

*Hartmut Seyfried im Gespräch mit Jens Soentgen*

## Warum ist CO<sub>2</sub> ein Lebenselixier?

*Hartmut Seyfried nimmt uns in dem folgenden Gespräch auf eine außergewöhnliche Zeitreise mit. Als Geologe denkt er nicht wie der Historiker in Jahrhunderten, sondern in Jahrmillionen. Er untersucht die Rolle des CO<sub>2</sub> auf der Erde in geologischen Zeiträumen – also in Zeiten, in denen es noch keine Menschen gab. Denn auch in jenen Zeiten, als die Erde noch jung war, enthielt ihre Atmosphäre bereits CO<sub>2</sub>, sogar deutlich mehr als heute. Woher stammte es? Wie hat es den Gang der Evolution beeinflusst? Und wie wird die CO<sub>2</sub>-Geschichte – aus Sicht des Geologen – weitergehen?*

Sie haben einmal gesagt, die Erde sei ein Problembär, Herr Seyfried. Was meinen Sie damit?

Wir Menschen haben brav in der Steinzeit gelernt: Die Natur ist nichts als eine einzige nervige Problembärin und je früher man sich von ihr emanzipiert, desto besser. In den letzten fünfzig Jahren machte diese Emanzipation solche Fortschritte, dass die Mehrzahl der Menschen es sich heute leisten kann, das, was außerhalb ihrer Städte geschieht, schlicht und einfach zu ignorieren. Aber es sind eben nicht nur die Knollenmergelhänge oder die Vulkane, mit denen wir riskanten Intimverkehr pflegen. Der Problembär, dem einstmals der Wildschütz tapfren Sinns und Aug in Aug den Garaus machte, der hat heute globale Dimensionen. Mit Schützenmentalität ist dem nicht beizukommen.

Waren es früher etwa die Vulkane mit ihren unberechenbaren Ausbrüchen, wird inzwischen die Luft, und darin vor allem das CO<sub>2</sub>, als Risiko angesehen. Woher stammt das CO<sub>2</sub> in der Luft?

Der kosmische Staub, aus dem sich die Erde, wie auch die Sonne und die anderen Planeten, geformt hat, war mit großen Mengen an Gas vermischt, vor allem Wasserstoff und Helium, aber auch Kohlendioxid und Kohlenmonoxid.

Wenn sich dieser Staub zusammenballt, hat man in dem entstehenden Himmelskörper auch CO<sub>2</sub> drin, und CO<sub>2</sub> ist eine extrem stabile Verbindung. Es reagiert kaum mit dem Stoffbestand der anorganischen Welt und wenn, dann immer nur als ganzes Molekül. Deswegen kommt es auch nach dem

Einbau in einen Planetenkörper immer wieder als CO<sub>2</sub> an die Oberfläche – jedenfalls so lange, wie der Planet geologisch lebendig ist.

Die frühen, noch sehr heißen Planeten gasen sehr viel CO<sub>2</sub> aus. Wenn sich das anreichert, wie bei der Venus, hat man am Ende eine Atmosphäre, die überwiegend aus CO<sub>2</sub> besteht. Auch die frühe Erdatmosphäre enthielt nach manchen Schätzungen über 30 Prozent CO<sub>2</sub>. Für die Entstehung und Weiterentwicklung des Lebens war das vorteilhaft, denn es bewahrte die Erde vor dem Schicksal, ein Eisplanet zu werden.

#### Warum hätte die Erde ein Eisplanet werden können?

Weil die frühe Sonne nicht etwa heißer war als heute, sondern deutlich schwächer. Sie strahlte nur mit etwa 70 Prozent der Leistung, die sie heute hat. Hätte die Erde damals nicht diese wärmende CO<sub>2</sub>-Atmosphäre gehabt, dann wären die Ozeane zugefroren. Und wenn Sie einen Eispanzer auf den Ozeanen haben, dann gibt es keine Austauschprozesse mehr zwischen Atmosphäre und Ozean. Dann haben Sie kein Sonnenlicht mehr im Ozean. Dann kann es vielleicht Archaea geben, allerprimitivstes Leben, aber mehr nicht.

Zwar hätte die heißer werdende Sonne den Eispanzer irgendwann aufgeschmolzen. Aber die Evolution hätte diese Zeit eben verloren. Die Erde wäre dann heute noch immer im Stadium des Schleimplaneten.

