

Eine katastrophische Hypothese: Die „Schneeball-Vereisung“ der Erde

Zusammenfassung: Die Hypothese der „Schneeball-Vereisung“ umfaßt in Grundzügen das folgende Szenario: Nach dem Zerfall des spätpräkambrischen Superkontinents Rodinia verteilten sich die Einzelkontinente sehr rasch in Äquatornähe; trockene Binnenlandregionen wurden so zu feuchten Küstenarealen. Infolge der verstärkten tropischen Niederschläge wurde wärmespeicherndes Kohlendioxid aus der Atmosphäre ausgewaschen; das führte zu schneller Verwitterung des Gesteins und einer weltweiten Abkühlung. Das sich in Polnähe bildende Meereis führte durch Reflektion der Sonnenstrahlung zu weiterem Absinken der Temperaturen. Diese sich zunehmend verstärkende Rückkoppelung bewirkt das komplette Zufrieren der gesamten Erde in nur 1000 Jahren („Schneeball-Erde“).

Für die Dauer der „Schneeball“-Vereisung werden mehrere Millionen Jahre angenommen; in dieser Zeit soll die Ausgasung von Vulkanen zu einer enormen Kohlendioxidanreicherung in der Atmosphäre geführt haben. Daraus resultierte eine immer stärkere Erwärmung auf über 40 °C, zumal infolge des schmelzenden Meereises die Sonnenstrahlung nicht mehr reflektiert wurde. Das führte innerhalb von wenigen Jahrhunderten zu einem extremen Treibhausklima, verstärkend wirkte die zunehmende Verdunstung von Meerwasser. Das Kohlendioxid wurde dann durch wolkenbruchartige Regenfälle (gewaltige Hurrikane) aus der Atmosphäre ausgewaschen; die daraus entstandene Kohlensäure führte zu einer äußerst raschen Verwitterung des Gletscherschutts. Das Gemisch aus saurem Regen und z.T. kalkigem Gesteinstaub wurde nun ins Meer gespült; im dortigen sauren Milieu führte die massive Ausfällung des Karbonats zu einer sehr raschen Ablagerung von zum Teil Hunderte Meter mächtigen Kalkabfolgen.

Die Vermutung, daß der enorme Selektionsdruck dieser Umweltverhältnisse und/oder die Zunahme des Sauerstoffs während der „Schneeball“-Vereisung noch vor dem Kambrium zu einer ersten Entfaltung komplexeren Lebens geführt haben könnte, ist vage, spekulativ und unprüfbar.

Bedeutsam ist, daß manche Forscher durch Geländebefunde zur Annahme (sehr) rascher und katastrophischer Abläufe geführt worden sind. Weiter ist der teils kritische Umgang zumindest mit einem *enggeführten* Aktualitätsprinzip im Rahmen wissenschaftstheoretischer Überlegungen bemerkenswert.

Einführung: Kontroversen um die „Schneeball-Erde“.

In diesem Beitrag werden die Grundzüge der sogenannten „Schneeball-Erde“-Hypothese (Snowball Earth) vorgestellt. Die Forschung ist noch in vol-

lem Gang. Dieser Überblick konzentriert sich auf die zum Teil katastrophischen, (extrem) schnellen Prozesse, die im Rahmen der Hypothese der „Schneeball-Erde“ (zumindest von bestimmten Forschern) postuliert werden. Grundlage dieser Darstellung ist vor allem das allgemeinverständliche Buch von WALKER (2003) sowie die Artikel von HOFFMAN & SCHRAG (2000; 2002). (Für eine detaillierte Diskussion der Hypothese aus Sicht der Hauptvertreter vgl. z.B. den Fachbeitrag von HOFFMAN & SCHRAG 2002.)

