

Berliner paläobiologische Abhandlungen	10	229-243	Berlin	2009-11-11
--	----	---------	--------	------------

**Palaeontologia Quo Vadis? –
Zur Situation und Zukunft der paläontologischen Forschung**

Reinhold Leinfelder

Zusammenfassung: Ein Blick auf laufende Drittmittelprojekte zeigt die weite, meist transdisziplinäre Spannbreite der deutschen Paläontologie. Einer Modularisierung der Naturwissenschaft unterliegen jedoch nicht nur die Paläontologie, sondern alle Naturwissenschaften. Dies birgt Herausforderungen und Chancen, insbesondere die bessere Einbindung paläontologischer und geobiologischer Projekte in die Erforschung gesellschaftsrelevanter Umweltproblematiken, wie den Verlust der biologischen Vielfalt, die globale Klimaänderung sowie stickstoffrelevante Land- und Meeresnutzungsprobleme. Gleichzeitig muss die paläontonomische Kompetenz bewahrt, aber auch methodisch ergänzt und als Serviceleistung stärker geöffnet werden. Wesentlich erscheint auch die stärkere Hinwendung zu quantitativem Arbeiten, wobei statistischen Analysen großer Datensätze, aber auch molekularen und isotopengeochemischen Untersuchungen eine große Bedeutung zukommt. Der nationale und internationale Vernetzungsgrad der Community, aber auch der Forschungsressourcen, darunter insbesondere der paläontologischen Sammlungen und darauf aufsetzende digitale Datenbanken ist weniger weit vorangeschritten als in der Aktuobiodiversitätsforschung. Das „Gedächtnis des Lebens“, welches mit biologischen Datenbanken, insbesondere dem GBIF-Programm bereits zunehmend unter globalem Ansatz gefüllt wird, muss für die Erdgeschichte noch umfassend ergänzt werden. Notwendig ist auch eine stärkere „open source“-Öffnung paläontologischer Sammlungen und deren Betonung als für jeden Wissenschaftler frei zugängliche Servicestruktur. „Strategische“ Kooperationen mit kommerziellen Fossilsammlern werden als kritisch angesehen, direkte Zusammenarbeit mit Hobbypaläontologen jedoch sehr begrüßt.

Vorbildlich sollte auch die Authentifizierung der paläontologischen Forschung weitergeführt werden. Hinterlegungen von Fossilien als Voucher sollten deshalb konsequent umgesetzt werden, digitale Forschungsdatenbanken sollten nicht nur mit Literaturdaten gefüttert werden, sondern auf durch Objekte überprüfbar Primärdaten aufbauen. Auch die Wissenschaftsvermittlung sollte sich strikt am Authentizitätsprinzip orientieren. Originalobjekte sind Lebendrekonstruktionen für Ausstellungen vorzuziehen, hypothetisches „Storytelling“ muss deutlich von faktenbasierten fundierten Interpretationen unterschieden werden. Die große Aufmerksamkeit, welche paläontologische Forschung in der Öffentlichkeit genießt, darf auch nicht durch Überinterpretationen und darauf aufsetzende zu plakative Öffentlichkeitsarbeit gefährdet werden, sondern sollte genutzt werden, um auch komplexe Themen öffentlichkeitsgerecht darzustellen.

Das vielleicht wichtigste Alleinstellungsmerkmal paläontologischer und erdgeschichtlicher Forschung ist die Analysefähigkeit zeitabhängiger, dynamischer Prozesse. Bedenklich erscheint gerade deshalb eine teilweise grundsätzlich kontroverse Positionierung mancher Geowissenschaftler als „Klimaskeptiker“ unter Hinweis auf die Erdgeschichte. Dies zeugt von einem falschen Verständnis mancher Geowissenschaftler von zeit-skalenabhängigen Prozessen. Auch deshalb sollten Anstrengungen unternommen werden, um die Zeitauflösung paläontologischer und stratigraphischer Analysen weiter steigern und quantifizieren zu können. Mit besser quantifizierbaren Raum- und Zeitskalen können Paläontologen, Geobiologen und Aktuo-Umweltwissenschaftler ausgezeichnete Partnerschaften eingehen.

Abstract: A view on current projects shows the wide, mostly transdisciplinary range of German palaeontological research. Modularisation of science does not only affect palaeontology, but all science disciplines. This poses challenges and opportunities, notably the better integration of palaeontological and geobiological research in socially relevant, environmental issues, such as loss of biodiversity, global climate change and nitrogen-cycle related problems in land and sea use. At the same time, the palaeo-taxonomic expertise and competence must be maintained, but should also be methodically enlarged and opened as a scientific service to others. Quantitative research should deserve much greater attention. As such, statistical analyses of large databases, as well as application of molecular and isotope methodology should be further developed. National and international networking of researchers and research resources is far less advanced than in actuo-biodiversity research. This is particularly true of networking of palaeontological collections and related

databases. The "memory of life" is increasingly filled by biological digitised data, in particular in the framework of the global GBIF program. This must be complemented with data from earth history. In addition, a stronger „open source“-type opening of palaeontological collections, emphasizing their role as freely accessible scientific research infrastructure should be achieved. "Strategic" alliances with commercial fossil collectors are regarded as critical, whereas direct cooperation with dedicated, science interested non-professional palaeontologists is highly welcome.

Authentication of palaeontological research results should be continued as a best practice example: Depositing fossils as research vouchers in collections should be consistently implemented. Also, digital research data bases should not only be based on literature data but should rather use primary data related to true physical objects. Palaeontological outreach and communication should be strictly based on the principle of authenticity. In exhibitions, original fossil objects are preferable to hypothetical full body reconstructions. "Storytelling" must be clearly differentiated from fact-based, verifiable interpretations. The great attention which palaeontological research enjoys in the public should not be put at risk by overinterpretation and unsubstantiated, yet striking media releases. Rather, the large public interest should also be used to explain complex scientific issues in an adequate and well elaborated way. Perhaps the most important unique selling point of palaeontological research is its capability of analysing time-dependent, dynamic processes. Therefore, it appears even more questionable that some geoscientists position themselves as strict „climate skeptics“, by referring to long-term processes of earth history. This reflects a misunderstanding of very variable time-scaling of dynamic processes. Hence, even more efforts should be made to further increase and quantify the time resolution of palaeontological and stratigraphical analysis. With better quantification of spatial and temporal scales palaeontologists and geobiologists can enter into promising partnerships with researchers studying present environmental change.

Anschrift des Autoren: Prof. Dr. Reinhold Leinfelder, Museum für Naturkunde - Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung an der Humboldt-Universität. Invalidenstr. 43, D - 10115 Berlin. E-mail: generaldirektor@mfn-berlin.de

Einleitung

Manchem mögen die Hochzeiten der paläontologischen Forschung als Vergangenheit erscheinen. Dinosaurier sind überwiegend ausgegraben und stehen stolz in Museen, einige wenige, meist schon im Ruhestand befindliche Paläontologen sitzen noch hinter verstaubten meterhohen Bücherstapeln und brüten mittels Geologenlupe über Zahnfragmenten längst ausgestorbener Ursäugetiere, und ein Paläontologie-Studium wählt nur der, der später absolut keinen Job haben möchte. Soweit das Standardklischee, welches auch mir immer wieder einmal, teilweise sogar von Politikern oder Hochschulmanagern ausgesprochen, entgegen schwappt.

Die Wirklichkeit ist erfreulicherweise anders. Die Zeiten erscheinen vorbei, in der selbst der eine oder andere Hochschulrektor mit dem Wort Paläontologe nichts anfangen konnte - mir ist noch eine entsprechende Frage gut im Hinterkopf: „Sind das nicht die ausgestorbenen Tiere, bei denen einer im Hollywood-Film ‚Leoparden küsst man nicht‘ umfällt?“ Hier wurde Dinosaurier mit Paläontologe verwechselt, der eine schon ausgestorben, der andere demnächst? Nein, nicht nur das Interesse an Dinosauriern erscheint ungebrochen. Museen, welche solche Urzeitriesen im Original präsentieren, erleben einen gewaltigen Boom. Auch viele andere paläontologische Themen sind gerade im Jahr des 200. Geburtstags von Charles Darwin kräftig in Schulen und Gesellschaft präsent. Etliche spektakuläre Neufunde, wie etwa „Tante Ida“ (der frühe Primate *Darwinius masillae*) oder „Ardie“ (der Vormensch *Ardipithecus ramidus*) bzw. deren Bekanntmachung erreichten sogar ungeahnte Aufmerksamkeit in den Medien.