Es hat eine Milliarde Jahre gedauert, bis primitives Leben entstand, dann weitere drei Milliarden Jahre, bis die Tiere entstanden, und noch einmal eine halbe Milliarde Jahre, in denen sich schließlich das höhere Leben entfaltete. Ein hoher CO<sub>2</sub>-Gehalt in der frühen Atmosphäre ist für einen Steinplaneten nichts ungewöhnliches; wichtig für die Entstehung und Weiterentwicklung des Lebens war aber das zufällig richtige Maß.

#### Was wäre denn passiert, wenn die etwa dreißig Prozent CO<sub>2</sub> lange in der Erdatmosphäre geblieben wären, weit über den Anfang hinaus?

Dann hätte es einen fortlaufenden Treibhauseffekt gegeben, genau das Umgekehrte zum Eishaus. Möglicherweise vorhandenes primitives Leben wäre spätestens erloschen, sobald das Wasser kocht.

Auf der Venus hat sich ein solcher »runaway«-Treibhauseffekt heute bei 465 Grad Celsius Oberflächentemperatur eingependelt. Sie hat jetzt 96 Prozent CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre und damit einen so hohen Atmosphärendruck, nämlich das 95-fache des irdischen, dass damit sogar der Vulkanismus fast ganz unterdrückt wird; jedenfalls ist der dort am Einschlafen.

#### Warum ist denn die Erde diesem Venus-Schicksal des davonlaufenden Treibhauseffekts entkommen?

Weil sie das Leben erfunden hat.

Ist das der einzige Grund?

Ja, welchen anderen Mechanismus gibt es sonst, das  $\text{CO}_2$  zu binden? Sie haben keinen anderen.

Aber bei der Verwitterung von Silikatgesteinen wird doch auch  $\text{CO}_2$  gebunden?

Zunächst löst sich das  $\text{CO}_2$  im Wasserdampf der Atmosphäre, es bildet sich Kohlensäure, und dieser natürliche saure Regen verstärkt die Verwitterung der Gesteine an der Erdoberfläche, besonders in Gebirgen. Das ist ein anorganischer Prozess, der funktioniert auch ohne Lebewesen.

Nur: Damit ist das  $\text{CO}_2$  noch nicht gebunden. Es ist nur gelöst in Wasser. Sie müssen es hinterher noch fixieren. Nur wenn Sie es fixieren, können Sie es aus dem System nehmen. Dieses Fixieren, das vermögen eben nur Lebewesen, die Photosynthese betreiben und dabei das  $\text{CO}_2$  in Kohlenstoffketten einbauen oder als Karbonat, also Kalkstein, aus dem Wasser fällen. Teilverkalkung ist für viele Meeresbewohner vorteilhaft, denn sie gibt Schutz, Halt und innere Stabilität.

In Teer, Erdöl, Erdgas, Kohle, Kalkstein und Graphitschiefern stecken riesige Mengen ehemaliges atmosphärisches  $\text{CO}_2$ !

Das heißt, seitdem das Leben die Photosynthese erfunden hat, nimmt der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Luft ab?

Ja, der  $\text{CO}_2$ -Gehalt nimmt durch die Photosynthese ab. Mikroben, Algen und Landpflanzen nehmen  $\text{CO}_2$  auf und produzieren Sauerstoff und organische Substanz.  $\text{CO}_2$  und freier atmosphärischer Sauerstoff verhalten sich also mengenmäßig umgekehrt proportional. Nach seinen primitivsten Anfängen ist die Weiterentwicklung des Lebens im Wesentlichen eine Reaktion auf den selbstverursachten steigenden Sauerstoffgehalt bei gleichzeitig sinkendem  $\text{CO}_2$ -Gehalt.

2,4 Milliarden Jahre vor heute gab es erstmals freien Sauerstoff in der Atmosphäre und im flachen Wasser des Ozeans. In Gegenwart von freiem Sauerstoff sind tausendmal mehr metabolische Reaktionen möglich als vorher. So entstanden Zellen mit Zellkern, und diese wiederum haben die Atmung erfunden, also die Energiegewinnung durch kontrollierte Oxidation von organischem Material.

Das war der Beginn des Kohlenstoffrecyclings – ansonsten wäre der Biosphäre bald der Kohlenstoff ausgegangen. Kohlenstoff ist mit 0,0663 Atomprozent eines der selteneren Elemente der Erde, im Gegensatz zu Sauerstoff, dessen Gesamtkonzentration bei 49,9 Atomprozent liegt.

Die Atmung war Voraussetzung für die Entstehung der Sexualität, der bedeutendsten biologischen Innovation der Erdgeschichte, denn sie führte die Erde aus dem Stadium des Schleims. Sauerstoff atmende Zellen sind hoch-

effiziente Energiegewinnungsmaschinen! Sie können sich eine aufwendige intrazelluläre Kommunikation leisten. Am vorläufigen Höhepunkt dieses biologischen Selbstoptimierungsvorgangs steht heute das Hirntier Mensch.

