

Kopie für K

Vorlage Abt. V

Betr.: Berufungsverhandlung C3 "Allgemeine Geologie", Dr. Kempe .Bezug: Sein Schreiben vom 26.11.1993
Schreiben Dekan vom 30.11.1993
Gespräch bei P am 10.12.1993, 9.00 Uhr

2. GA

~~LW 10.12.~~**Thema Räume:**

Herr Kempe bittet "nach Rücksprache mit den Kollegen" um weitere Laborflächen "ohne besondere Ausstattung" für die Aufstellung neuer Geräte und zur Probenvorbereitung. (60 - 80 m²). Dazu "mindestens" einen Personalarbeitsraum.

Da trifft es sich gut, daß der Fachbereich 11 im Geologie - Gebäudeteil Raumzuwachs zu erwarten hat durch das Konzept der Zusammenführung Geographie im Mineralogie - Gebäudeteil. Aber nicht unmittelbar !

Deshalb sollte man eine eventuelle Zusage in zeitlicher Hinsicht "strecken". Sofort wird man ja nicht ALLES brauchen, der Vorgänger hatte ja auch was, im Interesse einer Arrondierung der Institute im Fachbereich, sollte jetzt keine Zersplitterung gefördert werden ("Kooperation mit Mineralogie und Mikrobiologie klingt danach?"), vielmehr sollte durchgesetzt werden, im Gebäudeteil "Geologie" dieses Institut auch zu konzentrieren mit der Fachbereichsverwaltung plus FB-zentralen Nutzungen z.B. Seminarräumen. (Schließlich fallen dort die "gewonnen" Zusatzflächen auch an langfristig = 225 m²!!!).

Im Gebäudeteil Mineralogie werden nämlich die Mikrobiologieflächen für die äquivalente Unterbringung der Geographie (Zusammenführung) gebraucht, wobei zusätzlich Mineralogieflächen im 2. OG einbezogen werden müssen. Dieses kann zugunsten Mineralogie durch die Umsetzung des Dekanates in die Geologie kompensiert werden.

Daß später die Institute ihre Flächen "interdisziplinär" nutzen durch Kooperation sollte selbstverständlich sein. Die Buchhaltung wie oben andererseits aber auch klar sein.

(Der Zuwachs im FB 11 korrespondiert mit rechnerischen Verlust im FB 10: funktionell äquivalenter Ausgleich für Mikrobiologie/Pfeifer und Einsparung der Professur "Kutzner". Das muß eh' noch im UA Bau abgesehen werden. Den Fachbereich 11 profitiert von der geographischen Gunst !

Idee: Präsident rückt nicht alle Flächen raus, sondern vergibt nach tatsächlichem Drittmittelbedarf ?)

Im Auftrag:



(Samesreuther)

Kopie für P / K / III / IV / ID



An den
Präsidenten
Herrn Prof. Dr. phil. Helmut Böhme
der

Technischen Hochschule Darmstadt

auf dem Dienstweg

DER PRÄSIDENT DER TECHN. HOCHSCHULE DARMSTADT	
A	1
B	2
C	3
D	4
E	Vp K P I II III IV V VI 5
F	Aktenzeichen: Anlagen: 6
G	

K
IA
IB
IC
ID
IE
IG
II
IV
V

UV m Term

Ihr Zeichen

Ihre Nachricht vom

Unser Zeichen
Mo/PlDatum
30.11.1993

Betr.: Professur C 3 - Allgemeine Geologie
Az H I 1.1.-422/540 -49-
Berufungsverhandlung mit Herrn Dr. Kempe

Sehr geehrter Herr Präsident !

Am 25. November 93 hatte Herr Kempe seine konzeptionellen Vorstellungen für die künftige Gestaltung der Professur Allgemeine Geologie vorgetragen. Die daraus resultierenden Wünsche hinsichtlich der räumlichen, sächlichen und personellen Ausstattung wurden in einem mehrstündigen Gespräch - auch unter den derzeitigen finanziellen Randbedingungen - eingehend erörtert und können von unserer Seite voll unterstützt werden.

Aus der Sicht des Institutes wäre noch folgendes zu bemerken:

- Der Forschungsschwerpunkt zur Biogeochemie und zum Stofftransport von Flüssen, Seen und Grundwasser entspricht mit seinem deutlichen Umweltbezug der gewünschten Ausrichtung der Professur Allgemeine Geologie und würde in hervorragendem Maße eine Verknüpfung geologisch-historischer Sachverhalte mit aktuellen Umweltproblemen bedeuten.

Die dafür erforderlichen Geräte: CN-Element-Analysator, portables Fourier Transform-Infrarot-Spektrometer stellen aus unserer Sicht nicht nur eine sinnvolle Ergänzung der Grundausstattung des Institutes dar, sondern bieten darüber hinaus günstige Kooperationsmöglichkeiten (Hydro- und Ingenieurgeologie, Mikrobiologie).

- Für die angestrebte Forschungsausrichtung ist ein gesteigerter Bedarf an Laborräumlichkeiten (2 Laborflächen 30 m² und 40 m²) angemeldet worden, den wir nachdrücklich unterstützen möchten.

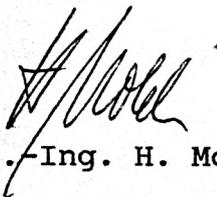
Da diese Kapazitäten im Geol. Institut nicht mehr vorhanden

sind, hoffen wir, daß dank Ihrer Initiative, sehr geehrter Herr Präsident, dieses akute Raumproblem im Zusammenhang mit dem angestrebten Flächentausch Mikrobiologie/Geographie gelöst werden könnte.

- Der Wunsch nach einer wiss. Mitarbeiterstelle wird unterstützt, da dieser Bedarf bei der vorgesehenen Ausrichtung mit spezifischen geochemischen Kenntnissen aus dem vorhandenen Mitarbeiter-Bereich fachlich nicht voll abgedeckt werden kann.

