

## Das Ende der Evolution? [\[1\]](#)

### Vorbemerkung

Die im folgenden vorgebrachte Kritik an einigen Aspekten der Klimadebatte ist keinesfalls so zu verstehen, dass die als „Klimaschutz“ bezeichneten Pläne und Maßnahmen als unbegründet oder gar als sinnlos angesehen werden. Tatsächlich ist eher das Gegenteil der Fall: Die in den Diskussionen angesprochenen Maßnahmen werden unserer Ansicht nach nicht reichen, um eine fundamentale globale Krise zu vermeiden. Die Fokussierung auf eine „Klimawende“ verdeckt jedoch, dass das eigentliche Problem unsere auf ständiges Wachstum gegründete Ökonomie und das damit zugleich auch weiter anhaltende Wachstum der Erdbevölkerung ist. Das eigentliche Thema der aktuellen Debatten sollte daher sein, wie ein ökonomisches wie ökologisches Konzept aussehen könnte, das langfristig angemessen auf die Tragfähigkeit der Erde (*carrying capacity*) eingestellt ist.

Die Zeitmaßstäbe, die die Klimaforscher für ihre Modelle und Prognosen herannehmen, sind jedoch viel zu kurz, um als Diskussionsgrundlage für Fragen gelten zu können, wie die Existenz des *Homo sapiens* nachhaltig aufgestellt werden könnte. Die Diskussion um Klimaziele verschleiert diese grundlegende Frage, solange es nur um Lösungen geht, die wie CO<sub>2</sub>-Neutralität, Elektromobilität oder Verzicht auf Fleischkonsum die Erderwärmung begrenzen sollen.

Der hier vorgelegte Beitrag versucht, das Problem aus der weiter reichenden Perspektive der Erdgeschichte zu sehen. Betrachten wir die Entwicklung der Menschheit über die letzten Jahrtausende und Jahrzehntausende, wird auf der einen Seite deutlich, dass es ihr gelang, weit extremere Klimaveränderungen als die gegenwärtig befürchteten zu überstehen – auf der anderen Seite sehen wir dann aber auch, wie gewaltig und in bestimmter Hinsicht auch neuartig die Herausforderung ist, vor der wir wirklich stehen. Die begründete Sorge, dass – an den letzten Jahrzehntausenden gemessen – schon leichte Klimaänderungen eine große Bedrohung darstellen, kann als Fingerzeig dahin gehend gesehen werden, dass das eigentliche Problem eben gar nicht die Klimaänderungen sind.

### Wir stehen erst am Beginn der Debatten

Die Diskussionen zur Klimaentwicklung haben in der jüngsten Vergangenheit eine Dynamik erreicht, die nicht mehr ohne weiteres nachlassen wird. Im Gegenteil – es wird sich zeigen, dass verkehrspolitische Maßnahmen, der Verzicht auf SUVs, ein Umstieg zur Elektromobilität und all die anderen ins Auge gefassten Maßnahmen einer „Energiewende“ das Klima nicht in dem Sinn „retten“ können, dass es sich auch nur mittelfristig auf einen gleichbleibenden Mittelwert festzurren lässt. Veränderung in die eine oder andere Richtung ist aber das, was die Klima-Aufzeichnungen

und Rekonstruktionen als einzig zuverlässige Charakteristik erkennen lassen, und das auch schon in Zeiten, in denen der Einfluss des Menschen weit geringer war als heute oder gar gänzlich zu vernachlässigen war.

Noch vor einigen Jahrzehnten dachte man, dass diese Veränderungen – von kleineren Schwankungen abgesehen – so langsam wären, dass sie aus dem Zeitmaßstab der menschlichen Perspektive heraus vernachlässigt werden könnten. Die Forschungen der letzten Jahrzehnten haben aber unmissverständlich gezeigt, dass das ein Irrtum war. Das Klima konnte und kann schnell auch krasse Entwicklungen nehmen und sich, über die Erdgeschichte gesehen, zwischen Eiszeit und nahezu global tropischen Verhältnissen bewegen. Klimaschwankungen sind eine natürliche Eigenschaft des Systems Erde, und das Leben auf der Erde muss sehen, wie es damit zurecht kommt, gleich welchen Anteil es selbst an solchen Entwicklungen haben mag und in welchem Maß es auch gelingen sollte, sich „klimaneutral“ zu verhalten.

Dass die Menschen durch ihre Eingriffe in das System das Klima verändern können, ist nicht anzuzweifeln. Als Geowissenschaftler hat man dabei auch im Hinterkopf, dass es einst Bakterien waren, die die Photosynthese erfunden und begonnen haben, Kohlendioxid aus der Atmosphäre zu nehmen, um es aufgespalten in Form von Zucker und anderen organischen Verbindungen in ihre Körper einzubauen. Später haben die Pflanzen diese Form der Energiegewinnung übernommen und weiteres CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre in Biomasse umgewandelt.

Wenn alle abgestorbenen Organismen sofort wieder vollständig verwesen würden, würde der ganze biogene Kohlenstoff umgehend wieder als CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre zurückkehren – doch das ist nicht der Fall, weil ein erheblicher Anteil toter Materie in Sedimenten begraben und so erst einmal langfristig vor der Oxidation verschont bleibt. In der Entwicklungsgeschichte des *Homo sapiens* wurde jedoch begonnen, den in der Erde gebunkerten Kohlenstoff zur Energiegewinnung herauszuholen – ein energetisches Novum in der Evolution des Lebens. Und nun wird ein Teil dessen, was über viele Jahrmlionen im Sediment vor Sauerstoff geschützt war, in wenigen Jahrhunderten wieder in die Atmosphäre entlassen. Vor dem Hintergrund der Erdgeschichte haben diese Stoffverschiebungen im „System Erde“ in jedem Fall eine geologische Dimension und es wäre schon sehr erstaunlich, wenn die Erde das reaktionslos verdauen würde.

Die Klimadebatten werden also schon deshalb kein Ende nehmen, weil auch die Klimaveränderungen nicht zur Ruhe kommen werden. Und immer wird sich dabei auch die Frage stellen, welcher Anteil daran jeweils den Eingriffen des Menschen zugeschrieben werden kann. Doch dazu kommt noch ein weiterer Aspekt: Gleich in welcher Richtung sich die Temperaturen bewegen und Gletscher schmelzen oder wachsen, stets wird sich in einem solchen Fall auch die Frage stellen, ob es sich dabei um einen in Zeit und Wirkung begrenzten Trend handelt, oder ob der Beginn einer langfristigen Verschiebung vorliegt.