Im späten Präkambrium (Neo-Proterozoikum) werden „mindestens zwei und möglicherweise sogar fünf aufeinanderfolgende“ Vereisungen im Rahmen der „Schneeball“-Erde vorausgesetzt, und zwar – wie angenommen wird – etwa zwischen 750 und 590 Millionen Jahren vor heute (WALKER 2003, 244), nicht lange vor dem Kambrium (Abb. 1). Geologische Hinweise, die als Vereisungsspuren gedeutet werden (ursprünglich Varanger-Vereisung genannt), sind schon seit vielen Jahrzehnten aus dem späten Präkambrium praktisch aller Kontinente bekannt – ein schwer zu deutender Befund (z.B. SCHWARZBACH 1974, 133-145). Die Hypothese wurde in den letzten 10 Jahren besonders durch P.F. HOFFMAN vorangetrieben; sie ist inzwischen unter dem von J. KIRSCHVINK geprägten Begriff „Snowball Earth“ (WALKER 2003, 125) in der geologischen Literatur verbreitet (z.B. ELICKI 2003, 382; LINNEMANN et al. 2003, 32; SEILACHER 2003, 70f.).

Die Hypothese der „Schneeball-Erde“ rechnet mit globalen katastrophischen Ereignissen, deshalb rief sie erheblichen Widerstand hervor. Denn

Kambrium	Oberkambrium	
	Unterkambrium	„kambrische Explosion“
Präkambrium	Neoproterozoikum	„Schneeball-Erde“ (vor ~750-590 Ma)

Abb. 1: Kleiner Ausschnitt der geologischen Zeittafel mit „Schneeball-Erde“ und „kambrischer Explosion“. Die Grenze Präkambrium/Kambrium wird derzeit radiometrisch auf ca. 545 Millionen Jahre (Ma) vor heute datiert (FRITZSCHE 2001, 22-24; LINNEMANN 2003, 72).



Abb. 2: Neben der Person dunkle, zum Teil feingeschichtete Sedimente mit regellos eingelagerten Grobkomponenten (Neoproterozoikum). Sie werden als Sinksteine (Dropstones) gedeutet, die aus driftenden Eisbergen der „Schneeball“-Vereisung auf den Meeresboden gesunken sind. Darüber rasch abgelagerte, helle Karbonatsedimente aus der unmittelbar folgenden, plötzlich einsetzenden Wärmeperiode (vgl. Abb 3 und 4). Ghaub Formation, Northwest-Namibia (© Paul HOFFMAN; aus HOFFMANN & SCHRAG 2002; © Blackwell Publishing, Oxford).

sie verstößt „gegen den ‚Uniformismus‘ ..., eine geologische Grundmaxime“. Die Welt der jung-präkambriischen Vereisung „war eine andere Welt, die nicht den normalen Regeln gehorchte“ (WALKER 2003, 166, 170). Einschränkend könnte man sagen: Die „Schneeball“-Hypothese kommt *zumindest* mit einer enger gezogenen Version des Aktualismus-Prinzips in Konflikt, die im englischsprachigen Raum „Uniformitarismus“ genannt wird (vgl. ENGELHARDT & ZIMMERMANN 1982, 350ff.). Der Widerstand gegen die Hypothese forderte ihren kämpferischen Haupt-Protagonisten P. HOFFMAN heraus. „Er ging sogar so weit, die wissenschaftliche Welt „in Schneeball-‚Gläubige‘ und -‚Ungläubige‘“ einzuteilen, berichtet WALKER (2003, 162). Die Autorin beschreibt diese Kontroversen in dem Kapitel „Schneeballschlachten“ (WALKER 2003, 207-251).

