M I C H A E L W A G R E I C H

studierte an der Universität Wien und promovierte 1986. Nach einer Assistententätigkeit am Institut für Geologie der Universität Wien habilitierte er sich im Fach Geologie im Jahr 2003. Derzeit ist er als Außerordentlicher Professor am Department für Geodynamik und Sedimentologie, Center for Earth Sciences, Universität Wien, tätig. Seine Forschungsschwerpunkte sind in der Sedimentologie, Stratigraphie und Tektonik der Kreide und des Neogen angesiedelt.

5 ROTE KREIDE

Auf der Postalm in Salzburg wird an einem geologischen Aufschluss ein Ereignis in der Kreidezeit vor 90 bis 85 Millionen Jahren untersucht, bei dem sich, in erdgeschichtlich rascher Zeit, das Klima weltweit änderte, und die Lebensbedingungen in den Ozeanen von extrem sauerstoffarm zu sauerstoffreich wechselten. Die Ergebnisse werden mit internationalen Untersuchungen abgestimmt und können auch Schlussfolgerungen auf die zukünftige Entwicklung des Erdklimas erlauben.

Gefördert durch: International Geoscience Programme (IGCP)

DANK | Stephanie Neuhuber (Universität Wien), Hans Egger (Geologische Bundesanstalt, Wien), Rufus Bertle (Schruns)

Michael Wagreich bestimmt mit einem GPS-Gerät die Position des Roten Kreide Aufschlusses auf der Postalm in Salzburg: „Frisch gebrochene Rote Kreide besticht durch ihre namensgebende Farbe, nach einiger Zeit der Verwitterung erscheint sie grau."

Herr Wagreich, wir sind nach Strobl auf die Postalm gefahren und sind in einer Straßenkurve, mit einem fantastischen Blick auf den Gosaukamm, stehen geblieben. Rechts von uns erstreckt sich eine gewaltige Felsformation ganz in rot. Diese rote Farbe erzählt uns eine Geschichte, die vor 85 Millionen Jahren stattgefunden hat. Was ist das für eine Geschichte?

A| Diese roten Sedimente aus der Kreidezeit können uns über dramatische, schnelle Veränderungen der Umwelt und des Klimas in jener Zeit erzählen. Diese Veränderungen haben zunächst zu schwarzen Sedimenten geführt, zu so genannten Schwarzschiefern und dann sehr schnell, für erdgeschichtliche Verhältnisse, zu Rotsedimenten. Diese Rotsedimente, wie sie da auf der Postalm auftreten, nennen wir Cretaceous Oceanic Red Beds, das heißt rote, ozeanische Kreidesedimente. Das ist der Name, mit seinem Akronym CORB, der auch einige Forschungsprojekte charakterisiert. Die Sedimente treten weltweit auf, und wir haben versucht, sie weltweit zu korrelieren.

F| Können Sie mir erklären, was Ihre Aufgabenstellung hier ist?

A| Die Untersuchung ist im Rahmen eines internationalen Kooperationsprojektes abgelaufen, wobei wir vor allem Partner in China, USA und Europa, hier in Italien, Deutschland und England haben. Innerhalb des Projektes wurde herausgefunden, dass gleichzeitig – vor etwa 93 Millionen Jahren – diese Schwarzschiefer nicht nur in Österreich auftreten, sondern Schwarzschiefer und die drauf folgenden Rotsedimente weltweit zu finden sind. Sie wurden sowohl an Land auf allen Kontinenten, unter anderem auch in Tibet, als auch bei Tiefseebohrungen im Atlantik oder Pazifik gefunden. Die Forscher, die sich damit beschäftigen, sind mittlerweile eine weltumspannende, große Gruppe von Leuten, die auch in einem neuen Projekt, das jetzt gestartet ist, mitforschen. Ein besonderes Thema, das jetzt in China untersucht wird, ist eine Forschungsbohrung in Seesedimenten der Kreidezeit. Wir haben bisher Sedimente des Meeres untersucht, Tiefwassersedimente im Wesentlichen, die diesen Umschlag von schwarz zu rot zeigen. Es hat in China während der Kreidezeit über zig Millionen Jahre einen riesigen Inlandsee gegeben, und diese Seesedimente werden jetzt untersucht. So nebenbei untersuchen das die chinesischen Wissenschaftler auch deswegen, weil das größte Erdölfeld von China auch in diesen Seesedimenten liegt.