Wir hoffen, daß wir mit Herrn Dr. Kempe einen ausgewiesenen Fachkollegen für das Fach Allgemeine Geologie gewinnen können, und daß ihm die notwendigen Ausstattungen für seine Tätigkeit zur Verfügung gestellt werden können.

Mit freundlichen Grüßen



(Prof. Dr.-Ing. H. Molek)

Universität Hamburg
Institut für Biogeochemie und Meereschemie

Dr. Stephan Kempe

██████████
██████████
Fed. Rep. Germany
Tel.: ██████████
Telex: ██████████
Telefax: ██████████
Telemail: ██████████

SCOPE/UNEP Intern. Carbon Unit

DER PRÄSIDENT
TECHN. HOCHSCHULE DARMSTADT

29. NOV 1993

A	1
B	2
C	3
D	4
E	5
F	6
G	7
H	8
I	9
J	10
K	11
L	12
M	13
N	14
O	15
P	16
Q	17
R	18
S	19
T	20
U	21
V	22
W	23
X	24
Y	25
Z	26

An den Präsidenten
der Technischen Universität Darmstadt
Herrn Prof. Dr. phil. H. Böhme
Karolinenplatz 5
D-64287 Darmstadt

Hamburg, den 26. November 1993

vorab Kopie an
K
IA
IB
IC
ID
IE
IG
II
IK
I

*WV 8.12.
10.12.*

Betr. Berufungsverhandlung C3 "Allgemeine Geologie"

Sehr geehrter Herr Präsident,

am 25.11. hatte ich Gelegenheit, mit Herrn Prof. Molek, Herrn Prof. Ebhardt und Herrn Prof. Gursky über meine Berufung zu sprechen. Das Gespräch verlief sehr kollegial, und wir haben in vielen Punkten gleiche Vorstellungen, insbesondere in Bezug auf die Lehre und die Ausstattung des Institutes. Für die Forschung sehe ich gute Zusammenarbeitsmöglichkeiten mit allen vier Kollegen des Geologisch-Paläontologischen Instituts ebenso wie mit den Kollegen der Mineralogie. Darüberhinaus könnte ich mir auch eine Kooperation mit den Mikrobiologen vorstellen.

Ich möchte die Karbonatgeochemie zu meinem Forschungsschwerpunkt ausbauen. Dies schließt die erdgeschichtliche Entwicklung des Ozeans und der marinen Sedimente ebenso ein, wie Fragen des rezenten Kohlenstoffkreislaufes. Dazu gehören umweltbezogene Untersuchungen zur Biogeochemie und zum Stofftransport von Flüssen, Seen und Grundwasser ebenso wie die quartäre Karstentwicklung und die Gefährdung von Karstgewässern durch Verschmutzung wie auch Untersuchungen zu den geochemischen Voraussetzungen der Riffbildung und die Bedrohung der Riffe durch Klimaänderungen und Meeresverschmutzung.

Aus meiner bisherigen Beschäftigung mit diesen Themen erwuchs die Modellvorstellung eines frühen alkalischen Ozeans (im Gegensatz zum Standardmodell eines sauren Ozeans). Zur Übersicht über die Thematik lege ich meine beiden Beiträge aus "Spektrum der Wissenschaft" bei. Letzte Woche besuchte ich auf Einladung der Veranstalter das 7. Intern. Symposium über Biomineralisation in Monaco und konnte in einem zweistündigen Workshop meine Vorstellungen einem breiten Kollegenkreis vortragen. Die Reaktionen waren sehr positiv. Die Vorstellung eines alkalischen Ozeans bietet für viele Phänomene des Präkambriums (Banded Iron Formation, primäre Dolomite), für bestimmte biochemische Prozesse in der Zelle und vor allem für das plötzliche Einsetzen der Biomineralisation in vielen Gruppen von Lebewesen zu Beginn des Phanerozoikums eine plausible geochemische Erklärung an. Darüberhinaus konnte meine Arbeitsgruppe an Hand von

28.11.93 TM

rezenten Beispielen (Van See/Türkei, Kratersee von Satonda/Indonesien) zeigen, daß Mikrobialithe (kalkige Ablagerungen induziert hauptsächlich durch cyanobakterielle Matten) vor allem im alkalischen Milieu bei sehr hoher Calciumkarbonat-Übersättigung wachsen. Da sie im Präkambrium als einzige biogene Makrostruktur weit verbreitet waren, ist dies ein direkter Hinweis auf den frühen alkalischen Ozean.

Ich erläutere dies so ausführlich, um zu verdeutlichen, daß dies eine international konkurrenzfähige Arbeitsrichtung ist, die ich weiterführen möchte, die aber auch eine bestimmte Grundausstattung voraussetzt. Ich verfüge zur Zeit über sechs Labor- und Arbeitsräume mit einem guten Gerätepark. Leider gehören mir von diesen Geräten persönlich nur einige DFG Geräte, und auch die kann ich nicht alle mitnehmen, da sonst der Abschluß von Doktorarbeiten und Projekten gefährdet wäre.

Nach Rücksprache mit den Kollegen in Darmstadt möchte ich daher um folgende Dinge bitten:

1) Erweiterung der Laborfläche des Institutes um mindestens zwei 30 bis 40 m² große Laborräume. Die Räume brauchen keine spezielle Ausstattung, da zwei Naßlabore im Institut vorhanden sind. Sie dienen zur Aufstellung der neuen Geräte (Grundausstattung und Drittmittel) und zur Probenvorbereitung. Ohne die Möglichkeit, Projekte auch räumlich durchzuführen, können keine Drittmittelanträge gestellt werden.

2) Mindestens einen Personalarbeitsraum für die im Labor arbeitenden Doktoranden und Diplomanden.

3) Eine BAT IIa Stelle für einen Laborleiter, zur Zuarbeit bei Anträgen und zur Mitarbeit bei Expeditionen und bei der Anleitung von Doktoranden und Studenten bei der Analytik.