Die Menschheit hat in ihrer langen Geschichte schon einiges an Klimawandel durchgestanden, wobei das letzte Glazial, und vielleicht noch problematischer, der Übergang zur jetzigen Warmzeit (dem Holozän), sie nahe an die Kante zum Aussterben gebracht haben könnte.<sup>[2]</sup> Doch damals gab es Reaktionsmöglichkeiten, die wir so heute nicht mehr haben: Zum einen gab es genügend Raum,

um vor den sich vor allem auf der Nordhalbkugel auftürmenden Eismassen zurückzuziehen, zum anderen reagierten die Menschen auf das Ende der von Großsäugern besiedelten Kältesteppe und der mit der Erwärmung einher gehenden Gewinn an Flächen mit einer Systemverschiebung bei der Ernährung: Vieh- und Milchwirtschaft, dazu Ackerbau, vermochten es, die Ernährungssituation nicht nur zuverlässiger zu machen, sondern zugleich die Grundlage für ein enormes Wachstumspotential zu schaffen.<sup>[3]</sup>

So gesehen, sind Veränderungen des Klima gar nicht das eigentliche Problem. Die Hürde besteht vielmehr darin, dass es keinen Raum mehr zum Ausweichen gibt und zudem nicht zu sehen ist, wie eine noch immer anwachsende Erdbevölkerung auf einer endlichen Fläche und ohne weiter wachsende Energiereserven stabilisiert werden könnte. Jede auch nur noch so kleine Schwankung des Klimas oder Einschränkung von Wohnraum und landwirtschaftlicher Nutzfläche droht tiefe Kerben in Bestand und Lebensumstände der menschlichen Spezies zu schlagen oder sie gar in ihrer Existenz zu bedrohen.

Es kann daher nicht darum gehen, in einer Fortsetzung technokratischer Machbarkeitsphantasien den Klimawandel „beherrschen“ zu wollen. Vielmehr sollte es darum gehen, wie man die Menschheit auf die geologisch unvermeidlichen Wechselfälle und auf die begrenzte Tragfähigkeit der Erde einstellen kann. Wichtiger als das „Klima zu retten“ ist, den Fortbestand der Menschheit zu sichern. Die Menschen sind, funktional gesehen, weder Täter noch Opfer des „Systems Erde“, sondern unentrinnbar Mitwirkende.

### **„Klima-Skeptiker“ und Klimamodelle**

Die Klimadebatte hat zwei sich kompromisslos gegenüberstehende Gruppen, „Klimawandel-Vertreter“ und „Klimawandel-Leugner“ hervorgebracht. Nun gibt es aus methodologischer Sicht durchaus einige Gründe, die Aussagen und Prognosen der Klimawandel-Vertreter und des IPCC mit gewisser Vorsicht zu behandeln. Ein Teil dieser Zweifel wird allerdings durch die Übersetzung aus der wissenschaftlichen Sphäre in eine normale Sprache überspielt, bei der man der weniger kundigen Öffentlichkeit die methodologischen und erkenntnistheoretischen Fallstricke des Modellierens ersparen möchte.

Um es vorneweg klarzustellen: Auch wenn die Forderung nach Einhaltung von „Klimazielen“ methodologisch fragwürdig ist, weil damit der Eindruck erweckt wird, man könnte die Klimaentwicklung tatsächlich in hinreichend präziser Weise steuern und vorhersagen, kann das kein Grund sein, die Bemühungen um eine Reduktion der Treibhausgase und eine Energiewende als obsolet hinzustellen. Es kann so laufen, wie es die Modelle prognostizieren, aber es kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass es in die eine oder andere Richtung anders kommt. Es ist nicht klug, wenn Wissenschaftler das notwendige Maß an methodologischer Skepsis für sich behalten und ihre Sachaussagen davon abgekoppelt in die nicht-wissenschaftlich trainierte Öffentlichkeit entlassen.

In letzter Zeit wird verstärkt das Argument gebracht, dass es zu den Klimaprognosen einen wissenschaftlichen Konsens gäbe. Gerade die *Fridays-for-future*-Bewegung oder das so wirkungsvolle *Rezo*-Video stützen ihr Engagement ganz wesentlich auf die Annahme, dass die Mehrheit der *Scientific Community* sich nicht irren kann. Doch jeder, der sich mit der Geschichte der Wissenschaft befasst, weiß, dass diese auch als eine Abfolge von großen Irrtümern gelesen werden kann, in der die Mehrheit nicht immer, aber gelegentlich auch daneben lag.<sup>[4]</sup> In jedem Fall ist der Umstand, ob eine wissenschaftliche Meinung mehrheitlich oder nicht mehrheitlich getragen werden, erkenntnistheoretisch ohne Bedeutung – zumindest so lange, bis das Problem auch auf dieser Ebene abgewogen wurde.

In einem aktuellen Beitrag in *Spektrum der Wissenschaft* heißt es: „Tatsächlich sind sich die Klimatologen in den Grundfragen ihres Fachs praktisch vollkommen einig – etwa auf dem gleichen Niveau, wie Übereinstimmung über die Relativitätstheorie und ihrer Erklärung der Schwerkraft besteht“.<sup>[5]</sup> Abgesehen davon, dass man in der populärwissenschaftlichen Sphäre wahrscheinlich lange suchen muss um jemanden zu finden, der diesen Vergleich angemessen versteht, ist er zugleich auch methodologisch verfehlt: Die Theorien der Physik haben eine deutlich andere Struktur als Modelle zum Klimawandel.

Voraussetzung für zuverlässig zielgerichtete Klima-Prognosen wäre, eine ebenso zuverlässige Theorie des „Systems Erde“ zu haben, und das natürlich in besonderem Hinblick auf die Entwicklung des Klimas. Eine solche Theorie gibt es aber nicht und kann es im Grunde nicht geben, weil die Erde ein sehr komplexes System bildet und der jeweilige Zustand die Folge eine einzigartigen Entwicklung ist – wie auch ein Vergleich mit unseren Nachbarplaneten auf den ersten Blick erkennen lässt. Eine „Theorie der Erde“ kann es genau sowenig geben wie eine „Theorie der Geschichte“, auch wenn es darin jeweils Elemente gibt, die auf „Naturgesetze“ oder andere verlässliche Prinzipien gründen.

Ein Modell muss man dann machen, wenn man für die Beantwortung einer Fragestellung keine zuverlässige Theorie hat. Man muss dann aber auch eine Vorstellung davon haben, welche „Naturgesetze“ und welche Prozesse in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen, um eine beobachtete Entwicklung – hier die Klimaentwicklung im Zusammenhang mit dem CO<sub>2</sub>-Ausstoss und den in den Ozeanen laufenden Aufnahme- und Verteilungsmechanismen – rechnerisch simulieren zu können. Im Zeitalter der Supercomputer bedeutet das: man wählt die als wesentlich angesehenen physikalischen Beziehungen aus, entscheidet sich dann für einen Betrachtungszeitraum bzw. eine Anfangssituation, von der aus man den Computer die Entwicklung rechnen lässt. Die ersten Rechenläufe werden vielleicht noch wenig brauchbare Ergebnisse bringen, aber durch Nachjustieren bei den Variablen wie den Ausgangs- und Randbedingungen kann man versuchen, das Muster der zu erklärenden Entwicklungen zu reproduzieren.