F| Wir stehen also hier oben auf der Postalm vor dem Abbild eines weltweiten Ereignisses. Was interessiert Sie im speziellen an diesen roten Sedimenten? Was können Sie aus ihnen herauslesen?

A| Das erste, was man ablesen kann, ist die Zeit, in der sie abgelagert wurden. Man sieht eine sehr schöne Schichtung des Gesteins. Das Gestein ist in Paketen übereinander gelagert, die einmal etwas weicher und dann etwas härter sind, also stärker verwittern und dann weniger stark verwittern. Durch unsere Untersuchungen über statistische Zeitreihenanalysen konnten wir herausfinden, dass so ein Zyklus von einem harten, kalkreichen zu einem weichen, kalkarmen Sediment - das sind 10 bis 50 Zentimeter Dicke - einem Zyklus von 20.000 Jahren entspricht. Für die Erdwissenschaften ist das eine sehr genaue zeitliche Einordnung der Sedimentation und damit auch eine sehr genaue Einzeitung der Ereignisse, die sich damals abgespielt haben.

F| Aber nachdem dieser sichtbare Teil so breit ist, gehe ich davon aus, dass Sie diese Zeitspanne noch weiter unterteilen konnten?

A| Diese weitere Unterteilung haben wir versucht und sie ist jetzt im Rahmen eines neuen Projektes auch gemacht worden. Man braucht dafür spezielle Methoden, Geräte und Proben. Am besten entnimmt man einen Bohrkern oder ein größeres Stück vom Sediment und untersucht dann mit einer Auflösung von Bruchteilen von Millimetern jede Lage in diesem Sediment. Man kommt dann zu einer Zeitauflösung, die unter den 20.000 Jahren liegt. Man kann diesen Abschnitt in 20 Teile teilen, man kann ihn in 100 Teile teilen oder noch weiter zerlegen. Diese hohe Auflösung erlaubt uns, Vergleiche mit heutigen Klimaentwicklungen zumindest anzudiskutieren.

F| Das ist für geologische Verhältnisse ein unglaublich genauer Blick in die Vergangenheit. Wir sind auf einem Maß von etwa 1000 Jahren gelandet. Wie genau kann man da in die Geschichte hineinschauen?

A| Wie gesagt, das ist im Moment noch in Untersuchung. Was wir aber feststellen konnten, ist, dass Änderungen im Klima und auch Änderungen in Ozeanströmungen erdgeschichtlich sehr schnell ablaufen. Sehr schnell heißt, im Rahmen von 10.000 Jahren oder weniger. Das ist für menschliche Verhältnisse noch immer sehr lang. Wen interessiert, was in 10.000 Jahren sein wird? Aber die vergangenen, erdgeschichtlichen Änderungen haben ja ebenfalls ihre Ursachen im Anstieg der Treibhausgase in der Erdatmosphäre so wie heute. Wenn wir also den damaligen Anstieg des CO_2 mit heutigen Steigerungsraten vergleichen, dann haben wir einen Anstieg, der ein 100faches schneller vor sich geht, als wir ihn für die Kreidezeit rekonstruieren konnten. Obwohl das Zusammenwirken vieler Faktoren extrem kompliziert ist, können wir etwas unwissenschaftlich linear extrapolieren und kommen zum Schluss, dass damit auch die Auswirkungen des Treibhausgasanstieges heute 100fach schneller sein können, als sie in der Kreidezeit passiert sind. Wenn wir also die 10.000 Jahre durch 100 teilen, dann finden wir uns schon in der Größenordnung von 100 Jahren, in denen solche wirklich dramatische Änderungen vor sich gehen könnten: Von Schwarzschiefern zu Rotsedimenten oder von Rotsedimenten wieder zu Schwarzschiefern und damit zu Massenaussterbeereignissen. Was man hier als rote Farbe sieht, ist fein verteilter Hämatit - Fe_2O_3. Hämatit ist ein Mineral, das aus oxidiertem Eisen besteht und das Besondere daran ist, dass hier tiefmarine Sedimente vorliegen. Tiefmarine Sedimente, die in ein paar 1000 Metern Wassertiefe abgelagert wurden und die trotzdem oxidiertes Eisen aufweisen. Normalerweise sind solche Sedimente grau oder schwarz, was auf Sauerstoffmangel hinweist. Die rote Farbe ist das Besondere und weist darauf hin, dass in der Tiefe der Ozeane damals sehr viel Sauerstoff vorhanden war. Genau im Gegenteil zu den Sedimenten, die vorher, vor 93 Millionen Jahren, abgelagert wurden. In dieser Periode gab es weltweit einen großen Höhepunkt in der Ablagerung von Schwarzschiefern, also schwarzen Sedimenten. Schwarzschiefer sind reich an organischem Kohlenstoff, und die nachfolgende Ablagerung der Rotsedimente hat offenbar unmittelbar damit zu tun, dass während der Ablagerung der Schwarzschiefer ein dramatisches Aussterben von Arten und Gattungen einhergegangen ist.

