



Als Mikroben das Klima steuerten

In der Frühzeit der Erde war die Sonne zu schwach, um den jungen Planeten warm zu halten. Dass er trotzdem nicht zum Eiskeller wurde, verdanken wir Mikroben, die das Treibhausgas Methan in großen Mengen produzierten.

Von James F. Kasting

Vor etwa 2,3 Milliarden Jahren begannen Photosynthese treibende Bakterien Sauerstoff in die Erdatmosphäre zu pumpen. Damit schufen sie die Voraussetzung für die Entwicklung von höheren, vielzelligen Lebensformen. Zugleich aber beendeten sie die Ära einer anderen Gruppe von Mikroben, die keinen Sauerstoff vertrugen: der Methanbildner. Diese hatten zuvor die Erde beherrscht und für lebensfreundliche Temperaturen gesorgt. In der Frühzeit unseres Planeten schien die Sonne nämlich viel schwächer

als heute. Für sich allein hätte sie nicht die Kraft gehabt, eine globale Vereisung zu verhindern. Die Methanbildner oder Methanogene geben als Produkt ihres Stoffwechsels Methan ab, und dieses Treibhausgas gestaltete das Klima auf der frühen Erde trotz kühlerer Sonne angenehm temperiert.

In der heutigen Lufthülle hält sich Methan nicht lange: Schon nach durchschnittlich zehn Jahren hat es mit Sauerstoff reagiert und sich in Kohlendioxid und Wasser umgewandelt. In einer sauerstofffreien Atmosphäre aber konnte es nach Ergebnissen von Computersimulationen rund 10 000 Jahre existieren.

Aus den Anfängen der Erdgeschichte gibt es keine fossilen Überreste, doch haben Mikrobiologen Grund zu der Annahme, dass Methanogene zu den ersten Lebensformen gehörten. In ihrer Blütezeit könnten sie genug von dem Treibhausgas produziert haben, um die Erde warm zu halten. Und die sinkenden Temperaturen nach ihrem Niedergang verursachten wahrscheinlich die erste globale Vereisung.

Als die Atmosphäre noch größere Mengen Methan enthielt, war die Erde auch kein blauer Planet. Vielmehr erschien sie wohl ähnlich rosa-organgefarben getönt wie Titan, der größte Mond



DON DIXON

Von Methan verursacht: Dunstschleier über der Erde vor 3 Milliarden Jahren

von Saturn. Obwohl das Methan dort fast sicher nichtbiologischen Ursprungs ist, könnten die Ähnlichkeiten mit der frühen Erde Aufschlüsse darüber geben, wie Treibhausgase einst das Klima auf dem Globus regelten.

Verzweifelt gesucht: Ausgleich für die schwache Sonne

Als sich vor etwa 4,6 Milliarden Jahren das Planetensystem bildete, erreichte die Sonne nur etwa siebenzig Prozent ihrer heutigen Helligkeit (Spektrum der Wissenschaft 4/1988, S. 46). Dennoch liefern die geologischen Zeugnisse bis vor 2,3 Milliarden Jahren keinen stichhalti-

gen Hinweis auf eine großräumige Vereisung der frühen Erde. Im Gegenteil: Wahrscheinlich war es auf unserem Planeten damals sogar wärmer als im Mittel der letzten 100 000 Jahre.

Auf der Suche nach dem Treibhausgas, das die junge Erde vor dem Zufrieren bewahrte, tippten die Wissenschaftler zunächst keineswegs auf Methan. Als wahrscheinlichsten Kandidaten betrachteten etwa Carl Sagan und George F. Muller von der Cornell-Universität in Ithaca (New York) in den frühen 1970er Jahren vielmehr Ammoniak; denn es verursacht einen wesentlich stärkeren Treibhauseffekt als Methan. Später stellte sich

aber heraus, dass die ultraviolette Strahlung der Sonne, die in einer sauerstofffreien Atmosphäre nicht von einer Ozonschicht abgehalten wird, das stickstoffhaltige Gas schnell zerstört. Ammoniak schied damit aus.

Der nächste offensichtliche Kandidat war Kohlendioxid, das die vielen Vulkane auf der jungen Erde reichlich ausspieen. Zwar gab es Diskussionen um Detailfragen, aber mehr als zwei Jahrzehnte lang bezweifelte kaum jemand die maßgebliche Rolle dieses Gases, obwohl es nur einen relativ schwachen Treibhauseffekt ausübt. Erst 1995 konnten Wissenschaftler von der Harvard-Universität in Cam- ▶

▷ bridge (Massachusetts) mit neuen Befunden den verbreiteten Irrtum aufdecken.