Auch bei näherem Hinsehen gibt es Erstaunliches zu berichten - so wurden und werden nicht nur vakante paläontologische Professuren, etwa in München oder Berlin wiederbesetzt, sondern es werden sogar neue eingerichtet (Tübingen). Möglicherweise waren auch noch nie vorher so viele Paläontologen im Wissenschaftsmanagement vertreten. Von den sieben großen forschenden Naturkundemuseen der Deutschen Naturwissenschaftlichen Forschungssammlungen (DNFS) werden derzeit drei von Paläontologinnen und Paläontologen geleitet (Stuttgart, Frankfurt, Berlin). Paläontologen sitzen als Experten in Kommissionen der Deutschen Forschungsgemeinschaft, in Arbeitskreisen der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz von Bund und Ländern (GWK), der UN oder der OECD. Als Mitglieder von Akademien und wissenschaftlichen Beiräten der Bundesregierung beraten sie die Politik. Die Freie Universität Berlin wurde sogar viele Jahre durch einen Paläontologen mit geleitet: durch Helmut Keupp als mehrjährigem Vizepräsidenten.

Geht es also der deutschen Paläontologie nicht eigentlich sehr gut? Sind Unkenrufe, die das Ende der Paläontologie nahen sehen, unangebracht? Oder suchen sich Paläontologen eben gerade deshalb neue Aufgaben, etwa im Wissenschaftsmanagement, weil sie keine wissenschaftliche Zukunft ihrer eigenen Disziplin sehen?

Um diese Frage in der notwendigen Differenziertheit beantworten zu können, müssen wir unsere Bestandsanalyse noch etwas vorantreiben. Wie sieht es mit aktuellen Projekten in der Paläontologie aus? Eine exemplarische Abfrage der Gepris-Datenbank (<http://gepris.dfg.de/gepris/>) zu von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekten ist recht erhellend. Zum Abfragedatum Anfang Oktober 2009 finden sich 297 Projekte im Bereich Geologie und Paläontologie für einen Zeitraum mit Bewilligung ab 2007. Es ist nicht einfach, davon die Projekte mit paläontologischer Beteiligung abzutrennen, eindeutige „klassische“ paläontologische Projekte sind in der Minderzahl. Zählt man diejenigen als paläontologische Projekte mit, die sich mit ökologischen, inklusive biogeochemischen Fragestellungen oder auch mit der sehr jungen Erdgeschichte beschäftigen, kommt man auf etwa 100 geförderte Paläontologie-relevante Projekte seit 2007. Ohne Anspruch auf Repräsentativität seien einige Beispiele genannt. Viele Projekte haben einen Klimabezug, so geht es u.a. um klimatische Effekte von Vegetationsveränderungen im Neogen, klimatische Änderungen in Afrika während der Entwicklung von C4-Pflanzen, die Evolution von Nannoplankton zu Grünhauszeiten, Monsoon-Auswirkungen auf die Malediven-Entwicklung, das Monitoring des paläogenen Calcium-Budget und Klimavariabilitäten mit Hilfe von Dinoflagellaten, die Verwendung planktischer Foraminiferen als Indikator für marine Karbonatsättigung oder auch in-situ-Versuche zur Kohlenstoffaufnahme benthischer Tiefseeforaminiferen. Andere Themen beinhalten etwa die Analyse von Bernstein-Inklusen aus dem Eozän von Indien, die Charakterisierung außergewöhnlicher Riffe aus dem Trias-/Jura-Übergangsbereich oder die Analyse phylogenetischer und ontogenetischer Einflüsse auf den Kauapparat von Säugetiere, Natürlich fehlen auch die Saurier nicht, so wird etwa die Archosaurier-Radiation aus Argentinien untersucht oder der Beitrag von Isotopenuntersuchungen zum Erkennen von Ernährungs- Wachstums-, Thermoregulation- und Beweglichkeit von Sauropoden erforscht. Auch die Beteiligung an interdisziplinären Forschergruppen oder Sonderforschungsbereichen kann sich insgesamt sehen lassen. Interessant sind allerdings auch einige weitere Zahlen. Die Gesamtzahl aller seit 2007 geförderten DFG-Projekte beläuft sich auf 12 371. Davon entfallen zum Beispiel auf die Zoologie 252, auf die Botanik 426 und auf die Grundlagen der Biologie und Medizin 2453 Projekte. (Genuine medizinische Forschung ist hier nicht mitgerechnet, die medizinischen Neurowissenschaften sind für denselben Zeitraum mit 609 Projekten gelistet, daneben gibt es weitere medizinische Kategorien). Die Paläontologie ist übrigens in etwa mit genauso viel DFG-Projekten ausgestattet wie die Erziehungswissenschaften (ca. 109 bzw. 107 seit 2007).

Erstaunliches ergibt sich jedoch, wenn man nach Projekten sucht, welche das Wort „Paläontologie“ explizit im Titel oder in der Kurzfassung führen. Hier werden seit Einrichtung der Datenbank überhaupt nur 33 Projekte aufgelistet (Die älteste Auflistung stammt von 1997). Seit 2007 wurde überhaupt kein Projekt gefördert, welches „Paläontologie“ oder „paläontologisch“ im Titel trägt. Verleugnet sich die Paläontologie also zunehmend? Wandert sie in andere Felder ab bzw. wird zur reinen Dienstleistungswissenschaft für andere, um so ihr Auskommen zu finden? Und wenn ja, wäre dies kritikwürdig? Noch vor wenigen Jahren tobte ein interner Streit in der deutschen Paläontologen-Gemeinschaft, in dem die einen eine viel stärkere Einbindung der Paläontologie in aktuelle Gesellschaftsfragen anmahnten, die anderen dies mit dem unschönen Term „Geographisierung der Paläontologie“ kategorisch ablehnten. Nimmt man die Liste der bewilligten Forschungsprojekte der DFG als Maßstab, scheint diese Frage längst entschieden - aber sind es wirklich die aktuellen Gesellschaftsfragen, die hier mit beforscht werden oder löst sich die deutsche paläontologische Forschung derzeit doch in Beliebigkeit und vielleicht bald in Wohlgefallen auf? Wo ist das Profil oder steht das alte Profil einer modernen hochaktuellen Forschung eher im Weg?

Um dies bewerten zu können ist ein Blick auf die aktuellen Gesellschaftsfragen, zu denen Naturwissenschaften beitragen können, sinnvoll. Was sind die heutigen großen Forschungsfragen der Naturwissenschaften, kann die Paläontologie dort mitarbeiten bzw. sogar eine maßgebliche Rolle übernehmen und wie ist derartige Forschung in Gesellschaftsfragen einzubinden?

Die großen Forschungsexpeditionen heute

Die großen Forschungsexpeditionen des 18. und 19. Jahrhunderts haben die Archive der sammlungs-basierten Naturkundemuseen gut gefüllt. Sind denn heute noch Forschungsexpeditionen notwendig, ist die Natur nicht genügend abgesammelt, charakterisiert, beschrieben? Ist die Datenlage nicht ausgezeichnet? Heutige Forschungsexpeditionen laufen tatsächlich anders als früher ab. Natürlich geht es nach wie vor darum, das Inventar des Lebens tatsächlich kennen zu lernen. Bislang sind uns nur etwa zwei Millionen heute lebender

Arten bekannt, wir gehen aber von 5 bis 30 Millionen, vielleicht sogar von 100 Millionen aus. Im Fossilen ist überhaupt nicht daran zu denken, alle je auf der Erde beheimatet gewesenen Arten jemals kennen lernen zu können, dies scheitert bereits an der Fossilerhaltung, die ja in der Regel nur Hartteile überliefert. Aber dennoch gehen die Expeditionsreisen weiter, wenn auch häufig im eher übertragenen Sinne. Listen wir sie auf:

- 1) Die Erforschung der Meere, darunter der Tiefsee
- 2) Die Erforschung der Polarregionen
- 3) Die Erforschung der weiteren unentdeckten Vielfalt
- 4) Die Erforschung des Kosmos und der Planeten
- 5) Die Erforschung des Menschen

Zu welchen Reisen kann eine moderne Paläontologie, d.h. eine Paläontologie, die sich nicht so definiert, dass sie nur für Zeiträume vor dem Auftreten des Menschen zuständig ist und die sich nicht nur auf morphologisches Fossilstudium beschränkt, beitragen. Ich meine, zu allen.