F| Das geht mir ein bisschen zu schnell. Ich stelle mir den Ozean in der Tiefe von mehreren 1000 Metern nicht gerade sauerstoffreich vor. Der Sauerstoff müsste oben sein und nach unten wird er immer weniger. Die Lebewesen, die sich da unten aufhalten können, haben andere Möglichkeiten, sich zu versorgen. Wie kommen diese Sauerstoffmengen, die dann so dramatische Folgen nach sich ziehen, nach unten? Und warum hat sich während dieser schwarzen Ablagerungen, die zuvor stattfanden, so ein dramatisches Sterben ergeben?

A| Fangen wir chronologisch an: Das dramatische Sterben, das zeitmäßig vorher war, ist - das wissen wir aus unseren geochemischen Untersuchungen - durch eine extreme Produktivität des Planktons im Meer hervorgerufen worden. Diese erhöhte Planktonproduktivität ist auf ein extremes Treibhausklima in der Kreidezeit zurückzuführen. Wir wissen, dass es zu der Zeit den doppelten bis achtfachen CO_2 -Gehalt unserer vorindustriellen Zeit gegeben hat. Dieser, durch Vulkanismus bedingte, hohe CO_2-Gehalt der Atmosphäre hat dazu geführt, dass die Planktonproduktivität extrem stark angestiegen ist. Die erhöhte Planktonproduktivität hat sich natürlich in Biomasse umgesetzt, die dann langsam auf den Ozeanboden abgesunken ist und den wenigen Sauerstoff, der am Ozeanboden vorhanden war, aufgebraucht hat. Vor über 90 Millionen Jahren hat es demnach eine Epoche gegeben, einen Zeitabschnitt von 300.000 bis 600.000 Jahren, in dem der Ozeanboden völlig sauerstofffrei war. Wie man aus neuesten Untersuchungen weiß, hat sich dieser Sauerstoffmangel in den Ozeanen bis an die Meeresoberfläche ausgewirkt. Das heißt, nicht nur in der Tiefe der Ozeane gab es anoxische Bedingungen, sondern auch bis in die flachen Schelfbereiche. Durch das Anwachsen dieser sauerstofffreien Todeszonen sind sehr viele Gattungen und Arten von Plankton, wie Foraminiferen oder auch kalkiges Nanoplankton, ausgestorben. Es gibt sogar die Theorie, dass sich dieser sauerstofffreie Bereich so weit ausgedehnt hat, dass er bis an die Wasseroberfläche freigesetzt wurde. Durch dieses Freisetzen sind auch die Landbewohner und die Ozonschicht entsprechend beeinträchtigt worden.

> HEUTE HABEN WIR EINEN CO_2 ANSTIEG, DER 100 MAL SCHNELLER VOR SICH GEHT, ALS WIR IHN FÜR DIE KREIDEZEIT REKONSTRUIEREN KONNTEN.