Die Harvard-Gruppe unter Leitung von Rob Rye stellte bei ihren Untersuchungen fest, dass Kohlendioxid in Abwesenheit von Sauerstoff mit Eisenoxid das Mineral Siderit (Eisencarbonat) bildet. Diese Reaktion würde ab dem Achtefachen der heutigen Konzentration von 0,38 Promille einsetzen. Bei der Analyse von 2,2 bis 2,8 Milliarden Jahre alten Erdschichten fand sich jedoch keine Spur von Siderit. Der Kohlendioxidgehalt der Luft muss demnach niedriger gewesen sein und hätte bei weitem nicht ausgereicht, das Einfrieren der Planetenoberfläche zu verhindern.

Damit war die Kandidatensuche wieder eröffnet. Schon in den späten 1980er Jahren hatte sich gezeigt, dass Methan mehr Wärme als Kohlendioxid an der Erdoberfläche festhalten kann, weil es die von dort ausgesandte Strahlung in einem größeren Wellenlängenbereich absorbiert. Gleichwohl wurde sein Einfluss anfangs unterschätzt. Meine Gruppe an der Pennsylvania State University in University Park erkannte jedoch, dass das Gas in der frühen Atmosphäre viel länger überdauert haben muss als heute.

Sumpfgas heizte Erde auf

In der jetzigen Lufthülle reagiert Methan mit sauerstoffhaltigen Spezies wie Hydroxyl-Radikalen, wobei Wasser, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid entstehen. Daher bleibt es im Durchschnitt nur zehn Jahre in der Luft und kann sich nicht genügend ansammeln, um bei der Erwärmung des Planeten eine wesentliche Rolle zu spielen. In der Tat enthält unsere Atmosphäre lediglich 1,7 millionstel Volumenanteile Methan; die Konzentration von Kohlendioxid an der Erdoberfläche beträgt das 220-, die von Wasserdampf gar das 6000fache.

In wie viel höherer Menge als heute muss Methan vorgelegen haben, um die frühe Erde zu erwärmen? Auf der Suche nach der Antwort simulierten wir zusammen mit Kollegen am Ames-Forschungszentrum der Nasa das einstige Klima. Vor 2,8 Milliarden Jahren hatte die Sonne erst achtzig Prozent ihrer heutigen Helligkeit. Unter diesen Umständen müsste die Atmosphäre zwei Prozent Kohlendioxid enthalten haben, um die Oberfläche am dauerhaften Gefrieren zu hindern. Das ist gut fünfzigmal so viel wie heute und achtmal so viel wie der Wert, ab dem sich Siderit gebildet hätte. Setzt man in den Simulationen die höchstmögliche Kohlendioxidkonzentration ein, so benötigt man noch 0,1 Prozent Methan in der Atmosphäre, um die mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche über dem Gefrierpunkt zu halten.

Damit sich ein solcher Pegel auf der Uerde einstellte, genügte es, dass das Gas in derselben Menge produziert wurde wie heute. Waren die Methanbildner damals dazu fähig? Um das herauszufinden, schlossen wir uns mit der Mikrobiologin Janet L. Siefert von der Rice-Universität in Houston (Texas) zusammen.

Diese ist mit vielen ihrer Kollegen der Ansicht, dass Methanogene zu den ersten Mikroorganismen auf der Erde gehörten. Sie dürften jene Nischen besetzt haben, die mittlerweile von Sauerstoffproduzenten und Sulfatreduzierern eingenommen werden. Demnach kam ihnen damals eine viel wichtigere biologische und klimatische Rolle zu als heute.

In einer von Vulkanismus geprägten Welt sollten sich Methanogene ausgesprochen wohl gefühlt haben. Viele von ihnen ernähren sich direkt von Wasserstoffgas und Kohlendioxid und stoßen Methan als Abfallprodukt aus. Andere verwerten Acetat und weitere Verbindungen, die bei der Zersetzung von organi-

chem Material entstehen, wenn kein Sauerstoff vorhanden ist. Aus diesem Grund können heutige Methanogene nur in sauerstofffreier Umgebung leben – etwa im Magen von Kühen oder im Schlamm unter überfluteten Reisfeldern.

Die zahlreichen Vulkane auf der frühen Erde setzten große Mengen Wasserstoff frei. Dieser sammelte sich in Atmosphäre und Ozeanen an, weil es noch keinen freien Sauerstoff gab, der mit ihm reagieren konnte. Dabei erreichte er vermutlich hinreichend hohe Konzentrationen, um für Mikroorganismen verwertbar zu sein.

Mit Vollgas in die Saunawelt

Aus diesem Grund halten es einige Wissenschaftler auch für möglich, dass Methanbildner, die sich von Wasserstoff geologischen Ursprungs ernähren, die Basis mikrobieller Ökosysteme im Boden des Mars oder des eisbedeckten Jupitermonds Europa bilden. In der Tat lassen jüngste Messdaten vom Raumschiff Mars Express der Europäischen Weltraumbehörde (Esa) darauf schließen, dass die Marsatmosphäre etwa zehn Teile pro Milliarde (*parts per billion*) Methan enthält. Dieses Gas könnte von Mikroben stammen, die unter der Planetenoberfläche leben.