4) Die Aufstockung der 1,5 Schreibkraftstellen des Institutes um 0,5 Stellen, vorzugsweise mit der Qualifikation einer Auslandskorrespondentin für englischen Briefwechsel und Manuscriptbearbeitung.

Für die Grundausstattung der Labore:

5) Ein portables Fourier Transform-Infrarot Spektrometer mit Probenpresse und Auswerteeinheit

Firma MIDAC Cooperation

ca 30 000 US \$

Das Gerät ermöglicht es, den Mineralbestand kleinster Probenmengen (bis 10 µg) im Gelände zu bestimmen. Dies ist für alle Arbeitsrichtungen des Institutes von Vorteil: Auf Expeditionen können Sedimente und Gesteine sofort untersucht werden und die weitere Probenahme gesteuert werden. Boden-, Deponieuntergrund- und Bohrproben können im Gelände bestimmt und Gutachtenaufträge sofort abgewickelt werden. Das Gerät entlastet das Röntgendiffraktometer der Mineralogie und benötigt zum Betrieb keine speziellen Räume oder Sicherheitsmaßnahmen, und es läßt sich überall einsetzen.

6) Ein CN-Element-Analysator für Festproben

Firma Leco, CN-1000 Makro	90.000 DM
Analysenwaage für CN-Analysator (Sartorius RC 210 D-OD1)	14.431 DM
Abrauchtrockenschrank zur Entkarbonatisierung (Korrosionsfester Schrank HERAEUS)	4.482 DM

Der Gehalt organischen Kohlenstoffs in festen Proben (Boden, Deponiematerial, Sedimente, Suspensionen und Gesteine) ist ein Grundparameter gerade für Umweltbeurteilungen und für die Arbeiten zum Kohlenstoffkreislauf. Das vorgeschlagene Gerät ermöglicht, im Gegensatz und anderen HCN Analysatoren, die Verarbeiten von ganzen Glasfaserfiltern und kann auch zur Differenzierung von anorganischem und organischem Kohlenstoff eingesetzt werden. Drittmittelgeber stufen dieses Gerät als Grundausstattung ein, da es nicht im Rahmen spezieller Projekte begründ- und auslastbar ist.

7) Ausbau des vorhandenen Methrom Dosimat E 655 zu einer Hochpräzisionsstritrationsanlage. Dazu gehören:

ein Kälte Umwälzthermostat z.B. Jul 10-St	6.050 DM
ein portabler Rechner ca.	2.000 DM
ein Präzisionsvoltmeter mit Schnittstelle ca.	3.000 DM
zwei selbstgebaute, geschlossene Titrationszellen mit Thermomantel ca.	2.000 DM

Die Bestimmung der Alkalinität und des CO₂ (gesamter gelöster anorganischer Kohlenstoff) ist aus einer Titrationskurve möglich und liefert die Grundparameter für die Beschreibung des Karbonatsystems in wässrigen Lösungen. Ich habe langjährige Erfahrung mit der Methode. Sie liefert Genauigkeiten von $\pm 2 \mu\text{mol}$ bei Gesamtwerten von 2000 $\mu\text{mol/l}$). Damit kann z.B. die Karbonatbildung in Riffen verfolgt werden oder die Kalkauflösung oder -fällung in Flüssen, in Höhlengewässern oder im Grundwasserstrom entlang von Fließstrecken bestimmt werden.

Mit diesen und den vorhandenen Geräten (AAS mit Graphitrohr, UV/Vis Spektralphotometer Ionenchromatograph) können wir die wichtigsten Fragen der Wasserchemie, der Karstgeologie, der Riffbildung (Mikrobialithe und klassische Riffe) und viele Umweltprobleme in Gewässern und im Boden bearbeiten. Mittelfristig möchte ich die Umrüstung der AAS mit einem Probenaufgeber und die Anschaffung einer Anlage für den Aufschluß von Festgesteinen empfehlen.

8) Grundausstattung meines Personalarbeitsraumes: Einfache weiße String-Regale über die Gesamtflächen beider Längswände zur Unterbringung von Zeitschriften, Büchern und Sonderdrucken (ca. 40-50 laufende Meter). Mindestens ein Stahlhängeordnerschrank für Vorlesungsmaterial. Drei bis vier einfache Tische mit heller Resopalplatte (normale Schreibtische sind für meine Beinlänge zu einengend), einen Sicherheitsbürostuhl und vier einfachere Stühle für Besprechungen, helle Beleuchtung, um für die Bildschirmarbeit und Zeichenarbeiten genügend Licht zu haben. Einen Arbeitsplatzcomputer (486DX, mind. 50Hz, 8MB, mit Graphikkarte (z.B. Elsa Winner 1Mb) und 17 Zoll Farbmonitor, externem CD-ROM Laufwerk, 500 MB HD; ca. 7500 DM) und einem Farblaser oder Farbjet (z.B. HP Paintjet XL300 mit Speichererweiterung ca. 5000 DM). Der Rechner dient außer für Schreibarbeiten zur Datenspeicherung (Literatur, Geländedaten), zur Bearbeitung von Graphiken, GIS-

Problemen, zur Herstellung von Karten und zur Modellierung geochemischer Prozesse bzw. der Ozeanentwicklung. Bei der Software kann vielleicht bei den Standardprogrammen auf Universitätslizenzen zurückgegriffen werden, ansonsten müßten ca. DM 5000 für die wichtigsten Programme (Hochschulversionen) veranschlagt werden (WINDOWS 250.-, FORTRAN 400.-, WORD 478.-, SIGMA Plot 800.-, SYSSTAT 1,500.-, Quattro Pro 359.-, Harvard Graphic for Windows 3.0 427.-, Gridzo 900.- etc.).