F| Was hat das aber mit den Rotsedimenten zu tun?

A| Die Rotsedimente sind offenbar eine natürliche Folge dieser Schwarzschieferphase. Und zwar funktioniert der Zusammenhang so: Während der Schwarzschieferablagerung wird sehr viel organischer Kohlenstoff im Meer in den Sedimenten begraben und damit dem Ökosystem entzogen. Über diese 300.000 bis 600.000 Jahre wird kontinuierlich Kohlenstoff aus der Luft im Meeressediment gebunden. Dadurch wird das CO_2, das zunächst einmal als Treibhausgas hochkonzentriert in der Atmosphäre vorhanden war, immer weniger. Am Ende dieser Schwarzschieferperiode war der CO_2-Gehalt wahrscheinlich in der vorindustriellen Konzentration, also weniger als heute, und damit schlägt das System sehr schnell um. Das Verhältnis von Kohlendioxid zu Sauerstoff ändert sich schnell zu Gunsten des Sauerstoffs. Wie schnell, das untersuchen wir gerade. Die Folge war ein erneutes länger dauerndes Aussterben, insbesondere von Plankton, zu dieser Zeit. In der Folge kann, dadurch dass die Lebewelt stark beeinträchtigt war, der Sauerstoff ins Meer gelangen, durch Durchmischung über den Wind und durch Ozeanströmungen. Es gibt nach diesen Schwarzschieferablagerungen weltweit ganz konsequent rote Sedimente in der Tiefsee. Die zeigen die Anwesenheit von Sauerstoff, weil nur der Sauerstoff das Eisen, welches im Meerwasser vorhanden ist, oxidieren kann und damit zur Bildung vom schon erwähnten Hämatit führt. Hämatit ist das Mineral, das feinst verteilt, in sehr kleinen Korngrößen, die Sedimente rot färbt.

F| Was bedeuteten die dramatischen Ereignisse damals, und was bedeuten sie heute? Können Sie da eine Beziehung herstellen?

A| Ja, eine Beziehung wäre sicher der Anstieg des Meeresspiegels. Aus erdgeschichtlicher Sicht hat es in der Kreidezeit einen dramatischen Anstieg des Meeresspiegels gegeben. Dieser lag in der Größenordnung von mindestens 130 Metern über dem heutigen Niveau, manche Forscher meinen auch 300 Meter darüber. Diese Meeresspiegelschwankungen in der Kreidezeit hatten Perioden von 100.000 Jahren. Wenn sich heute der Anteil vom CO_2, der treibenden Klimakraft, so rasch erhöht, wird sich auch die Rate des Meeresspiegelanstieges dementsprechend ändern. Ein Anstieg der Meere um 5 Meter innerhalb von 100 Jahren ist eine wirklich ernst zunehmende Bedrohung für die Menschen. Das hätte große Auswirkungen auf sehr viele Länder und deren Bewohner. Vor allem arme Länder könnten nicht mehr mit Maßnahmen gegen die Meeresfluten mithalten.

F| Was ist noch zu befürchten infolge von solchen Veränderungen? Gibt es weitere Ergebnisse?