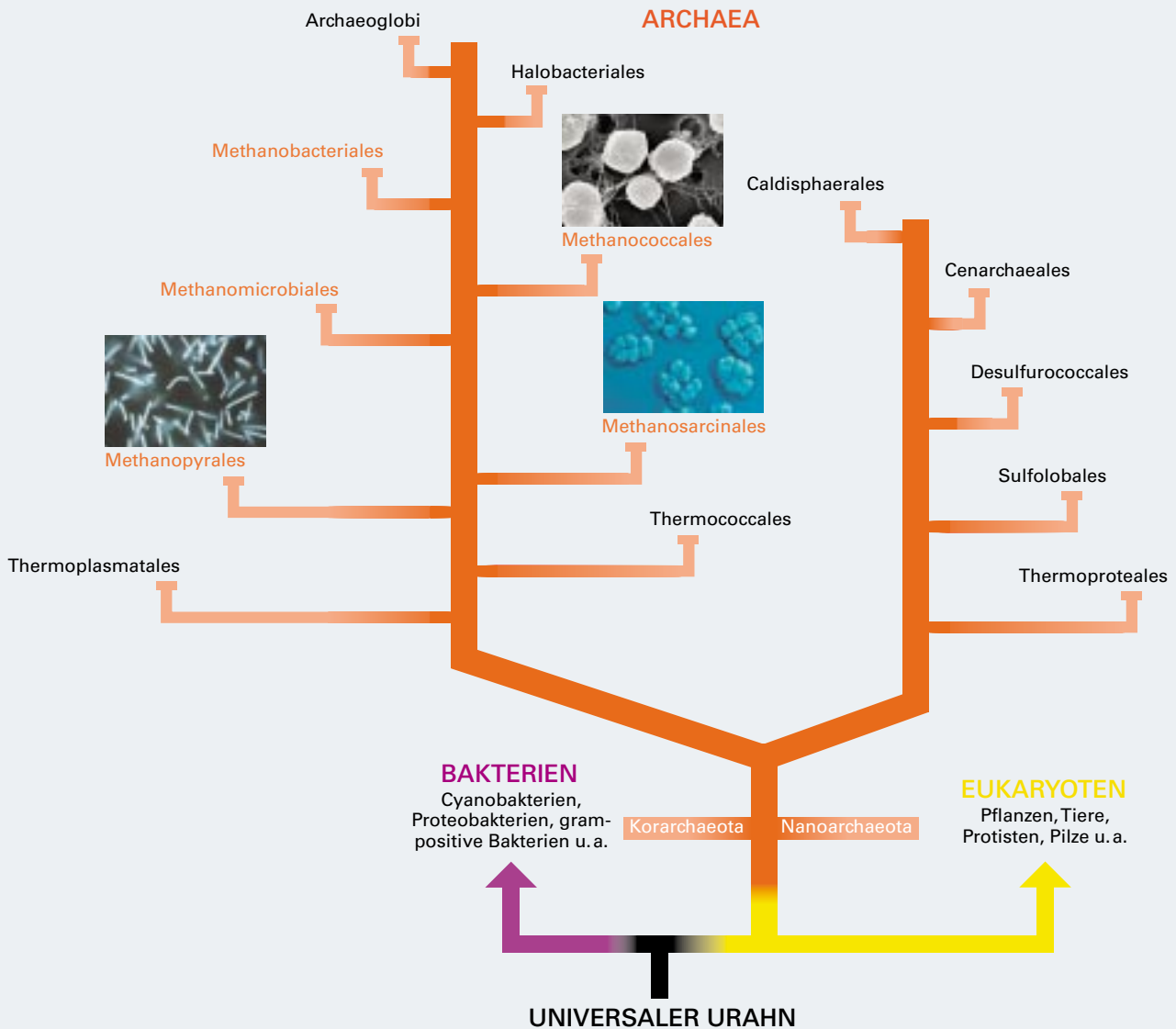
Nach Schätzungen von Geochemikern erreichte der Wasserstoff in der frühen Erdatmosphäre – bevor es Methanogene gab, die ihn verzehrten – Konzentrationen von einigen Promille. Wie thermodynamische Rechnungen zeigen, konnten die Mikroben den größten Teil davon in Methan umwandeln, wenn Elemente wie Phosphor und Stickstoff in biologisch verwertbarer Form vorhanden waren. Dies traf mit Sicherheit zu: Die chemische Zersetzung von Gestein lieferte genügend lösliches Phosphat, und im Ozean lebende Mikroorganismen produzierten jede Menge Stickstoffverbindungen. Unter solchen Umständen wären die Bakterien zweifellos fähig gewesen, die etwa ein Promille Methan zu produzieren, die den Computermodellen zufolge zum Warmhalten der Erde nötig waren.