„Schneeball“-Sedimente – weltweit. Welche geologischen Befunde liegen der „Schneeball“-Hypothese zugrunde? Das Thema ist komplex; hier können nur einige besonders eindrucksvolle Daten genannt werden. Zunächst beobachtete man im Neo-Proterozoikum feingeschichtete Sedimente, in die regellos kleinere und größere eckige (ungerundete) Gesteinsblöcke eingelagert sind. Diese weltweit verbreiteten Schichtfolgen mit eingelagerten Grobkomponenten sind mancherorts nur als relativ geringmächtige Sedimentlagen ausgebildet, z.B. auf der arktischen Inselgruppe Spitzbergen (Svalbard). In vielen Teilen der Welt, z.B. in Namibia (Südwestafrika), betragen sie Hunderte Meter, und für das Death Valley (Kalifornien) werden sogar über 3000 m Mächtigkeit angegeben (zu China vgl. z.B. STEINER 2001, 11f.). Während also spätere Eiszeiten der Erdvergangenheit im wesentlichen nur gemäßigte Breiten betrafen, war nach dieser Hypothese die Erde im Jung-Präkambrium (Neoproterozoikum) praktisch komplett – einschließlich der Tropen! – mit einem mächtigen Eispanzer bedeckt. In Deutschland werden die aus dem Neoproterozoikum von Sachsen beschriebenen möglichen (!) Glazialsedimente nicht der

„Schneeball“-Vereisung zugeordnet, sondern jünger als 570 Millionen Jahre datiert (LINNEMANN 2003, 72/75; vgl. LINNEMANN et al. 2003, 31f.). Typisch ist nun, daß unter den eingeschlossenen Blöcken die Feinschichtung des Sediments nach unten deformiert ist. Die eingeschlossenen Gesteinsblöcke zeigen teilweise Schleifspuren, die parallel verlaufen. Nach diesen Befunden könnte es sich um sog. Sinksteine (Dropstones) handeln, die zunächst im Gletschereis auf dem Felsgrund des Festlands transportiert und (ab)geschliffen wurden, bevor sie mit Eisbergen aufs Meer gelangten und dort aus dem abschmelzenden Eis hinunter in den Meeresbodenschlamm gesunken sind.

Verwirrend ist nun, daß diese Sinkstein-Sedimente fast überall *abrupt* von mächtigem Kalkgestein bedeckt sind (Abb. 2). Der Umschwung von Kälte zu Wärme müßte sich weltweit sehr rasch vollzogen haben; vergleichbare Kalke werden heute nämlich nur in warmen Meeren gebildet (HOFFMAN & SCHRAG 2000, 60). Um das nachvollziehen zu können, ist ein Blick auf die Hypothesen über den Ablauf der Erdvereisung nötig.

Voraussetzungen der „Schneeball“-Vereisung. Zuerst sollen sich in kurzer Zeit die Meere von den polnahen Gebieten her mit Eis bedeckt haben. Das hängt – so eine Hypothese (s.u.!) – mit dem Auseinanderbrechen des damaligen Superkontinents Rodinia und der Verteilung der Einzelkontinente in Äquaturnähe zusammen: „Trockene Binnenlandregionen werden dabei zu feuchten Küstenarealen. Verstärkte Niederschläge waschen mehr wärmespeicherndes Kohlendioxid aus der Atmosphäre aus und lassen die kontinentalen Gesteine schneller verwittern. Infolgedessen sinken die Temperaturen weltweit, und dicke Eisschichten überziehen die polarnahen Ozeane. Das weiße Eis reflektiert mehr Sonnenstrahlung als das dunklere Meerwasser, so daß die Temperatur weiter sinkt. Diese

Aus dem langsamen Vordringen
des Eises wurde zuletzt ein Spurt,
so daß die tropischen Meere
innerhalb von nur Jahrzehnten mit
einem Eispanzer überzogen waren.

Rückkoppelung löst eine unaufhaltsame Abkühlung aus, durch die innerhalb von 1000 Jahren der ganze Planet zufriert.“ Mit diesen Sätzen fassen HOFFMAN & SCHRAG (2000, 62) ihr hypothetisches Szenario zusammen. Denn zuletzt, als das Meereis die Tropen erreichte, „wurde aus dem langsamen Kriechen ein Spurt, und er war unaufhaltsam. Innerhalb von nur Jahrzehnten überzog Eis die tro-

pischen Meere und drang gegen den Äquator vor“ (WALKER 2003, 32; vgl. 293f.).