In der Lehre übernehme ich selbstverständlich die Hauptvorlesung Allgemeine Geologie und beteilige mich an den Unterseminaren und Seminaren. Über weitere Pflicht- und Wahlkurse haben wir gesprochen, z.B. könnten Luftbildgeologie, Biogeochemie oder Geochemie, Karstgeologie, Planetologie oder bestimmte Gebiete der Sedimentologie und Umweltgeologie von mir angeboten werden. Dies wird sich erst bei der genauen Planung der Studienpläne und der Verteilung der Kapazitäten im Einzelnen festlegen lassen.

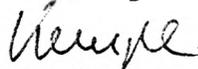
Bei Exkursionen und Geländeübungen kann ich sofort Kartierungen im Zechstein und in metamorphen Gesteinen anbieten bzw. ein Geländepraktikum zur Karstkunde durchführen.

Selbstverständlich bin ich auch zur Mitarbeit in den akademischen Gremien bereit.

Als letzten Punkt möchte ich etwas Persönliches ansprechen. Meine Frau ist Lehrerin für Grund- und Hauptschulen mit Schwerpunkt in der Hauptschule (Fächer Deutsch, Biologie und Geographie), sie ist außerdem ausgebildete Beratungslehrerin. Sie ist grundsätzlich bereit, mit mir nach Hessen zu wechseln. Ich möchte Sie daher bitten, beim Kultusministerium eine Zusage für einen Stellentausch, der der Position meiner Frau entspricht, mit Schleswig-Holstein zu erwirken. Es ist uns klar, daß dieser Wechsel unter Umständen nicht sofort erfolgen kann, und nehmen eine entsprechende Wartezeit in Kauf.

Ich freue mich auf unser Gespräch am 10.12.

Hochachtungsvoll


(Dr. Stephan Kempe)

Mikrobalithe in alkalischen Seen – lebende Zeugen des Urozeans?

In zwei Sodaseen wurde jetzt die Bildung von Kalkablagerungen durch Bakterien beobachtet, wie sie in der Frühzeit der Erde in großem Maßstab im Meer stattgefunden hat. Dies ist ein deutliches Indiz, daß der frühe Ozean gleichfalls Soda statt Kochsalz als Hauptbestandteil enthielt.

Von Stephan Kempe, Jozef Kazmierczak, Tosun Konuk, Günther Landmann, Andreas Lipp und Andreas Reimer

Um die Entwicklung des Lebens rekonstruieren zu können, ist es wichtig, die chemische Zusammensetzung des frühen Ozeans zu kennen. Vor fünf Jahren stellten wir ein geochemisches Modell vor, wonach der Ozean im Präkambrium (in der Zeit von der Entstehung der Erde bis vor etwa 500 Millionen Jahren) hoch-alkalisch war (siehe „Enthielt der urzeitliche Ozean Soda statt Kochsalz?“ von Stephan Kempe und Egon T. Degens, Monatsspektrum, Spektrum der Wissenschaft, November 1986). Dahinter steht die Beobachtung, daß Kohlensäure bei der Verwitterung sehr schnell mit frischen Silicat-Gesteinen reagiert. Beim teilweisen Verdunsten der entstehenden Lösungen fallen Calcium- und Magnesiumcarbonat aus, während die Carbonate der Alkalimetalle Natrium und Kalium (Soda beziehungsweise Pottasche) in Lösung bleiben. Es entsteht also eine sodahaltige, alkalische

Lauge. Daß eine solche Zusammensetzung des Urozeans, die in Einklang mit Thermodynamik und Kinetik der Verwitterung steht, nicht nur im Prinzip möglich, sondern auch plausibel ist, meinen wir jetzt durch Entdeckungen in heutigen alkalischen Seen belegen zu können.

Wir gingen von der Tatsache aus, daß die einzigen präkambrischen Großfossilien calcifizierte Algenmatten sind, sogenannte Mikrobalithe. Sind sie laminiert, werden sie als Stromatolithe, bei fehlendem Interngefüge als Thrombolithe bezeichnet. Die Paläontologen sind sich weitgehend einig, daß es sich dabei um verkalkte Kolonien von Cyanobakterien (früher auch Blaugrünalgen genannt) handelt. Cyanobakterien sind noch heute im Ozean weitverbreitet, bilden aber keine selbst verkalkenden Stromatolithe mehr. Die auf den Bahamas und in einigen warmen, flachen Meeresbuchten vorkommenden Stromatolithe verkleben

lediglich von der Strömung angeschwemmte Kalkpartikel. Falls unsere Soda-Ozean-Hypothese stimmt, sollten an Ort und Stelle verkalkende Mikrobalithe, wenn überhaupt, in einem alkalischen Milieu zu finden sein.

Wir haben daher Tauch-Expeditionen zu zwei alkalischen Seen unternommen: 1986 untersuchten wir den mit alkalischem Meerwasser gefüllten Kratersee der indonesischen Insel Satonda, 1989 und 1990 den größten Soda-See der Erde, den Van-See in Ost-Anatolien.

In beiden Fällen fanden wir, was wir vorausgesagt hatten: riesige Mikrobalithe, die alle bisher bekannten Exemplare übertrafen. In Satonda sind sie mindestens 23 Meter hoch, im Van-See wurden mit dem Echolot mehr als 40 Meter hohe Türme entdeckt.

Die Tauchgänge sind wie eine Zeitreise ins Präkambrium, bei der man an den Kalksäulen hinab in die stille Urzeit des Ozeans schwebt. Die Oberflächen der in Pusteln und Knospen aufgelösten Türme, Arme und Kandelaber sind dunkelgrün vom Pigment der Cyanobakterien, aber scheinbar tot. Erst das Elektronenmikroskop zeigt, daß sie von Kolonien aus kugelförmigen Cyanobakterien gebildet werden. Die lebende Schicht ist nur wenige zehntel Millimeter dick und verkalkt sofort. Am Van-See wird Aragonit ausgefällt, auf Satonda Calcit mit hohem Magnesium-Gehalt (in Hohlräumen sekundär auch Aragonit).

