

Die Sterblichkeit des Planeten

Kenneth J. Hsu

Die Venus ist tot. Mit einer Oberflächentemperatur von nunmehr über 600°C ist der Planet ein flammendes Inferno. Der Mars ist tot. Mit einer Oberflächentemperatur von 100°C unter Null gefriert sogar CO_2 zu Trockeneis. Es gibt keine Flüsse, keine Seen, keine Meere; es gibt auf dem Mars kein Wasser zur Erhaltung von lebendigen Organismen. Unser Planet lebt, bevölkert von Lebewesen seit zumindest 3,5 Milliarden Jahren. Seitdem ist Leben stetig vorfindbar. Da das Wasser der Meere niemals bis zum Grund eingefroren ist, wurde das Leben auf der Erde niemals völlig ausgelöscht. Die Oberflächentemperatur der Planeten hängt ab von folgenden Faktoren: 1. der empfangenen Sonneneinstrahlung, 2. dem Verlust von Sonneneinstrahlung aufgrund der Reflexion durch die Planetenoberfläche, dem Albedo-Effekt, und 3. dem sogenannten Treibhauseffekt, also der Speicherung solcher reflektierter Sonneneinstrahlung durch eine Gasschicht (wie beispielsweise CO_2 und Methan) in der Planetenatmosphäre.

Vor etwa drei Milliarden Jahren stieg der zuvor geringere Grad der Sonneneinwirkung logarithmisch an und hält sich seit etwa zwei Milliarden Jahren auf einem stabilen Niveau. Die Entwicklung des Albedo-Effektes ist schwer prognostizierbar. Es könnte einen positiven Feedback-Mechanismus geben: Es wurde beispielsweise entdeckt, daß es in Jahren mit frühem Schneefall kältere Winter gibt, da die schneebedeckten Flächen eine stärkere Reflexionswirkung besitzen. Es gab allerdings weder systematische Veränderungen des Albedo-Effektes in der beobachtbaren Erdgeschichte noch systematische Klimawechsel, die von ihm verursacht worden wären. Deshalb haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Planetentemperatur eher mit dem Treibhauseffekt in Verbindung gesetzt und die langfristige Klimaentwicklung der Planeten im Rahmen der variierenden Zusammensetzung der Treibhausgase in deren Atmosphäre interpretiert.

Auf der Venus wurde mehr CO_2 im Planeteninneren produziert und an die Venusstratosphäre abgegeben, als durch Einfluß der Gravitation in der Stratosphäre verloren ging. Die Venus ist daher von einer dichten CO_2 -Schicht umgeben, die in einem zwei Milliarden Jahre dauernden Prozeß akkumuliert wurde; von daher erklärt sich die feurige Verfassung des Planeten.

Die Konzentration von Treibhausgasen in der Erdatmosphäre ist veränderlich, da

es auf der Erde Leben gibt. Ein Organismus lebt genau dann, wenn er unter der katalytischen Wirkung von Phosphaten aus CO_2 und Wasser Zucker produzieren kann. Nach dem Tod des Organismus zerfällt dessen Körper wieder in CO_2 und Wasser und setzt außerdem die Phosphate frei. Nach einem Bestsellerautor läßt sich dieses offensichtliche Faktum so beschreiben: „Gaia“ formt aus CO_2 und Wasser einen Chemieprofessor, und dieser Chemiker gibt nach seiner Entlassung CO_2 und Wasser an „Gaia“ zurück. In einem optimalen Kohlenstoff-Kreislauf wird genau so viel CO_2 wieder freigesetzt, wie ein lebender Organismus vorher gebraucht hat. Gleichzeitig sollte die Planetenatmosphäre stetig durch CO_2 angereichert werden, das durch Vulkanausbrüche freigesetzt wird.

Der CO_2 -Kreislauf bei lebenden Organismen aber verläuft nicht optimal: Bestimmte Lebewesen werden nach dem Tod zu Fossilien, und mithin bleibt CO_2 gebunden. So in Sumpfbereichen an den Küsten, wo die Überreste von Pflanzen zu Fossilien werden. Im flachen Küstenwasser bilden Cyanobakterien Algenteppeiche, und diese binden Kohlenstoff in Kalziumkarbonatverbindungen. Dieser Kohlenstoffbindungsprozeß ist auf der Erde ein verbreiteter Grund für Sedimentierungen: Der Kohlenstoff der toten Pflanzenmasse wird zu Kohle, und die Mineralien, die von den Cyanobakterien erzeugt werden, bilden Kalkstein.

Nach den Erkenntnissen der Geochemie gab es in der Erdatmosphäre niemals zuviel oder zuwenig CO_2 . James Lovelock geht davon aus, daß die lebendigen Organismen der Erde einen Feedback-Mechanismus bilden, der das CO_2 -Niveau konstant hält. Dieses selbstorganisierte System wurde mit der Metapher „Gaia“ benannt. Nach Lovelocks Ansicht ist die Erde deshalb kein Feuerball, weil die Interaktionen zwischen den Lebewesen und ihrer Umwelt ein selbstorganisiertes System bilden, das die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre regelt.