Gelingt es hinreichend zuverlässig, eine tatsächliche Entwicklung nachgestellt zu haben, dann ist es plausibel, dass die gewählten Variablen und Bedingungen auch den tatsächlich wirksamen Prozess erfasst haben. Das Modell ist allerdings kein Experiment, sondern eine Nachbildung von Erscheinungen, und somit kann man sich eigentlich nie ganz sicher sein, ob der errechnete Verlauf

nur eine zufällige Übereinstimmung mit der tatsächlich beobachteten Entwicklung darstellt oder sich zwangsläufig ergibt, weil die Mechanismen für die Modellierung richtig erfasst und mit einer ausreichenden Datenmenge belegt worden sind. Wie auch immer – wurde das Muster hinlänglich reproduziert, dann kann man es wagen, dieses Modell auch in die Zukunft zu extrapolieren. Das ist es, was mit den Klimamodellen gegenwärtig gemacht wird.

Klar ist aber auch: je weiter man sich dabei von dem modellierten, noch beobachteten Ablauf entfernt, desto unsicherer werden im Grunde solche Extrapolationen. Selbst dann, wenn das Modell tatsächlich die für den betrachteten Zeitraum wirkenden Mechanismen hinreichend erfasst haben sollte, sind komplexere Systeme nur beschränkt modellierbar. Das Problem ist auf anderer Ebene, nämlich der Wetterprognose bekannt: Voraussagen für den nächsten Tag funktionieren in der Regel ganz gut, für den zweiten sind sie schon unzuverlässiger – und kein Meteorologe würde seine Hand für eine über eine Woche hinausgehende Prognose ins Feuer legen.

Nun sagen die Klimamodellierer ja bekanntlich, dass „Klima“ etwas als „Wetter“ sei, seine Entwicklung längerfristig, weniger „chaotisch“ und eher „linear“ verlaufe,<sup>[6]</sup> und deshalb auch zuverlässiger und daher auch über viele Jahre hinaus modellierbar sei. Doch so ganz sicher ist man sich dann auch wieder nicht, was in den Hinweisen auf mögliche „Kipp-Punkte“ zum Ausdruck kommt. An einem solchen Kippunkt würde das lineare und somit auch umkehrbare Verhalten enden, und möglicherweise unumkehrbar, in neue Bahnen laufen. Diese warnenden Stimmen in der Klimaforschung sind Ausdruck einer grundsätzlichen Unsicherheit über die Entwicklung des Klimas im System Erde: wie linear, oder umgekehrt, wie komplex oder gar chaotisch ist diese Entwicklung tatsächlich?

Das heißt selbst dann, wenn ein Modell einen Abschnitt der Klimaentwicklung treffend abzubilden vermag, kann man sich grundsätzlich nicht sicher sein, ob dieser auch in Hinblick auf die Wirkungsweise der einzelnen Faktoren zuverlässig erfasst wurde. Wie gesagt, Computer-Simulationen sind keine physikalischen Experimente, sondern rechnerische Nachbildungen von Verläufen. Sie bieten jedoch den großen Vorteil, dass sie auch eine Art „learning by doing“ erlauben und durch die Möglichkeit, sie immer wieder nachzubessern oder sie auch in wichtigen Beziehungen zu korrigieren, sehr viel zum Verständnis eines Systems beitragen können.

Doch das sind alles nur die Unwägbarkeiten, die innerhalb der Modelle sitzen. Die Erde – und auch das Klima – werden aber noch von Ereignissen beeinflusst, die in solchen Modellen wegen ihrer Unvorhersehbarkeit oder auch Unwahrscheinlichkeit gar nicht berücksichtigt werden. Bricht morgen die Caldera unter den Phlegräischen Feldern oder gar der Yellowstone-Vulkan in der erdgeschichtlich bereits mehrfach dokumentierten Größenordnung aus, dann wird keiner mehr über den Klimawandel diskutieren, denn der ist dann schlagartig da – und ganz anders als befürchtet.

Das sind Ereignisse mit einer Wiederkehr von einigen Jahrzehntausenden (Italien) oder Jahrhunderttausenden (Yellowstone). Möglicherweise reicht aber auch schon ein sich alle paar Jahrhunderte wiederholendes Ereignis wie ein großer Spaltenausbruch auf Island aus, um global problematische Konsequenzen auszulösen.<sup>[7]</sup>

Es wäre zu wünschen, dass Wissenschaftler gerade auch in schwierigen, zu Entscheidungen drängenden Situationen die Souveränität bewahren und die Grenzen in der Verlässlichkeit ihrer Aussagen deutlich machen. Im Jahr 2014 hat ein italienisches Gericht sieben Geowissenschaftler wegen fahrlässiger Tötung zu mehrjährigen Gefängnisstrafen verurteilt. Im Vorfeld des Erdbebens von L'Aquila, das 2009 mehr als 300 Menschen den Tod brachte, hatten die Wissenschaftler vorausgehende Mikrobeben nicht als Vorboten eines großen Erdbebens angesehen und sich daher nicht für eine Evakuierung ausgesprochen <sup>[8]</sup>.

Auch wenn diese Interpretation aus wissenschaftlicher Sicht nicht "falsch" war, hatte sie schlimme Konsequenzen. So fehlgeleitet es ist, Wissenschaftler deshalb juristisch zu belangen (das Urteil wurde später auch wieder aufgehoben...), so bleibt die Frage, warum Wissenschaftler in einer solchen Situation nicht deutlich machen: „Wir können in diese Situation keine eindeutige Aussage machen“ und „wir raten kurzfristig vorsichtshalber zu einer Evakuierung, um die Situation weiter beobachten zu können“ und „wir raten mittelfristig zu einer erdbebensicheren Erneuerung der Bauwerke oder, wenn diese Investition nicht gemacht wird, zu einer Aufgabe des Ortes“.

Dieses Beispiel zeigt aber auch, dass die globale Problematik in der Begrenzung nutzbarer Flächen sich schon lange auch in kleinräumigeren Dimensionen zeigt. Je dringlicher der Bedarf, desto bewusster wird auch die Besiedelung von Risikobereichen in Kauf genommen. Das gebirgige Italien mag hierfür vielleicht besonders drastische Beispiele liefern – zwischen Vesuv und der noch gefährlicheren Caldera der phlegräischen Felder gelegen, sollte das Gebiet um Neapel besser als Waldfläche denn Wohnraum genutzt werden. Doch auch in Deutschland sind solche Konflikte zwischen Wohnfläche und Naturgefahren-Raum keine Ausnahme: die Ausdehnung der Besiedlung in die Überschwemmungsgebiete von Flüssen hat im letzten Jahrzehnt immer wieder zu Katastrophen geführt. Auch wenn es dabei weniger um Menschenleben als um gewaltige materielle Schäden ging, ist die Problematik im Grunde keine andere.