Die Erforschung der Meere

Die Methodik zur Erforschung der Meere ist noch derart unterentwickelt, dass der Riesenkalmar, der sich seit dem 18. Jahrhundert als Legende durch alle Reiseberichte zieht, lebend in seinem Lebensraum erst vor wenigen Jahren beobachtet und gefilmt werden konnte (Kubodera et al. 2007). Mit dem Festland verglichen wäre dies so, als hätten wir zum ersten Mal vor 2-3 Jahren einen Elefanten lebend in freier Natur gefunden und zuvor schlicht übersehen. Tatsächlich wurde ja auch der aus der Erdgeschichte von Devon bis Kreide gut bekannte Quastenflosser erst 1938 als heute existierende Art bei einem Fischfang wieder entdeckt, erst 1952 wurde der Wissenschaft ein zweiter Fang bekannt, erst 1987 wurden Quastenflosser durch Hans Fricke lebend beobachtet und erst 1997 wurde eine zweite rezente Art gesichtet (e.g. Fricke 2007). Auch Kieselchwamm-Hügelriffe, wie sie aus der Erdgeschichte, insbesondere aus der Jurazeit gut bekannt sind (Keupp et al. 1990, Leinfelder et al. 1994, 2002) wurden erst vor wenigen Jahren lebend wieder entdeckt (Krautter et al. 2001). Selbst Charles Darwin schickte 1832 den Staub vom Deck der Beagle zur Untersuchung an einen Paläontologen, den Mikropaläontologen Christian Gottfried Ehrenberg, der am Berliner Museum für Naturkunde arbeitete. Ehrenberg erkannte aufgrund seiner umfassenden Kenntnis lebender und fossiler Mikroorganismen die Herkunft des Staubes insbesondere an Hand dieser Kleinstlebewesen, die über die atmosphärischen Winde zur Beagle verfrachtet wurden. Ehrenberg schrieb 1845 an Charles Darwin anlässlich einer weiteren zugeschickten Probe:

„Mein hochzuverehrender Herr (...) Man kann nun mit Sicherheit aussprechen, dass aller Staub der 6 Proben aus einer und derselben Quelle kommen muss. Dieser Quelle lässt sich noch näher kommen. Vorher waren nur Süßwasser Thierchen vorgekommen, diese konnten aus der Mitte eines Festlandes seyn. Jetzt sind auch zwei reine Seethierchen dabey gefunden, *Grammatophora oceanica* und *Textilaria globulosa*. So muss nun die Quelle des Staubes eine Küsten-Gegend seyn. Am nächsten liegt freylich die afrikanische Küste, aber es sind keine afrikanischen Formen darunter, obschon viele davon Weltbürger sind. Dagegen sind nun 6 Südamerikanische dabei.“ (Ehrenberg 1845, Heinemann, 2008). Vor kurzem wurde nicht nur die Keimfähigkeit von Bakteriensporen aus dem Staub der Beagle belegt, mit Hilfe von Genanalysen wurden auch verschiedenste Bakterienarten und Pilze zusätzlich zu den von Darwin beschriebenen nachgewiesen (Gorbushina 2007).

Die Kenntnis der Paläontologen am potentiellen Formenschatz auch heutigen marinen Lebens ist also durchaus gefragt. Zusätzlich ist es jedoch insbesondere notwendig, auch ganze Ökosysteme als Produkte der Evolution zu betrachten, dies ist ohne Paläontologie nicht möglich. Das Beispiel der Korallenriffe ist vielleicht das plausibelste dafür. Riffe mit Korallen traten erstmalig vor etwa 450 Millionen Jahren auf, Korallenriffe mit den modernen skleraktinen Steinkorallen gibt es seit der Trias-Zeit. In einem großen interdisziplinären DFG-Schwerpunktprogramm der 90er Jahre namens „Biogene Sedimentation“ arbeiteten im Teilbereich „Riff-Evolution“ Biologen, Sedimentologen, Geochemiker, Geobiologen und Paläontologen ausgezeichnet zusammen und entschlüsselten die lange Geschichte der Korallenriffe und anderer Riffotypen. So hatten etwa die Korallenriffe der Jurazeit ihren Verbreitungsschwerpunkt in mesotrophen, hinterlandsbeeinflussten Regionen (Leinfelder 2001, Leinfelder et al. 2002), während im oligotrophen, also extrem nährstoffarmen Bereich der Hochsee stromatoporendominierte Riffe wuchsen (Leinfelder et al. 2005). Auf den

damals verbreiteten rampenartigen breiten Schelfen traten hingegen insbesondere Kieselschwamm-Mounds auf (Keupp et al. 1990, Leinfelder et al. 1994, 2002). Kalkrotalgen existierten während dieser Zeit des höheren Jura bereits, sie hatten jedoch noch nicht die wichtige ökologische Rolle wie in den heutigen Riffen, in denen Kalkrotalgen durch Bildung von an höchste Wasserenergie angepassten Riffkämmen die starke Kompartimentalisierung von Riffmilieus wesentlich mitbestimmen. Während der Jurazeit waren statt dessen mikrobielle Krusten weit verbreitet, die allerdings andere ökologische Bedürfnisse sowie Funktionen hatten (Keupp & Leinfelder 1995). Von besonderem Interesse hierbei ist gerade auch die Analyse der Verbreitung von Plankton, woraus auf Strömungsmuster und Nährstoffsituationen geschlossen werden kann. (e.g. Keupp, 1978, Keupp & Ilg, 1989, Ivanova & Keupp (1999). Derartige Forschung ist von höchstem Interesse gerade auch für heutige Fragestellungen. Wie stabil sind unsere ozeanischen Strömungen, wie können wir frühzeitig potentielle Änderungen erkennen?

Und, um auf das Beispiel des Riesenkalmars zurückzukommen: Dass wir in der Welt der fossilen Meere noch viele „Elefanten“, aber vor allem auch Kleinstlebewesen zu entdecken haben, braucht wohl nicht extra betont zu werden. Die Kenntnis ihrer Existenz und ihrer Paläobiologie benötigen wir, um die evolutionären Wege des Meereslebens insgesamt zu verstehen. Hier gibt es ja auch überaus Spannendes zu berichten, etwa wie fossile Bohrschwämme Sediment produzierten (Reitner & Keupp 1991) oder wie Ammoniten durch ihren biogenen Aufwuchs Wachstumsstörungen erlitten (Keupp 1992) oder sonstige pathologische Erscheinungen trugen (Keupp & Ilg 1992, 1994, Keupp 1996, 2006).

Die Erforschung der Polarregionen

Seit Alfred Wegener, dem großen deutschen Polarforscher und Begründer der Kontinentalverschiebungstheorie dominieren die Geowissenschaften die Erforschung der Polarregionen. Die Paläontologie ist mit ihrer Kompetenz bei der Erforschung der marinen polaren Artenvielfalt, aber auch ihrer Strömungsverhältnisse mit biologischen und geobiologischen Methoden (etwa Isotopenuntersuchungen) beteiligt. Die Mikropaläontologie und Mikrogeobiologie ist hier von besonderer Bedeutung. Die Erforschung der wissenschaftlich bedeutenden fossilen Ablagerungen der festländischen Antarktis ist ebenfalls noch längst nicht abgeschlossen. Spannend sind nicht nur die Untersuchungen von Abfolgen aus der Zeit der Existenz des Gondwana-Großkontinents, der tropisch-subtropischen Epoche des Palaeogen sowie der zunehmenden Vereisung im Neogen. Auch weitere Erkenntnisse aus den Übergängen fossiler Eiszeit- zu Warmhauszeiten sind für den aktualistischen Vergleich von großem Interesse.

Die Erforschung der weiteren unentdeckten Vielfalt – und was damit erreicht werden kann

Dies ist ein unerschöpfliches Thema gerade auch für die Paläontologie. Es gilt nicht nur, ein möglichst gutes Abbild der heutigen Artenvielfalt zu erarbeiten, sondern dieses auch mit einem dynamischen, möglichst hoch auflösenden Abbild der fossilen biologischen Vielfalt zu verknüpfen. Ein großes Ziel muss erreicht werden: alle vorhandenen Daten müssen wissenschaftlich nachvollziehbar gemacht werden. Proben sind deshalb in aller Regel als „Voucher“ in paläontologischen Sammlungen abzulegen. Dieses Datenarchiv ist dann wiederum als Gesamtforschungsressource zur Verfügung zu stellen. Je mehr Daten der biologischen und paläontologischen Vielfalt in Raum und Zeit verfügbar und abrufbar sind, desto mehr wird eine derartige Globalressource zu einer - dezentral verteilten, jedoch vernetzten - gigantischen globalen Forschungsinfrastruktur, die von Wissenschaftlern etwa wie ein riesiges Synchrotron oder ein „Hypercomputer“ für eigene Forschung genutzt werden kann. Mit einer derartigem „Gedächtnis des Lebens“ (Leinfelder 2008a, b) kann fundiert, d.h. quantifizierbar nach- und vorausgedacht werden – auch paläontologische Daten können so als Grundlage sowie Testläufe für Modellierungen und andere quantifizierbare Aussagen verwendet werden. Zeit- und raumabhängige Muster und Prozesse können so analysiert werden.

