



Protokoll einer unausweichlichen Katastrophe

von Holger Kroker

Unsere Erde ist ein blauer Planet, der geradezu überquillt von Leben. Selbst in den tiefsten Tiefen des Meeres, tief im Gestein, ja sogar im antarktischen Eis existieren Organismen. Seit mindestens 2,5 Milliarden Jahren gibt es Leben auf diesem so durchschnittlichen Steinplaneten, der seit 4,5 Milliarden Jahren um einen sehr durchschnittlichen Stern kreist. Planet und Leben sind eine sehr enge Verbindung eingegangen und haben sich gegenseitig geprägt. Doch das wird nicht bis in alle Ewigkeit so weitergehen.

Egal, was wir Menschen mit dem Klima, den Bodenschätzen und der Natur anrichten, wir werden es voraussichtlich nicht schaffen, das Leben von der Erde zu vertreiben. Doch das heißt nicht, dass die Arche namens Erde endlos weiterschwimmen wird. Das endgültige Ende droht unserem Planeten natürlich, wenn die Sonne ihre Vorräte an brennbaren Elementen verbraucht hat und sich so weit ausdehnt, dass sie die inneren Planeten verschluckt. Das wird in etwa 6,5 Milliarden Jahren der Fall sein. Doch da wird die Erde schon Milliarden Jahre ihre Bahn um die Sonne gezogen haben: nicht als blauer Planet, sondern als Zwillingsschwester der heißen, lebensfeindlichen Venus, eine Hölle, wie sie sich der größte Apokalyptiker nicht ausmalen kann.

Die Fülle des Lebens, wie hier in Afrika, ist nur von vergleichsweise kurzer Dauer. Foto: Dagmar Röhrllich

Das Ende des Lebens kommt in Schritten, und bis die Zellmembran des letzten Bakteriums zerplatzt, werden noch Milliarden Jahre vergehen. Doch der erste Schritt kündigt sich bereits an. Schätzungen der Paläontologen besagen, dass die Biodiversität, die Vielfalt des Lebens, inzwischen nicht mehr steigt, nachdem sie über Hunderte von Millionen Jahren stetig anwuchs. Das ist unabhängig von so vorübergehenden Einflüssen wie dem Wirken des Menschen, aber das Leben scheint 4,5 Milliarden Jahre nach Entstehung des Planeten seinen Gipfelpunkt erreicht zu haben. "Das Zeitalter der Tiere ist schon zur Hälfte vorüber. Es wird enden, wenn das Kohlendioxid in der Atmosphäre schließlich auf ein Niveau fällt, daß die Pflanzen keine Photosynthese mehr treiben könne. Ohne Pflanzen gibt es keine Tiere", erklärt Peter Ward, Paläontologie-Professor an der Universität des US-Bundesstaats Washington in Seattle. In 500 Millionen Jahren wird das Ende des komplexen Lebens an Land heraufdämmern.

Was uns als Treibhausgas so große Kopfschmerzen bereitet, ist unabdingbar für unsere Existenz auf diesem Himmelskörper - und das gleich in mehrfacher Hinsicht. Aus Kohlendioxid bauen die Pflanzen Nährstoffe auf - die Grundlage der gesamten Nahrungspyramide. Aber darüber hinaus sorgt Kohlendioxid mit den anderen Treibhausgasen bislang in der Atmosphäre dafür, dass auf der Erde Temperaturen herrschen, bei denen Leben möglich ist. Ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt herrschte hier eine Durchschnittstemperatur von - 18 Grad. James Kasting, Geologie-Professor an der Pennsylvania State University: "Ob es auf der Erde warm oder kalt war, hängt also vom natürlichen Treibhauseffekt ab, davon, wie viel Kohlendioxid in der Atmosphäre war. Wenn es mehr als 1000 Mal so viel wie heute war, konnte es auf der Erde recht warm sein, bei geringerem Kohlendioxid-Gehalt wäre es kälter gewesen. Offenbar hatte die frühe Erde etwa so viel Kohlendioxid in der Atmosphäre wie heute die Venus."