Regionale Katastrophen wie diese auf den Klimawandel zu schieben – wie es immer wieder mal zu hören ist – verstellt den Blick darauf, dass der Hunger nach Flächen in einer zunehmend enger werdenden Welt in Konflikt mit Risikobereichen der Natur gerät. Der Klimawandel ist nun ein Risikofaktor, der in seiner globalen Reichweite diese Problematik sicher massiv verstärken wird, weiter zugespitzt dadurch, dass Ökonomie und Bevölkerungsentwicklung nach wie vor im Wachstum sind.

## **Russisches Roulette im Anthropozän**

Wir haben eine bisher noch nie dagewesene Phase der Erdgeschichte angetreten: die Bezeichnung „Anthropozän“ trifft den Sachverhalt, dass der Mensch in vieler Hinsicht merklich in das System Erde eingegriffen hat. Doch während Geowissenschaftler darüber diskutieren, wann und mit welchem Kriterium man denn diese neue Epoche im Rückblick beginnen lassen soll, bleibt der Blick nach vorne beschränkt, weil die Auswirkungen diese System-Eingriffe in vieler Hinsicht nicht abzusehen sind. Vielleicht wird das Mikroplastik-Problem bald die Klimadebatte überschatten und

man muss sich überlegen, wie Fahrzeuge ohne Reifenabrieb fahren könnten. Und möglicherweise sind auch andere bedrohliche Prozesse am Laufen, die wir in ihrer umwelt- oder gesundheitsgefährdenden, oder gar die Existenz der Menschheit bedrohlichen Wirkung noch gar nicht erkannt haben.

Toby Tyrell, der in diesem Zusammenhang den Begriff „Russisches Roulette“ verwendet hat, bringt in seinem Buch *On Gaia* ein fast schon vergessenes Beispiel für solche Gefahren, die wir gar (noch) nicht sehen.<sup>[9]</sup> Die Ozonschicht schützt die Erde und ihre Bewohner vor einem Übermaß an UV-Strahlung. Künstlich hergestellte Chlor-Fluor-Kohlenstoff-Verbindungen drohten im letzten Jahrhundert, die Ozon-Schicht durch Aufspaltung des aus drei Sauerstoffen bestehenden Ozon-Moleküls (O<sub>3</sub>) zu zerstören. Die Entdeckung dieser zerstörenden Wirkung durch die Chemiker Sherry Rowland und Mario Molina (1974) erfolgte gerade noch rechtzeitig, um diesen bereits deutlich fortgeschrittenen Prozess überhaupt erfassen zu können. Es dauerte dann bis in das Jahr 1987, um im Montreal-Protokoll ein wirksames Verbot zu vereinbaren.

Diese Geschichte ging – gerade noch – gut aus. Im Vorfeld der industriellen Anwendung hätte man allerdings genauso gut statt auf Chlor-Verbindungen auf Brom-Verbindungen setzen können. In diesem Fall hätte das in der Atmosphäre freiwerdende Brom das Ozon etwa fünfzigmal effizienter zersetzt. Wäre es so gelaufen, hätten wir die Zerstörung einer Ozon-Schicht wahrscheinlich erst wahrgenommen, wenn wir schon die schmerzlichen Folgen des fehlenden Schutzes vor dem UV-Licht verspürt hätten.

Dies zeigt uns auch, dass die Modellierung und Folgenabschätzung von anthropogenen Eingriffen in das System Erde auch deshalb so problematisch ist, weil es sich grundsätzlich um Veränderungen handelt, für die es im Verlauf der vorangegangenen Erdgeschichte keine Beispiele gibt.

### **Das gute am Klimawandel ...**

... ist, dass es aktuell wärmer und nicht kälter wird. So gesehen können wir sicher sein, dass wir gerade nicht auf dem unmittelbaren Weg in ein neues Glazial sind. Eine Kaltzeit, wie unsere Vorfahren sie in der Zeit vor etwa 115.000 bis vor 10.000 Jahren erlebt hatten, würde die heutige Menschheit – im Gegensatz zu unseren Vorfahren – wohl kaum mehr überstehen. Die Einschränkung des Wohnraums, der Ausfall der für Welternährung wichtigsten landwirtschaftlichen Flächen, ein völliger Kollaps der Zivilisation wäre die wahrscheinliche Folge.

Umgekehrt verdanken wir der letzten Kaltzeit durchaus positive Hinterlassenschaften: frische Böden auf von Wind abgelagerten Staub, dem Löß. Nahezu alle diese großen, für die Welternährung relevanten Ackerbaugebiete liegen in den Lößgürteln am Südrand des einst bis dorthin reichenden nordischen Inlandeises.

Vor der Wahrnehmung der aktuellen Klimaerwärmung musste man davon ausgehen, dass in näherer Zukunft eine zum nächsten Glazial führende Abkühlung einsetzt. Die Dauer der aktuellen Warmzeit wäre, gemessen an den vorangehenden Warmzeiten, schon weitgehend ausgeschöpft. Doch – glücklicherweise! - scheint es nun anders zu kommen.

In den letzten 40 Millionen Jahren ist das Erdklima allerdings zunehmend kühler geworden. Damit einhergehend sank die Kohlendioxid-Konzentration der Atmosphäre tendenziell immer weiter ab. Es ist nicht klar, worauf der Rückgang des Kohlendioxids letztlich zurückzuführen ist – verstärkte Verschiebung in eine weiter angewachsene Biomasse, verstärkte Einbettung in Sedimente vor allen in den Ozeanen, oder gar eine langfristige CO<sub>2</sub>-Verarmung durch Subduktion in den Erdmantel? Abkühlung und zunehmende Trockenheit brachten neue Ökosysteme hervor – Savannen sind Lebensräume, die es so vorher nicht gab. Die Evolution der Pflanzen reagierte auf die CO<sub>2</sub>-Verknappung mit der Entwicklung der C4-Photosynthese, bei der das Kohlendioxid effizienter aufgenommen wird.

Langfristig könnte die Abkühlung der Erde ein Problem sein. Oder zumindest war sie es, bis zu der aktuellen, nahezu explosiven CO<sub>2</sub>-Verschiebung in die Atmosphäre. Doch wie verhält sich diese langfristige Entwicklung zu der nun vor kurzem so intensiv verstärkten CO<sub>2</sub>-Erhöhung in der Atmosphäre?

Die geologische Gegenwart – das Holozän – ist eine für den Menschen recht angenehme Epoche gewesen. Natürlich könnte die Welt noch besser sein – aber sie könnte für uns auch sehr viel schwieriger sein.

## **Die Erde kann nicht anhaltend so viele Menschen tragen**

Klimaveränderungen führen allein schon durch die damit verknüpften Meeresspiegelschwankungen zu Veränderungen der bewohn- wie bewirtschaftbaren Flächen. Dazu kommen die klimatisch bedingten Verschiebungen auf dem Festland – wo kann man leben, und wo nicht. Je dichter die Erde bevölkert ist, desto unmittelbarer müssen sich solche Veränderungen auswirken. Die gegenwärtige Klimadebatte bewegt sich in einer paradoxen Situation: während auf der einen Seite über die Energieeinsparung diskutiert wird, wächst auf der anderen Seite die Weltbevölkerung immer weiter – und nicht nur die Bevölkerung, sondern mit ihr das ökonomische System.