A| Ja, ein Ergebnis ist sehr interessant, dass es nämlich in der Kreidezeit, während dieser Phasen der Schwarzschieferablagerung, offensichtlich ein anderes Ozeanströmungssystem gegeben hat als heute, einen anderen Typ der globalen Ozeanströmungen. Wir kennen alle das heutige System mit den großen Tiefenströmungen, die vor allem vom Nordatlantik in die Tiefe gehen und das gesamte Ozeanströmungssystem, also auch den Golfstrom, antreiben. Wir vermuten, dass es während dieser Schwarzschieferphasen in den Ozeanen eine völlig andere Zirkulation gegeben hat. Es hat keine großen, weltweit über tausende Kilometer wirkende Strömungen gegeben, sondern kleinräumige Strömungswirbel, mit Durchmessern von einigen hundert Kilometern. Dieses Zirkulationssystem wird „eddy-ocean" genannt. Dieses Strömungssystem ist so unterschiedlich zum heutigen, dass wir eigentlich nicht genau wissen, wie es zu diesem Umschalten in das normale Strömungssystem, so wie wir es heute kennen, gekommen ist. Das kann allerdings relativ schnell passieren. Man hat ja Belege aus jüngster Vergangenheit darüber, dass der Golfstrom nicht ein Strom ist, der immer vorhanden war, sondern es durchaus Zeiten gegeben hat, in welchen der Golfstrom versiegt ist. Die Auswirkungen auf das Klima von Westeuropa oder überhaupt auf das europäische Klima waren auf jeden Fall dramatisch und wären es auch jetzt. Was für Auswirkungen so ein eddy-ocean haben würde, ist noch viel weniger vorstellbar. Eine Interpretation wäre, dass es durch einen derartigen Ozean viel mehr lokale Windsysteme geben würde, die dann als Hurrikans auch auf die Küste treffen könnten. Es kann dann wesentlich mehr Hurrikans auch in Gebieten geben, die normalerweise nicht davon betroffen sind, wie das Mittelmeer.

F| Dieses „Mehr" an Wasser, diese fünf Meter zusätzliche Meeresspiegelhöhe, woher kommen diese Wassermassen, von den Polen?

A| Die würden durch das Abschmelzen des Eises von Grönland und von der Antarktis kommen. Der Großteil kommt vom Eis, der Rest entsteht durch die Ausdehnung des Wassers, wenn es wärmer wird. Das Wasser dehnt sich aus, genauso wie andere Dinge sich ausdehnen, wenn sie wärmer werden. Die Arktis selber ist für die Erhöhung des Meeresspiegels nicht wesentlich, weil das Arktis-Eis ja schwimmt und sich im Taugleichgewicht befindet. Das heißt, es kommt Wasser dazu, aber das Eis wird weniger. Die letzten Schätzungen besagen, dass 2013 - und das ist doch schon sehr bald - die Arktis im Sommer eisfrei sein wird. Der wesentliche Effekt des Abschmelzens des

Nächste Seite | *Die roten Sedimente auf der Postalm erzählen von den dramatischen, schnellen Veränderungen der Umwelt und des Klimas in der Kreidezeit. Diese Sedimente treten weltweit auf. Das erlaubt, Vergleiche mit heutigen Klimaentwicklungen zu diskutieren.*

Arktis-Eises ist, dass das Klima in diesem Bereich total verändert wird. Eis ist weiß, das heißt, es strahlt die Wärme zurück. Wenn in der Arktis keine Eisbedeckung mehr vorhanden ist, nimmt der Arktische Ozean wesentlich mehr Energie auf, er erwärmt sich dann wesentlich stärker als heute. Was das für Auswirkungen auf das Klima und auf die dortigen Lebewesen haben wird, ist überhaupt nicht abschätzbar, aber wahrscheinlich dramatisch. Wesentlich stärker wirkt sich das Schmelzen des Grönland- und Antarktis-Eises auf den Meeresspiegel aus, denn dieses Eis befindet sich auf Festland.

FI Gibt es weitere Informationen, die Sie aus diesen roten Formationen, hier neben der Straße, herauslesen können?

AI Es sind die Bildungsbedingungen in diesem sauerstoffreichen Ozean mit der Bildung des Hämatits. Man kann auch sehr schön nachvollziehen, wie die Lebensbedingungen waren. Die spezialisierten Organismengruppen, die dieses Aussterbeereignis vorher überlebt haben, haben recht gute Bedingungen vorgefunden. Sauerstoff am Meeresboden ist nicht schlecht für die meisten Bodenbewohner, wie benthische Foraminiferen, also solche, die vorwiegend auf dem Meeresboden leben. Wir haben hier auf der Postalm auch Muschelreste gefunden. Das heißt, es hat auch im Tiefwasser lebende Muscheln gegeben, die mit den Lebensbedingungen gut zu Recht gekommen sind. Was wir weiter ablesen können, ist, dass für sehr viele Gruppen, hauptsächlich Planktonarten, diese Meeresbereiche mit ihrem Sauerstoffreichtum eine Art Wüste in Bezug auf Nährstoffe war. Es haben nur wenige Gruppen gut überleben können. Die Planktonproduktivität muss sehr gering gewesen sein, sonst hätte sich diese rote Farbe des Hämatits nicht über 10 bis 20 Millionen Jahre absetzen können.