Für die Rezentzeit wurden und werden hierzu bereits viele objektbasierte Daten, insbesondere der naturkundlichen Museen in globalen Datenbanken vernetzt. Zu nennen sind insbesondere das globale Projekt GBIF (Global Biodiversity Information Facility, www.gbif.org) sowie das diese Daten integrierende Projekt Encyclopedia of Life (EoL) mit vielen Teil-, Unter- und Ergänzungsprojekten. Eine aktuelle wissenschaftspolitische Initiative bemüht sich im Rahmen der europäischen Roadmap des European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI) neu erhobene Daten aus Monitoringprojekten sowie auf Aufsammlungen basierende Daten im Rahmen des Projektvorschlags LifeWatch (www.lifewatch.eu) zusammenzubringen. LifeWatch befindet sich derzeit in einer Pilotprojektphase.

Auf paläontologischer Seite herrschen bislang jedoch eher Einzellösungen vor. Die meisten Naturkundemuseen halten die Daten ihrer paläontologischen Sammlungen in „Hausdatenbanken“ digital vorrätig, weiterhin

gibt es viele in Eigeninitiative sowie - nur zum Teil mit Hilfe von Drittmitteln geförderte - Forschungsdatenbanken zu bestimmten Forschungsfragestellungen. Besonders hervorzuheben sind internationale paläontologische Datenbanken wie die Paleoreefs Database, welche umfassend für wissenschaftliche Projekte ausgewertet wurde (e.g. Kiessling et al. 2002, Leinfelder et al. 2002) oder die Paleobiology Database, in der bereits über 155.000 fossile Taxa inklusive ihrer Verbreitungsmuster aufgenommen wurden und einer Vielzahl von Forschungspublikationen als Grundlage dienen. So konnten etwa die Stabilität des Riffökosystems in Abhängigkeit von den Diversitäten während der gesamten Erdgeschichte quantifiziert (Kiessling 2005), generelle Trends der Biodiversitätsänderungen mariner Invertebraten in der Erdgeschichte erkannt (Alroy et al. 2008), statistische Standardisierungen für die Analyse von Sammlungsdaten getestet (e.g. Wagner et al. 2007, Peters & Ausich, 2008, Wall et al. 2009) oder viele quantitative Ergebnisse zu Aussterbe- und Erholungsmustern erarbeitet werden (e.g. Villier & Korn 2004, Kiessling & Aberhan 2007, Payne & Finnegan 2007, Tomasovych & Sibilik 2007, Kiessling 2008, Peters 2008, Alroy 2009). Viele weitere Beispiele finden sich unter <http://paleodb.org>. Viele dieser quantifizierenden und mit statistischen Methoden arbeitenden Publikationen haben Eingang in hochrangige Wissenschaftszeitschriften wie Science Magazine und Nature Magazine gefunden.

Überaus wichtig erscheinen deshalb der weitere strukturierte Ausbau und die Vernetzung von Sammlungs- und Sammlungsdatenbank-basiertem Arbeiten. Die große, ganzheitliche Forschungsinfrastruktur, die in den Biowissenschaften auf gutem Wege ist, gilt es in der Paläontologie erst noch zu initiieren und etablieren. Zwar soll nun ein GBIF-Pilotprojekt „Paläontologie“ gestartet werden, es hapert allerdings noch an der Grundfinanzierung. Von besonderem Interesse ist jedoch eine Initiative europäischer Forschungssammlungen an die OECD zur Errichtung einer globalen Plattform und verteilten Infrastruktur für alle naturwissenschaftlichen Forschungssammlungen, darunter auch der Paläontologie. Diese Initiative wurde befürwortet und wird nun unter dem Dach des Global Science Forums der OECD unter dem Namen „Scientific Collections International“ weiter vorangetrieben (Johnson et al. 2008). Eine entscheidende Arbeitsgruppensitzung mit Vertretern aus allen fünf Kontinenten tagte im September 2009 am Bundesministerium für Bildung und Forschung in Berlin (Leinfelder 2009a). Auch die deutsche Paläontologie sollte sich hier stark einbringen. Die Paläontologen müssen gemeinsam Überzeugungsarbeit leisten, damit Projektträger wie das Bundesministerium für Bildung und Forschung oder die Deutsche Forschungsgemeinschaft auch verstärkt Infrastrukturförderung zur Erarbeitung, Einspeisung und Pflege von Primärdaten betreiben. Universitäten und Sammlungen können dies nicht alleine gewährleisten.

Die Erforschung des Kosmos und der Planeten

Kosmische und planetare Forschung scheinen nicht gerade ein genuines Forschungsfeld für Paläontologen zu sein. Allerdings beschäftigen sich Paläontologen seit langer Zeit mit globalen und regionalen Aussterbeereignissen, von denen etliche, insbesondere wohl das K-/T-Ereignis durch Asteroideneinschläge ausgelöst wurden. Ausserdem sind geobiologische Untersuchungen des Lebens in Extremmilieus, wie etwa in der tieferen Erdkruste (e.g. Kerr 2002) von hohem Interesse, um bessere Kenntnis von Urlebensformen zu erhalten. Die Wissenschaft der Exobiologie ist eigentlich ein Teilbereich der Geobiologie und hat damit starke Beziehungen zur Paläontologie.

Eine gerade etablierte DFG-Forschergruppe unter Federführung des Museums für Naturkunde Berlin namens Multidisciplinary Experimental and Modeling Impact Research Network (MEMIN, www.memini.de) sowie eine Nachwuchsgruppe des Helmholtz-Forschungsallianz-Projekts „Planetary Evolution and Life“ untersuchen unter anderem anhand experimenteller Einschlagscharakteristika, ob extraterrestrisches Leben bzw. organische Moleküle ggf. über Meteoriten auf die Erde gelangt sein könnte und inwieweit terrestrische, einfache Lebensformen in direkter Nähe zum Einschlag überstehen können.

Die Erforschung des Menschen

Genauso wie der Mensch den Nutzen der biologischen Vielfalt nicht nur auf deren ökonomischen Nutzen beschränkt, sondern sich mit der Natur grundsätzlich emotional und heimatlich verbunden fühlt, genauso wenig genügt zum Selbstverständnis des Menschenbilds das Wissen über die Gehirnforschung, die kulturelle Evolution oder die Soziologie. Der Mensch möchte wissen, von wem er abstammt und wer zu seiner erweiterten Verwandtschaft gehört. Deshalb konnten paläontologische Forschungsergebnisse zu *Darwinius* und zu *Ardipithecus* derart auf Aufmerksamkeit stoßen, deshalb gibt es immer noch vehemente Diskussion um Evolution und Kreationismus, nicht zuletzt im noch laufenden Darwin-Jahr. Die Einbindung der biologischen Evolution des Menschen in die gesamte biologische Evolution der Lebewelt ist deshalb nach wie vor

nicht nur spannend, sondern auch zeitgemäß. Mit am besten hat dieses Thema der Paläontologe und Tiktaalik-Entdecker Neil Shubin in seinem faszinierenden Buch namens „Der Fisch in uns“ aufgegriffen (Shubin 2008). Nicht nur dieses Beispiel zeigt, dass Interesse an der Evolutionsforschung auch aus kulturellem Interesse weit verbreitet ist.

Die großen Umweltherausforderungen und der Beitrag der Paläontologie zu ihrer Bewältigung

Eine aktuelle, im September 2009 in Nature veröffentlichte Studie beleuchtet die zehn größten gesellschaftsrelevanten Umweltherausforderungen, welche die Menschheit zu bewältigen haben wird. Die als überaus kritisch angesehene anthropogen-bedingte globale Klimaänderung steht dabei auf Platz 3. Auf Platz 2 findet sich der Stickstoffzyklus, hierbei sind insbesondere Probleme durch Überdüngung gemeint. Leider unangefochten auf Platz 1 liegt der Verlust der biologischen Vielfalt, der mit einer Rate, die 100-1000 mal höher ist, als dem Durchschnitt der Nichtkrisenzeiten der Erdgeschichte entspricht, voranschreitet (Rockström et al. 2009a, b). Die Warnungen sind nicht neu, seit den 1990-Jahren wird vor Klimaänderung, Übernutzung von Land und Meer sowie Verlust von biologischer Vielfalt gewarnt: selbst nur diejenige Literatur hierzu aufzuzählen, in die sich Paläontologen mit eingebracht haben, würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen (siehe z.B. Leinfelder & Seyfried 1993, Schellnhuber et al. 2009)

Können die Paläontologen aber tatsächlich beitragen, diesen Herausforderungen zu begegnen? Ja, sie sind wesentlich an deren Erforschung und Lösung zu beteiligen, allerdings müssten sich die Paläontologen teilweise hierzu noch besser finden sowie ihre Möglichkeiten realistisch reflektieren. Häufig existieren nämlich Missverständnisse, die nicht nur Umwelt- bzw. Wirtschaftslobbyisten, sondern auch manche Paläontologen und andere Geowissenschaftler bewusst oder unbewusst befördern. Aber auch die Rezentklimaforscher und Aktuobiologen müssen deutlich umdenken. Einige Beispiele seien genannt, um dies zu erläutern.