In einem Vortrag vor der „British Association for the Advancement of Science“ habe ich Übereinstimmungen zwischen dem Kohlenstoffkreislauf der Erde und dem Geldkreislauf der Marktwirtschaft dargestellt. Je mehr Geld sich im Umlauf befindet, desto stärker steigt die Inflation. Ein Anstieg der Zinsen dämpft die Kreditaufnahme und dient so dazu, einen Teil des Geldes bei der Notenbank zu konzentrieren, mit der Folge deflationärer Tendenzen. Eine Deflation kann zu einer Rezession führen oder gar

Der Autor

Kenneth J. Hsu erwarb 1948 den Bachelor of Science in Geologie an der Chinesischen Nationaluniversität Nanjing und wurde 1953 zum Ph.D. an der University of California at Los Angeles promoviert. Von 1953 bis 1963 arbeitete er als wissenschaftlicher Forscher bei der Shell Development Co., von 1963 bis 1967 Lehrtätigkeit in den Vereinigten Staaten. Von 1967 bis 1994 hatte er den Lehrstuhl für experimentelle Geologie der ETH Zürich inne, von 1971–1978 war er der Herausgeber der Zeitschrift „Sedimentology“. 1978 bis 1982 war er Präsident der „International Association of Sedimentologists“ und von 1980–1989 Vorsitzender der „International Marine Geology Commission“. Zahlreiche Mitgliedschaften und Ehrenmitgliedschaften bei mehreren nationalen und internationalen Forschungsgesellschaften und Beratertätigkeit für die Vereinten Nationen. Träger der Wollaston-Medaille der Geologischen Gesellschaft, London. Verfasser von 15 Büchern und 400 wissenschaftlichen Beiträgen. Anschrift: Institute of Resource and Environmental Geosciences, Colorado School of Mines, Golden, Colorado 80401-1887, USA.

zu einer großen Depression. Somit greift die Notenbank in vernünftiger Weise in den Geldkreislauf ein, indem sie den Zinssatz im richtigen Moment senkt, um einen inflationären Schub für die Wirtschaft zu erzeugen. Die Übernahme dieser ökonomischen Logik in den Wissenschaftsjargon führte bei den Anhängerinnen und Anhängern der „Gaia-Schule“ zu folgender Auffassung: Mehr CO_2 in der Atmosphäre verursacht eine Steigerung der Planetentemperatur. Die Entwicklung von Lebewesen wie beispielsweise Pflanzen verursacht die Bildung von fossilem Kohlenstoff und führt so zu einer Reduzierung des CO_2 in der Atmosphäre und bewirkt die Senkung der globalen Temperatur. Diese Senkung kann schließlich zu einer Eiszeit oder gar zum Tod des Planeten führen. Allerdings hat „Gaia“ immer eingegriffen und im richtigen Moment die Entwicklung neuer Formen von Lebewesen bewirkt, die nachhaltig für die Freisetzung von fossilem Kohlenstoff als CO_2 in der Atmosphäre gesorgt haben, um die globale Temperatur durch die Initiierung von Treibhauseffekten wieder anzuheben. Damit habe ich die wesentlichen Punkte meines Vortrags „Ist Gaia endothermisch?“ wiedergegeben, in dem ich die Entwicklung des irdischen Klimas mit der biologischen Evolution vergleiche.¹

Die Venus ist tot. Falls es dort jemals Leben gegeben hat, waren die dortigen Organismen nicht in der Lage, das vulkanische CO_2 im Kohlenstoffkreislauf zureichend und nachhaltig zu reduzieren. So erwärmte sich die Venus stetig, und alles Leben, das es dort möglicherweise gegeben hat, wurde ausgelöscht.

Der Mars ist tot, aber es ist möglich, daß es dort vor Milliarden von Jahren Leben gegeben hat. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler glauben, daß die früheste Lebensform auf Erden in thermophilen Bakterien bestanden hat, ähnlich denen, die noch heute in den heißen Strömungen über unterseeischen Vulkanen am Boden des Pazifischen Ozeans leben. Vielleicht bestand die früheste Form des Lebens auf dem Mars in irgendeiner Form von Bakterien. Sie entzogen der Marsatmosphäre CO_2 , das nach deren Tod nicht völlig in den Kreislauf zurückkam, zumindest nicht genug CO_2 , um die CO_2 -Konzentration der Marsatmosphäre in einem annähernd stabilen Gleichgewicht zu halten. Das CO_2 wurde in der Folge soweit reduziert, daß es nicht mehr ausreichend vorhanden war, um den Mars warm genug zu halten. Das Einfrieren des Planeten konnte nicht aufgehalten, das Leben dort nicht erhalten werden.

Höchstwahrscheinlich starb der Mars vor ungefähr drei Milliarden Jahren, als die Sonnenenergiestrahlung nur einen Bruchteil der heutigen Menge ausgemacht hat. Zu dieser Zeit hätte die Treibhausgaskonzentration um ein Vielhundertfaches höher sein müssen, um die Planeten vor dem Erfrieren zu bewahren. Ohne einen wirksamen Schutz durch Treibhausgase wurde der Mars ein lebensfeindlicher Ort. Wie ist es der Erde gelungen, dem Schicksal des Mars zu entkommen? Wenn man die lebendigen Organismen der Erde nach Maßgabe ihrer Fähigkeit klassifiziert, Treibhausgase entweder zu binden oder freizusetzen, gibt es nur zwei Klassen: die „Heizkörper“ und die „Klimaanlagen“.² Vor drei Milliarden Jahren bestand die beherrschende Lebensform auf Erden in thermophilen und/oder anaeroben Bakterien; sie wirkten als „Klimaanlagen“: Teile ihrer toten Kör-