Nach der ursprünglichen Form von HOFFMANS Hypothese sollten die mächtigen Sedimente mit den Eisberg-Sinksteinen nur am Beginn und am Ende der Vereisung, und zwar innerhalb kurzer Zeit, entstanden sein. Doch dieser Hypothese wurde heftig widersprochen, da solche Sedimente über 3000 m mächtig sein können (s.o.). „Wie kann das alles innerhalb von rund tausend Jahren abgelagert worden sein?“, fragte ein Kritiker. „Solche Sedimentationsraten sind schlechterdings unmöglich!“ (zit. nach WALKER 2003, 211).

HOFFMAN hatte diese kurze Zeit zugrunde gelegt, weil die Klima-Umschwünge sehr rasch abliefen, und weil nur während dieser Zeit Eisberge auf den Meeren driften und ihre mitgeführte Gesteinsfracht (Sinksteine) auf den Meeresboden fallen lassen konnten. Zur Zeit des „Schneeballs“ seien die Ozeane praktisch komplett mit einer mächtigen Eisschicht bedeckt gewesen; es gab keine *driftenden* Eisberge. Für das vollständige Zufrieren der Ozeane werden u.a. auch Eisenbänder-Tone in den Sinkstein-Sedimenten geltend gemacht. Da der Sauerstoffgehalt unter der Eisdecke im Meer drastisch abgesunken sei, lag das Eisen zunächst in zweiwertigem Zustand vor; erst nach dem Ende des „Schneeballs“ sei es durch Sauerstoff in den stabilen dreiwertigen Zustand überführt worden (vgl. HOFFMAN & SCHRAG 2000, 63).

Allerdings setzen Eisberge mit Sinksteinen eine Vergletscherung von Kontinenten voraus. Und da erhebt sich die Frage: Woher kommt das verdampfende Wasser für die Schneefälle, die für den Aufbau der Kontinentalgletscher nötig sind, wenn die Weltmeere komplett mit einem Eispanser versiegelt sind? HOFFMAN nahm deshalb (zeitweise) Zuflucht zu der Ansicht, während der „Schneeball-Periode“ sei ständig Meereis von Stürmen abgetragen und als Eisstaub aufs Festland geweht worden; auf diese Weise wären nach und nach mächtige Kontinentalgletscher aufgebaut worden (WALKER 2003, 212, 294). Für die Endphase der „Schneeball“-Zeit gehen HOFFMAN & SCHRAG (2000, 63) davon aus, daß sich bei fortschreitender Erwärmung die Feuchtigkeit zunächst noch in den Gebirgsregionen niedergeschlagen habe und zusätzlich die Gletscher anwachsen ließ. Jedoch nicht nur hier ist vieles unklar.

„Schneeball“, „Matschball“ und extremes Treibhausklima. Eine alternative Hypothese ist die sog. „Matschball“-Erde, eine „sanfte“ Version des „Schneeballs“. Sie geht auf Klimaforscher zurück, die versucht hatten, mit Computerprogrammen eine komplette Vereisung der Erde zu simulieren. Doch alle Versuche mißlangen – das Eis drang in den Modellierungen nur etwa bis zu den Tropen vor, nicht weiter. Die Meere um den Äquator blieben hartnäckig eisfrei (WALKER 2003, 235f.; vgl.

Klimaforschungszentrum Potsdam: <http://www.pik-potsdam.de/~claussen/lectures/palaeoklimatologie/palaeoklima5.pdf>; Stand: 26. 2. 04).