Dabei sind beide Seen denkbar unterschiedlich. Satonda liegt in den Tropen; das Wasser ist 30 Grad Celsius warm und hat 90 Prozent der Salinität von Meerwasser. Dabei ist der kleine See nur durch eine dünne Barriere vom Meer mit all seinen tropischen Riff-Organismen getrennt. Bis auf eine Schneckenart können sie ihn aber wegen seiner gegenüber Meerwasser erhöhten Alkalinität (3,4 gegenüber 2,0 Millival pro Kilogramm; unter Alkalinität versteht man die Konzentration an Anionen schwacher Säuren, in der Hauptsache Carbonat und Hydrogencarbonat) und seines höheren pH-Wertes (8,43 gegenüber 8,2 bis 8,3) nicht besiedeln.

Der Van-See dagegen liegt in 1650 Meter Höhe und ist mit 3570 Quadratkilometern Fläche und 450 Metern Tiefe einer der größten Seen der Erde. Seine Temperatur unter der sommerlich erwärmten Oberfläche beträgt nur 3 Grad Celsius und die Salinität lediglich 62 Prozent derjenigen von Meerwasser; der pH-Wert liegt bei 9,8 und die Alkalinität sogar bei rund 150 Millival pro Kilogramm.



Bild 1: In der Trockenzeit freiliegende Köpfe von Stromatolithen im Satonda-See.

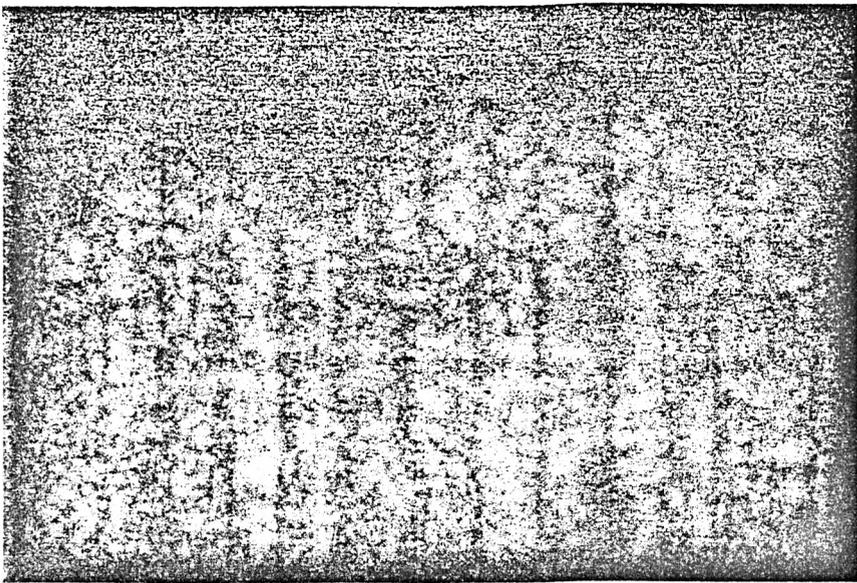


Bild 2: Elchgeweihförmiger Thrombolith in 15 Metern Wassertiefe im Van-See, dem

größten Soda-See der Erde. Dieser Bildausschnitt ist ungefähr 1,50 Meter breit.

Entscheidend für die Ausscheidung von Kalk (CaCO_3) ist aber weder Temperatur noch pH-Wert oder Alkalinität alleine, sondern die Höhe der Sättigung in bezug auf das zu fällende Mineral. Man definiert den Sättigungsindex als den Logarithmus des Produkts aus den Konzentrationen der an der Fällung beteiligten Ionen (bei Calcit und Aragonit Ca^{2+} und CO_3^{2-}) im Verhältnis zur theoretischen Löslichkeit bei der jeweiligen Temperatur. Sind also mehr Ionen vorhanden als theoretisch möglich, dann ist das Konzentrationsverhältnis größer als eins und der Sättigungsindex positiv. Man spricht dann von Übersättigung. Bei Untersättigung ist der Index negativ.

Im letzteren Fall kann Kalk nur enzymatisch ausgefällt werden, zum Beispiel zur Bildung von Eischalen und Knochen. Ist das Wasser aber übersättigt, wird bei Kohlendioxid-Entzug – etwa durch die Photosynthese der Cyanobakterien-Matten – unter Umständen die Schwelle zur Ausfällung überschritten.

Anders als zum Beispiel Gips, der bei Erreichen der Sättigung (Index = 0) sofort kristallisiert, kann Calciumcarbonat hoch übersättigte Lösungen bilden, bevor es spontan ausfällt. Sowohl im Van-See als auch im Kratersee von Satonda hat der Sättigungsindex einen Wert von +0,8. An der Oberfläche des heutigen Ozeans liegt er dagegen nur zwischen +0,4 und +0,6; in der Tiefe ist der Ozean sogar untersättigt (was enzymatische Kalkbildung freilich nicht behindert).

Der gemeinsame Faktor, der die Bildung von Mikrobialithen steuert, könnte

also eine hohe Calcit- und Aragonit-Übersättigung sein. Dies müßte auch für das präkambrische Meer gelten. Wie bei den heutigen Sodaseen sollte diese Übersättigung – in Einklang mit der Soda-Ozean-Hypothese – in erster Linie auf hohen Carbonat-Gehalten beruhen.

Nun unterscheiden sich die Mikrobialithe im Van-See und im Satonda-Kratersee von denen des Präkambriums durch ihr gewaltiges Höhenwachstum. Wir meinen auch diesen scheinbaren Widerspruch erklären zu können. Auf Satonda wachsen die Matten an den steilen Flanken des Vulkankraters; senkrecht zu ihrer Oberfläche sind sie nur wenige Dezimeter dick. Im Van-See sind die Krusten sogar noch dünner; hier lassen vom Seegrund aufsteigende calciumreiche Grundwässer die Aragonit-Türme in gewaltige Höhen wachsen. An ihren Austrittsstellen entstehen derart große Übersättigungen, daß ohne Mithilfe von Cyanobakterien schneeweißer Calcit

ausfallen kann; dieser bildet dann die von den Bakterien besiedelbaren Hartgründe. Das Innere der Säulen ist porös und das von uns dort gezapfte Wasser deutlich frischer als das Seewasser: aus einigen Säulen kann man sogar Grundwasser austreten sehen.