Dieses Wachstum wird unvermeidlich die Flächenkonflikte weiter verschärfen. Unter diesen Bedingungen ist es illusorisch, etwa über eine als klimagünstig angesehene Wiederbewaldung nachzudenken, denn die Entwaldung kann in der gegenwärtig wirksamen Dynamik – global gesehen – durch solche vereinzelt Projekte nicht gebremst werden. Die bewaldeten Flächen werden immer weniger, sei es vor unsere Haustüre in Mitteleuropa oder am Amazonas.<sup>[10]</sup>

Um die auf Hochleistung getrimmte Landwirtschaft am Laufen zu halten und den steigenden Bedürfnissen einer wachsenden Bevölkerung nachzukommen, bedarf es neben geeigneten Flächen zudem der Düngung, also vor allem der ausreichenden Versorgung mit Stickstoff und Phosphor. Dabei gilt es jedoch zu sehen, dass die Produktion von Stickstoff-Dünger – im wesentlichen über das Haber-Bosch-Verfahren – sehr energieaufwändig ist und aktuell einen beträchtlichen Teil der fossilen Energieträger verbraucht. Zudem ist die Erschöpfung der Phosphat-Lagerstätten im Zeitraum von Jahrzehnten bis wenigen Jahrhunderten abzusehen. Noch mehr Energiebedarf zum



einen, Grenzen des Wachstums auf der anderen Seite – das ist das eigentliche Thema, um das es im Grunde vordringlich gehen müsste.

Natürlich kann man den Flächenbedarf für die Nahrungsmittelproduktion optimieren, wenn man auf aus Weidetieren gewonnenes Fleisch verzichten würde. Aber was macht das für einen Sinn, wenn die damit eingesparte Energie andernorts für einem weiteren Anstieg der Bevölkerung verbraucht wird? Solange das Bevölkerungswachstum alle möglichen Energiereserven ausschöpft und nur durch eine durch Knappheit verursachte Todeszone begrenzt wird, führt jede Energieeinsparung auf der einen Seite zu weiterem Verbrauch und Wachstum auf der anderen.

Eigentlich, so könnte man denken, müsste doch die Bevölkerungsentwicklung übersehbarer und beherrschbarer sein als die komplexen Verhaltensweisen des Systems Erde. Doch dieser Bereich des menschlichen Handelns scheint weitgehend ohne Nachdenken – oder besser: Vorausdenken – abzulaufen. Begrenzt wird das Bevölkerungswachstum wie bei Bakterien und anderen weniger intellektuell begabten Spezies durch die Faktoren Raum und Energie. Am Rande dieser Ressourcen gibt es eine Zone des Hungerns und Sterbens, und der Fortschritt in der Entwicklung der Menschheit besteht darin, diese Zone nicht aufzulösen, sondern nur weiter nach außen zu schieben: innen werden es mehr, die nicht hungern, außen werden es mehr, die hungern. Dort stirbt jede paar Sekunden ein Mensch – die Größenordnung der Opfer beträgt etwa 10 Millionen im Jahr, also etwa 1% der Weltbevölkerung, dazu kommen ca. 10% der Weltbevölkerung, die dauerhaft unterernährt sind.<sup>[11]</sup>

Vor allem Europa und die Vereinigten Staaten von Amerika haben es in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts geschafft, den lebensbedrohlichen Hunger weitgehend aus ihrer Mitte an die Ränder der von den Medien wahrgenommenen Welt zu schieben. Zuvor waren Hunger und Tod auch in inmitten unserer Welt gegenwärtig – der extremste Fall war vermutlich die aufgrund einer Kartoffelfäulnis ausgelösten Hungersnot in Irland, wo in den Jahren 1845-1849 mehr als eine Million Menschen verhungerte. Die Hungersnot in Finnland und Nordschweden in den Jahren 1866-1868 wird als letzte natürlich bedingte in Europa angesehen – 15-20% der Bevölkerung fielen ihr zum Opfer.

Bildhaft gesprochen, waren Wohlstand und Hunger früher in kleinen Kreisen organisiert: es gab viele Zentren mit wohlgestättigten Eliten, umgeben von breiten hungernden Rändern. Im Laufe der letzten Jahrzehnte sind diese Kreise in kontinentale Dimensionen gewachsen – nun ist ganz Europa im Zentrum, und der hungernde Rand ist im Grunde außer Sichtweite gerückt. So wie die tägliche Seismik der Erde keine Meldung wert ist und nur große Beben von den Medien aufgegriffen werden, so liegt das tägliche Sterben am Rande der angewachsenen Wohlstandgebiete der Erde jenseits der ständig gegenwärtigen Aufmerksamkeitsschwelle.

Global gesehen, hat das Wachstum der Menschheit zusammen mit dem wirtschaftlichen Wachstum nicht den Hunger besiegt, sondern im Grunde die prekären Randzonen unserer Existenz einfach nur weiter nach außen geschoben, während die wohlversorgten Kerne größer und räumlich zusammenhängender wurden.

Jene die behaupten, Hunger wäre nur ein Verteilungsproblem, verkennen, dass dessen Lösung auf dem heutigen Stand der Bevölkerung unter einer nachhaltig orientierten Perspektive nicht möglich ist. Nachhaltiges Leben auf der Erde kann zudem nicht dem Prinzip des ständigen Wachstums folgen. In den Diskussionen um eine Energiewende wird ja nicht selten der Gedanke vertreten, dass Mobilitäts- und Energie-Alternativen neue, gewinnbringende Wachstums-Zweige im kapitalistischen System sein könnten. In Hinblick auf eine Transformation zu einer an Nachhaltigkeit orientierten Ökonomie ist das jedoch paradox. Aber eine Partei, die Veränderung nicht als ökonomische Chance, sondern als Rückbau propagieren würde, würde in keiner Demokratie der Gegenwart eine Stimme bekommen: die Sorge um Arbeitsplätze, Renten, Wohlstand lässt im Rahmen praktikabler Politik keinen Ausstieg aus dem auf Wachstum programmierten Markt zu.

Die auf Wachstum bauende Dynamik des Systems kann aber nur solange funktionieren, als die materiellen und energetischen Grundlagen dieser Dynamik gleichsam beliebig und billig, wenn nicht gar kostenlos zur Verfügung stehen: solange Energieträger, Rohstoffe und Flächen einfach angeeignet und „zu Geld gemacht“ werden können, wird sich das auch kaum ändern. Diese Entwicklung ist nun aber dabei, an ihre Grenzen zu stoßen. Auch dazu arbeiten Wissenschaftler an Modellen – wenngleich lange nicht so viele und auch nicht so systematisch wie an der Klimafrage.