In dieses Bild passt auch, dass es die heutigen Methanbildner ziemlich heiß mögen. Die meisten gedeihen am besten bei mehr als 40 Grad Celsius, und manche fühlen sich sogar erst bei Saunatemperaturen von 85 Grad so richtig wohl. Die Wärme liebenden Arten vermehren

IN KÜRZE

- ▶ Bis vor etwa 2,3 Milliarden Jahren waren Atmosphäre und Ozeane der Erde **praktisch sauerstofffrei** und damit ein Paradies für sauerstoffempfindliche Mikroben – darunter solche, die als Endprodukt ihres Stoffwechsels **Methan** abgeben.
- ▶ Dieses Gas hält sich in einer sauerstofffreien Lufthülle sehr lange. Es konnte sich deshalb bis fast zum 600fachen seiner heutigen Konzentration anreichern.
- ▶ Das zusätzliche Methan verursachte einen **Treibhauseffekt**, der die Erde warm hielt, obwohl die Sonne damals schwächer schien. Als dann photosynthetische Organismen die Atmosphäre mit Sauerstoff anreicherten und die Methanogene sich in sauerstofffreie Nischen zurückziehen mussten, kam es zur **ersten globalen Vereisung**.

Stammbaum der Methanproduzenten



JOHNNY JOHNSON (ILLUSTRATION); BOONVATANAKORNIK UND D. S. CLARK, CHEMICAL ENGINEERING, UND G. VRODLJAK, ELEKTROKRON-MIKROSKOPE LAB., UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY (OBEN); KARL O. STETTER, UNIVERSITÄT REGENSBURG (UNTS); GENOME NEWS NETWORK (RECHTS)

Methan produzierende Mikroben leben ausschließlich in sauerstofffreier Umgebung. Sie gehören zu den Archaea, einem der drei großen Organismenreiche, die jeweils von einem eigenen, unbekanntem Vorfahren abstammen. Es gibt sie in einer Vielzahl von Formen, darunter Stäbchen und Kugeln (Fotos). Viele

Archaea gedeihen nur unter Extrembedingungen wie in heißen Quellen, auf Gletschern oder in stark sauren oder versalzten Böden. Die Methanbildner stellen mit ihren fünf Ordnungen fast die Hälfte der Mitglieder dieses Organismenreichs, das vermutlich die frühesten Lebewesen überhaupt umfasst.

sich auch schneller. Folglich nahm bei sich verstärkendem Treibhauseffekt und steigenden Temperaturen ihr Anteil an der Gesamtpopulation zu. Damit erhöhte sich aber auch der Ausstoß an Methan und dessen Konzentration in der Atmosphäre. Das wiederum ließ die Oberflächentemperatur weiter klettern, bis sie trotz der kühleren Sonne den heutigen Wert übertraf.

Dank dieser positiven Rückkopplungsschleife hätte die Erde schließlich ein solches Treibhaus werden können,

dass alle Lebensformen außer den extrem Hitze liebenden Mikroben zu Grunde gegangen wären. Zum Glück setzte ein natürlicher Prozess dem Aufschaukeln jedoch ein Ende. Sobald die Konzentration von Methan in der Atmosphäre über ein Promille steigt, beginnt es unter dem Einfluss von Sonnenlicht zu länger-kettigen Kohlenwasserstoffen zu polymerisieren. Diese lagern sich an Staubpartikel an und bilden so einen organischen Dunst, wie er auf dem größten Mond des Planeten Saturn zu be-

obachtet ist (siehe Kasten auf S. 66). Die Titan-Atmosphäre besteht wie die irdische hauptsächlich aus molekularem Stickstoff, enthält außerdem aber einen gewissen Prozentsatz an Methan sowie höheren Kohlenwasserstoffen.