Klimaänderungen und Aussterbeereignisse früher und heute

Kaum ein ernstzunehmender Wissenschaftler bestreitet heute noch die Relevanz des anthropogenen Treibhausausstoßes auf das Klima. Dennoch besteht immer noch Uneinigkeit, ob dies nun gefährlich sei oder nicht. Das inzwischen sogar von der Staatengemeinschaft der G8 im September 2009 als Verpflichtung anerkannte Ziel, den Klimawandel nicht über 2 Grad Erhöhung hinausgehen zu lassen (z.B. www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,635250,00.html) wird nach wie vor von Klimaskeptikern, darunter auch viele prominente Geowissenschaftler in Frage gestellt. Hintergrund ist die Meinung, dass die Erdgeschichte bereits früher deutlich wärmer war und diese Warmphasen ja sogar häufig Zeiten besonders hoher biologischer Vielfalt darstellten. Auch die Gefährlichkeit der Versauerung der Meere wird relativiert, denn wir kennen viele Zeiten der Erdgeschichte, in denen die CO₂-Gehalte der Atmosphäre bedeutend höher als heute lagen und dennoch Korallenriffe sowie andere Karbonat produzierende Organismen proliferierten. Selbst die Aussterbeereignisse werden aus erdgeschichtlicher Sicht gerne relativiert, denn tatsächlich sind etwa Korallenriffe ja sogar mehrfach ausgestorben, sie haben sich aber immer wieder erholt und existieren schließlich bis heute.

Hier wird der erdgeschichtliche Befund zu direkt auf menschliche Skalen übertragen, denn Geowissenschaftler mitteln meist auch in ihrem Denken über sehr lange geologische Zeiträume hinweg. Diese „geozentrische“ Sicht hilft in der Regel wenig zur Bewältigung der aktuellen Probleme, hier ist eine stärker „anthropozentrische“ Sicht notwendig und hilfreich. Denn folgendes ist ja auch mit der Erdgeschichte belegbar: Korallenriffe sind zwar mehrfach global und regional ausgestorben und haben sich später wieder erholt, aber zwei Dinge werden gerne vergessen: zum einen hat es meist Millionen von Jahren gedauert, bis sich Riffe wieder neu ausgebreitet haben (z.B. Perm-/Trias- sowie Trias-/Juragrenze), in einem Fall waren tropische Flachkorallenwasserriffe sogar fast 140 Millionen Jahre überwiegend verschwunden (von oberdevonischer Frasn/Famenne-Grenze bis in die obere Trias). Zum anderen haben sich die heutigen Korallenriffe zunehmend eingemischt - sie sind stärker an superoligotrophe Verhältnisse angepasst als dies früher der Fall war, dies haben ja gerade paläontologische Untersuchungen ergeben (e.g. Nose & Leinfelder 1997, Leinfelder 2008c). Aus gesellschaftlicher Sicht ist es irrelevant, ob die heutigen Korallenriffe dauerhaft aussterben oder nach einer Million Jahren, vielleicht sogar schon nach 10.000 oder gar 1000 Jahren wiederkommen, der Verlust an Ökosystemdienstleistungen und -gütern ist in beiden Fällen katastrophal (Heiss & Leinfelder 2008), die Auswertungen des ökonomischen Werts der Korallenriffe weltweit rangieren zwischen 170 und 330 Milliarden US \$ pro Jahr (Costanza et al. 1997, Martinez et al. 2007). Ausserdem kennen natürlich gerade auch die Geowissenschaften Beispiele für katastrophale, also extrem rasch ablaufende Änderun-

gen in der Erdgeschichte, die Kippelemente, sog. Tipping-Points auslösten, wodurch sich ökologische Änderungen extrem rasch vollzogen.

Plötzliche Sauerstoffzehrung selbst in Flachmeerbereichen trat in der Erdgeschichte im Zuge von Meeresspiegelanstiegen immer wieder auf und breitete sich urplötzlich über große Bereiche aus. Beispiele stammen u.a. aus der höheren Jurazeit, wobei die Sauerstoffzehrung bis in die Region der Flachwasserriffe reichte (Leinfelder et al. 1993, Leinfelder 2001), aber auch die globalen Aussterbeereignisse des Oberdevons sowie an der Perm/Trias-Grenze sind höchstwahrscheinlich dadurch ausgelöst worden (Isozaki 1997, Pujol et al. 2006, Riquier et al. 2007, Weidlich et al. 2003).

Das plötzliche Verschwinden kalkschaliger Fauna sowie insbesondere von Korallenriffen an der Trias/Jura-Grenze ist vermutlich mit plötzlicher Meeresversauerung in Zusammenhang zu bringen, die von extensiver CO₂-Verschmutzung durch vulkanische Exhalationen herrühren könnte (Ward et al. 2001, Hautmann et al. 2008a, b).

Viele weitere Beispiele für rasches Umkippen von Ökosystemen aufgrund extrem rascher Umweltänderungen lassen sich in der Erdgeschichte finden, es macht Sinn, stärker auf diese zu fokussieren und sie auch datenmäßig und quantitativ besser zu erfassen. Wichtig ist, dass nicht nur die jüngere Erdgeschichte für Fallstudien verwendet wird, sondern Kippelement-Verhalten, also nicht-lineare Änderungen ökologischer Systeme gerade auch in den vorneogenen Zeiten häufig zu finden sind. Geowissenschaftler müssen sich ihrer Skalenproblematik immer bewusst sein. Man könnte argumentieren, dass durch zunehmende atmosphärische Verwitterung und Auflösung von Karbonaten am Meeresgrund wieder mehr Hydrogenkarbonat- und Karbonationen in die Meere gelangen und dadurch die pH-Werte der Meere wieder zunehmend gepuffert werden. Nur dauert dieser Prozess vermutlich mehrere zehntausende, vielleicht sogar hunderttausende von Jahren. Bis dahin wird sich die Versauerung ausbreiten, mit allen Konsequenzen für unsere heute benötigten biologischen Güter und Dienstleistungen. Eine intensivere Zusammenarbeit zwischen Paläontologen, Sedi-mentologen, Geochemikern und physikalisch bzw. modellierend arbeitenden Klimaforschern ist nicht nur wünschenswert, sondern notwendig. Konkurrenzverhalten zwischen Klimamodellierern und Geowissenschaftlern aufzubauen wäre deshalb absurd.

Die Stickstoffkrise

Bei der Bewältigung der Überdüngungsproblematik können sich Geowissenschaftler vor allem methodisch beteiligen. Seit langem arbeiten gerade auch Paläontologen und Geobiologen mit stabilen Isotopendaten, neben Kohlenstoff und Sauerstoff zunehmend auch mit Stickstoffisotopie. Sie können mit ihrer Erfahrung Nährstoffzyklen vorhersagen und Frühwarnsysteme aufbauen (Struck 2007, Emeis et al. 2009).

Energieforschung, Carbon Capture and Storage (CCS) und Geoengineering – neue Arbeitsfelder für Geowissenschaftler?

Keinesfalls soll hier bestritten werden, dass differenzierte Diskussion sowie Forschung insbesondere zu Energiefragen, aber auch zu CCS, vielleicht sogar zu „harten Geotechnologien“ notwendig sind. Allerdings müssen die Geowissenschaften hierbei auch ehrlich bleiben. Tatsache ist es, dass Erdöl- und Erdgasprospektion und -exploration, früher der traditionelle Markt von Geologen und Paläontologen in der freien Wirtschaft stark am Wegbrechen sind. „Peak Oil“ ist überschritten bzw. wird demnächst überschritten werden, da helfen auch keine angeblich spektakulären Neufunde in der Tiefsee, die sich bei näherem Hinsehen in der Regel als marginal und kaum förderungsfähig erweisen. Geowissenschaftler, darunter auch Paläontologen könnten deshalb den Verdacht auf sich ziehen, dass sie allein deshalb für Methanhydratförderung, für Versenkung von Kohlendioxid in der Erdkruste oder gar für die Entwicklung von „Geoengineering“ sind, um sich neue Arbeitsmärkte zu erschließen und eventuelle Umweltrelevanz deshalb ausblenden. Um diesen Verdacht gar nicht erst aufkommen zu lassen, muss von vorneherein nach allen Seiten differenziert argumentiert und geforscht werden (Kunzig 2008, Robock 2008, AMS Council 2009, Chu 2009). CCS wird voraussichtlich eine Zukunft haben, aber gerade Geowissenschaftler sollten schon allein aufgrund der bekannten Problematik, geeignete Lokalitäten für atomare Endlager zu finden, deutlich betonen, dass auch Endlagerstätten für Kohlendioxid ganz und gar nicht beliebig zur Verfügung stehen sowie andere Standort-Nutzungen, etwa die Erdwärme ausschließen. Eine übertriebene Technologiegläubigkeit ist hier kontraproduktiv ist und Adaption an Klimaveränderung kann bei den Maßnahmen gegen den anthropogen bedingten Temperaturanstieg nur eine kleine Teilstrategie darstellen, welche die Effizienzsteigerungs- und Vermeidungsbemühungen bei der Verwendung fossilen Kohlenstoffs als Energieträger nicht zunichte machen darf.