Dieser höhere Kohlendioxidgehalt glich auch die geringere Leistungsfähigkeit der jungen Sonne aus. Wie jeder irdische Ofen auch, musste der Fusionsofen der Sonne sozusagen erst einmal auf Touren kommen. Ihre Strahlleistung war am Anfang um 30 oder 40 Prozent geringer als heute.

Siegfried Franck, Professor am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung: "Ihre Leuchtkraft nimmt pro Milliarde Jahre um zehn Prozent zu, das gibt schon eine ganz merkbare Erhöhung der mittleren globalen Oberflächentemperatur." Das Problem der Erde und des Lebens auf ihrer Oberfläche ist jetzt, dass diese Leuchtkraftsteigerung die nächsten Milliarden Jahre noch weitergehen wird. Immer mehr Sonnenenergie wird auf die Erde einstrahlen - und der verglichen mit der Sonne winzige Planet kann dem nicht genug entgegensetzen.

Bisher wird die wachsende Leistung der Sonne durch den schwindenden natürlichen Treibhauseffekt der Atmosphäre hervorragend ausbalanciert. Hätte die Erdatmosphäre ihren Ursprungsgehalt an Kohlendioxid beibehalten, wäre die Erde eine zweite Venus geworden, höllisch heiß und unbelebt. Das Geheimnis ist die Verwitterung. Die läuft in einem warmen, feuchten Erdklima von Anfang an auf Hochtouren: Je wärmer es ist, desto stärker ist sie. Sie wäscht mehr CO₂ aus der Atmosphäre heraus und der Treibhauseffekt sinkt. Seit Jahrmilliarden wird so der Überschuss an Kohlendioxid in den Kalksteinen begraben - und deshalb bleibt die Erde ein blauer Planet.

"Genau dieser Regelmechanismus, der dafür gesorgt hat, daß die Temperatur auf der Erde immer relativ konstant ist, birgt auch den Keim des Untergangs", beschreibt es Werner von Bloh, Klimamodellierer am Potsdam-Institut. Den Wettlauf mit den überlegenen Ressourcen der Sonne kann die Erde langfristig nicht gewinnen. Die immer intensiver strahlende Sonne heizt die Erdatmosphäre auf. Kurzfristig puffert die seit Jahrmilliarden bewährte Temperaturregulierung durch das Treibhausgas Kohlendioxid die Erhitzung zwar ab - aber der Preis dafür ist auf lange Sicht sehr hoch: Im wärmeren Klima beschleunigt sich die Verwitterung - immer mehr Kohlendioxid gerät in die Kalksteinfalle. Gleichzeitig läuft der Motor der Erde immer langsamer: Die Plattentektonik, die über die Vulkane stets für Nachschub an Kohlendioxid gesorgt hat, wird langsamer, weil der Planet altert und deshalb kühler wird.

Bakterienmatten gibt es schon seit rund 2,5 Milliarden Jahren - und sie wird es noch geben, wenn alles höhere Leben längst wieder vergangen ist. Foto: Uni Kiel

Kohlendioxid ist aber nicht nur das entscheidende Ingredienz für das Klima, sondern auch die Basis allen Lebens. Ohne Kohlendioxid können die Pflanzen keine Nährstoffe produzieren und es fehlen die Kohlehydrate, die Basis der komplexen Nahrungsnetze unserer Tage. Aber gleichzeitig strahlt die Sonne ja immer heißer - und Hitze tötet: Bloh: "Wir werden feststellen, dass in spätestens 800 Millionen Jahren die komplexen Lebensformen aussterben werden, und zwar weil die Temperatur zu hoch wird." Das ist der zweite Sargnagel des Lebens. Die Evolution wird sozusagen rückwärts ablaufen. Zunächst verschwinden die Tiere und höheren Pflanzen, dann die Algen und erst ganz zum Schluß die Mikroben. Weil sie unterschiedlich "robust" sind, fallen sie unterschiedlichen "Killern" zum Opfer. Die Tiere und höhere Pflanzen vertragen Hitze schlecht: Steigt die globale Durchschnittstemperatur über 30 Grad, sieht es düster für sie aus. Robustere Pflanzen tapen dagegen in die Kohlendioxidfalle. James Kasting: "In etwa 900 Millionen Jahren wird der Kohlendioxidgehalt unter zehn Teile pro Million fallen. Dann werden auch die übrigen Pflanzen aussterben, und mit ihnen der Rest der komplexen Lebewesen." Der Computer simuliert das Ende - und das kommt in den Modellen schnell. Christine Bounama von der Universität Potsdam. "Wenn kein CO₂ mehr da ist, kann eben keine Energie mehr gewonnen werden aus dem Sonnenlicht. Und das führt dann dazu, daß innerhalb kürzester Zeit, innerhalb von 100 Millionen Jahren, quasi die Biosphäre ausstirbt." Damit ist die dritte Stufe des Sterbens erklommen.