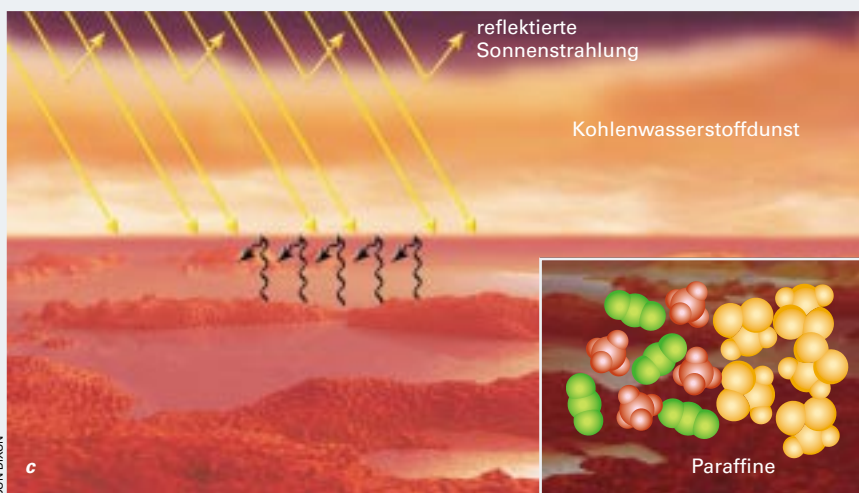
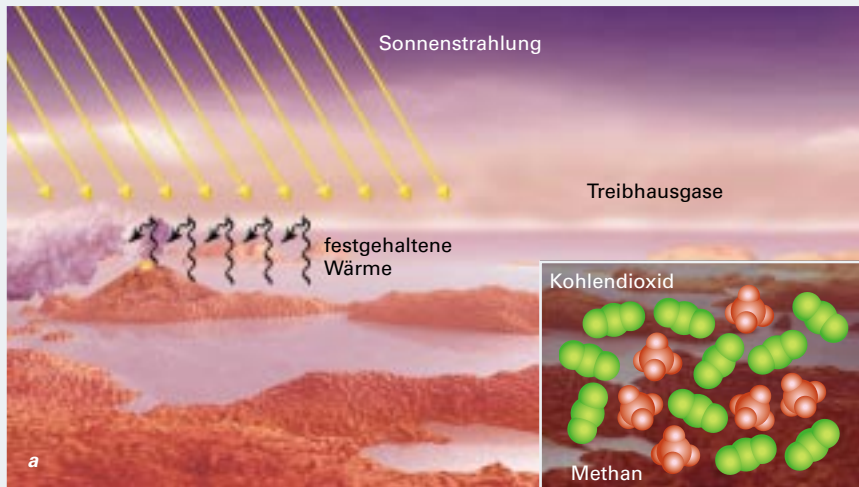
Dunstschleier als Sonnenschirm

Die Bildung eines organischen Dunstschleiers könnte auch die frühe Erde vor Überhitzung bewahrt haben. Da er in großer Höhe entstand, wirkte er auf das Klima genau umgekehrt wie Methan. ▷

Wie Methan einen Dunstschleier bildet

Ein **rosa-orangefarbener Dunst** von Kohlenwasserstoffteilchen, hervorgegangen aus Methan, hielt die frühe Erde in einem präkären Gleichgewicht zwischen Treibhaushölle und Kältestarre.

Zunächst stieg die Methankonzentration an (a). Das verstärkte den Treibhauseffekt (b). Doch nach einigen zehntausend Jahren bildete sich ein Dunstschleier, der für Abkühlung sorgte (c).



Methan übernahm seine Schlüsselrolle im Klimageschehen der frühen Erde wohl schon kurz nach dem Ursprung des Lebens vor mehr als 3,5 Milliarden Jahren. In einer Welt ohne elementaren Sauerstoff konnten so genannte Methanogene – einzellige Ozeanbewohner – üppig gedeihen. Zudem hielt sich das von ihnen produzierte Methan in der sauerstofffreien Atmosphäre viel länger als heute. Es erwärmte zusammen mit einem anderen, häufigeren Treibhausgas – Kohlendioxid aus Vulkanen – die Erdoberfläche, indem es die von dort abgestrahlte Wärme zurückhielt (schwarze Pfeile), das Sonnenlicht (gelbe Pfeile) aber hindurchließ.

Viele Methanogene mögen es heiß und produzierten so mit zunehmender Wärme immer mehr Methan. Diese positive Rückkopplungsschleife intensivierte den Treibhauseffekt und ließ die Temperaturen an der Erdoberfläche weiter steigen. Das warmfeuchte Klima begünstigte die Verwitterung des Gesteins auf den Kontinenten. Dies entzog der Atmosphäre Kohlendioxid, sodass dessen Konzentration sank, während die von Methan immer noch anstieg. Schließlich lagen beide Gase in fast gleicher Menge vor. Unter diesen Bedingungen änderte sich das chemische Verhalten von Methan gegenüber Sonnenlicht dramatisch.

Bevor die steigende Methankonzentration die Erde in eine Sauna verwandeln konnte, begannen einige Gasmoleküle, angeregt von der UV-Strahlung der Sonne, sich zu langen Kohlenwasserstoffketten (Paraffinen) zu verbinden, die in großer Höhe auf Staubteilchen kondensierten. Diese Partikel geboten dem Treibhauseffekt Einhalt, indem sie kurzweiliges Sonnenlicht abfingen und in den Weltraum zurückwarfen. Dadurch gelangte weniger Strahlung auf die Erdoberfläche. In dem resultierenden kühleren Klima gediehen die Wärme liebenden Methanogene schlechter, was die Produktion an Methan verringerte – ein negatives Feed-back kam in Gang.