Die Paläontologie als Vertrauensbildner für die naturwissenschaftliche Forschung

Obwohl sich unsere Gesellschaft als wissensbasierte Gesellschaft versteht, ist doch verwunderlich, welche Vorbehalte gegenüber naturwissenschaftlicher Forschung nach wie vor und vielleicht zunehmend vorhanden sind. Hierbei geht es häufig um Fragen des persönlichen Menschenbilds sowie unserer Moralvorstellungen. Zeigt uns die Hirnforschung, dass der Mensch gar nicht frei zu denken im Stande ist, macht uns die Evolutionsforschung ausschließlich zum Tier, darf der Mensch an Natur und Umwelt mit Hilfe von Gentechnik und „Geoengineering“ herumschrauben? Und was kann man eigentlich der Wissenschaft noch glauben, sie erzählt uns doch heute dies und morgen das, und die Wissenschaftler sind sich doch sowieso nie einig? Außerdem fälschen die schon mal ganz gerne Ergebnisse, dazu gibt es ja immer wieder Medienberichte.

All dies ist bedenklich, nicht nur, weil sich zunehmend weniger Jugendliche für Naturwissenschaften interessieren und diese vielleicht zu ihrem Berufsziel machen, sondern weil eben die generelle Akzeptanz von Naturwissenschaften dadurch zunehmend in Frage stehen könnte. Und gerade diese Akzeptanz ist notwendig, um durch Forschung zur Lösung der immensen Umweltproblematik beitragen zu können.

Akzeptanzprobleme sind auf vielfältigen Ebenen anzugehen. Der Paläontologie fällt hierbei eine wesentliche Rolle zu. Sie kann mehr als theoretische Befunde als Forschungsergebnisse vorweisen, so wichtig diese auch sind. Sie kann ihre wissenschaftlichen Ergebnisse nämlich ausgezeichnet belegen und tut dies in der Regel auch. Die Naturkundemuseen sind voller Fossilien, die auch für die Öffentlichkeit zugänglich sind. Heerscharen von Hobbysammlern sammeln weiter wissenschaftliche Belege in Form von Fossilien und versuchen, sie mit wissenschaftlichen Methoden selbst oder in Kooperation mit Wissenschaftlern zu interpretieren. Ist es nicht wirklich hervorragend, wie viel wir dank der Paläontologie aus längstvergangenen Zeiten wissen und auch belegen können? Weite Teile der Bevölkerung sowie die Medien sind an paläontologischen Ergebnissen sehr interessiert und vertrauen den Wissenschaftlern und ihren Forschungsergebnissen. Allerdings gilt es, dieses Vertrauen zu wahren und exemplarisch auszubauen, damit auch andere Bereiche, die sich weniger gut darstellen können, davon profitieren. So sollte die Zeit des Geschichtenerzählens vorbei sein. Deshalb sind Fernsehen, populärwissenschaftliche Bücher und Presseartikel allein für die Paläontologie zu wenig, die Authentifizierung ist bei diesen Formaten in der Regel nur eingeschränkt möglich. Ebenfalls wenig hilfreich ist es heute, Dinosaurier als Komplettrekonstruktionen in Plastik ins Museum zu stellen und die Originalbelege dazu wegzusperren. Das Publikum kennt bessere, zumindest realistischer erscheinende Rekonstruktionen aus den Medien. Kein Wunder, dass ein neu gegründeter Evolutionspark in Deutschland nicht den erwarteten großen Erfolg hat, denn er setzt überwiegend auf szenische Rekonstruktionen.

Authentisierung und Partizipation sind also in den Wissenschaften angesagt, das kann kaum einer besser als die Paläontologie. Neue Museumskonzepte, wie etwa am Museum für Naturkunde Berlin setzten auf Originale. Was ergänzt werden musste, ist als solches kenntlich gemacht. Rekonstruktionen sind aus der Ausstellung verbannt, (wie etwa der schon zur Ikone gewordene rekonstruierte *Allosaurus*-Kopf, der aus der Ausstellung „ausbricht“ und in die Empfangshalle ragt), oder in virtuelle Umgebungen verlagert. Nichts soll die Auralität und die Authentik der Originalobjekte verstellen. Die Ausstellungen selbst sind auch bewusst „unstrukturiert“ aufgebaut, so finden sich recht wenig Erklärungen, zumindest auf den ersten Blick (auf den zweiten sind diese skalierbar abrufbar), es gibt keine fest vorgegebenen Rundwege, im Gegenteil, man muss sich die Ausstellungen selbst „erforschen“ (Leinfelder 2009b, d). Auch andere Museen wenden diesen partizipativen Ansatz zunehmend an. Solche Konzepte bewähren sich, die Besucherzahlen sowie die lange Verweildauer von Besucher sprechen für sich. Vorwürfe wie das Fehlen von Daten oder gar Fälschungsvorwürfe verstummen, wenn die Originaldaten in Form von Fossilien und ganzen Original-Dinoskeletten derart ostentativ gezeigt werden.

Dieser Vorteil darf jedoch nicht verspielt werden. Tatsächlich erscheinen paläontologische Forschungsergebnisse immer wieder einmal überinterpretiert, etwa in der Bedeutung für die Evolutionsforschung. Diesen Vorwurf kann man, bei aller Faszination für das ausgezeichnete Stück sowie dessen wissenschaftlichen Qualität zum Beispiel der Publikationsgeschichte von *Darwinius masillae* machen (Leinfelder 2009c) Wichtig erscheint deshalb vor allem die Unterscheidung von gesichertem faktenbasierten Wissen, welches die Evolutionstheorie absichert und erweitert, sowie von hypothetischem, teils hochspekulativen Wissen, welches aber oft nicht als solches kenntlich gemacht wird.

Wichtig ist es ebenfalls, wissenschaftliche paläontologische Objekte nicht mit Schatzgräber- und Trutzburgmentalität zu verwalten. Die Öffnung der Archive von Naturkundemuseen ist angesagt, die weltweite Wissenschaftlergemeinschaft muss uneingeschränkt Zugang zu den Sammlungsschätzen haben. Die Zeiten müssen vorbei sein, in denen Fossilien auf zweifelhaften Wegen ihre Wege in die Archive finden und dort

wie ein Geheimnis gehütet werden, etwa weil sie ein Kollege spätestens im Ruhestand noch selbst erforschen möchte. Fossilien können für öffentlich bedienstete Wissenschaftler kein Privateigentum oder Quasi-Eigentum darstellen. Bedenklich sind auch Funde, die auf unergründlichen Wegen vorbei an Finanzbehörden und anderen Regularien aus ihren Ländern in andere verfrachtet werden. Ärger gab es hierbei etwa um den 10. Fund eines *Archaeopteryx* (Stockstad 2005, Leinfelder 2006), aber auch um *Darwinius* (Leinfelder 2009c), die beide ins Ausland gelangten. Nicht tolerierbar wäre aber auch, wenn Objekte aus dem Ausland nach Deutschland illegal eingeführt werden und dies alles angeblich nur der Wissenschaft wegen getan wird. Die Paläontologengemeinschaft sollte hier zusammenstehen und sich auch klar und distanziert gegenüber kommerziellen Fossiliensammlern verhalten. Gemeinsames Arbeiten zwischen Hobbysammlern und Wissenschaftlern ist erfreulich, dies hilft nicht nur der Wissenschaft direkt, sondern fördert auch die Freude an der paläontologischen Wissenschaft. Ganz anders ist es, professionellen Sammlern, die mit dem unersetzlichen und häufig durch Gesetze geschützten Kultur- und Wissenschaftsgut „Fossilien“ hervorragende Geschäfte machen, auch noch durch Expertisen und sonstige enge Kooperationen direkt zu unterstützen (Leinfelder et al. 2004). Dies passt nicht zu einer notwendigen Strategie der Öffnung, weiteren Internationalisierung und methodischen Modernisierung der Paläontologie.