Diese abgewandelte Hypothese eröffnete wieder die Möglichkeit *driftender* Gletscher auf den Meeren und damit die Bildung von Sinkstein-Sedimenten während der gesamten Dauer der „Matschball-Erde“. Auch scheint diese Hypothese eher die schwerwiegende Frage von Biologen beantworten zu können: Wie konnte einzelliges Leben die extreme Eiswüste überstehen? Das sei kein Problem, antworten Verfechter der „Schneeball“-Hypothese; dazu seien nur kleine Öffnungen im Eis nötig, wie sie auch heute in vereisten Meeren vorkommen (WALKER 2003, 237-240). Oder es überlebte „vielleicht in der Nähe der heißen Quellen am Meeresboden“ (HOFFMAN & SCHRAG 2000, 66). Für einen drastischen Rückgang der biologischen Produktivität während des „Schneeballs“ wird ein verändertes Verhältnis der Kohlenstoff-Isotope geltend gemacht; aber auch das wird kontrovers diskutiert. Und komplexere Organismen habe es im späten Präkambrium noch nicht gegeben. Dies wiederum bestreiten andere Autoren aufgrund von (zum Teil allerdings unsicheren) Fossilfunden und Spuren (z.B. GEYER 1998, 10; SEILACHER 2000, 555f.; 2003, 74-80). Hinzu kommen die evolutionstheoretisch interpretierten „molekularen Uhren“ (vgl. dazu JUNKER 2001). Auch aus vielen von ihnen wird geschlossen, daß vielzellige Lebensformen erheblich weiter hinter die „Schneeball-Zeit“ ins Präkambrium zurück reichen (WALKER 2003, 222, 228, 265-273).

Für die langzeitliche Dauer der „Schneeball-Erde“ werden bis zu 7 Umkehrungen des Erdmagnetfeldes angeführt, die L. SOHL in den Sinkstein-Sedimenten Südaustraliens ermittelte. Sie sollen „eine Zeitspanne von mindestens einigen Hunderttausend, wahrscheinlich aber mehreren Millionen Jahren umfassen“ (WALKER 2003, 195; vgl. 237, 287: 10 Millionen Jahre). Immerhin gibt es aus anderen Messungen auch Hinweise auf wesentlich raschere Feldumkehrungen im Zeitraum von jeweils nur Monaten (!), so daß über die Messungen in Australien nicht das letzte Wort gesprochen sein muß (vgl. BECK 1997).

Während der „Schneeball“-Zeit sei durch weltweiten Vulkanismus zunehmend das Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) angereichert worden; infolge fehlender Niederschläge wurde es nicht aus der Atmosphäre ausgewaschen. Gemäß klimatischen Modellierungen legen HOFFMAN & SCHRAG (2000, 63f.) mehrere hundert- bis zu tausendmal soviel Kohlendioxid zugrunde wie heute (sie geben unterschiedliche Werte an). Dies führte nach und nach zu einem exzessiven Treibhausklima mit Temperaturen von 40 °C oder mehr und habe dem „Schneeball“ ein abruptes Ende bereitet (WALKER 2003, 171; vgl. 34, 52f.). Die hohen Temperaturen wurden durch ein zusätzliches Phänomen rasch

erreicht: „Das offene Wasser, das sich [zunächst] in den Tropen bildet, absorbiert viel mehr Sonnenenergie als das Eis und läßt die globalen Temperaturen sehr schnell weiter steigen. Innerhalb von wenigen Jahrhunderten wird die Erde auf diese Weise vom eisigen Schneeball zur glühend heißen Sauna“ (HOFFMAN & SCHRAG 2000, 63). Denn wie erwähnt, sind die Sinkstein-Sedimente entlang einer scharfen Grenze von Kalken überlagert (Abb. 2). Wie sich das extreme Szenario gemäß der Hypothese von D. SCHRAG, einem Harvard-Kollegen von HOFFMAN, abspielte, wird im folgenden Abschnitt beschrieben (die Ausdrucksweise stammt aus der popularisierenden Darstellung von WALKER 2003, 154-156, 171).

Abb. 3: Als eindrucksvoller Hinweis auf die schnelle Ablagerung nach der „Schneeball“-Zeit werden die zum Teil metermächtigen Karbonat-Abfolgen angeführt (Person am unteren Bildrand als Maßstab). Sie sind hier aus fächerförmigen Aragonitkristallen aufgebaut (deutlicher in Abb. 4 zu erkennen). Das wird so interpretiert: Aus dem mit Calciumkarbonat stark gesättigten Meerwasser kristallisierten die Aragonitfächer sehr rasch aus. Maieberg Formation, Huab River, Namibia (© Paul HOFFMAN; aus HOFFMAN & SCHRAG 2002; © Blackwell Publishing, Oxford).