FI Das heißt, es war damit ein sehr großes Artensterben verbunden, weil viele Arten diese Bedingungen nicht ertragen konnten, sich nicht schnell genug anpassen konnten?

AI Es gab sicher ein erstes Artensterben im Bereich der schwarzen Sedimente, dieser Schwarzschiefer. Es hat aber in der Folge sehr lange gedauert, bis sich die Lebewelt wieder den normalen Bedingungen angepasst hat. Die Zeit danach wird als Plankton-„turnover" bezeichnet. Das ist eine Zeit, in der das Plankton instabil war, in der immer wieder neue Arten gekommen sind, und andere Arten ausgestorben sind, und das über einen längeren Zeitraum.

FI Sie versuchen ja, diese Untersuchungen auch in den Kontext unserer Zeit zu stellen. Sie versuchen, die Ergebnisse Ihrer Forschung ja auch zu extrapolieren, auf Verhältnisse wie wir sie vor uns haben oder schon mitten drin sind. Was bedeutet denn die Umlegung dieser Verhältnisse auf heute für uns Menschen?

AI Also, das ist eine Frage der Schnelligkeit dieser Änderungen. Ich denke, dass die Menschheit intelligent genug ist, mit einer langsamen Umweltveränderung, wie sie etwa in der Kreidezeit abgelaufen ist, zu Recht zu kommen, das heißt, über mehrere 1.000 bis mehrere 10.000 Jahre. Dazu muss ich natürlich sagen, dass das nicht mein Fachgebiet ist. Meine persönliche Meinung dazu ist, dass man sicherlich einerseits Technologien einsetzen kann, so wie in Holland, um einen Meeresspiegelanstieg mit wenigen Metern noch beherrschbar zu machen. Man baut Dämme, man schüttet Land auf. Das würde zumindest in den höher technisierten, reichen Ländern funktionieren. Wie es natürlich den armen Ländern dabei geht, ist eine andere Frage. Ich denke, die Menschheit könnte auch mit einem großen Migrationsdruck umgehen. Das Fatale ist aber, dass der CO_2-Anstieg in der Atmosphäre heute wesentlich schneller vor sich geht, als in der Kreidezeit. Damit könnte auch der Meeresspiegel wesentlich schneller steigen und ob man wirklich, bei einem Zeithorizont von 100 Jahren, mit einem Anstieg von mehreren Metern zurechtkommt, bezweifle ich stark.

FI Können Sie mir darüber erzählen, wie man solche Untersuchungen methodisch angeht? Wie geht man vor, um dieses Wissen zu gewinnen, das Sie mir jetzt dargestellt haben?

