeter wächst. Daraus lässt sich errechnen, dass die jährliche Kalkablagerung bei etwa 20 Gigatonnen liegt. Zu einem geringen Teil dürften diese durch chemische Ausfällung entstanden sein. Ein weiterer Teil dieser Carbonatbildung kann durch das oberirdisch verwitternde, ins Meer eingespülte, Kalziumkarbonat erklärt werden.

Die Kohlendioxidbilanz

Der für die oben beschriebene biogene Kalkbildung notwendige CO₂-Zufluss entstammte Jahrtausenden lang natürlichen Quellen. Pro Jahr kann man hier eine Menge von 8 Gigatonnen errechnen. Gleichgültig aber wie hoch man die jährlichen auf diese Art der Biosphäre entnommene Koh-



len Kohlendioxid getrennt. Das Kalzium löst sich in der glühenden flüssigen Magma, gerät über Vulkane und Erdspalten an die Erdoberfläche, und wird mit dem Regen durch die verwitternde Lava ins Meer gespült, wo es in ionendisperser Form ohnehin schon reichlich vorhanden ist, während das Kohlendioxid an die Erdoberfläche tritt.

Auf diese Weise finden wir hier nicht nur eine unendlich ergiebige CO₂-Quelle, sondern durch die Kalkbildung auch eine CO₂-Senke mit unendlichem Speichervermögen. Existierte diese Kohlendioxid-Senke nicht, so wäre über Jahrtausenden das der Atmosphäre zufließende Kohlendioxid zum beherrschenden Gas der Atmosphäre geworden.

Der hochreaktive Prozess der Fotosynthese

Man kann den Prozess der Fotosynthese als reinen verfahrenstechnischen Prozess betrachten, bei dem die fotosynthetischen Lebewesen als Katalysator wirken, und bei dem das Kohlendioxid für den Prozessablauf der wichtigste Parameter ist. Der Ablauf eines solchen Prozesses wird immer von der Komponente geführt, die minimal vorhanden ist. Die Chemiker bezeichnen einen solchen Prozess als autokatalytischen Prozess. Bei diesem Prozess beschleunigt sich die Reaktion durch einen Stoff, der durch die Reaktion selbst gebildet wird.

Als diesen „Stoff“ muß man hier, nach Lage der Dinge, die bei der Reaktion entstandenen fotosynthetischen Lebewesen ansehen. Diese können sich sehr schnell vermehren. Mikroorganismen

wie diese vermehren sich durch Zellteilung, und können so unter Laborbedingungen ihren Bestand innerhalb von 20 Minuten verdoppeln. Wenn sie ihren Bestand innerhalb von 20 Minuten verdoppeln, so könnte das innerhalb 24 Stunden 72 mal geschehen. Dabei würde sich ihre Biomasse so vermehren, dass innerhalb von wenigen Stunden der gesamte Kohlendioxidvorrat der Biosphäre verbraucht wäre. Denn das Kalk bildende Phytoplankton ist nicht nur äußerst reaktiv, es ist auch in ungewöhnlicher Zahl bereits vorhanden. Von den Kalk bildenden, nur wenige Mikrometer großen Kalkalgen, den Cocolithophoriden, findet man bis zu 35 Millionen Exemplare in einem Liter Meerwasser und von den wenig größeren Foraminiferen 2,5 Millionen.

Das Geheimnis der CO₂-Kontrolle

Durch die Bildung von Kalkabsonderungen, Stützgehäusen und Skeletten entziehen die Kalkbildner der Biosphäre laufend Kohlendioxid. Das gilt sowohl für die Kalkalgen, die ohne ihre photosynthetisierte Biomasse keine Kalkablagerungen bilden können, als auch für alle tierischen Kalkbildner, die von der photosynthetisierten Biomasse des Phytoplanktons leben.

Ohne CO₂ kann Leben nicht existieren. Vermindert man die Kohlendioxidkonzentration kontinuierlich gegen Null, so wird irgendwann eine Schwelle überschritten, an der Leben nicht mehr möglich ist. An der Existenzschwelle können nur so viele Exemplare einer Population entstehen, wie gleichzeitig absterben. Bei einem CO₂-Eintrag in die Atmosphäre, gleichgültig ob natürlich oder anthropogen, ändert sich nur Umfang der Population, aber nicht die Existenzschwelle. Die gegenwärtig lebende Kalkbildnerpopulation lebt an dieser Existenzschwelle. Dadurch, dass sie das Kohlendioxid der Atmosphäre entnehmen, das heißt verbrauchen, ist die Existenzschwelle immer gleich der in der Atmosphäre verbliebenen Kohlendioxid-Konzentration (in der Atmosphäre 0,033 Prozent).