per, wie winzig diese auch waren, wurden sedimentiert, so daß das atmosphärische CO_2 fortgesetzt reduziert wurde. Die Erde trieb dem Schicksal des Mars entgegen, als Gaia eingriff: Sie sorgte für die Entwicklung eines Organismus, der als Heizkörper funktionierte. Die Heizung bestand in methanogenen Bakterien. Diese einzelligen Lebewesen ernähren sich von kohlenstoffhaltigen Mineralien, indem sie sie in Methan umwandelten. Dieser Kohlenwasserstoff wiederum ist ein Treibhausgas, das Molekül für Molekül viermal wirksamer als Kohlendioxid ist. Bei der isotopisch-geochemischen Untersuchung von altem Gestein konnten Geochemikerinnen und -chemiker feststellen, daß die methanogenen Bakterien in der Zeit von ungefähr 2,9 bis 2,5 Milliarden Jahren tatsächlich die vorherrschenden fossilen Organismen waren. Durch ihre Produktion von Methan trugen sie dazu bei, die Erde warm genug zu halten, um das Leben auf der Erde vor dem Ende zu bewahren. Man kann annehmen, daß die Evolution des Lebens auf dem Mars niemals zur Stufe der methanogenen Bakterien gelangte, was zum Sterben des Planeten führte.

Die Entwicklung des irdischen Klimas ist seither ein fortgesetzter Wechsel zwischen der Vorherrschaft der Heizkörper und der Klimaanlage. Als unser Planet vor etwa zwei Milliarden Jahren wiederum überhitzt war, schuf Gaia Cyanobakterien, eine Klimaanlage, denn sie binden CO_2 als Kohlenstoff in Kalkstein. Diese neue Lebensform war dominierend bis vor ungefähr 650 Millionen Jahren, als die übereifrigen Klimaanlage dabei waren, die Erde in eine Kühltruhe zu verwandeln. Wieder mußte Gaia aktiv werden, und die neuentwickelte Lebensform bestand in Weichtieren: Würmern, Nesseltierchen und ähnlichen. Sie fraßen die Cyanobakterien und gaben der Atmosphäre so das fehlende CO_2 und Wasser zurück, was dazu führte, daß die Menge der Treibhausgase wieder wuchs, zusätzlich angereichert durch den Ausstoß vulkanischer Art. Diese Weichtiere wirkten also wie eine Heizung, und das Klima auf der Erde besserte sich.

Vor etwa 550 Millionen Jahren entwickelten sich die ersten Lebewesen mit einem kohlenstoffhaltigen Skelett, die die Weichtiere teilweise verdrängten. Später, vor etwa 350 Millionen Jahren, entwickelten sich die ersten Sumpfpflanzen. Ihre Sedimentierung bewirkte wiederum eine Abkühlung des Planeten. Die übereifrigen Klimaanlage verursachten ihren eigenen Untergang: die kohleproduzierenden tropischen Pflanzen überlebten die folgende Eiszeit nicht. Ihre Stelle übernahmen Tundra- und Wüstenpflanzen, deren Kohlenstoff nicht in fossiler Form gebunden wurde. Ergänzt durch Gase vulkanischen Ursprungs, erwärmte sich der Planet wiederum so stark, daß man von einem echten Treibhaus reden konnte. Schließlich, vor etwa 200 Millionen Jahren, war die Erwärmung so weit fortgeschritten, daß die Polkappen schmolzen. Die erwärmten Wassermassen der Ozeane wurden zumeist träge, und ihr toxischer Grund wurde für Meereslebewesen unbewohnbar. Es war Zeit für Gaia, etwas zu unternehmen.

Der nächste wichtige Schritt in der Entwicklung des Lebens auf der Erde bestand in der Evolution der blühenden Pflanzen und calciumcarbonathaltigen Planktons, das aus schwebenden einzelligen Organismen mit einem Kohlenstoffskelett bestand. Sie bildeten die neue Klimaanlage, und ihre Tätigkeit brachte der Welt die

jüngste Eiszeit. Vor etwa fünf oder sechs Millionen Jahren entwickelten sich die Hominiden, zu einer Zeit, da die antarktische Eismasse ihre größte Ausdehnung erreicht hatte und die arktische Gletscherbildung ihren Anfang nahm. Unsere Art, der *Homo sapiens*, entwickelte sich vor rund 50.000 Jahren; Nordeurasien und Nordamerika waren zu dieser Zeit völlig eisbedeckt. Gegen Ende der Eiszeit begann die rasche Verbreitung dieser Art - unsere Zivilisation wurde entwickelt, um die fossilen Brennstoffe zu verbrennen und die Erde zu erwärmen. Wir sind Gaias Heizung, aber wir müssen uns die Frage stellen, ob wir auch auf dem Weg sind, eine Treibhauskatastrophe zu bewirken, die zur Vernichtung unserer Art oder gar zur Vernichtung allen Lebens auf unserem Planeten führen wird.

Um die Zukunft zu bestimmen, müssen wir in die Vergangenheit zurückblicken. Untersuchungen von Paläoklimatologen, Geologen, Astronomen und Historikern haben gezeigt, daß die terrestrische Klimaentwicklung nach der Schmelze der letzten kontinentalen Gletscher vor rund 10.000 Jahren nicht einförmig verlaufen ist. Für etwa 5000 Jahre bestand ein klimatischer Optimalzustand, aber um das Jahr 4000 endete dieses gute Klima recht abrupt, als die Sahara wieder zu einer Wüste wurde und Gletscher erneut bis an die Alpen vordrangen.