AI Das erste ist, der Geologe geht ins Feld, so wie hier auf der Postalm, und nimmt Proben. Diese Proben werden gereinigt und dann im Labor untersucht. Und zwar auf sehr unterschiedlichen Wegen. Es wird die Korngröße der Sedimentpartikel bestimmt, und sie werden chemisch auf Spurenelemente und geochemisch auf Isotopenverhältnisse untersucht. Das heißt, es werden Sauerstoffisotopen und Kohlenstoffisotopen gemessen. Eine spezielle Methode, die wir hier angewandt haben, um die Zeitmessung besser in den Griff zu bekommen, ist die Strontium-Isotopen Methode. Das Verhältnis der Strontium-Isotopen Strontium 87 zu Strontium 86 ist eine Möglichkeit der Zeitmessung in der Erdgeschichte. Es gibt über die Erdgeschichte eine Entwicklung dieses Verhältnisses in Ozeansedimenten – und zwar in Kalzit. Es gibt eine Kurve, eine Meeresstandardkurve, durch die Zeit von den ältesten Sedimenten bis heute, mit dem jeweiligen Verhältniswert. Wir haben aus diesen Rotsedimenten Planktonforaminiferen herausgelöst, haben sie in Essigsäure aufgelöst und die Isotopenverhältnisse des Strontiums in den winzigen Kalkschalen bestimmt. Mit Hilfe dieses Isotopenverhältnisses kann man in die geeichte Meereskurve gehen und damit ein sehr genaues Alter feststellen. Wir haben hier etwa 30 bis 40 Proben gezogen, um eine sehr genaue Zeiteinteilung in den Sedimenten zu erhalten. Damit kann man auch unterschiedliche Sedimentationsraten herauslesen. Das heißt, es hat Zeiten gegeben, in denen mehr und dann wieder weniger Sediment abgelagert wurde. Das kann man über diese Strontium-Isotopen-Verhältnisse gut herausfinden. Eine weitere Methode war, die winzigen Kalkschalen, aus denen die Sedimente aufgebaut sind, vor allem Planktonforaminiferen und Coccolithen, aufzulösen und daraus Spurenelemente zu messen. Aus den Verhältnissen dieser chemischen Elemente zueinander können über statistische Methoden Faktoren, wie die Bioproduktivität, ermittelt werden. Wenn die Bioproduktivität sehr hoch ist, also sehr viele Nährstoffe im Wasser sind, werden ganz bestimmte Elemente, wie Barium, angereichert. Organischer Kohlenstoff wird klarerweise auch angereichert. Es gibt andere Elemente, wie das Aluminium, die uns anzeigen, wenn die Bioproduktivität eher gering ist. Aus den Verhältnissen dieser Elemente und einer statistischen Analyse, kann man herausfinden, welche Faktoren unmittelbar zur Ablagerung dieser Sedimente am Tiefsee-Meeresboden beigetragen haben. Wir sehen aus den Elementverhältnissen, dass zwar Vulkanismus vorhanden war, aber offenbar sehr weit weg. In den Rotsedimenten ist wenig Barium zu finden, die Bioproduktivität war also sehr gering. Weitere Untersuchungsmethoden haben sich sehr stark mit den benthischen Foraminiferen auseinander gesetzt. Benthische Foraminiferen sind Einzeller, die ein kalzitisches Gehäuse haben oder ein Gehäuse aus Körnern aufweisen. Sie leben am Meeresboden und geben damit direkt einen Hinweis darauf, wie die Verhältnisse in der Tiefsee waren. Was wir herausgefunden haben ist, dass es auch in diesen Rotsedimenten Zyklen gibt, in denen es eine etwas höhere Produktivität und dann eine geringere Produktivität gegeben hat. Es gab also nicht nur dieses lange Produktivitätstief, das diese Rotsedimente anzeigen, sondern innerhalb dieser Rotsedimente immer wieder Schwankungen in einem 100.000 bis 400.000 Jahre Zyklus. Das Nachfolgeprojekt beschäftigt sich mit schnellen Umwelt- und Klimaveränderungen in der Kreidezeit. Wir wollen jetzt einzelne dieser ungewöhnlich raschen Umweltveränderungen untersuchen und die Gründe dafür herausfinden. Wieso war der Vorgang in der Kreidezeit so schnell? Einer der wesentlichen Player, die hier wirken, könnte Methan sein. In Form von Methanhydrat oder Methaneis ist es heute im Bereich des äußeren Schelfs bis 1.000 Meter Tiefe ein wesentlicher Bestandteil der Sedimente im marinen Bereich. Sehr viele Bereiche des Kontinentalschelfs und des Kontinentalabhangs enthalten derartiges Methaneis.

> OB WIR WIRKLICH, BINNEN 100 JAHREN, MIT EINEM ANSTIEG DES MEERESSPIEGELS VON MEHREREN METERN ZURECHT KOMMEN, BEZWEIFLE ICH STARK.

FI Wie bitte kommt das Methan ins Eis? Bisher dachte ich, Eis bestünde aus Wasser und vielleicht noch einigen Verunreinigungen?