Das war jetzt die ganze Erdgeschichte in einer Minute.

Geht es etwas genauer?

Die Tiere sind entstanden, weil der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre in der Zeit zwischen 580 und 540 Millionen Jahren vor heute auf mehr als zwei Prozent anstieg und der zaghafte Aufbau einer Ozonschicht möglich wurde. Tiere können organische Substanz gleich welcher Art fressen und verdauen, und Verdauung ist nichts anderes als der körperinnere Anteil an der Atmung. Theoretisch ist das Recycling komplett, denn auch abgestorbene Pflanzen vermodern und tote Tiere verfaulen. So gelangt das CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre und kann von dort aus global wiederverwendet werden.

Aber nun kommt der wichtige Punkt: Mittel- bis langfristig wird dem System Biosphäre/Hydrosphäre/Atmosphäre ein Teil des organischen Materials entzogen, denn manche Pflanzen versinken zum Beispiel in Sümpfen, wo die Biomasse nicht vermodert oder verfault, sondern zu Torf oder Kohle reduziert in Sedimenten eingelagert wird.

Und so, also durch Einbau in die Erdkruste, geht das CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre nach und nach dahin. In der Karbonzeit beispielsweise war CO<sub>2</sub> Mangelware, sodass die Pflanzen Mechanismen entwickeln mussten, um an das dünner werdende CO<sub>2</sub> ranzukommen. Die Evolution der Landpflanzen ist eng an die Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Luft gebunden.

CO<sub>2</sub>-gesteuerte Evolution. Wie geht das?

Die Pflanzen mussten Blätter entwickeln, um über mehr Spaltöffnungen an das immer rarer werdende CO<sub>2</sub> zu gelangen. Die ältesten Landpflanzen aus der Zeit des späten Silurs hatten ja noch gar keine Blätter, das waren nur grüne Stengel. Die Erfindung der Blätter erwies sich als so vorteilhaft, dass in der Karbonzeit die größten Wälder der Erdgeschichte entstanden, denn die Blätter konnten nicht nur in den Tropen, sondern auch im feuchtkühlen Klima sehr produktiv sein. Und das wiederum war nur möglich, weil sich die Insekten wegen des hohen Sauerstoffgehalts der Atmosphäre stürmisch entfalteteten und den Pflanzen zu erheblich verbesserten Fortpflanzungsstrategien verhalfen.

Also ein Riesenfortschritt. Und dann?

Das gigantische Aussterbeereignis am Ende der Permzeit vor 251 Millionen Jahren hätte all dem fast ein Ende bereitet. 95 Prozent aller Arten wurden damals ausgelöscht, der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre sank auf etwa zehn Prozent und im Gegenzug stieg wieder der CO<sub>2</sub>-Gehalt. In der Kreidezeit war er dann wieder besonders hoch, möglicherweise betrug er sogar ein Viel-

faches des heutigen Wertes, und in diesem feuchtwarmen CO<sub>2</sub>-Paradies brummte das Leben aufs Neue bis hinauf an die Pole.

Wie wirkte sich das auf die Entwicklung der Pflanzen aus?

So, wie immer in der Evolution: Der Fähigste hat Erfolg, weil er sich den Umständen optimal anpasst. In der Kreidezeit hatten Landpflanzen, Insekten und Vögel – salopp gesagt – viele gemeinsame Interessen und heraus kamen die Blütenpflanzen. Gemeinsam hatten die so viel Erfolg, dass heutzutage die paar wenigen altertümlichen Bärlappgewächse, Schachtelhalme oder Farne kaum mehr auffallen.

Was macht die Blütenpflanzen zu etwas so Besonderem?

Die Landpflanzen haben in der Kreidezeit nachgeholt, was die Reptilien bereits 200 Millionen Jahre früher konnten: Samen mit Reservestoffen werden nur gebildet, wenn zuvor eine Befruchtung stattgefunden hat und ein Embryo entsteht.

Bei den Wirbeltierahnen der Reptilien, also den Amphibien und Fischen, war und ist es ja noch überwiegend so, dass die weiblichen Tiere Unmengen von Eiern legen müssen, damit einige wenige Nachkommen überleben. Das einzelne Ei gibt dem Embryo kaum Substanz mit auf den Weg; er muss deshalb schon als Kleinstlebewesen schauen, dass er durchkommt.