Die begrenzte Lebensdauer von Zivilisationen und „Hochkulturen“ in der Geschichte der Menschheit ist eine Tatsache, die offenbar eine merkwürdige Faszination ausübt. Programmierer, die an erklärenden Modellen arbeiten, scheinen dabei immer zum gleichen Ergebnis zu kommen: Es gibt im Grunde nur drei mögliche Resultate, auf die eine auf ständiges Wachstum bauende Kultur zulaufen kann: (1) totaler Kollaps mit Aussterben, (2) totaler Kollaps mit einer übrigbleibenden, verarmten Restbevölkerung, und am unwahrscheinlichsten (3) ein sanftes „Gesundshrumpfen“.

Bemerkenswert ist hier eine im Jahr 2014 veröffentlichte Studie, die erstmals soziale Ungleichheit als Variable in ihre Modellrechnungen aufnahm. Das Ergebnis war, dass soziale Ungleichheit die Wahrscheinlichkeit eines Kollaps erhöht, weil die Eliten noch immer von dem System profitieren und daran festhalten, auch wenn sich bei den weniger Profitierenden oder schon Abgehängten der Eindruck durchgesetzt hat, dass es so nicht mehr lange weitergehen kann.<sup>[12]</sup>

## **Krisen und die großen Evolutionsschritte der Menschheitsgeschichte**

All die vielen bereits untergegangenen Kulturen waren bisher immer nur regionale Erscheinungen. Selbst wenn wir über den Untergang des Römischen „Weltreiches“ diskutieren, hat dieser genau sowenig die Erde als Ganzes betroffen wie der Niedergang der Kultur auf den Osterinseln. Offenbar scheinen Kulturen an Grenzen zu stoßen, an denen sie nicht nur nicht weiter wachsen, sondern sich auch nicht auf einem konstanten Level halten können. Vielmehr scheint ein mehr oder weniger radikaler Absturz oder gar völliges Aussterben eine häufige, wenn nicht gar eine unvermeidliche Entwicklung zu sein.

Die gegenwärtige Entwicklung ist so ernst, weil es nicht eine regionale, sondern globale Situation

ist. Alle spielen mit, es gibt keine alternative Kulturen, aus denen heraus nach einem Zusammenbruch der Zivilisation ein erfolgreichen Neubeginn vorstellbar wäre. Die Dimension des Problems wird noch deutlicher, wenn wir einen Blick auf die Entwicklung der Menschheit insgesamt werfen. Es ist ja nicht so, dass es in ihrer Entwicklung keine existentiellen Krisen gegeben hätte. Diese Krisen wurden im Grunde mit zwei unterschiedlichen Strategien bewältigt: Migration in neue Räume, sowie Erschließung höherer Energieumsätze.

Die Migration in neue Räume ist ein aktuelles politisches Thema, mit dem wir uns hier nicht befassen wollen. Gäbe es auf der Erde kostenlose, unbesiedelte, landwirtschaftlich nutzbare Räume, würden viele dieser Menschen wahrscheinlich nicht versuchen, zu uns zu kommen. Aber vielleicht sollte man kurz auf den anderen Aspekt eingehen, denn die Entwicklung der Menschheit ist ganz wesentlich mit zunehmend höheren Energieumsätzen verknüpft. Dabei handelte es sich um Schritte, die die Nahrungsversorgung wie auch die kulturellen Möglichkeiten jeweils schlagartig auf völlig neue Niveaus gehoben hat.

Vergewissern wir uns an dieser Stelle, dass eine wesentliche Stufe in der Vorgeschichte der Hominiden die Entwicklung von Organismen waren, die dauerhaft eine gleichmäßige, relativ hohe Körpertemperatur halten konnten. Dieser zu den Säugetieren führende Schritt erfolgt vermutlich vor mehr als 200 Millionen Jahren in der Trias-Epoche. Die ersten Säugetiere hatten es damals mit den Reptilien zu tun, die ihnen gegenüber – klimatisch günstige Bedingungen vorausgesetzt – einen deutlichen energetischen Vorteil hatten: die Energie für ihre Körpertemperatur wurde nicht durch einen aufwendigen Stoffwechsel bereit gestellt, sondern im wesentlichen der Außentemperatur entnommen. Diese Reptilien benötigten so im Vergleich zu Säugetieren deutlich weniger Energie. Setzen wir ein ökologisches System mit einem bestimmten wie begrenzten Energiepotential voraus, hätten in diesem System mehr als 10 mal so viele Reptilien als Säugetiere leben können.

Unter diesen Voraussetzungen wie dem allgemein warmen Klima des Erdmittelalters fristeten die Säugetiere ein Nischendasein. Sie blieben klein, ernährten sich vermutlich von Insekten und Würmern und waren vermutlich in den kühleren Stunden, also wohl vorwiegend nachts aktiv. Der nach vielen Millionen Jahren letztlich doch noch eintretende Siegeszug der Säugetiere ist bekanntlich eine Folge des Massensterbens an der Kreide/Tertiär-Grenze. Der Kollaps der Nahrungsketten, Abkühlung der Atmosphäre durch den aufgewirbelten Staub bereitete den Sauriern den Garaus. Die Säugetiere konnten die derart freigewordene Welt gleichsam in einer kollektiven Aktion übernehmen und bald sind dann auch Spezies entstanden, die zwar nicht die Dimension der größten Saurier erreichten, aber doch schon das Format der heutigen großen Herdentiere hatten.

Die klimatischen Bedingungen für die Reptilien haben sich im Laufe des Tertiärs zunehmend verschlechtert – vielleicht hätten die Säugetiere ihren Siegeszug auch ohne den kosmischen Beistand erreicht. Die seit dem Ende des Eozäns zu beobachtende Abkühlung hat bald zur Ausbreitung von Gletschern und schließlich zu dem astronomisch punktierten Wechsel langer, extremer Kaltzeiten und kurzer, dazwischen geschalteter Warmzeiten geführt: die Erde war im gegenwärtigen Eiszeitalter angekommen, und diese wurde in ihren Klimawechseln immer extremer.

Vor diesem Hintergrund ist die Entwicklung der Hominiden ganz wesentlich eine Energiefrage

gewesen. Mehr Energie und weitere Entwicklung scheinen unauflösbar miteinander verknüpft gewesen zu sein. Zu diesen Energiesprüngen gehörte schon bald die Nutzung von Holz für die Versorgung des Feuers, später die kontrollierte und optimierte Nahrungsproduktion durch Tierhaltung, Milchwirtschaft und Ackerbau, und letztlich die Erschließung der fossilen Energieträger.

Keine andere Spezies hat es vermocht, während ihrer Entwicklungsgeschichte auf diese radikal progressive Weise ihren Energieumsatz auszubauen. Allein schon einer dieser Schritte ist größer als das, was in der Stammesgeschichte einer einzigen Spezies normalerweise erreicht wird. Indem auch ein beträchtlicher Teil des Energiebedarfs in die Entwicklung und den alltäglichen Gebrauch des Gehirns geflossen ist, war es wohl besonders dieser Investition zu verdanken, die diesen spektakulären Weg ermöglicht hat.