Nach Datierungen mit der Radiocarbon- und der Uran-Thorium-Methode durch Mebus Geyh und Gerd Hennig vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung in Hannover und Wilhelm Mook von der Universität Groningen wachsen die Türme im Van-See mindestens seit 4400 Jahren aktiv, und die Mikrobialithe von Satonda haben vor 4000 Jahren zu wachsen angefangen. Dies zeigt, daß die gängigen Theorien, wonach Temperaturschwankungen oder das Abweiden der Matten durch höherentwickelte Tiere für das Verschwinden der Stromatolithe aus den Weltmeeren verantwortlich seien, schwerlich zutreffen können. Sowohl auf Satonda als auch im Van-See leben höhere Tiere auf den Matten, und der Temperaturunterschied zwischen den beiden Seen beträgt, wie erwähnt, fast 30 Grad.

Damit bleibt als einzige plausible Erklärung eine sinkende CaCO_3 -Übersättigung, verursacht durch allmählich abnehmenden Carbonat-Gehalt der Meere. Ein saurer Urozean in Verbindung mit einer Uratmosphäre mit einem hohen Kohlendioxid-Druck erscheint damit als immer unwahrscheinlicher.

Dr. Kempe ist Geowissenschaftler am Institut für Biogeochemie und Meereschemie der Universität Hamburg, an dem Landmann, Lipp und Reimer promovieren; Prof. Dr. Kazmierczak arbeitet am Institut für Paläobiologie der polnischen Akademie der Wissenschaften, Dr. Konuk am Institut für Meereskunde und Meerestechnik der Universität Izmir.

JET-Experimente erfolgreich

Eine nur ein bis zwei Sekunden dauernde Experimentierphase sorgte für Schlagzeilen: Bei dem europäischen Forschungsprojekt JET (*Joint European Torus*) in Culham (Großbritannien) sei – so hieß es – erstmals Energie aus kontrollierter Kernfusion freigesetzt worden.

Dies ist zweifellos Sensationshascherei – hat man doch bereits mehrfach und

in verschiedenen Laboratorien erfolgreich Kerne des Deuteriums, des schweren Wasserstoffs, miteinander verschmolzen. Gleichwohl stellen die am 9. November bei JET durchgeführten Testläufe ein Novum dar: Erstmals wurde bei einem Fusionsexperiment im Labor außer Deuterium auch überschwerer Wasserstoff, das radioaktive Tritium, einge-

Enthielt der urzeitliche Ozean Soda statt Kochsalz?

Von Stephan Kempe und Egon T. Degens

Die Erde entstand vor 4,6 Milliarden Jahren, und die ältesten erhaltenen Gesteine – sie wurden vor 3,8 Milliarden Jahren gebildet – enthalten bereits Spuren von Lebensvorgängen. Aber erst an der Grenze des Präkambriums zum Kambrium – vor 570 Millionen Jahren – findet man Lebewesen mit Hartteilen.

Praktisch gleichzeitig erfanden damals zahlreiche Organismengruppen die „Biomineralisation“: die Fähigkeit, Mineralien im Körpergewebe auszufällen und daraus Exo- oder Endoskelette zu bilden.

Warum diese Erfindung so lange auf sich hat warten lassen und dann so plötzlich von vielen Gruppen gleichzeitig gemacht wurde, ist eine der großen ungelösten Fragen der Evolution. Es liegt allerdings nahe, die Chemie des Ozeans für diese Entwicklung verantwortlich zu machen.

Die meisten Wissenschaftler gehen heute von einem neutralen bis sauren Urozean aus. Der Hauptgrund dafür ist die Annahme, daß die frühe Erdatmosphäre einen sehr viel höheren Kohlendioxid-Anteil hatte als die heutige. Ein hoher CO_2 -Gehalt sei nötig gewesen, sagen die Astrophysiker, denn ohne dessen Treibhauseffekt hätte die Erde bei der schwachen Strahlung der jungen Sonne einem frühen Gefriertod nicht entgegen können.

Diesem Szenario möchten wir eine Alternativhypothese gegenüberstellen: die eines alkalischen Urozeans. Demnach waren im Meer ursprünglich große Mengen an Natriumcarbonaten (Soda) und Kaliumcarbonaten, aber nur äußerst wenig zweiwertige Elemente wie Calcium, Magnesium, Eisen und Strontium gelöst. Der pH-Wert war entsprechend hoch – höher als 9,5, viel-

leicht sogar höher als 10,5. Diese Hypothese gründet sich auf Vergleiche mit heutigen Sodaseen sowie auf thermodynamische und kinetische Daten. Außerdem lassen sich mit ihr die frühen Lebensprozesse und möglicherweise auch das Vorkommen bestimmter präkambrischer Gesteine besser erklären als mit der bisherigen Lehrmeinung.

Sodaseen finden sich heute in den meisten Gebieten mit vulkanischen Gesteinen, so in den Rocky Mountains, den Anden, in Afghanistan, im Ost-Afrikanischen Graben, in Äthiopien, in Anatolien und auf Neuseeland. Sie entstehen immer dort, wo frische Silicate mit hydrothermale CO_2 reagieren können.