DON DIXON

▷ Dieses lässt – wie die anderen Treibhausgase – den größten Teil des Sonnenlichtes passieren, hält aber die von der Erde kommende Wärmestrahlung in den unteren Luftschichten fest. Im Gegensatz dazu fängt organischer Dunst in großer Höhe einfallendes Sonnenlicht ab und strahlt es in den Weltraum zurück, sodass weniger davon auf die Erdoberfläche gelangt. Auf Titan sorgt dieser Effekt für sieben Grad tiefere Temperaturen.

Eine ähnliche Dunstschicht könnte auch die frühe Erde abgekühlt haben. Dadurch verschob sich die Methanogenpopulation wieder in Richtung der langsamer wachsenden Spezies mit Vorliebe für ein gemäßigtes Klima, was die Methanproduktion drosselte. Diese negative Rückkopplungsschleife wirkte so lange, bis sich der Kohlenwasserstoffnebel lichtetete und erneut der positive Feed-back-Zyklus in Gang kam. Auf diese Weise könnten sich Erdtemperatur und atmosphärische Zusammensetzung genau an dem Punkt stabilisiert haben, an dem eine dünne Smogschicht den Planeten einhüllte.

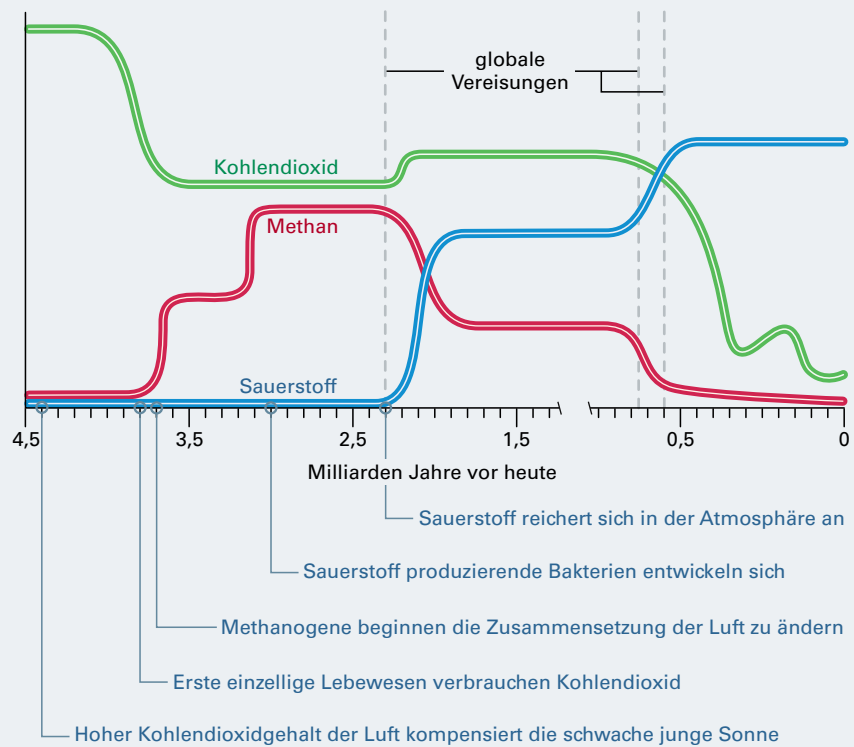
Plötzlicher Klimakollaps

Irgendwann aber versagte dieser globale Thermostat. In der als Proterozoikum bekannten Periode der Erdgeschichte gab es mindestens drei globale Eiszeiten: die erste vor 2,3 Milliarden und zwei weitere vor 750 Millionen und 600 Millionen Jahren. Die Ursache dieser Temperaturstürze war lange rätselhaft – die Methanhypothese liefert jedoch eine plausible Erklärung.

Die erste der drei extremen Kältephasen wird oft als huronische Vereisung bezeichnet, weil man sie im Gestein unmittelbar nördlich des Huron-Sees in Südkanada gut erkennen kann. Ähnlich wie bei den besser untersuchten Vereisungen im späten Proterozoikum war die Erde damals einschließlich der Ozeane offenbar komplett zugefroren und kreiste quasi als riesiger Schneeball um die Sonne (Spektrum der Wissenschaft 4/2000, S. 58). Dafür spricht, dass selbst Kontinente in Äquatornähe einen Eispanzer trugen, dessen Spuren noch heute erkennbar sind.