Dies liegt an der Tatsache, daß es neben dem Treibhauseffekt noch andere Faktoren gibt, die das terrestrische Klima beeinflussen können. Die von der Erde empfangene Sonneneinstrahlung ist annähernd, aber nicht genau, konstant. Wenn die irdische Orbitalbewegung sich zum fernsten Abstand von der Sonne bewegt, ist die Energiezufuhr am geringsten. Es gibt wissenschaftliche Befunde, die belegen, daß die Veränderungen im Einflußbereich der kontinentalen Gletschermassen in einer signifikanten Korrelation zum zyklischen Verlauf der Planetenbewegung stehen. Die Dauer dieser Zyklen während der letzten zwei Millionen Jahre - von 100.000, 40.000 und 20.000 Jahren - sind durch in den Meeren aufgefundene Sedimentierungen belegt. Es lassen sich daneben auch kürzere klimatische Zyklen nachweisen, die aber zu kurz und zu unregelmäßig verlaufen, um sie mit der planetarischen Orbitalbewegung in Zusammenhang zu bringen. Diese scheinbar periodischen Veränderungen der Sonneneinstrahlungsintensität verlaufen in Zeiträumen von zehn bis elf Jahren (Sonnenfleckenzyklus) bis zu 1200 bis 1300 Jahren.³ Die Entwicklung der globalen Klimaverhältnisse unseres Planeten während der letzten 150 Jahre läßt zwar keine signifikante Korrelation mit dem Treibhauseffekt erkennen, aber sie kann sehr angemessen ins Verhältnis zum Sonnenfleckenzyklus gesetzt werden.⁴ Ich selbst konnte nachweisen, daß die Veränderungen im terrestrischen Klima während der letzten 10.000 Jahre sich am geeignetsten mit dem 1200jährigen Sonnenzyklus in Verbindung bringen lassen.⁵

Forschungen unseres Labors zu Anfang der 90er Jahre etablierten die Annahme einer globalen Synchronität im Prozeß der Beendigung der klimatischen Optimumssituation in den Jahrhunderten um das Jahr 2000 v. Chr. Eine globale Abkühlung verursachte den Wechsel von der Entwicklung niedriger und mittlerer Latituden zu hohen Latituden. Während des klimatischen Optimums war die Sahara eine Landschaft mit großen Seen, die Menschen betrieben in den Flüssen

und Seen Fischfang, und an den Sandstränden wuchsen Palmen.⁶ Die globale Abkühlung dämpfte die monsunhafte Niederschlagsmenge, die sich aus den westafrikanischen tropischen Wasservorkommen speisten, so daß die Sahara wieder zu einer Wüste wurde. In den 60er/70er Jahren unseres Jahrhunderts war übrigens das gleiche Muster klimatischer Veränderung für den Bereich der Sahelzone nachweisbar, als dort die Trockenheit ihren Höhepunkt erreichte.⁷ In der nahöstlichen Region war Mesopotamien ein landwirtschaftlich sehr fruchtbares Gebiet. Die globale Kälteentwicklung verursachte dort eine Trockenheit, die 300 Jahre lang andauerte. Während dieser Periode wurden Dörfer und Städte entvölkert. Während des gleichen Zeitraumes brach die Zivilisation des Industales zusammen, und im ägyptischen Reich begann der Verfall.⁸

Die globale Abkühlung brachte einen Veränderungsschub in Zentral- und Nordeuropa. Gletscherberge drangen erneut bis an die Alpen vor. Regenfälle und Schneeschmelze verursachten plötzliche Überflutungen in den Tieflanden, und die seeumwohnende Bevölkerung war gezwungen, ihre Siedlungen zu verlassen.⁹ Die Viehhaltung wurde angesichts der kalten und feuchten Sommer völlig unmöglich. Die Indoeuropäer mit ihrer Kultur der verzierten Tongefäße und Streitäxte, die im nördlichen Deutschland und südlichen Skandinavien beheimatet war, mußten südwärts ziehen, um bessere Weidegründe zu finden: Sie zogen nach Südrußland und von dort nach Südosteuropa, nach Anatolien, Persien, Indien und Nordwestchina.¹⁰

Die Verbesserung des terrestrischen Klimas trat nach einigen Jahrhunderten ein, die globale Erwärmung war ein Segen für auf der Landwirtschaft basierende Gesellschaften. Während der späten Bronzezeit blühten die großartigen Zivilisationen in Ägypten und Mesopotamien. In China etablierte sich das bedeutende Shang-Reich in den Ebenen im Norden des Landes.¹¹

Die zweite Kälteperiode der historischen Zeit trat in den Jahrhunderten vor und nach dem Jahre 800 v. Chr. auf. An den Küsten der Ostsee wurde es so kalt, daß die Menschen sogar ihre Sprache veränderten: Die mit geöffnetem Mund gesprochenen Vokale a, o und u wurden durch die Umlaute [im Original deutsch] ä, ö und ü ersetzt, die auch mit geschlossenem Mund gebildet werden konnten.¹² Viele verließen ihre Heimat und wurden zu den historisch bekannten dorischen Einwanderern oder den „Seevölkern“, von denen auch die Bibelwissenschaft Kunde gibt.¹³ Die Seeumwohner Zentraleuropas, die in der warmen Zwischeneiszeit zurückgekehrt waren und neue Siedlungen an den Seeufern gegründet hatten, wurden wiederum zur Flucht gezwungen.¹⁴ Weiter südlich wurde das Klima kalt und trocken; dies bedeutete für die mediterranen Zivilisationen ein dunkles Jahrhundert.¹⁵ Es gibt Hinweise darauf, daß die Abkühlung eine globale Dimension besaß. Kälte und Trockenheit verursachten Ernteaufälle und Hungersnöte, diese führten zum Zusammenbrechen und Auseinanderfallen des bedeutenden Zhou-Reiches in China um das Jahr 800 v. Chr.¹⁶