Anders bei den Reptilien: Ihre wenigen, dotterreichen Eier werden zweckmäßigerweise direkt im Mutterleib befruchtet. Diese sehr effiziente Methode der Fortpflanzung erfreut sich seitdem auch bei Vögeln und Säugetieren zeitloser Beliebtheit. Und genau diesen Schritt haben die Pflanzen damals in der Kreidezeit nachgeholt: Anstatt Unmengen von Kleinstsamen bereitzustellen, die zufällig befruchtet werden, bietet man fette Teile an, die anziehend riechen und vorwiegend dazu bestimmt sind, von Tieren vernascht zu werden – zum Wohle der eigenen Fortpflanzung.

Das Wesen der biologischen Kooperation ist einfach: Sie bringt Fortpflanzungserfolg. Das ist keine moralische Kategorie, sondern ein Naturgesetz! Die Erfolgsstory fing vor mehr als zwei Milliarden Jahren an, als Chloroplasten und Mitochondrien von Zellen mit Zellkern feindlich übernommen wurden und reicht bis zur Geburtshilfe bei vielen Säugetieren.

Die Entstehung der Blütenpflanzen war unterm Strich also eine punktgenaue und obendrein Ressourcen sparende Innovation, die ihr ganzes Potenzial aber erst entfaltete, als das CO<sub>2</sub> wieder knapper wurde.

Nach der Kreidezeit sank der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre, von kurzfristigeren Anstiegen abgesehen, immer weiter ab, um schließlich während der letzten Eiszeit sogar auf 180 ppm (parts per million) zu sinken. Wie wirkte sich das auf die Evolution der Pflanzen aus?

Die Wälder schrumpften und Graslandschaften breiteten sich aus. Das ist nicht nur eine Anpassung an sinkende Temperaturen, wie man auf den ersten Blick vermuten würde, sondern auch eine evolutionäre Reaktion auf den sinkenden  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre. Denn Gräser – und zu denen gehört der Bambus ebenso wie der Mais oder unser Getreide – sind sogenannte  $\text{C}_4$ -Pflanzen, die den photorespiratorischen Zyklus der Waldpflanzen, also der  $\text{C}_3$ -Pflanzen, durch einen photosynthetischen Zyklus ersetzt haben, der  $\text{CO}_2$  wesentlich effizienter fixiert. Sie sind die Vorboten der neuen  $\text{CO}_2$ -armen Welt. Wie diese in ferner Zukunft einmal aussehen mag, das kann man sich leicht ausmalen, denn biologische Innovation auf dem Festland kam zu allen Zeiten aus tropischen Wäldern und nicht aus Golfanlagen.

**Aber wird das  $\text{CO}_2$  nicht andererseits nachgeliefert?**

Doch, das wird schon nachgeliefert. An erster Stelle ist da die ständige  $\text{CO}_2$ -Entgasung aus dem Erdmantel, beispielsweise entlang der rund 70.000 Kilometer langen mittelozeanischen Rücken. Ohne die geht gar nichts. Wenn Sie andererseits den oberflächlichen Kohlenstoffkreislauf betrachten, also den Austausch von Kohlenstoff zwischen Biosphäre, Böden, Hydrosphäre und Atmosphäre, so ist das kurzfristig gesehen ein geschlossenes System mit raschem internen Recycling. Aus diesem Reservoir und aus der Mantelentgasung können Verluste an die Lithosphäre durch Einlagerung von Erdöl, Kohle oder Kalk aber nicht kompensiert werden.

**Das heißt, alle die Kohlenstoffatome, die in der Erde versinken, sind für die Biosphäre verloren?**

Nicht ganz, denn neben dem biologischen Kohlenstoffrecycling gibt es auch noch ein geologisches Kohlenstoffrecycling. Das spielt sich aber in so langen Zeiträumen ab, dass alle außer Geologen Schwierigkeiten haben, sich das vorzustellen.

Solange die Erde geologisch aktiv ist, das heißt, solange die Plattentektonik am Werk ist, werden immer wieder mal Gesteine, in denen  $\text{CO}_2$  gespeichert ist, in Gebirgen entweder in große Tiefen versenkt oder an die Oberfläche gehoben. Im Backofen der Gebirgswurzel wird das im Gestein – beispielsweise im Marmor – gebundene  $\text{CO}_2$  abgespalten und steigt wieder in die Atmosphäre.

In Gebirgen gelangen aber auch große Mengen von kohlenstoffhaltigem Gestein an die Oberfläche, und dort wird der Kohlenstoff vom Luftsauerstoff wieder zu  $\text{CO}_2$  oxidiert. Die Kruste der Erde verschlingt also in bestimmten Bereichen  $\text{CO}_2$ , aber gleichzeitig gibt sie an anderen Orten früher gespeichertes  $\text{CO}_2$  wieder frei.