Dazu gehören durcheinander geworfene Gesteinstrümmen – so genanntes Geschiebe – und anderes Material, das Gletscher vom Untergrund abschabten, verfrachteten und beim Schmelzen vor 2,45 bis 2,2 Milliarden Jahren unsortiert

Meilensteine der Erdgeschichte



Änderungen in der Konzentration der wichtigsten Atmosphärgase könnten erklären, warum in der fernen Vergangenheit drei extreme Eiszeiten die Erde heimsuchten. Zunächst florierten Methan produzierende Mikroorganismen (Methanogene). Als aber vor 2,3 Milliarden Jahren dann Sauerstoff in die Luft gelangte, verloren sie einen Großteil ih-

res bisherigen Lebensraums. Zunächst konnten sie noch in tieferen Meeresschichten überleben und einen gewissen Methanspiegel in der Atmosphäre aufrechterhalten. Doch ein weiterer Sauerstoffschub machte auch dem ein Ende und führte in Verbindung mit einem Abfall beim Kohlendioxid zu erneuten Vereisungen.

abblenden. An dem glazialen Schutt lässt sich zugleich ein tief greifender Wandel in der Atmosphäre ablesen. Das ältere Gestein darunter enthält Geröll aus Uraninit und Pyrit – zwei Mineralen, die nur in Abwesenheit von Sauerstoff stabil sind. Über den Eiszeitschichten liegt dagegen Sandstein mit rotem Hämatit; dieses Eisenoxidmineral aber bildet sich ausschließlich in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre. Demnach fand die huronische Vereisung genau zu dem Zeitpunkt statt, als sich Sauerstoff in der Atmosphäre anzureichern begann.

Für diese auffällige Koinzidenz gab es bis vor kurzem keine Erklärung. Wenn jedoch Methan für ein warmes frühes Erdklima sorgte, wäre die globale Eiszeit vor 2,3 Milliarden Jahren eine natürliche Konsequenz aus dem Anstieg der Sauerstoffkonzentration in der Atmosphäre.

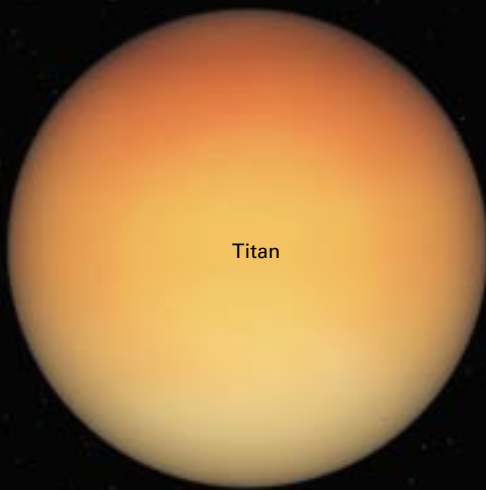
Viele der methanogenen und anderen anaeroben Mikroorganismen, die zuvor die Erde beherrschten, vertrugen die sauerstoffhaltige Luft nicht und kamen entweder um oder mussten sich in immer weiter eingeschränkte Lebensräume zurückziehen.

War damit das Ende der Methangeschichte gekommen? Nicht unbedingt. Zwar hat Methan seither nie wieder das Klima dominiert, aber es könnte noch für einige Zeit eine begrenzte Rolle gespielt haben. Vielleicht lag seine Konzentration in der Luft auch im späten Proterozoikum, das vor 600 Millionen Jahren zu Ende ging, lange Zeiträume hindurch deutlich über den heutigen Werten. Das wäre möglich, wenn die Atmosphäre noch nicht so viel Sauerstoff enthielt und die tiefen Ozeane sauerstofffrei und arm an Sulfat waren – einem Salz, das in heu-

JOHNNY JOHNSON

Im Dunst vereint, aber grundverschieden

Der größte Saturnmond Titan verdankt sein orangefarbenes Aussehen einer Schicht aus Kohlenwasserstoffteilchen, die hoch oben in der Atmosphäre bei der Zerstörung von Methan durch Sonnenlicht entstehen. Ein ähnlicher Dunstschleier könnte die Erde vor 2,3 Milliarden Jahren eingehüllt haben. Aber zum Glück für die damaligen Lebewesen endet hier die Parallele.



NASA, JPL/CALTECH

Der Dunstschleier um die frühe Erde war wesentlich dünner als der um Titan. Sonst hätte er so viel Sonnenlicht ins Weltall zurückgeworfen, dass die Erdoberfläche völlig vereist wäre – ein Todesurteil für die einzelligen Mikroben, die das Methan produzierten. Tatsächlich ist die Titan-Atmosphäre mit eisigen -179 Grad Celsius sehr viel kälter, als es unsere Lufthülle je war.

Auf dem Saturnmond vermutet man Ozeane aus flüssigem Methan, Stickstoff und Ethan, aus denen das Methan verdampft. Das würde den dichten Schleier erklären. Verglichen damit setzten die frühen Mikroben auf der Erde nur wenig Methan frei, sodass die Dunstschicht relativ dünn blieb.