Sobald die Ausgangslösung mehr Carbonat- (CO_3^{2-}) und Bicarbonat-Ionen (HCO_3^-) als Erdalkali-Ionen (Ca^{2+} , Mg^{2+}) enthält (also ein Teil der Ladung der Carbonat-Ionen durch Alkali-Ionen wie Na^+ und K^+ ausgeglichen wird) und diese Lösungen in einem abflußlosen Seebecken wiederholt eingedampft werden, erhöht sich der Gehalt an Carbonat-Ionen, bis die Löslichkeit der Calcium- und Magnesiumcarbonate überschritten wird. Diese fallen dann aus, und der durch die Alkalien ausgeglichene Carbonatanteil reichert sich weiter an (zusammen mit Alkalichloriden und -sulfaten): Ein Sodasee entsteht.

Aus der chemischen Zusammensetzung von Flüssen wissen wir, daß durch die Silicatverwitterung aller Kontinente heute 100 Millionen Tonnen ($0,1 \times 10^{15}$ Gramm) Kohlenstoff pro Jahr gebunden werden. Das genügt, um den gesamten CO_2 -Gehalt der heutigen Atmosphäre (700×10^{15} Gramm Kohlenstoff) innerhalb von nur 7000 Jahren aufzubrauchen (dafür, daß dies nicht geschieht,

sorgt der CO_2 -Nachschub aus dem sehr viel größeren biogenen Kohlenstoffkreislauf). Aus der Geschichte der Sodaseen läßt sich zudem ablesen, daß der Sodachemismus in geologisch sehr kurzen Zeiträumen entstehen kann. Folglich kann eine Atmosphäre mit sehr hohem CO_2 -Druck in Gegenwart von Wasser und unverwitterten Silicaten nicht über geologische Zeiträume, schon gar nicht über mehrere Milliarden Jahre, stabil sein. Vor Etablierung eines biologischen Kohlenstoff-Kreislaufs war der CO_2 -Druck durch das Gleichgewicht zwischen der Abgabe von vulkanischem CO_2 an die Luft und der Silicatverwitterung auf den Kontinenten bestimmt.

Heute geht man davon aus, daß die Akkretion (Zusammenballung) der Erde nicht gleichförmig ablief, sondern daß die flüchtigen Bestandteile wie Wasser, Kohlendioxid und Methan erst nach der Bildung von Kern und Mantel durch Kometen angeliefert wurden. Demnach sollten bereits beim explosiven Einschlag der Kometen Wasser, frisches Silicat und CO_2 zu gelösten Carbonaten reagiert haben.

Für einen frühen Soda-Ozean spricht auch die Tatsache, daß im Laufe der

Erdgeschichte insgesamt etwa 3,7mal soviel H_2CO_3 wie Salzsäure (HCl) zur Verfügung gestanden hat. Somit muß es immer genügend Kohlensäure gegeben haben, um einen reinen Kochsalz-, also NaCl-Ozean zu verhindern.

Der Soda-Ozean konnte sich erst rückbilden, als sich vor mehr als zwei Milliarden Jahren die heutige Art der tiefen Plattensubduktion und die ersten granodioritischen Kontinente zu bilden begannen. Mit den Sedimenten subduziertes Porenwasser entzog dem Ozean über mehrere Milliarden Jahre die Natriumcarbonate. Das Natrium steckt heute in den Albiten (Natronfeldspäten) der kontinentalen Granodiorite, und die Carbonate liegen in Kalken und Dolomit-Gesteinen vor. Außerdem konnten die Kontinente nun auch erstmals organischen Kohlenstoff, der bei der Photosynthese aus Carbonat-Ionen entsteht, für längere Zeit dem geologischen Kreislauf entziehen.

Auch geologische Indikatoren für einen frühen alkalischen Ozean gibt es. So finden sich in präkambrischen Gesteinen nicht nur mächtige Kalklager, sondern auch primäre Dolomite, die sich aus heutigem Meerwasser nicht bilden können, wohl aber in alkalischen

Seen vorkommen. Diese Kalke und Dolomite konnten überall dort ausfallen, wo sich Flußwässer oder hydrothermale Wässer mit Meerwasser mischten.

Außerdem gibt es Modellvorstellungen, die für die weit verbreiteten gebänderten Eisentone des Präkambriums alkalische Ausgangsbedingungen fordern. Auch das Fehlen von massiven marinen Gipslagern bis vor etwa 800 Millionen Jahren vor der Gegenwart spricht für einen alkalischen Ozean, in dem es nicht genügend gelöstes Calcium gegeben hat.

Gegen den Soda-Ozean ließe sich ins Feld führen, daß andererseits auch keine Natriumcarbonat-Lagerstätten existieren. Allerdings sind diese Salze extrem löslich; und auch Natriumchlorid ist aus alten Gesteinen nur in Form von Kristallabdrücken bekannt, kaum aber selbst erhalten.

Vor allem für die Entwicklung des Lebens bietet ein alkalisches Milieu Vorteile: Wegen des niedrigen Gehaltes an zweiwertigen Ionen konnte die Phosphatkonzentration sehr hoch sein (in heutigen Sodaseen beträgt sie etliche Milligramm pro Liter), so daß ideale Voraussetzungen für die Bildung von Phospholipidmembranen bestanden;

ferner reichern sich anorganisch gebildete (womöglich aus Kometen stammende) organische Kohlenstoffverbindungen an und werden nicht ausgeflockt. Der hohe Carbonatgehalt schließlich lieferte den Urzellen genügend anorganischen Kohlenstoff, so daß sie keine speziellen Apparate zur Nahrungsaufnahme und keine Bewegungsorganellen brauchten.

In Sodaseen liegt der Calciumgehalt unter 10^{-4} Mol pro Liter. Im Soda-Ozean dürfte er noch geringer gewesen sein, da Calcium von organischen Verbindungen komplexiert wird. Der Gehalt an freien Calcium-Ionen in Zellflüssigkeiten beträgt heute 10^{-7} Mol pro Liter; höhere Konzentrationen sind schädlich. Auch dies ist ein deutlicher Hinweis auf ein calcium-armes Entstehungsmilieu für das Leben. Ein neutraler oder saurer Ozean hätte Calcium in Konzentrationen von 10^{-2} oder 10^{-1} Mol pro Liter enthalten. Die frühen Zellwände hätten daher von Anfang an über Calciumpumpen verfügen müssen, wie sie es heute tun.