Mit der Nutzung des Feuers begannen die nachhaltigen Eingriffe in die Umwelt, zugleich brachte sie aber die Möglichkeit, nun mit gebratenem oder gekochtem Fleisch das verfügbare Angebot an hochwertiger Nahrung enorm auszuweiten. Der **Homo sapiens causticus** hat dann später die Weichen zum nächsten Schritt gestellt: die Ausweitung und Stabilisierung des Nahrungsangebotes durch Vieh- und Milchwirtschaft, sowie dem Anbau von Getreide. Der **Homo sapiens cerealis** ist wahrscheinlich eine Antwort auf die Versorgungskrise am Ende der letzten Kaltzeit. Von Flächendegeneration, Überjagung und Klimawandel bedroht, starben viele Großsäuger der nördlichen Hemisphäre mit der einsetzenden Erwärmung aus. Wären die Menschen unflexibel gewesen und hätten keine Alternative zum Jagen und Sammeln entwickelt, wäre es wahrscheinlich damals schon zum Ende der Menschheitsgeschichte gekommen.

Holz war nicht nur der wesentliche Energieträger, sondern zugleich auch Baumaterial. Holzknappheit wurde daher je nach Region und Umsatz früher oder später zu einem limitierenden Faktor. Auch wenn in erheblichem Umfang Wasser- und Windenergie als Energiequellen genutzt wurden, der Verknappung und flächenhaften Entwaldung konnte das keinen Einhalt bieten – schließlich wuchs die Bevölkerung und damit auch die Nachfrage weiter an. Auf dem Weg in die Neuzeit waren die Waldflächen in Europa auf ein historisches Minimum geschrumpft.

Mit dem im großen Stil einsetzenden Abbau der fossilen Brennstoffe hat der **Homo sapiens hydrocarbonus** die Voraussetzung für einen neuen Wachstumsschub eingeleitet. Zusammen mit der damals erfundenen Dampfmaschine und der Philosophie von Adam Smith wurde so die heutige Ökonomie auf den Weg gebracht.<sup>[13]</sup> Mit dem Einsatz von Dünger – erst noch Guano, dann aus Lagerstätten gewonnenes Phosphat – sowie schließlich der Erfindung der Ammoniak-Synthese mit dem Haber-Bosch-Verfahren, war es möglich, die Erde bis in die jetzige Situation zu bringen.

### **Vier Milliarden Jahre Evolution – und jetzt das ...**

Die Dramatik der Situation wird deutlich, wenn wir sie vor dem soeben in kleinen Ausschnitten skizzierten Hintergrund der Evolution des Lebens sehen. Die Schritte zu komplexerer physiologischer Organisation, wie auch die bisherige Erfolgsgeschichte der Hominiden, waren durchweg mit Schritten zu einem höheren Energieumsatz verbunden.

Erst vor einem solchen Hintergrund wird deutlich, vor welcher einzigartigen Situation wir nicht nur in der Menschheitsgeschichte, sondern in der mehr als 4 Milliarden Jahre dauernden Erd- und Evolutionsgeschichte stehen: Ob wir wollen oder nicht – die Entwicklung des Systems Erde mit uns als mitgestaltenden Bewohnern zwingt uns zu einem nächsten Schritt, mit dem wir zu einem Leben ohne Wachstum und nachhaltigem, stabilen Energie-Umsatz kommen müssen. Ein „weniger“, das nicht zugleich auch ein weniger an Kultur, Zivilisation und Menschlichkeit werden soll.

Ein vielfach verbreitete, aber unzutreffende Annahme ist, dass die Tendenz zur kulturellen „Höher-Entwicklung“, also immer intelligenter und geschickter zu werden – eine gleichsam natürliche, in den Genen des *Homo sapiens* liegende Eigenschaft wäre. Es gibt hinreichend Beispiele, die uns anderes zeigen.<sup>[14]</sup> Die ersten in Australien ankommenden Menschen fanden vermutlich ein Umwelt mit hoher biologischer Diversität und reichhaltigem Nahrungsangebot vor. Zu dieser Zeit verschwanden dann aber die großen Säugetiere, das Klima wurde ungünstiger, das Überleben musste sich immer mehr darauf konzentrieren, unter der glühenden Sonne ausreichend Wasserstellen zu finden. Es wird nicht viele geben, die heute gerne mit einem australischen Ureinwohner tauschen möchten.

Vor etwa 12000 Jahren schließlich wurde Tasmanien durch den postglazial steigenden Meeresspiegel von Australien abgeschnitten. Auf der klimatisch sehr differenzierten Insel waren die Lebensmöglichkeiten eher günstiger als in Australien, aber die Bevölkerungszahl war schon vorneweg niedrig und ist im Verlauf dieser Isolation nicht gewachsen, sondern mit der Zeit sogar geschrumpft. Diese führte dazu, dass Handwerks-, Jagd- und Ernährungspraktiken, die in Australien gängig waren, reduziert wurden – das Leben wurde einfacher. Die soziale und handwerkliche Differenzierung nahm ab. Bei der Ankunft der Europäer – beginnend mit der „Entdeckung“ durch den Holländer Abel Tasman (1642) und später fortgesetzt mit der Kolonialisierung durch die Engländer – lebten vermutlich 4000-6000 Tasmanier auf der Insel. Noch im 19. Jahrhundert starben die Tasmanier aus, sei es durch Krankheiten oder auch gezielten Genozid.

Der in Australien lebende Koala verbringt die meiste Zeit seines Lebens auf den Eukalyptus-Bäumen. Abgesehen vom Flächenbedarf der Menschen, hat der Koala traditionell keine ernsthafte Feinde. Die sparsame, vegetarische Lebensweise hat seinen Stoffwechsel verlangsamt, sein Energieverbrauch liegt damit unterhalb des Niveaus der meisten anderen Pflanzenfresser. Dieses entspannte Dasein hat auch zur Rückbildung des Gehirns geführt, das inzwischen nur noch einen kleineren Teil des Kopfes einnimmt.

Keine schlechten Aussichten – aber vielleicht findet sich ja doch ein intelligenter Designer, der uns Möglichkeiten aus dem bevorstehendem Dilemma aufzeigt.

### **Hinweis und Dank**

Dieser Text ist eine fehlerbereinigte, inhaltlich aber unveränderte Version der Erstfassung und wurde am 4. November 2019 ins Netz gestellt. Neben allen, die in Diskussionen zu diesem Thema beigetragen haben, gilt mein Dank ganz besonders R. Kötter (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg), der zudem das Manuskript einer gründlichen Durchsicht unterzog.