Andererseits reichte die Gasmenge, um einen merklichen Treibhauseffekt zu verursachen. Methan lässt nämlich Sonnenlicht passieren, absorbiert aber Wärmestrahlung von der Erdoberfläche und hält sie so in der unteren Atmosphäre zurück. Ähnlich wirkt Kohlendioxid, das auf der Urerde gleichfalls in relativ hohen Konzentrationen vor-

kam und zusammen mit flüssigem Wasser die Entwicklung von Leben erst ermöglichte. Keine dieser beiden Verbindungen ließ sich bisher jedoch auf Titan nachweisen. Daraus und aus der extremen Kälte ergibt sich, dass Leben, wie wir es kennen, dort vermutlich nicht entstehen konnte.

Dennoch beeinflussten chemisch-physikalische Vorgänge, wie sie in der Titanatmosphäre ablaufen, einst auch das Erdklima. Sie näher zu erforschen, ist Aufgabe der Esa-Sonde Huygens, die das Raumschiff Cassini kürzlich zum Saturn gebracht hat. Dringt das Gefährt nächstes Jahr erfolgreich in die Titanatmosphäre ein, wird es erste direkte Erkenntnisse über den methaninduzierten Smog liefern. Daraus erhofft man sich Hinweise darauf, wie die Erde für mehr als eine Jahrtausende ihr delikates Gleichgewicht zwischen der Kühlwirkung des Dunstschleiers und dem Treibhauseffekt des Methans aufrechterhielt, sodass der Planet diese lange, kritische Zeitspanne hindurch lebensfreundlich blieb.

▷ tigem Meerwasser verbreitet vorkommt. Dann hätte weiterhin zehnmal so viel Methan aus den Meeren in die Atmosphäre entweichen und der Gehalt des Gases in der Luft 0,1 Promille erreichen können. Damit ließe sich erklären, warum das Proterozoikum fast eineinhalb Milliarden Jahre eisfrei blieb, obwohl die Sonne immer noch relativ schwach strahlte. Meine Kollegen und ich halten es für denkbar, dass ein zweiter Anstieg der Sauerstoffkonzentration in der Atmosphäre oder eine Zunahme der gelösten Sulfatmenge die beiden späteren Schneeball-Episoden in der Erdgeschichte ausgelöst haben – wiederum durch Absenken der Konzentration an wärmendem Methan.

Extraterrestrisches Methan

So plausibel die Geschichte von der Weltherrschaft methanogener Organismen klingen mag – es gibt keinen direkten Beweis dafür. Dazu müsste man schon einen Gesteinsbrocken mit eingeschlossenen Blasen der frühen Atmosphäre finden, was höchst unwahrscheinlich ist. Bislang bleiben uns nur eine Rei-

he indirekter Indizien – vor allem die niedrigen Kohlendioxidwerte, auf die man aus dem Fehlen von Siderit schließen kann, und der Zeitpunkt der ersten globalen Vereisung.

Vielleicht lässt sich unsere Hypothese auf der Erde selbst niemals verifizieren. Aber im All könnte sich der Beweis dafür finden – bei der Beobachtung erdähnlicher Planeten, die andere Sonnen umkreisen. Sowohl die Nasa als auch die Esa arbeiten am Entwurf großer Weltraumteleskope, um bei 120 nahe gelegenen Sternen nach erdähnlichen Planeten zu suchen. Falls diese Missionen – »Terrestrial Planet Finder« und »Darwin« – solche Planeten aufspüren, könnte man in deren Atmosphäre nach Gasen fahnden, die auf die Existenz von Leben hinweisen.

Wäre Sauerstoff in größerer Menge vorhanden, ließe das fast mit Sicherheit auf eine der modernen Erde vergleichbare Biologie schließen – vorausgesetzt, es gäbe zugleich flüssiges Wasser. Auch hohe Methanwerte würden eine Form von Leben zulassen. Soweit wir wissen, können nur Lebewesen dieses Gas in hohen Konzentrationen herstellen. Die

Entdeckung von Methan böte somit die faszinierende Möglichkeit, direkte Einblicke in den Zustand unseres Planeten während der Frühzeit seiner Geschichte zu gewinnen. ◁



James F. Kasting ist Professor für Geowissenschaften an der Pennsylvania State University in University Park und hat 1979 an der Universität von Michigan promoviert. Zusammen mit weiteren

Wissenschaftlern entwickelt er derzeit das theoretische Fundament für den Terrestrial Planet Finder der Nasa: ein Weltraumteleskop, das Planeten bei anderen Sternen aufspüren und ihre Atmosphäre auf Lebenszeichen untersuchen soll.

Methane-rich proterozoic atmosphere? Von A. A. Pavlov et al., in: *Geology*, Bd. 31, S. 87; Januar 2003

Life and the evolution of earth's atmosphere. Von J. F. Kasting und J. L. Siefert, in: *Science*, Bd. 296, S. 1066; 10.5.2002

Greenhouse warming by methane in the atmosphere of early earth. Von A. A. Pavlov et al., in: *Journal of Geophysical Research – Planets*, Bd. 5, S. 11981; Mai 2000

Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei www.spektrum.de unter »Inhaltsverzeichnis«.