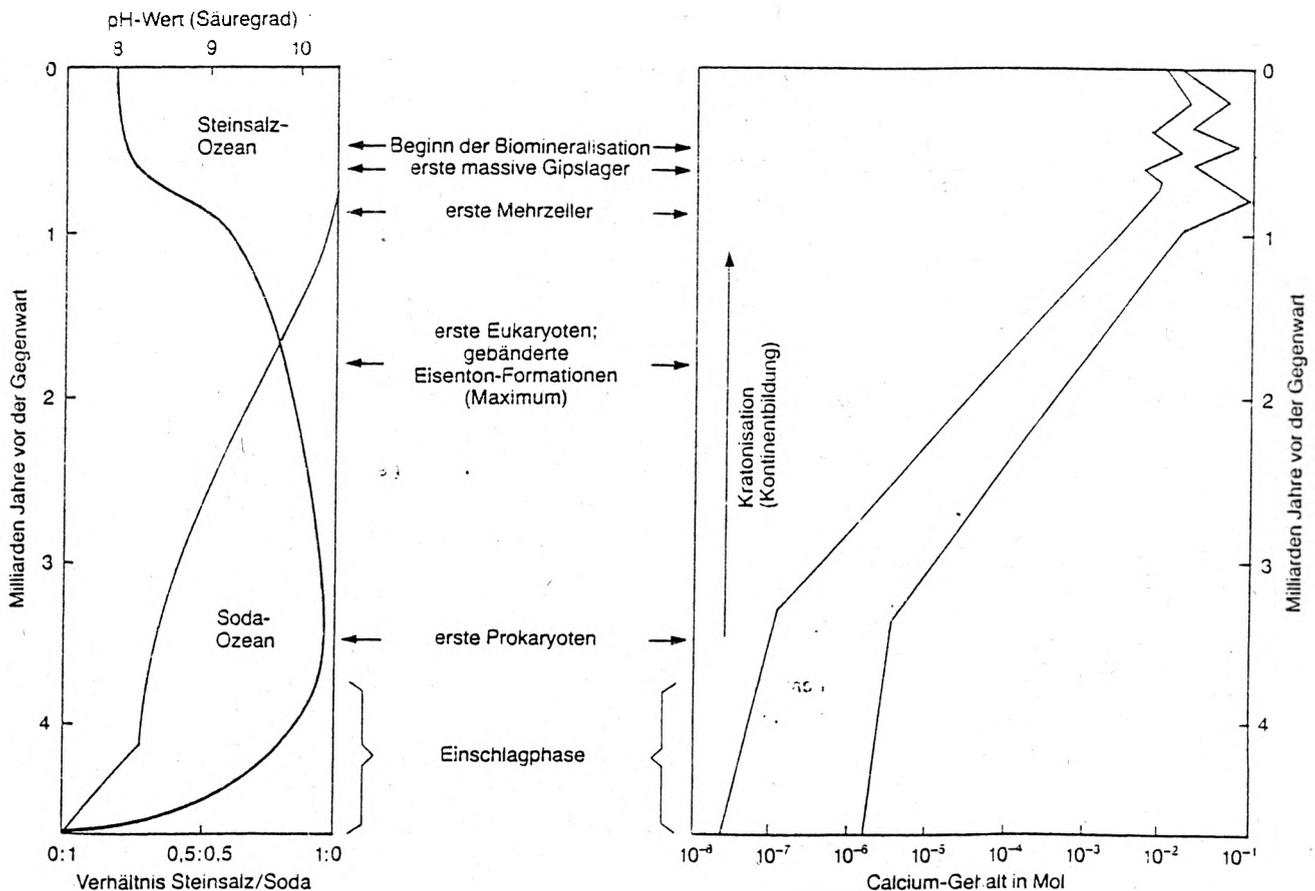
Während die Carbonat-Konzentration im Ozeanwasser allmählich zurückging, änderten sich zunächst weder pH-Wert noch Calcium-Konzentration wesentlich. Erst als der Carbonat-Gehalt nur noch rund doppelt so hoch war wie der heutige (2,4 Millival pro Liter), sank der pH-Wert dramatisch, und die

Calcium-Konzentration konnte ansteigen: Der Ozean ging durch den Titrationswendepunkt des $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ -Gleichgewichts.

Möglicherweise war dieser Punkt kurz vor dem Kambrium erreicht, und der rapide steigende Calcium-Gehalt zwang die Zellen zu Abwehrmechanismen. Sie mußten das Calcium entweder mit organischen Substanzen (zum Beispiel Asparaginsäure) komplexieren und ausscheiden oder es als Mineral (Calcit, Hydroxylapatit) ausfällen.

Einige Organismen-Gruppen machten aus der Not eine Tugend und verwendeten das ausgefallene Calcium zum Aufbau sinnvoller Apparate (Skelett, Schalen). Sie stellen heute den Löwenanteil der kambrischen Fossilien.

Dr. Kempe und Prof. Dr. Degens arbeiten am Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Hamburg; sie gehören der International Carbon Unit des SCOPE/UNEP (Scientific Committee on Problems of the Environment, United Nations Environment Programme) an.



Parallel zum Übergang von einem Soda- zum Kochsalz-Ozean (links) nahm der Calcium-Gehalt der Meere zu (rechts).

Darmstadt, den 10. Januar 1994
PB 1

Vorlage: VP
~~K~~
IA
IB
IC
ID
IE
III
IV
V

Betr.: Besetzung der Professur für Allgemeine Geologie

Im Rahmen des Besetzungsverfahrens der o.a. Professur hat

Herr / ~~Frau~~ Dr. Stephan Kempe

den Ruf am 5. 1. 1994 angenommen - ~~abgelehnt~~

Im Auftrag:

T. Cas