Die nächste warme Zwischeneiszeit brachte das Goldene Zeitalter der Griechen im Westen und der Kriegsvölkerstaaten im Osten, gefolgt vom Römischen Reich und den Han-Kaisern.¹⁷ Die Südküste der Ostsee wurde von germanischen

Stämmen bevölkert, und die Kelten der Eisenzeit-Kultur erreichten die Ufer der zentraleuropäischen Seen, wo sie ihre Siedlungen errichteten.¹⁸

Die nächste Eiszeit während der ersten Jahrhunderte nach Christi Geburt war vielleicht die schlimmste der Geschichte. Historische Quellen aus China berichten, daß das kälteste Klima und die schwersten Trockenheiten seit Menschengedenken im vierten Jahrhundert auftraten: Nach zwei Trockenperioden, die jeweils an die vierzig Jahre dauerten, konnten die Menschen den Gelben Fluß und den Yangtse zu Fuß durchqueren.¹⁹ Viele Bauernfamilien mußten in den Süden Chinas ausweichen, wo sie die Gegend entwaldeten, um Platz für ihre Reisfelder zu schaffen. Wegen der fehlenden wirtschaftlichen Basis waren die zurückbleibenden Chinesen keine ernsthaften Gegner für die vorrückenden Eroberer aus dem Norden. Die Han-Dynastie fiel auseinander, und die „Fünf barbarischen Völker“ brachten für Nord- und Zentralchina eine Zeit des Chaos.²⁰

Im Westen bildete die globale Kälteperiode die Ursache für die Migration der germanischen Völker.²¹ Im zweiten, dritten und vierten Jahrhundert zogen Gothen, Vandalen, Burgunder, Alemannen, Lombarden und weitere germanische Völker von den Ufern der Ostsee südwärts, um dem kalten und feuchten Klima zu entgehen.²² Die Bauern waren zum Weggang gezwungen, so daß die Küstengebiete nur noch sehr dünn bevölkert waren - in den Küstendörfern verblieben nur die Menschen, die vom Fischfang lebten. Die Ostgoten siedelten sich in Südrußland an, während sich die Westgoten, Vandalen und andere Völker im Laufe des dritten und vierten Jahrhunderts in Zentraleuropa niederließen, bis die Hunnen diese Gebiete erreichten und die germanischen Stämme, von Attila vertrieben, auf eine „Wanderschaft“ durch ganz Europa gezwungen wurden.²³ Im Jahr 476 fiel das Römische Reich.

Die Schwierigkeiten ließen die Menschen zu manchen Improvisationen greifen. Nordamerika war durch Jäger und Sammler besiedelt worden. Nachdem nun die natürlichen Produkte nicht mehr zum Überleben ausreichten, erlernten die nordamerikanischen Indianer die Fertigkeiten des Landbaus, aus ihren Nachkommen entwickelten sich die Anasazis.²⁴ In Zentralamerika allerdings wirkte sich die globale Abkühlung anscheinend vorteilhaft aus. Tropische Regenwälder konnten gerodet werden, um Platz für landwirtschaftliche Flächen zu schaffen, die Maya machten sich daran, eine kraftvolle Zivilisation zu errichten.²⁵

Während des sechsten und siebten Jahrhunderts erreichte wieder ein sonnigeres Klima das Gebiet Nordeuropas. Slawische Bauern nahmen aus Osten kommend das menschenleere Gebiet zwischen Elbe und Oder in Besitz. Später, im neunten Jahrhundert, kehrten auch die Germanen, aus dem Westen kommend, unter dem Banner der Christianisierung in das Gebiet zurück. Sie verdrängten die Slawen, und ihr „Drang nach Osten“ [im Original deutsch] setzte sich bis zur Niederlage Nazi-Deutschlands im Zweiten Weltkrieg fort. Das wärmere Klima gestattete es den Skandinaviern, ihre landwirtschaftlichen Flächen nordwärts bis über den Polarkreis hinaus auszudehnen, und diese Begrünung des Nordens führte zu einer Bevölkerungsexplosion. Der Bevölkerungsüberschuß ließ die Wikinger nach Süden expandieren, sie gründeten in der Zeit vom zehnten bis zwölften

Jahrhundert normannische Reiche in Frankreich, Britannien, Nordafrika und Sizilien. Andere zogen nach Island und Grönland.

Die globale Erwärmung bewirkte auch die Begrünung von Wüstengebieten. Die Viehwirtschaft betreibenden Nomadenvölker in Nordasien erhielten so die wirtschaftliche Basis ihrer Eroberungen. Die Hunnen übernahmen die tocharischen Königreiche in Nordwestchina, und ihre Vermischung mit den Indoeuropäern führte zum Entstehen der türkischen Völker, die in der chinesischen Geschichte zum ersten Mal im siebten Jahrhundert „auftauchten“. Die Chiang drangen in Tibet ein, während die Daheimgebliebenen im zehnten Jahrhundert das mächtige Reich der Xia in Ningxia gründeten, einem Gebiet, das heute eine Wüste ist. Die seltschukischen Türken zogen im elften Jahrhundert westwärts und übernahmen Anatolien schrittweise von Byzanz. Die Liao- und Jinvölker kamen aus dem Süden und besetzten die Ebenen im nördlichen China. Die Expansionsbewegung der nordasiatischen Stämme erreichte ihren Höhepunkt, als Dschingis Khan und seine Nachfolger während des 13. Jahrhunderts alles in Besitz nahmen, was sich ihnen zeigte.²⁶