Die Erde ist ins Bakterienzeitalter zurückgekehrt. Peter Ward: "Den Bakterien wird es gut gehen. Selbst wenn die Erde ihre Ozeane verliert, können sie immer noch überleben. Möglicherweise könnten sie überleben, bis sich die Sonne aufbläht, wir wissen es nicht. Bakterien sind hart im Nehmen." Das einzellige Leben aus den letzten Cyanobakterien, Bakterien und Archäen gibt sich noch nicht geschlagen. Aber die Mikroben existieren nur noch im Schutz des Wassers, wie vor langer Zeit, bevor das Leben vor 2,1 Milliarden Jahre das Festland erobert hatte. Die Erwärmung macht nicht halt. Die globale Mitteltemperatur überschreitet 45 Grad. Damit haben die

Organismen mit Zellkern und Organellen, die Eukaryonten, ausgespielt. Zu ihnen gehören die letzten Algen oder Cyanobakterien. Überlebende gibt es nur noch unter den Bakterien und den Archäen: Sie sind hitzeresistenter.

Endlose Sandwüsten, wie hier in der Sahara, werden in einigen Hundert Millionen Jahren die Kontinente bedecken. Foto: Rudolf Kuper

Ja, unter den Archäen gibt es sogar Stämme, die bis 100 Grad durchhalten. Doch auch ihr Schicksal ist besiegelt, denn die Meere verdampfen. In 1,9 Milliarden Jahren wird die Erdoberfläche tot sein. Aber noch gibt das Leben nicht ganz auf. Tief unten, verborgen im Gestein, überdauern noch die kargen Reste des einstmals blühenden Lebens - die Mikroben der sogenannten Tiefen Biosphäre. Sie waren vermutlich schon da, als die Vorfahren der Vielzeller vor über 550 Millionen Jahren in den Ozeanen schwappten und sie leben auch heute noch unter uns. Siegfried Franck, Professor am Potsdam-Institut: "Wenn man einigem Arbeiten glauben darf, dann wäre die Biomasse, die in der tiefen Biosphäre enthalten ist, sogar viel größer als die, die wir an der Oberfläche antreffen."

Solange es dort unten noch Wasser gibt, werden sie sich halten. Diese Endphase ist ihre Zeit. Es ist aber nur noch eine Gnadenfrist, denn natürlich heizt der Glutofen der Sonne weiter. Wie lang die tiefe Biosphäre das durchhalten kann, weiß niemand. Doch ein Zeitpunkt markiert unwiderruflich das Ende jeglichen Lebens auf der Erde. Christine Bounama: "In 3,5 Milliarden Jahren wird es kein Wasser mehr geben, und das wäre praktisch das ultimative Ende der Biosphäre." Nach acht Milliarden Jahren ist das Kapitel des Lebens auf der Erde endgültig abgeschlossen. Jetzt beginnt das langsame Sterben des Planeten. Wie die Venus heute schon wird die Erde zu einer lebensfeindlichen Gluthölle. Das bleibt sie für unendliche drei Milliarden Jahre, bis der letzte Akt beginnt: Die Sonne frisst die inneren Planeten und treibt den Rest der Planeten ins Weltall. Nach elf Milliarden Jahren ist das das Ende unseres Sonnensystems.