Populationen an einer solchen Existenzschwelle sind durchaus stabil. Sie passen sich nach Art und Umfang dem jeweiligen Nahrungsmittelangebot an. So werden die Kalkbildner jedes CO₂-Überangebot unmittelbar abarbeiten, bis die Schwellenkonzentration wieder erreicht ist.

Auf diese Weise erhält sich das Leben in dem Biotop Erde, weil jede gleich wie zu-

geführte Menge an CO₂, schnell umgesetzt wird bis zu einer Minimalkonzentration, an der Existenzschwelle, die das Wachstum begrenzt und den Prozessablauf kontrolliert aufrechterhält.

Hier liegt ein einfach zu beschreibender verfahrenstechnischer Prozess⁵ vor, wie aus der Physik, Chemie, Biologie und allgemeiner Verfahrenstechnik bekannt, der außerdem die Eigenschaft hat, dass er keine bleibende Abweichung zulässt. Dabei wird die Kohlendioxidkonzentration als Minimalkonzentration an der Existenzschwelle der Lebewesen immer konstant gehalten und ist völlig unabhängig von der Höhe des CO₂-Zustroms, also auch der anthropogenen CO₂-Emission. Das heißt, eine vermehrte CO₂-Produktion durch den Menschen führt lediglich dazu, dass eine vermehrte Kalkbildung in den Ozeanen stattfindet, nicht aber zu einem dauerhaften Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre.

Dies steht im Gegensatz zu der gegenwärtigen Treibhaus-Theorien, die davon ausgehen, dass die anthropogene Kohlendioxid-Emission sich in der Atmosphäre sich dauerhaft ansammelt und das Klima beeinflussen könnte.

Der für die Aufrechterhaltung des Gleichgewichtszustandes eingangs erwähnte Antagonismus besteht hier einerseits in dem Unvermögen der Symbiose aus Algen und Kalkbildnern, ohne Kohlendioxid zu existieren, und andererseits in der Tatsache, dass sie sich durch Kohlendioxid-Verbrauch selbst in diese Mangelsituation bringen. Die Darstellungen zeigen, dass es sich, wie eingangs erwähnt, bei dem Kohlendioxid-Kreislauf um einen sich selbst kontrollierenden adaptiven Prozess handelt und geben geordnete Hinweise für einen Forschungsansatz. Aus dieser Sicht sind allerdings auch alle denkbaren Bemühungen zum vermeintlichen Klimaschutz durch Verminderung des Kohlendioxidausstoßes völlig unnötig und nutzlos. Es ist an keiner Stelle zu erkennen, dass der Mensch irgendeine Möglichkeit hat, dauerhaft dort einzugreifen, selbst wenn er alle, ihm zur Verfügung stehenden, fossilen Kohlenstoffvorräte freisetzen sollte. Der Mensch ist, in diesem Geschehen eingebettet, vielmehr Objekt, denn dieser Prozess hat das Leben über Jahrmillionen auf der Erde ermöglicht, und sorgt auch in Zukunft dafür, dass die Lebensbedingungen dauerhaft erhalten bleiben. ■

Der Autor

Prof. Dr.-Ing. Bert Küppers,

Jahrgang 1931, ehemals Hochschullehrer an der Bergischen Universität in Wuppertal und an der Fachhochschule in Aachen.



Literatur

1 Sherwood, Idso: „Plant Responses to Rising Levels of Atmospheric Carbon Dioxide“. Global Warming Report, European Science and environment Forum (ESEF) 1996

2 Eberhard, Heyke: „Eisbohrkerne und Vulkankrater“. Leserschrift Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 7.4.2004

3 Pearsen, Paul, M. und Palmer, Martin, M.: „Middle Eocene Seawater pH and Atmospheric Carbon Dioxide Concentrations“. Science, Bd. 284, S. 1824

4 Pagani, Arthur, Freeman: „Miocene evolution of atmospheric carbon dioxide“. Paleooceanography, Bd. 14, S. 273

5 Küppers, Bert: „Treibhauseffekt – ein Ende mit Schrecken“. Fusion 18. Jahrgang, Heft 2/1997

6 Küppers, Bert: „Biogene Kalkbildung und Kohlendioxid-Emission“. Naturwissenschaftliche Rundschau, 51. Jahrgang, Heft 12/1997