## Anmerkungen

[1] Evolution wird natürlich so lange stattfinden, wie es auch – mit oder ohne Menschen - Leben auf der Erde gibt. Wir spielen hier mit dem Begriff, in dem wir ihn im Sinne einer vielfach verbreiteten Ansicht verwenden, die „aufsteigende Entwicklung“ als ein dem Menschen gleichsam innewohnendes Prinzip sieht. Dass das nicht zutreffend ist, wird am Ende des Beitrags deutlich herausgestellt. [[<](#)]

[2] Das letzte Glazial wird in Norddeutschland als Weichsel-, in Süddeutschland als Würm-Kaltzeit bezeichnet. Ähnlich warm (genau genommen sogar etwas wärmer) wie in der Gegenwart war es in der als Eem-Warmzeit bezeichneten Periode, die zwischen dieser letzten Kaltzeit und der vorangegangenen Saale- bzw. Riss-Kaltzeit – vor ca. 125.000-115.000 Jahren – lag. Danach wurde es zunehmend kälter, bis schließlich das Gletschereis von Skandinavien bis nach Mitteldeutschland vorrückte. Zugleich drangen Gletscherzungen aus den Alpen bis auf die Höhe von München oder dem Bodensee vor. In der Weichsel-/Würm-Kaltzeit gab es durchaus auch wärmere Phasen, doch gegen Ende kam es vor ca. 21.000-18.000 Jahren zu einer nochmals besonders extremen Ausweitung der Eismassen („Letztes glaziale Maximum“). Danach wurde es rasch wärmer und das Eis zog sich zurück. Mitten in dieser Erwärmungsphase kam es dann allerdings zu einem krassen Rückschlag: in dem Zeitraum von ca. 10.700-9.700 v. Chr. (Jüngere Dryas/Jüngere Tundrenzeit) kehrten nochmals „eiszeitliche“ Verhältnisse zurück. Die Jahresmitteltemperaturen werden auf ca. -4°C geschätzt, die Böden lagen im Permafrost. [[<](#)]

[3] Wir wollen aber nicht vergessen, dass mit dem Neandertaler eine ganze Branche an Menschen die letzte Kaltzeit nicht überlebte. [[<](#)]

[4] Man könnte es auch so sagen: Jene, die an den Klimamodellen arbeiten, sind überwiegend von der Zuverlässigkeit ihrer Arbeit überzeugt. Deutlich mehr Skepsis würden wir antreffen, wenn Wissenschaftsgeschichtler oder Wissenschaftsphilosophen zu Wort kämen. Der Klassiker von Thomas Kuhn (1962): *The structure of Scientific Revolutions* bzw. deutsch *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen* kann noch immer als treffende Illustration kollektiver, aber nicht notwendig zutreffender Denkmuster gelten. So kann sich beispielsweise ein Geowissenschaftler vielleicht noch daran erinnern, dass das für viele Jahrzehnte als unumstößlich angesehene Modell der „Geosynklinale“ sich mit der Plattentektonik gleichsam in Luft aufgelöst hat. [[<](#)]

[5] Internet-Beitrag „Die gängigsten Mythen um Klimawandel“ in Spektrum.de, abgerufen am 24. September 2019. [https://www.spektrum.de/wissen/die-gaengigsten-mythen-zum-klimawandel/1674472?utm\\_source=pocket-newtab](https://www.spektrum.de/wissen/die-gaengigsten-mythen-zum-klimawandel/1674472?utm_source=pocket-newtab) [[<](#)]

[6] Lineares Verhalten: gleiche große Veränderungen der Ausgangsgrößen führen zu gleich großen Veränderung der Resultate; zudem ist lineares Verhalten idealerweise umkehrbar: weniger Input führt wieder zu weniger starken Resultaten. Nicht-linear oder auch „chaotisch“ sind Systeme, in denen kleine Veränderungen der Ausgangsbedingungen zu großen, auch qualitativ unterschiedlichen Sprüngen in den Ergebnissen führen können. Diese Verhaltensänderungen können unter Umständen auch durch Verminderung der Eingangsgrößen nicht wieder rückgängig gemacht werden und sind im Grund singuläre historische Entwicklungen. „Kipp-Punkte“ (*tipping points*) sind die Stellen, an denen ein System sein Verhalten zwischen linear/nicht-linear oder auch zwischen unterschiedlichen nicht-linearen reagierenden Bereichen ändert. [[<](#)]

[7] Zuletzt die Laki-Eruption 1783-1784, der etwa zwei Drittel der isländischen Bevölkerung in den Hungertod trieb. Zuvor war der Eldgja-Ausbruch – wahrscheinlich im Jahr 939 – von einer ähnlichen Dimension gewesen. Die Wirkung von Vulkanen auf das Klima hängt wesentlich davon ab, ob die Eruptionssäule – und damit der Ausstoß an Gasen und Aschepartikel – die Stratosphäre erreicht. Zu dem Thema „Vulkane und Klima“ siehe die Zusammenfassung von Lühr & Timmreck 2018 („Vulkane und Klima“) in Lozán et al.: Warnsignal Klima – Extremereignisse (Hamburg). [[<](#)]

[8] Siehe z.B. den umfassenden Wikipedia-Artikel, zuletzt aufgerufen 24.9.2019 [https://de.wikipedia.org/wiki/Erdbeben\\_von\\_L%E2%80%99Aquila\\_2009](https://de.wikipedia.org/wiki/Erdbeben_von_L%E2%80%99Aquila_2009) [[<](#)]

[9] Tyrell, Toby (2013): On Gaia. - 183 p. Princeton. [[<](#)]

[10] In einer Meldung des Umweltbundesamtes vom 1.8.2019 heißt es, dass im Rahmen einer Nachhaltigkeitsstrategie (!) für das Jahr 2020 eine Reduzierung des Flächenverbrauchs für Siedlungen und Verkehr auf 30 Hektar/Tag begrenzt werden soll. Im Vergleich: Im Jahr 2014 wurden täglich 69 ha ausgewiesen,, was einer Größe von ca. 100 Fußballfeldern entspricht. Siehe <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/flaeche>

[<]

[11] Welternährungsbericht 2018 <https://globalnutritionreport.org/> [ < ]

[12] Safa Motesharrei et al (2014): Human and nature dynamics (HANDY): Modeling inequality and use of resources in the collapse or sustainability of societies. - Ecological Economics 101: 90-102. Die Studie wurde vom NASA Goddard Space Flight Center finanziert und brachte die Arbeit von Mathematikern, Soziologen und Ökologen zusammen.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.02.014>

[<]

[13] Smith Adam (1776): An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations). Edinburgh. Darin das Prinzip der „unsichtbaren Hand“, das dafür sorgt, dass alle davon profitieren, wenn jeder Einzelne seinen wirtschaftlichen Erfolg zu maximieren versucht. [ < ]

[14] Flannery Tim (1994): The Future Eaters: An Ecological History of the Australasian Lands and People. Zu den Kontroversen um die Hypothesen von Flannery siehe einen ausführlichen Artikel im „Sydney Morning Herald“ vom 5. Juni 2004. Im Internet noch immer abrufbar (24.9.2019) unter:

<https://www.smh.com.au/national/the-flannery-eaters-20040605-gdj2eq.html>

[<]