AI Das ist letztlich ein Effekt der Verwesung von Lebewesen. Die tote Biomasse, die zum Meeresgrund sinkt und im Sediment eingebettet wird, wird durch Bakterien umgesetzt, und bei dieser Umsetzung entsteht Methan. Wenn es relativ kühl ist, und bei erhöhtem Druck bleibt Methan im Sediment. Das Methan wird in einer eisartigen Struktur gebunden, Wassermoleküle umschließen käfigartig das Methan. Das interessiert uns besonders, weil es bei Methaneis gut definierte Stabilitätsgrenzen gibt. Wenn die Temperatur des Meeres ansteigt, steigen natürlich auch die Temperaturen am Meeresboden an, und das Eis schmilzt, das Methan wird freigesetzt. Methan ist aber ein wesentlich stärkeres Treibhausgas, etwa 20 mal so stark wie es CO_2 ist. Ein Freiwerden von Methan in großen Mengen würde natürlich auch eine viel schnellere Erwärmung des Klimas und der Ozeane bedeuten. Das wäre eine ganz markante Beschleunigung des Treibhauseffektes, den wir sowieso schon, durch unsere anthropogene Ausblasung von CO_2, dramatisch beschleunigt haben.

FI Können Sie mir im Klartext sagen, was das bedeutet hat und heute bedeuten würde?

AI Klartext ist, dass es eine Phase von 10.000 bis mehreren 10.000 Jahren in der Erdgeschichte gab, in der Methan freigesetzt wurde. Wenn wir den enormen Beschleunigungseffekt des Methans auf den Klimawandel umsetzen, dann sind wir wieder in einem Zeitbereich, der die Menschen bald treffen könnte, also bei 100 bis 150 Jahren. Es würden alle Auswirkungen, wie Meeresspiegelanstieg, Aufwärmung der Erde, Ausdehnung der Ozeane, wesentlich schneller vonstatten gehen, als das heutige Modelle ausrechnen. Heute sagen die Modellrechnungen aus, dass wir über 100 oder 200 Jahre mit einem Meeresspiegelanstieg im Zentimeterbereich, maximal vielleicht einem Meter, zu rechnen haben. Wenn, durch die Auflösung des Methaneises, das Methan mit seiner Wirkung dazu kommt und als zusätzliches Treibhausgas fungiert, dann sind wir plötzlich im Zehnjahresbereich. Das sind Vorgänge, die unter Umständen sehr schnell gehen können. Wir dürfen nicht vergessen: Der heutige CO_2-Gehalt in der Atmosphäre liegt bei einem Wert, wie am Beginn der Kreidezeit. Wir haben heute schon das Doppelte des präindustriellen CO_2-Gehalts. Und die Kreidemodelle arbeiten mit dem Doppelten bis 8-fachen des präindustriellen CO_2-Gehalts, also nicht von heute. Das heißt, wir haben heute die Schwelle zur Situation der Kreidezeit schon überschritten. So manche Auswirkungen, die wir in der Kreidezeit sehen, Aussterben von 25 Prozent aller Planktonarten, diese Prozesse können wir unter Umständen auch noch selbst miterleben.

FI Könnten diese Vorgänge unter Umständen auch den Menschen als Art vernichten, was glauben Sie?

AI Ich denke, das ist fast eine philosophische Frage. Ich meine aber schon, dass es die Zivilisation, so wie wir sie heute kennen, sehr stark beeinträchtigen wird.

FI Wollen wir dabei sein?

AI Ich weiß nicht, ob wir es uns aussuchen können, aber für Erdwissenschaftler ist das ein spannendes „Experiment". Wir erleben sozusagen Erdgeschichte live, um das sarkastisch zu formulieren. Etwas, wo wir Erdgeschichtler immer ein wenig nachhinken, ist, dass wir weniger Experimente machen können, aber das ist ein großes globales Experiment, mit dem wir uns ungewollt, wie in einer Zeitreise, wieder in die Kreidezeit zurückversetzen. •••

Die Sedimentationsröhre ist ein Meßgerät zur Bestimmung der Korngröße von Sedimenten.