Auch für Nordamerika brachte die globale Erwärmung vorteilhafte Bedingungen. Das wärmere Klima brachte die Anasazikultur zum Erblühen. Die Bauern errichteten Siedlungen und Höhlenwohnungen für mehrere hundert oder tausende Menschen zwischen dem neunten und 13. Jahrhundert.²⁷ Während die Klimaverbesserung den Norden begünstigte, verließen die Maya aus bisher unbekanntem Grund ihre Städte und Felder etwa um das Jahr 900 n. Chr.²⁸ In der archäologischen Forschung sind die Faktoren für den raschen Niedergang stark umstritten. Meine persönliche Meinung wurde durch einen Kollegen inspiriert, der darauf hinwies, daß sich durch die globale Erwärmung der Lebensraum von Moskitopopulationen erheblich ausweiten konnte: Vielleicht sahen sich die Maya durch Malaria-Epidemien gezwungen, ihre Heimat im tropischen Tiefland zu verlassen; sie zogen nordwärts nach Yukatan, in ein Gebiet, in dem die malariaübertragenden Moskitos nicht überleben konnten.

Die bislang letzte globale Kälteperiode ereignete sich während der „kleinen Eiszeit“²⁹. Die Zustände in Mitteleuropa waren elend, das Land war vom Dreißigjährigen Krieg verwüstet. In ihrer Mehrheit waren die marodierenden Soldaten Wallensteins hungernde Bauern, ihre Bereitschaft zum Kriegsdienst verband sich mit der Möglichkeit, von den Ernteerträgen anderer zu überleben. Hunger, Epidemien und Kindersterblichkeit während der kleinen Eiszeit verursachten eine Reduzierung der Bevölkerung Deutschlands von 16 auf neun Millionen.³⁰

Auch in China nahmen die Folgen der globalen Abkühlung katastrophische Formen an: Acht Jahre hintereinander gab es Mißernten, während dreier dieser Jahre fiel in Zentralchina nicht ein einziger Regentropfen. Hungernde Rotten plünderten staatliche Kornkammern, und die Truppe von Li Zhicheng zog bis nach Beijing, wo sie den Selbstmord des Ming-Kaisers erzwang. Nachdem die Manchu die Ordnung in China wiederhergestellt hatten, ergab eine Volkszählung, daß die Bevölkerung von 100 Millionen auf 30 Millionen zurückgegangen war.

Das durch die kleine Eiszeit verursachte Elend trug zur Gründung der Nationalstaaten bei. In Europa verfolgten Spanien, Frankreich, England und Holland eine Kolonialpolitik und veränderten ihre wirtschaftliche Basis von einer landwirtschaftlichen Ökonomie hin zu einer merkantilen, schließlich zu einer industriellen.³¹ Es gab während der kalten und feuchten Jahre in Großbritannien zwar Mißernten, doch konnten diese Verluste mit Hilfe von Handelsüberschüssen kompensiert werden. Außerdem stand den hungernden Bauern die Möglichkeit der Emigration offen. In Mexiko und Südamerika gründeten die Inka und Azteken ihre Reiche. Sie ersetzten die Abhängigkeit von landwirtschaftlicher Produktion durch die Organisation eines Gemeinwesens, das auf sehr verschiedene ökologische Gebiete verteilt war. Sie legten ein Straßennetz an, mit dessen Hilfe die hungernde Bevölkerung einer Region mit den Ernteerträgen aus einer anderen Region mit vorteilhafteren Bedingungen versorgt werden konnte.³²

Erst während des 19. Jahrhunderts wurde unser Planet von den Folgen dieser kleinen Eiszeit befreit. Der seit 1840 beobachtbare Trend zur Erwärmung stellte nur das Anfangssymptom dar, er wurde innerhalb der letzten 150 Jahre insgesamt dreimal unterbrochen. Das Auftreten des bislang letzten Abkühlungsprozesses in den 60er und 70er Jahren unseres Jahrhunderts verursachte in der Sahelzone Dürre und Hungersnöte. Zu dieser Zeit entstanden gleichfalls Publikationen, die das Bild einer unausweichlichen Hungerkatastrophe für die nächste kleinere Eiszeit voraussagten.³³

Mit diesen Lehren der Geschichte komme ich zurück auf die Frage vom Ende alles Lebens auf der Erde. Nein, unser Planet wird nicht sterben. Gaia wird dafür sorgen, daß unsere Spezies, der Zerstörer, zerstört wird, bevor die Erde selbst unbewohnbar wird. Das ist meine feste Überzeugung, und sie wird von Befunden aus vier Milliarden Jahren Erdgeschichte gestützt.

Wird also der Homo sapiens aussterben?

Über 99,9% aller jemals auf der Erde nachzuweisenden Arten sind heute ausgestorben. Mir ist kein überzeugender Grund bekannt, der dafür spräche, daß die Gattung Homo sapiens hier eine Ausnahme darstellen könnte.

Globale Erwärmungsprozesse haben in der geschichtlich greifbaren Vergangenheit insgesamt vorteilhafte Konsequenzen für die Menschheit erbracht, auch wenn da und dort bedrohliche Entwicklungen zu konstatieren waren.³⁴ Eine globale Abkühlung dagegen hat in fast allen Fällen zu einer Katastrophe für solche Gesellschaften geführt, deren Ökonomie auf der Landwirtschaft fußte. Das kalte und feuchte Klima vertrieb die Vieh- und/oder Feldbauern und zwang sie, zu barbarischen Eroberern zu werden. Zur selben Zeit verursachte ein kaltes und trockenes Klima in der Mittelmeerregion und in China Hungersnot und Chaos.