Schlussbemerkungen

Kehren wir zum Schluss zurück zur Eingangsfrage: Hat die deutsche Paläontologie ein klares Profil, muss sie es entwickeln oder steht ein zu markantes Profil hochaktueller Forschung eher im Weg?

Meiner Ansicht nach erscheint die deutsche Paläontologie teilweise zu indifferent oder gar überängstlich. Manche blicken neidisch auf die Biologie oder auch auf die Klimaforschung - begründen lässt sich der Neid nicht wirklich. Es geht heute nicht darum, Pfründe zu verteidigen, denn keiner macht der Paläontologie ihre Bedeutung wirklich abspenstig. Die deutsche Paläontologie verfügt über ein weites Spektrum an Forschungsaktivitäten, auf die selbstbewusst geblickt werden kann, auch wenn viele davon tatsächlich nicht mehr ohne weiteres als klassische Paläontologie bezeichnet werden können. Nicht scheuen solle man sich aber vor der selbstbewussten Verwendung des Begriffs „Paläontologie“, also der „Lehre vom alten Sein“, welche sich auf alle Aspekte und Prozesse des Lebens sowie auf deren Relevanz für das Heute bezieht, genauso wie auch Politikwissenschaften den Bogen von früher zum heute spannen, um das heute und morgen zu verstehen. Sehr gering ist allerdings der Vernetzungsgrad der Paläontologie in Deutschland, in Europa und darüber hinaus. Hier sind die Biologie, aber auch die sonstigen Geowissenschaften weit voraus. Diese Vernetzung wäre stärker profilbildend als etwaige Abgrenzungsversuche.

Die Paläontologie war immer wieder der Pulsgeber der Naturwissenschaften. Nicolaus Steno war, als Begründer der Paläontologie im 17. Jahrhundert, seiner Zeit weit voraus. Der Paläontologe Leopold von Buch formulierte bereits vor Darwin kohärente evolutionäre Gedanken. Auch Charles Darwin wäre ohne sein geologisches und paläontologisches Wissen, welches insbesondere auf seinen Mentor und Freund Charles Lyell zurückging, wohl deutlich langsamer vorangekommen. Darwin bezeichnete sich ja auch selbst gerne als Geologe, was die Paläontologie mit einschloss. Paläontologischer Forschung haftete also schon immer ein progressives Element an. Andererseits waren es immer wieder gerade auch Paläontologen, die neue wissenschaftliche Erkenntnisse leugneten und Evolutionsskeptiker waren. So hielt der große Paläontologe George Cuvier überhaupt nichts von den evolutionären Überlegungen eines Jean-Baptiste Lamarck, obwohl Cuvier selbst hervorragende Ergebnisse zur späteren Untermauerung der Evolutionstheorie Darwins erarbeitete. Im Unterschied zum Biologen Ernst Haeckel lehnten viele deutsche Paläontologen die darwinsche Evolutionstheorie lange ab, so etwa der Münchner Paläontologe Andreas Wagner, der den 1. *Archaeopteryx*-Fund als darwinistische Propaganda abtat und den Urvogel als ungewöhnliches Reptil ansah (Wagner 1861). Noch 1950, also schon über 90 Jahre nach Erscheinen der „Origin of Species“ von Charles Darwin formulierte O.F. Schindewolf seine Typostrophentheorie (Schindewolf 1950), eine eigenwillige Evolutionstheorie, die im Widerspruch zu Darwins Theorie steht (Korn 2003).

Auch heute gilt es wieder, sich zwischen Zweifel an neuen wissenschaftlichen Befunden und Überinterpretation von Wissenschaft zu positionieren. Die Geowissenschaften tun gut daran, weder bei einer unauthorisierbaren „Siebenmeilenstiefel“-Forschung mitzuarbeiten, noch grundsätzliche Vorbehalte gegenüber alternativen Ansätzen, wie Molekularbiologie, Systembiologie und physikalisch-mathematischer Klimaforschung zu hegen, sondern sich konstruktiv einzubringen und auch umgekehrt Kompetenz und Kooperation anzubieten. Sehr vieles davon geschieht auch bereits, es gilt dies allerdings noch besser sichtbar zu machen.

Die Paläontologie hat sich in den letzten Jahren zunehmend modularisiert. Dies ist kein Schaden, sondern ein allgemeiner Zug der Naturwissenschaften. Andere Fächer haben damit keinerlei Probleme. Disziplinäre

Grenzen verschwinden häufig, die Forschungsprojekte sind stark fragenorientiert und basieren nicht mehr auf angehäuften, jedoch bis dato unbearbeiteten Objekten und Daten. Viele junge, aber auch ältere Paläontologen arbeiten heute selbstverständlich auch mit molekularen und geochemischen Methoden, wie auch umgekehrt molekular arbeitende Biologen und Geochemiker immer enger auch mit Paläontologen zusammenarbeiten. Die Vernetzung der Paläontologen und Geobiologen in die Umweltwissenschaften hinein ist ebenfalls als positiv anzusehen. Die klassische paläontologische Systematik und Taxonomie muss selbstverständlich ein starkes Modul bleiben, denn sie hat starken Service-Charakter für Evolutions-, Biodiversitäts- und sonstige Umweltforschung. Allerdings muss auch sie sich weiter öffnen. Gerade die Methodenvielfalt taxonomischen und phylogenetischen Arbeitens macht ihre Stärke aus. Und auch für die Taxonomie muss die Frage gestattet sein: warum mache ich gerade das, was ich hier untersuche, wem nützt es?

Integratives, ganzheitliches, auch quantitatives Arbeiten stellt die wesentliche, in Teilen jedoch bereits sehr gut angenommene Herausforderung für die Paläontologie dar. Qualitatives Wissen allein, etwa mit Aussagen, dass sich die Umwelt ja immer geändert hat, oder dass es bei Meeresspiegelanstieg zu Sauerstoffzehrung kommen kann, genügt heute nicht mehr. Gefragt ist, wie exakt sich derartige Änderungen quantifizieren sowie, ggf. auf der retrognostischen Methode aufbauend, genügend exakt vorhersagen lassen. Die Biologie zieht ihren Forschungsweg vom Gen zum Genom, von DNA-Expression zu EvoDevo, von Modellorganismen zum quantitativen Studium ganzer Ökosysteme. Die Paläontologie muss ähnliche Wege gehen. Palaeogenomics wird eine wichtige Bedeutung in der Paläontologie erlangen, aber auch datenbankbasiertes Arbeiten, insbesondere unter Benutzung von Sammlungen, muss stärker zunehmen. Internationale Plattformen und Infrastrukturen sollten hier umfassend ausgebaut werden. Isolierte Elfenbeintürmchen sind also durch ein Leuchtfeuer aus der ganzen Community einzutauschen.

Gerade in der Öffentlichkeitsarbeit hat die Paläontologie ganz besonders gute Karten. Um den Dinosaurierfaktor werden die Paläontologen von vielen anderen beneidet, auch wenn sich Paläontologen oft einmal wünschen würden, dass auch häufiger anderes aus ihrer Forschung im Vordergrund stehen möge. Um so besser, dass gerade in Deutschland die Dinosaurierforschung auch kräftig, innovativ und transdisziplinär mit modernsten Methoden weiter voran geht. Ob Dinos leicht Rückenschmerzen hatten, wie viel sie fressen mussten und warum sie es schafften, ihren langen Hals überhaupt zu halten, interessiert viele und findet oft sogar Einzug in Science oder Nature. Auch spektakuläre Neufunde in die Medien zu bringen, fällt nicht allzu schwer. Aber die Gemeinschaft sollte sich nicht darauf beschränken, sondern auch versuchen, Ergebnisse, welche für heutige Herausforderungen relevant sind, etwa zu Paläoklima, fossiler Ozeanversauerung oder Aussterben noch stärker öffentlich darzustellen. Die Trennung in durch Proben und Daten belegbares faktenbasiertes Wissen und hypothetischem Wissen muss dabei ebenfalls verbessert werden.

Ganz wesentlich erscheint mir, dass Geowissenschaftler, darunter insbesondere Paläontologen, besser als alle anderen Naturwissenschaftler ein „inniges“ Verhältnis zu Zeitskalen und Zeitdynamik aufweisen. Dies gilt es besser herauszuarbeiten, besser zu beforschen. Die Welt ist nicht statisch, sondern dynamisch, das wussten die Geowissenschaftler als erste. Die Bedeutung dieser Dynamik besser in den Griff zu bekommen, über Verzögerungs- und Kumulationseffekte, nichtlineare, exponentielle oder kaskadenartige Prozesse genauere Aussagen machen zu können, ist eine anstehende wesentliche Aufgabe. Eine höhere Zeitauflösung aller dynamischen Abläufe und Prozesse der Erdgeschichte zu erreichen und damit ein besseres Verständnis für die Elastizität bzw. Reaktivität komplexer Natursysteme zu erarbeiten, ist wohl die größte Herausforderung, aber auch die größte Chance für die Paläontologie der nächsten Jahrzehnte.