Katastrophisches Szenario am Ende der „Schneeball“-Zeit. Die stark erwärmte Atmosphäre glich nun „einer wild gewordenen tropischen Wärmekraftmaschine“. Sie saugte große Mengen Feuchtigkeit aus den Meeren auf, und gewaltige Hurrikane „rasten über die Erde“. Da die Atmosphäre „voller Kohlendioxid“ war, verwandelten sich „alle Niederschläge umgehend in Säure“. Dieser sturz- bachartige saure Regen fiel auf die von den Gletschern zermahlenen, reaktionsfreudigen Gesteine und führte zu „einem Tempo der Gesteinsverwitterung, dem nichts auf der heutigen Erde entspricht.“ Das Gemisch aus saurem Regen und Gesteinsstaub wurde ins Meer gespült, das „sprudelte und schäumte“; es bildete sozusagen „einen Coca-Cola-Ozean“. Weltweit wurde das Meer „milchig von weißen Flocken“, denn es kam zu „einer massiven Ausfällung von Karbonat, die den ganzen Planeten umfaßte“. Aus den sich niederschlagenden Karbonatflocken entstanden in „wahn- sinnigem Tempo“ die Kalke direkt über den Sink- stein-Sedimenten; sie können – z.B. in Namibia – mehrere Hundert Meter mächtig sein (HOFFMAN & SCHRAG 2002, 142f.). Die Kalksedimente enthalten

zahlreiche senkrechte, röhrenartige Gänge, und zwar „über eine Höhe von Hundert und mehr Metern“. Wie wurden diese rätselhaften Gänge gebildet? Sie „konnten entstanden sein, als Gas- blasen in den sich rasch bildenden Karbonaten emporgeschossen waren“. Die Kalksteinabfolgen enthalten auch mannshohe Fächer aus Aragonit- Kristallen, die rasch gebildeten Kristallen im Yel- lowstone-Park ähneln und sich gleichfalls „direkt auf den wild schäumenden Zustand des Meeres zurückführen“ lassen (WALKER 2003, 143f., 155). Sie können „nur aus mit Calciumkarbonat hoch gesät- tigten Meerwasser entstanden sein“ (Abb. 3). Ins- gesamt deuteten die Befunde in den mächtigen Karbonaten „darauf hin, daß deren Sedimentation vielleicht nur wenige tausend Jahre beanspruchte“ (HOFFMAN & SCHRAG 2000, 64).

Die Ablagerung mehrere hundert Meter mächtiger Kalksedimente beanspruchte vielleicht nur wenige tausend Jahre.

Es erstaunt nicht, daß diese Katastrophentheo- rie Einwände hervorruft, weil „der Schneeball ... ganz und gar nicht-uniformistisch“ ist. So M. KENNEDY, der eine alternative Erklärung vorlegt. Danach sollen sich die Kalke durch den Zerfall von Methanhydrat gebildet haben (Hydratzerfall wird auch von JÖNS 2002 bei bestimmten exzessiven Ablagerungsprozessen auf dem Mars erwogen). Die Hypothese von KENNEDY geht von *beobachtba- ren* Prozessen aus, denn „es gibt heute eine Menge Methanhydrat in der Welt (...). Als die Temperatu- ren wieder anstiegen, setzten diese Methanhydra- te ihr Gas frei, das rasch oxidierte und sich als eine Karbonatdecke im Ozean niederschlug“. Auch die senkrechten „Röhren“ im Kalk führt er darauf zurück: „Das leichte Methan hatte bei seinem Auf- stieg durch den schweren Schlamm vermutlich senkrechte röhrenartige Durchgänge geschaffen“ (WALKER 2003, 216-218). Nach WALKER (2003, 219) kann diese Hypothese jedoch „nicht annähernd soviel erklären“ wie die von SCHRAG; z.B. sage sie „nichts darüber, aus welchem Grund die Schnee- ball-Periode irgendwann endete“. Vielleicht sei auch eine Synthese aus beiden Kalkbildungspro- zessen zutreffend: „Die Hydrate konnten ... in der- selben Zeit zerfallen sein, in der saurer Regen auf pulverisierte Gesteine niederprasselte“.