Allerdings ist der Homo sapiens sehr erfinderisch. Wir haben verschiedene eiszeitliche Zyklen überstanden. Wir haben nicht nur überlebt, sondern uns sogar weiter ausgebreitet. Dank des menschlichen Erfindungsgeistes werden wir in der Lage sein, genug landwirtschaftliche Erträge zu produzieren, um die Weltbevölkerung zu versorgen, zumindest solange es den politischen Willen gibt, das Wachstum der Weltbevölkerung zu begrenzen. In meiner Sicht ist nicht das

Klima das große Problem, sondern die menschliche Habsucht. Hier liegen wohl auch die Gründe für ein mögliches Ende alles Lebens auf unserem Planeten.

Mein Mortalitätsszenario für unseren Planet sieht so aus: Wir setzen unsere Marktwirtschaft und die Zielvorgabe einer Profitmaximierung fort. Wir fahren fort, unsere natürlichen Ressourcen zu verbrauchen, einschließlich des Wassers - des kostbarsten aller Güter. Früher oder später, vielleicht bereits im nächsten Jahrhundert, wird die nächste kleinere Eiszeit auftreten. Es wird Ernteeinbußen in Nordeuropa und den nördlichen Gebieten Nordamerikas geben, weil die wachstumsfördernden Jahreszeiten zu kurz werden. Weiter wird eine Dezimierung des Viehbestandes in Nord- und Mitteleuropa eintreten, weil die Sommer zu kalt und feucht werden, um genug Heu zu produzieren. In der Sahelzone, im Mittleren Osten, im Indus und in China werden Hungersnöte auftreten, die von der Trockenheit verursacht werden. Die Getreideproduktion in den übrigen Teilen der Welt, die von der katastrophischen Abkühlung verschont geblieben sind, werden vielleicht ausreichen, um die Weltbevölkerung zu ernähren, wenn die Menschen miteinander teilen. Werden wir miteinander teilen oder werden wir uns gegenseitig berauben? Die Erfahrungen der Habsucht, die aus der Geschichte zu ersehen sind, machen wenig Hoffnung.

Die Wasserknappheit wird dabei das schwerste Problem sein. Während der kleinen Eiszeit in der östlichen Jin-Dynastie zogen die Chinesen nach Süden, unterwarfen die einheimische Bevölkerung und entwaldeten das unbebaute Land, um Reisfelder anzulegen. Während der kleinen Eiszeit gegen Ende der Ming-Dynastie gab es im Süden des Landes kein unbebautes Land mehr, das man noch hätte entwalden können. Hungernde Bauern zogen durch das Land, beraubten andere und führten zum Sturz der kaiserlichen Dynastie. Sollte es wieder eine kleine Eiszeit geben, wohin sollten die hungernden Bauern gehen? Es gibt eine Milliarde Chinesen, die von der eigenen Landwirtschaft leben. Wenn das Land keinen Ertrag bringt, dann werden sie - wie wiederholt in geschichtlicher Zeit - wie ihre Vorfahren plündernd durch das Land ziehen. Es könnte bis zu einer halben Milliarde „Boat people“ geben. Oder die Bauern könnten der Volksbefreiungsarmee beitreten und in Richtung Südostasien ziehen, wo es zwar genügend Wasser, aber nicht genügend ungenutztes Land gibt.

Eine Invasion dieser Größenordnung ist ein Kriegsgrund. Wie könnten wir die kriegführenden Parteien davon abhalten, in ihrer Verzweiflung atomare Waffen einzusetzen? Könnte die Gattung Homo sapiens einen nuklearen Holocaust überleben? Ist eine durch Radioaktivität verseuchte Welt noch für irgendein lebendiges Wesen bewohnbar?

Die Sterblichkeit unseres Planeten wird nicht natürlichen Ursachen geschuldet sein; dies verdanken wir der göttlichen Gnade. Unser Planet könnte getötet werden nur durch die Habsucht von Gattungen wie unserer. Dann wird auch Gaia uns nicht retten können.