Ist das ein gleichmäßiger Prozess oder gibt es geologische Epochen, in denen mehr gespeichert wird, und andere, in denen CO<sub>2</sub> wieder verstärkt freigesetzt wird?

Das Verhältnis von Speicherung zu Abgabe hat sich in der Erdgeschichte mehrfach verschoben, allerdings nur sehr langsam, nämlich in Zeitspannen von vielen Millionen von Jahren. Eine grobe Regel ist, dass in der Frühphase des Auseinanderdriftens von Kontinenten mehr CO<sub>2</sub> geliefert als verbraucht wird und während der Kollision von Kontinenten, also bei der Gebirgsbildung, der Verbrauch überwiegt.

Betrachten Sie aber die Mengen, um die es hier geht, nämlich 5,4 Teratonnen Kohlenstoff, die alleine in Kohle, Erdgas, Erdöl und Torf gespeichert sind, dann wird klar, dass die lebende Biomasse mit ihren fliegengewichtigen 800 Gigatonnen zwar diese stattlichen Vorräte im Laufe der Zeit in der Kruste angelegt hat, entscheidenden Einfluss auf den langfristigen Klimatrend hat sie aber nicht.

Ob sich die Erde im Zustand des Treibhausklimas oder des akzentuierten Klimas – also ohne oder mit vereisten Polen – befindet, darüber entscheiden Mantelentgasung, Krustenrecycling und die plattentektonische Anordnung und Größe der Kontinente. Die Biosphäre muss sich diesen Bedingungen anpassen, und das tut sie mit großem Erfolg. In gewisser Weise überholt sie sogar die Geosphäre, weil sie langfristig gesehen das CO<sub>2</sub> schneller verbraucht, als die Erde nachliefern kann. Denn der Planet kühlt allmählich aus und ist dann immer weniger in der Lage, kohlenstoffhaltige Gesteine zu recyceln.

Das heißt, langfristig wird das Leben an CO<sub>2</sub>-Mangel zugrunde gehen?

Planeten wie die Erde können bei der gegebenen Sonnengröße komplexes mehrzelliges Leben nur innerhalb eines Zeitfensters von höchstens 1,3 Milliarden Jahren entwickeln, und davon sind mittlerweile 0,6 Milliarden Jahre verstrichen. Wenn man in langfristigen geologischen Skalen denkt, also von 100 Millionen Jahren an aufwärts, dann ist damit zu rechnen, dass CO<sub>2</sub> gefährlich knapp wird. Gefährlich für die Vielfalt des Lebens, meine ich; das tatsächliche Ende des Lebens auf der Erde mag sich noch etwas hinziehen.

Aber der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft steigt doch ständig?

Ja, der steigt so schnell, seit wir Sauerstoff für zivilisatorische Verbrennungsvorgänge verbrauchen. Solange die Menschen sich ihrem Bedürfnis nach brutalstmöglicher Bequemlichkeit hingeben, bleibt CO<sub>2</sub> keine Mangelware. Deshalb darf man diese langfristige Vorhersage auch nicht missbrauchen. Wenn Sie das dem Allgemeinen Deutschen Asphalt Countryclub erzählen, schreien die Hurra: Wir wussten doch schon immer, dass die deutschen Autofahrer einschlafen, wenn man ihnen ein Tempolimit vorschreibt.

### Werden wieder Vereisungen auftreten?

Mit einer neuen Eiszeit ist zu rechnen. Wir leben in einer Zwischeneiszeit. Wenn aber langfristig der CO<sub>2</sub>-Gehalt immer weiter abnimmt, dann könnte irgendeine der zukünftigen Vereisungen endgültig sein oder zumindest sehr lange dauern. Aber darüber sollten wir uns ausnahmsweise mal keine Sorgen machen.

### Wie lange wird der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft nach Ihrer Meinung noch steigen?

Der menschengemachte Schnalzer der CO<sub>2</sub>-Kurve dauert höchstens so lange, wie es preiswerte Rohstoffe gibt – plus eine Pufferzeit von vielleicht zweihundert Jahren. Selbst wenn alle politischen Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion nichts bringen, werden die explodierenden Rohstoffpreise dafür sorgen, dass mit Energie sorgfältiger umgegangen wird.