Schnelle Plattentektonik. Abschließend soll noch auf einen weiteren dramatischen Akt dieses Kata- strophen-Szenarios hingewiesen werden. Nach D. EVANS waren – wie oben erwähnt – vor der „Schnee- ball“-Vereisung die damaligen Erdteile zum Super- kontinent Rodinia vereint. Wenn dieser Zustand lange genug anhalte, käme es im Erdmantel infol- ge eines Wärmestaus unter Rodinia zu einer Auf-



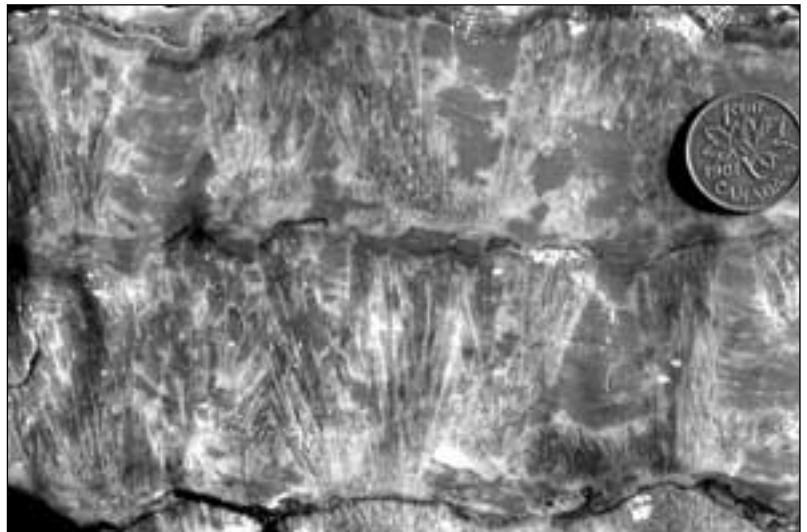
heizung. Dadurch würde der Superkontinent in der Mitte „wie eine riesige Pustel“ angehoben; dann würde Rodina „innerhalb eines geologischen Augenblicks – das sind etwa eine Million Jahre – an den Äquator rutschen, um das gestörte Gleichgewicht der rotierenden Erde wiederherzustellen; der Superkontinent würde auseinanderbrechen und seine Teile um den Äquator und die Tropen verstreuen“. Genau diese Anordnung der Kontinente und Kontinentbruchstücke sei Voraussetzung für eine „Schneeball“-Vereisung (s.o.). Während sich also heute die Erdteile mit einer Geschwindigkeit von einigen Zentimetern pro Jahr bewegen, soll dies zur Zeit des Auseinanderbrechens der Kontinente „mit der halsbrecherischen Geschwindigkeit von mehreren Metern pro Jahr“ abgelaufen sein. Allerdings ist diese Hypothese „genauso umstritten wie der Schneeball“ selbst (WALKER 2003, 288, 290).

Komplexeres Leben als Folge des „Schneeballs“?

HOFFMAN & SCHRAG (2000, 64) meinen, die lange genetische Isolation und der enorme Selektionsdruck infolge der extremen Klimaverhältnisse könnten die Entfaltung neuer Lebensformen begünstigt haben; sie äußern aber nur allgemeine Mutmaßungen. Außerdem weist die fossil bekannte Lebewelt bereits „Anzeichen für Komplexität vor dem Schneeball“ auf – jedenfalls nach Ansicht anderer Forscher (s.o.). WALKER (2003) nennt als Auslöser des Komplexitätszuwachses außerdem die Zunahme des Sauerstoffs in der „Schneeballzeit“; diese These habe unter den Forschern „den größten Anklang“ gefunden (274-277). Aber WALKER kennzeichnet dies alles durch die gewählten Begriffe zurecht als bloße Möglichkeiten („denkbar“ – „könnte“ – „vielleicht“). Teilweise gilt dies auch für die Ursachen und Hintergründe der nach einer Zwischenzeit sich anschließenden sog. *kambrischen Explosion* (= postulierte rasche Evolution der Tierstämme; vgl. Abb. 1). Auch sie ist – wie z.B. ELICKI (2003, 387) in einer zusammenfassenden Darstellung sagt – „bei weitem noch nicht verstanden“ (vgl. JUNKER 2001).