- ¹ K.J. Hsu, Is Gaia endothermic?, in: Geological Magazine (1992) 129-141.
- ² Ebd.
- ³ C.A. Perry, A Solar Chronometer for Climate, Lawrence, Kansas 1989.
- ⁴ E. Friis-Christensen/K. Lassen, Correlation of global temperature to sunspot cycles, in: Science 254 (1991) 698.
- ⁵ K.J. Hsu, Sun, climate, hunger, and mass migrations, in: Chinese Science Bulletin, Peking, Nr. 42 (1997).
- ⁶ N. Petit-Maire/J. Riser, Sahara ou Sahel?, Paris 1983, 473.
- ⁷ R.A. Bryson/T.J. Murray, Climates of Hunger, Madison, Wisc. 1977.
- ⁸ H. Weiss/M.A. Courty/W. Wetterstrom/F. Guichard/L. Senior/R. Meadow/A. Curnow, The genesis and collapse of third-millennium North Mesopotamian civilization, in: Science 261 (1993) 995-1104.
- ⁹ S. Jacomet/M. Magny/C.A. Burga, Klima- und Seespiegelschwankungen im Verlauf des Neolithikums und ihre Auswirkungen auf die Besiedlung der Seeufer, in: Die Schweiz vom Paläolithikum bis zum frühen Mittelalter, Basel 1995, 53-58.
- ¹⁰ K.J. Hsu, Did the Xinjiang Indo-European leave their home because of global cooling?, in: V.H. Mair (Hg.), The Bronze Age and Early Iron Age People of Eastern Central Asia, 1997; G. Kossina, Die indogermanische Frage archäologisch beantwortet (1902), in: A. Scherer (Hg.), Die Urheimat der Indogermanen, Darmstadt o.J., 25-109; V.H. Mair, A study of the genetic composition of ancient desiccated corpses from Xinjiang (Sinkiang), China, in: Early China News 6 (1996) 1-9.
- ¹¹ Liu Shaomin, Changing Climate of China in Historical Time, Taiwan 1982, 76-124.
- ¹² J. Pokorny, Substrattheorie und Urheimat der Indogermanen, in: A. Scherer (Hg.), Die Urheimat der Indogermanen, Darmstadt o.J., 176-213.
- ¹³ W. Keller, The Bible as History, New York 1956.
- ¹⁴ S. Jacomet/M. Magny/C.A. Burga, Klima- und Seespiegelschwankungen im Verlauf des Neolithikums und ihre Auswirkungen auf die Besiedlung der Seeufer, in: Die Schweiz vom Paläolithikum bis zum frühen Mittelalter, Basel 1995, 53-58.
- ¹⁵ P. James, Centuries of Darkness, London 1991.
- ¹⁶ Liu Shaomin, Changing Climate of China in Historical Time, aaO.
- ¹⁷ K.J. Hsu, Could global warming be a blessing for mankind?, in: Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Science, Taiwan, 8 (1996) 375-392.
- ¹⁸ K.J. Hsu, aaO.; S. Jacomet/M. Magny/C.A. Burga, Klima- und Seespiegelschwankungen im Verlauf des Neolithikums und ihre Auswirkungen auf die Besiedlung der Seeufer, aaO.
- ¹⁹ Liu Shaomin, Changing Climate of China in Historical Time, aaO.
- ²⁰ K.J. Hsu, Could global warming be a blessing for mankind?, aaO.
- ²¹ Ebd.
- ²² A. Alföldi, Studien zur Geschichte der Weltkrise des dritten Jahrhunderts nach Christus, Darmstadt 1967 (zitiert nach Wolfram 1988); H. Wolfram, History of the Goths, Berkeley 1988.
- ²³ K.J. Hsu, Did the Xinjiang Indo-European leave their home because of global cooling?, in: V.H. Mair (Hg.), The Bronze Age and Early Iron Age People of Eastern Central Asia, 1997.
- ²⁴ L.S. Cordell, Prehistory of the Southwest, San Diego 1984.
- ²⁵ M.D. Coe, Mexico, from the Olmecs to the Aztecs, London 1994.
- ²⁶ K.J. Hsu, Did the Xinjiang Indo-European leave their home because of global cooling?, aaO.

²⁷ L.S. Cordell, Prehistory of the Southwest, San Diego 1984.

²⁸ M.D. Coe, Mexico, from the Olmecs to the Aztecs, aaO. 29 H.H. Lamb, Klima und Kulturgeschichte, Hamburg 1982.

³⁰ K.J. Hsu, Sun, climate, hunger, and mass migrations, aaO.

³¹ P. Kennedy, Aufstieg und Fall der großen Mächte. Ökonomischer Wandel und militärischer Konflikt von 1500-2000, Frankfurt a.M. 1991.

³² M.E. Moseley, The Incas, London 1994.

³³ R.A. Bryson/T.J. Murray, Climates of Hunger, Madison, Wisc. 1977; L. Ponte, The Cooling, Englewood, N.J. 1976.

³⁴ K.J. Hsu, Could global warming be a blessing for mankind?, aaO.; ders., Sun, climate, hunger, and mass migrations, aaO. Der Autor spielt hier u.E. die drängendste Gefahr für unsere Lebensgrundlagen, die Erderwärmung aufgrund des Treibhauseffektes, auf unverantwortliche Weise herunter. Der Hinweis auf die Wärmeperioden in der Vergangenheit trifft den Sachverhalt nicht, da der rasche Anstieg der mittleren Temperatur aufgrund des anthropogenen Treibhauseffektes ein Novum ist. Aus der Fülle von einschlägiger Literatur sei verwiesen auf: J.L. Lozäu/H. Graßl/P. Hupfer/H. Sterr, Warnsignal Klima, Hamburg 1998. (Anm. d. Red.)

Aus dem Englischen übersetzt von Michael Krämer

Die Zukunft des Universums

Andreas Albrecht / Christopher J. Isham

1. Einführung

In der Kosmologie sind viele Dinge gegenwärtig in Bewegung geraten. Auf der einen Seite haben erd- und satellitengestützte Beobachtungsstationen eine Fülle neuer Daten über die genauere großräumige Struktur des Universums geliefert. Auf der anderen Seite hat sich die Theorie in wesentlichen Bereichen weiterentwickelt, vor allem in der Frage, welche Rolle die Elementarteilchenphysik in der Phase unmittelbar nach dem Urknall spielte. Dieses glückliche Zusammentreffen von Tatsachenerkenntnissen und theoretischen Entwicklungen löste bei den Naturwissenschaftlern weltweit noch nie dagewesene enthusiastische Erwartungen aus. Viel wurde über dieses Frühstadium des Universums geschrieben, wie man sich seine Expansion und Entwicklung bis zur Welt, wie wir sie heute kennen, vorzustellen habe. Sogar der Ursprung des Universums ist bis heute Gegenstand intensiver Diskussionen im Kontext einer „Quanten-Kosmologie“ -