Und hoch sind jetzt schon nicht nur die Preise für Erdöl, sondern für alles, was die Zivilisation ebenso braucht: Innerhalb von kaum mehr als zehn Jahren ist der Goldpreis pro Feinunze von 240 US-Dollar auf 1.000 US-Dollar gestiegen. Blei mauserte sich vom lästigen Giftmüll zum Wertstoff, Flugzeugturbinenhersteller durchkramen verzweifelt ihre Abfallhalden nach Resten von Titan und einige eifrige Geschäftemacher strecken den guten alten Kupferdraht so lange mit Aluminium, dass er gerade noch ein bisschen rot ist. Da ist zwar viel Spekulation dahinter, ganz besonders beim Erdöl, aber auch das beschleunigt letzten Endes nur den Verknappungsprozess.

### Ist CO<sub>2</sub> das Hauptproblem oder lauert da im Hintergrund noch etwas Kleingedrucktes?

Selbst wenn wir Menschen es schaffen sollten, das CO<sub>2</sub>-Problem in den Griff zu bekommen, sind wir damit noch nicht aus dem Schneider. Denn jeder – auch der minimalste – zivilisatorische Energieverbrauch setzt Wärme frei, die in der Atmosphäre, der Hydrosphäre und in den Böden gespeichert wird. Der Anstieg der globalen Gleichgewichtstemperatur um 0,7 Grad Celsius im 20. Jahrhundert ist nicht nur eine Folge des steigenden CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atmosphäre, sondern auch eine Folge der massiv freigesetzten Wärme.

Im Gegensatz zu der etwas unscharfen Klimavorhersage auf der Grundlage von CO<sub>2</sub>-Modellen lässt sich der globale Temperaturanstieg durch technologische Abwärme exakt berechnen. Drei Grad Celsius Erwärmung verteilt über drei Jahrhunderte werden zurzeit diskutiert. Und das ist nur die Nettoerwärmung durch Abwärme. Diese Temperaturerhöhung steht also auf jeden Fall bevor, egal, wie effizient die Maßnahmen zur Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes eines Tages auch sein mögen.

Die einzigen wärmenutralen Energiequellen, die uns zur Verfügung stehen, sind das Sonnenlicht, die Gezeitenströmungen, die Ozeanwellen und

der Wind. Das ergibt sich aus dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, der für die meisten Zeitgenossen offenbar nicht gilt. Wenn die Menschen es nicht schaffen, intelligente Lösungen für ihre zivilisatorischen Bedürfnisse zu finden, dann gibt es sie eben irgendwann nicht mehr. Den Saustall räumt die Biosphäre dann schon auf, die ist schon mit ganz anderen Krisen fertig geworden.

Was halten Sie vor dem Hintergrund dieser Zusammenhänge von der gegenwärtigen Diskussion um den Klimawandel?

Die tageszeitung (taz) lancierte kürzlich ein neues Schmähwort – in gepflegtestem Rudi-Dutschke-Deutsch: den Klimawandelleugner. Man stelle sich vor, mit dem Ausruf »Sie Klimawandelleugner, Sie elender!« geschmäht zu werden. Da will ich doch lieber vorausgehend bekennen: Ein solcher bin ich nicht! Auf Polt-Deutsch müßte die Schmähung also eher lauten: »Sie Klimawandelnichtleugner, Sie hintersinniger.«

Sie sind also ein Klimawandelnichtleugner. Wie verlässlich sind die Klimamodelle?

Die werden mit jedem Jahr besser. Trotzdem bleibt Unvernunft das Merkmal unseres kollektiven Handelns.

Eine ziemlich pessimistische Sicht!

Die wird so, sobald Sie die Sache global betrachten: Im Jahr 2001 hatte die Menschheit einen Energieverbrauch von 346 Exajoule, das entspricht einem Prozent der konventionellen Weltenergiereserven – Uran mit eingeschlossen. Der menschliche Energieumsatz eines Jahres entspricht einem Viertel des gesamten inneren Wärmestroms der Erde (40 Terawatt). Der innere Wärmestrom der Erde (das ist die Wärme, die vom heißen Erdkern abgestrahlt und durch zerfallende radioaktive Elemente im Erdmantel freigesetzt wird) treibt die konvektive Umwälzung der Gesteine des Erdmantels und damit die Plattentektonik, und die wiederum ist verantwortlich für die Entstehung von Lebensformen jenseits der Bakterien.

Wir haben es also ganz schön weit gebracht auf diesem Planeten und wollen es jetzt echt wissen, schließlich bewegen wir mehr Gestein als alle Flüsse der Erde. Wir tun was. Aber offensichtlich tun wir uns schwer damit, zu erkennen, dass die Erde etwas Endliches ist.