Fazit. Zwar haben die Hypothesen um die „Schneeball“-Vereisung, die ja im herkömmlichen Zeitrahmen der Historischen Geologie angesiedelt sind, vielfach vorläufigen Charakter; die Forschung ist noch in vollem Gang. Bedeutsam ist aber, daß manche Forscher durch *Geländebefunde* zur Annahme (sehr) rascher und katastrophischer Abläufe geführt worden sind. Weiter ist der teils kritische Umgang zumindest mit einem *enggeführten* Aktualitätsprinzip im Rahmen wissenschaftstheoretischer Überlegungen bemerkenswert (WALKER 2003, 161-171, 230f).

Manfred Stephan



Literatur

- BECK O (1997) Schnelle Änderung des Erdmagnetfeldes. Stud. Int. J. 4, 39-40.
- ELICKI O (2003) Das Kambrium. Biol. unserer Zeit 33, 380-389.
- ENGELHARDT W v & ZIMMERMANN J (1982) Theorie der Geowissenschaft. Paderborn etc.
- FRITZSCHE T (2001) Millionenverluste: Das Kambrium schrumpft. Stud. Int. J. 8, 22-27.
- GEYER G (1998) Die kambrische Explosion. Paläont. Z. 72, 7-30.
- HOFFMAN PF & SCHRAG DP (2000) Als die Erde ein Schneeball war. Spektrum der Wissenschaft 4 (April).
- HOFFMAN PF & SCHRAG DP (2002) The snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change. Terra Nova 14, 129-155.
- JONS H-P (2002) Junge/Rezente nichtäolische exogene Dynamik auf dem Mars: Großflächige Beeinflussung durch zerfallende CO₂-Hydrate? Z. geol. Wiss. 6, 403-421.
- JUNKER R (2001) Das Präkambrium/Kambrium-Problem: Molekulare Uhren und Fossilien. Stud. Int. J. 8, 83-85.
- LINNEMANN U (2003) Sedimentation und geotektonischer Rahmen der Beckenentwicklung im Saxothuringikum (Neoproterozoikum – Unterkarbon). Geologica Saxonica 48/49. Dresden, 71-110.
- LINNEMANN U, ELICKI O & GAITZSCH B (2003) Die Stratigraphie des Saxothuringikums. Geologica Saxonica 48/49. Dresden, 29-70.
- SCHWARZBACH M (1974) Das Klima der Vorzeit. 4., unveränd. Aufl. 1988. Stuttgart.
- SEILACHER A (2000) Leben im Präkambrium. Naturwiss. Rundsch. 53, 553-558.
- SEILACHER A (2003) Der Garten von Ediacara und die kambrische Explosion. In: HANSCH W (Hg.) Katastrophen in der Erdgeschichte. Museo 19. Heilbronn, 70-81.
- STEINER M (2001) Die fazielle Entwicklung und Fossilverbreitung auf der Yangtze Plattform (Südchina) im Neoproterozoikum / frühesten Kambrium. Freiburger Forsch.-H. C 492, 1-26.
- WALKER G (2003) Schneeball Erde. Die Geschichte der globalen Katastrophe, die zur Entstehung unserer Artenvielfalt führte. Aus dem Englischen von F. Grieser. Berlin.

Abb. 4: Detailaufnahme von kleinen Aragonitfächern; sie zeigen einen geschichteten Aufbau (rechts Münze als Maßstab). Hayhook Formation, Makenzie Mountains, NWT, Kanada (© Paul Hoffman; Abdruck mit freundlicher Genehmigung).