Das vermeintliche Grundrecht auf »Rohstoffe, bis ich abwinke« ist der arroganteste steinzeitliche Spross unseres Rechtssystems. Es ruht auf dem Glauben, dass die Erde selbstredend ihre geologische und biologische Vielfalt niemals alleine hätte erschaffen können.

Die Mehrheit der Menschen glaubt an Hilfe von außen oder ist zumindest der Überzeugung, dass wir, handelnd in höherem Auftrag, sowieso alles

besser machen. Der Erde traut man in solchen Kreisen nur unter größten Bedenken die Erfindung des Lebens, geschweige denn die Schaffung einer komplexen Biosphäre zu.

Jetzt schweifen Sie ab.

Gerne. Das Thema CO<sub>2</sub> hat nun mal Verästelungen, die bis tief in unser Hirn reichen. Die vielschichtigen Vorgänge auf und in unserer Erde erscheinen uns kompliziert, solange wir sie nicht verstehen – oder nicht verstehen wollen.

Können wir das Klima retten, Herr Seyfried?

Bei Sprüchen wie »Wir müssen das Klima retten« oder gar »Wir müssen den Planeten retten« erhebt die gute alte Hybris ihr wüstes Haupt, selbst in ansonsten seriösen Zeitungen. Wir können »das Klima« nicht retten und »den Planeten« erst recht nicht. Das ist eine Nummer zu groß, selbst für diejenigen, die sich im Besitz eines Götterfunkens wähnen. Mir missfällt zutiefst die moraltriefende Art, mit der das Thema außerhalb der Wissenschaft aufgegriffen wird und das Weihbischofsgehabe von Herrn Gore mag ich auch nicht.

Das arme Umweltpuzzlein Erde: ist so schlimm dran, da müssen wir Gutmenschen doch helfen. Gleichzeitig ist kaum einer bereit, aus der Präserei mit Rohstoffen auszusteigen. Vermutlich bin ich einer der wenigen, die nicht heimlich davon träumen, als Nacktporschefahrer mit 450 PS über die Autobahn zu brettern. Vielleicht wird man unsere Zeit rückblickend als »Zeitalter der Verschwendung« bezeichnen, denn ein paar Milliarden Königtiger können sich heute einen Luxus leisten wie früher nur die Fürsten.

Könnten Sie die Frage etwas präziser beantworten?

Ich bin Geologe, und nicht Wahrsager. Als Geologe sage ich: Es kommt immer anders, als man denkt. Neben den Szenarien der Klimaforscher gibt es ja auch die Wahrscheinlichkeit, dass etwas passiert, was sowieso immer wieder mal passiert: Ein halbwegs ordentlicher Vulkanausbruch oder ein Starkregenereignis wie im Jahr 1342 würde die meisten unserer Kommunikations- und Versorgungswege unterbrechen und Massenhungersnot wäre die Folge.

Sollte wider Erwarten Vernunft um sich greifen, kommen wir vielleicht mit einem blauen Auge davon. Aber dazu bedarf es einer gewaltigen intellektuellen Anstrengung der gesamten Menschheit, und die sehe ich im Moment nicht.

Und was ist mit der CO<sub>2</sub>-Speicherung in Erdgas- und Erdölfeldern?

CO<sub>2</sub> aus Verbrennungsprozessen stammt zu einem Teil aus solchen Lagerstätten, also kann man das auch wieder zurückpumpen. Dieser Typ von Lagerstätten ist dicht, sonst wäre ja vorher kein Erdöl oder Erdgas darin gewesen. Aber wie isoliert man CO<sub>2</sub> aus dem Abgas oder aus der Atmo-

sphäre? Das ist gar nicht so einfach: Sowohl die Mineralisierung – also die chemische Fällung – zu Kalk als auch die Abtrennung durch Tiefkühlung sind sehr energieaufwendig. Die Methode hört sich elegant an, aber ihre Gesamtbilanz ist nicht überzeugend.

#### Bleibt also wieder mal nur das Vertrauen auf die Biosphäre?

Ja, denn die fixiert  $\text{CO}_2$  entweder als organische Substanz oder als Kalk. Es gibt keinen technologischen Prozess, der Sonnenlicht so effizient in verfügbare Energie umwandelt wie die Photosynthese! Auf der Landoberfläche ist es nun aber so, dass organische Substanz vermodert oder verfault, also überwiegend wieder in  $\text{CO}_2$  und Wasser zurückverwandelt wird. Und kontinentaler Kalk – beispielsweise Travertin – ist global betrachtet unbedeutend.

Deswegen richten sich die Hoffnungen auf den Ozean. Könnte man dort der Fixierung von  $\text{CO}_2$  auf die Sprünge helfen? Bei den Kalken ist das aussichtslos. Meerwasser ist sogar übersättigt an Karbonat, aber trotzdem wird Kalk dort nicht anorganisch gefällt, sondern nur über den Umweg der Photosynthese. Wir haben keine Möglichkeit, in dieses System einzugreifen. Im Gegenteil, die Menschheit setzte den Korallenriffen in den vergangenen 50 Jahren so zu, dass die meisten Riffe heute geschädigt sind.

#### Deshalb kaprizieren sich einige jetzt auf den Emissionshandel mit $\text{CO}_2$ -Zertifikaten, indem sie Anlegern Rendite durch die Düngung der Südpolarmeere mit Eisen versprechen?

So ist es. Da spielen ein paar Leute mit viel Geld in der Portokasse den Zauberlehrling. Dahinter steckt folgende Überlegung: Auf Kontinenten ist gelöstes Eisen für Pflanzen und Tiere im physiologisch notwendigen Umfang verfügbar, im Meerwasser aber ist es Mangelware, und zwar so stark, dass das Wachstum von Algen an erster Stelle durch den Mangel an Eisen begrenzt wird. Die Idee ist nun, mit einer flächenhaften Düngung durch Eisen das Wachstum des Planktons, insbesondere der Kieselalgen, so anzuregen, dass sie der Atmosphäre eine Portion  $\text{CO}_2$  entnehmen, die so groß ist, dass man sie verkaufen kann. Wir tun also wieder mal was. Nur eines nicht: den Tritt aufs Gaspedal mäßigen. Das ist was für Schlaffis, aber doch nicht für Herrentiere!

#### Wo ist der Haken an der Sache?

Erstens: Was passiert mit dem Plankton? Wandert es als organische Substanz tatsächlich unverändert in den Meeresboden und wird so mittel- bis langfristig aus dem System genommen? – Nur zum Teil, denn kaltes Wasser enthält deutlich mehr gelösten Sauerstoff als warmes Wasser. Also wird das abgestorbene Plankton beim Durchsinken der Wassersäule unter dem Einfluss des zunehmenden Druckes teilweise wieder zu  $\text{CO}_2$  oxidiert und landet eben nicht dort, wo man es gerne hätte: im Sediment.

Dafür gibt es einen handfesten Beweis: An den Westseiten der Südkontinente kommt antarktisches, sehr nährstoffreiches Tiefenwasser in sogenannten Auftriebsgebieten an die Oberfläche und führt dort zu gewaltigem Fischreichtum. Das wäre nicht so, wenn der Planktonregen quantitativ den Meeresboden erreicht. Die Geschäftsbilanz dieser Global Player mag ja gut aussehen, aber ihre Kohlenstoffbilanz ruht auf einem Push-up-Pölsterchen.

#### Und zweitens?

Das, was Zauberlehrlingen hin und wieder passiert: Sie verlieren die Kontrolle über das, was sie anrichten. Das Ökosystem unserer Ozeane ist seit mehr als 500 Millionen Jahren an Eisenmangel angepasst. Flächenhafte Düngung ist ebenso wie Tiefseebergbau ein radikaler Eingriff in die gesamte Nahrungskette der Erde und so etwas sollten sich alle (und nicht nur einige wenige) gut überlegen.

#### Perfekt. Dann machen wir jetzt Schluss.

Selbstredend, doch fällt mir ein, dass wir so manch schönen Dingen, die Menschen aus CO<sub>2</sub> machen, noch gar nicht gebührend Raum geschenkt haben. Insbesondere preise ich in diesem Zusammenhang das Hefeweißbier. Da gibt es ein paar begnadete Bierbrauer, die ihr Handwerk so gut verstehen, dass dem sterblichen Trinker einige flüchtige Momente zuteilwerden, in denen er spürt, was Vollendung ist ...

#### Wie bitte?

Da gibt's nichts zu lachen. Qualität erkennt man spontan. Die Einheitsplörre mit dem Geschmack nach lichtgrauem Plastikzahnputzbecher überlasse ich anderen. Ich hab's gern bei fünf Grad Celsius, mit vier Zentimetern Blume, davon die drei unteren feinporig und der obere grobporig. Im Karg-Bräu von Murnau saß einer neben mir, der doppelt so breit war wie ich und einen Kopf größer und sein mit anwesendes soziales Umfeld versicherte uns glaubhaft, dass das soeben sich in Vertilgung befindliche Weißbier das zwei- und zwanzigste wäre ...

(Abbruch des Gesprächs)