Postscriptum

Dieser Beitrag ist Herrn Prof. Dr. Helmut Keupp zum 60. Geburtstag gewidmet. Helmut Keupp ist ein herausragendes und vorbildliches Beispiel für einen vielfältig, und differenziert arbeitenden Paläontologen, der sich vor allem auf zwei Gebiete, nämlich der Erforschung kalkiger Dinoflagellaten sowie der Paläobiologie und Phylogenie von Ammoniten spezialisierte und dort die Forschung maßgeblich voran gebracht hat und weiter voran bringt. Er arbeitet jedoch noch weitaus breiter, darunter zur Evolutionsökologie von Schwämmen, den Bildungsbedingungen der Solnhofener Plattenkalke, der Sedimentbeckengeologie neogener Ablagerungen von Kreta sowie an vielen weiteren Themen, darunter auch neue methodische Fragestellungen. Er verbindet umfassende fachliche Expertise mit einem stets offenen Blick und fortwährender Bereitschaft für interdisziplinäres Arbeiten. Viele seiner Arbeiten, darunter insbesondere seine Beiträge zu fossilen und heutigen Schwämmen sowie die anhand von kalkigen Dinoflagellaten erarbeiteten Beiträge zur

Ozeanographie der Kreide, des Tertiärs und der modernen Ozeane haben hohe Relevanz auch für aktuelle Umweltfragestellungen.

Besonders gerne denkt der Autor, der wie Helmut Keupp übrigens ebenfalls in Augsburg geboren ist, an die gemeinsame Forschung in der Schwäbischen und Fränkischen Alb sowie an die fruchtbare generelle Zusammenarbeit in der Juragruppe des DFG-Schwerpunktprogramms Biogene Sedimentation – Evolution von Korallenriffen.

Bei der redaktionellen Bearbeitung dieses Beitrags ergab sich, dass nicht nur eine Arbeit, sondern sogar ein ganzes Heft bereits unter dem Namen „Quo Vadis Paläontologie?“ erschienen ist. Dieses Heft gab paläontologische Essays des Begründers des Instituts für Paläontologie der Freien Universität Berlin heraus. Herausgeber waren übrigens zwei Mitarbeiter von Helmut Keupp (Kohring & Schlüter 1997). Tatsächlich unabhängig voneinander wird hier also schon zum zweiten Mal die Paläontologie der Freien Universität mit einem Quo-Vadis-Paläontologie-Papier bedacht. Auch dies mag die große Bedeutung dieser paläontologischen Forschungsstätte noch einmal unterstreichen.

Literatur

- Alroy, J. (2009): Speciation and extinction in the fossil record of North American mammals.- In: Butlin, J. Bridle, J. & D. Schluter, D. (eds.): Speciation and Patterns of Diversity, 301-323, Cambridge University Press, Cambridge.
- Alroy, J., Aberhan, M., Bottjer, D.J., Foote, M., Fürsich, F.T., Harries, P.J., Hendy, A.J.W., Holland, S.M., Ivany, S.M., Kiessling, W., Kosnik, M.A., Marshall, C.R., McGowan, A.J., Miller, A.I., Olszewski, T.D., Patzkowsky, M.E., Peters, S.E., Villier, L., Wagner, P.J., Bonuso, N., Borkow, P.S., Brenneis, B., Clapham, M.E., Fall, L.M., Ferguson, C.A., Hanson, V.L. Krug, A.Z., Layou, K.M., Leckey, E.H., Nürnberg, S., Powers, C.M., Sessa, J.A., Simpson, C., Tomasovych, A. & Visaggi, C.C. (2008): Phanerozoic trends in the global diversity of marine invertebrates.- *Science*, **321**: 97-100.
- AMS Council (2009): Geoengineering the Climate System. A Policy Statement of the American Meteorological Society.- http://www.ametsoc.org/POLICY/2009geoengineeringclimate_amsstatement.html
- Chu, S. (2009): Carbon Capture and Sequestration.- *Science* (spec. Issue on CCS), September 2009) **325** (5948): 1599, doi: 10.1126/science.1181637
- Costanza, R., d'Arge, R., Degroot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., Oneill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & Vandenbelt, M. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**(6630): 253–260.
- Ehrenberg, C.G. (1845): Letter 837 - Ehrenberg, C.G. to Darwin, C.R., 13 Mar 1845.- Darwin Correspondance Project, <http://www.darwinproject.ac.uk/darwinletters/calendar/entry-837.html>
- Emeis, K.-C., Struck, U., Leipe, T. & Ferdelmann, T.G. (2009): Variability in upwelling intensity and nutrient regime in the coastal upwelling system offshore Namibia: results from sediment archives.- *International Journal of Earth Sciences*, **98**: 309-326.
- Fricke, H. (2007): Der Fisch der aus der Urzeit kam. Die Jagd nach dem Quastenflosser.- 301 p., C. H. Beck.
- Gorbushina, A.A., Kort, R., Schulte, A., Lazarus, D., Schmetzer, B., Brumsack, H.-J., Broughton, W.J. & Favet, J. (2007): Life in Darwin's dust: intercontinental transport and survival of microbes in the nineteenth century.- *Environmental Microbiology*, **9**(12): 2911–2922, doi:10.1111/j.1462-2920.2007.01461.x
- Hautmann, M., Benton, M.J. & Tomašových, A. (2008a): Catastrophic ocean acidification at the Triassic-Jurassic boundary.- *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, **249**: 19-127.
- Hautmann, M., Stiller, F., Huawei, C. & Sha Jingeng, S. (2008b): Extinction-Recovery Pattern of Level-Bottom Faunas Across the Triassic-Jurassic Boundary in Tibet: Implications for Potential Killing Mechanisms.- *Palaios*, **23**: 711-718. doi: 10.2110/palo.2008.p08-005r
- Heinemann, Pia (2008): Charles Darwin. Geniale Erkenntnisse aus Staub, Dreck und Sand, DIE WELT, 5.12.2008, <http://www.welt.de/wissenschaft/article2832945/Geniale-Erkenntnisse-aus-Staub-Dreck-und-Sand.html>
- Heiss, G. & Leinfelder, R.R. (2008): „Fünf vor Zwölf“ - Verschwinden die Riffe?- In: Leinfelder, R.R., Heiss, G. & Moldrzyk, U. (eds)(2008): „abgetaucht“. Begleitbuch zur Sonderausstellung zum Internationalen Jahr des Riffes 2008. pp. 182-197., Konradin-Verlag (Leinfelden-Echterdingen).

- Ivanova, D. & Keupp, H. (1999): Calcareous dinoflagellate cysts from the Late Jurassic and Early Cretaceous of the Western Forebalkan, Bulgaria.- Berliner geowiss. Abh., **E30**: 3-31.
- Isozaki, Y. (1997): Permo-Triassic Boundary Superanoxia and Stratified Superocean: Records from Lost Deep Sea.- Science, **276** (5310): 235-238. doi: 10.1126/science.276.5310.235
- Johnson, P. (chair) & steering committee members (2008): Final Report on Findings and Recommendations. OECD Global Science Forum Second Activity on Policy Issues Related to Scientific Research Collections, Washington DC, July 17-19, 2008. <http://www.oecd.org/dataoecd/7/58/42237442.pdf>
- Kerr, R.A. (2002): Deep Life in the Slow, Slow Lane.- Science, **296** (5570): 1056-1058, doi: 10.1126/science.296.5570.1056
- Keupp, H. (1978): Das kalkige Nannoplankton der "Roten Mergel" (Tithon-Basis) in der Südlichen Frankenalb und ein assemblage-Vergleich mit anderen Proben des oberen Weißjura.- Geol. Bl. NO-Bayern, **28**: 80-117.
- Keupp, H. (1992): Wachstumsstörungen bei *Pleuroceras* (Ammonoidea) durch Epökie.- Berliner geowiss. Abh., **E** : 113-119.
- Keupp, H. (1996): Paläopathologische Analyse einer Ammoniten-Vergesellschaftung aus der Mittleren Volga-Stufe des subpolaren Urals.- Fossilien, **1996** (1): 45-54.
- Keupp, H. (2006): Sublethal punctures in body chambers of Mesozoic ammonites (forma aegra fenestra n.f.), a tool to interpret synecological relationships, particularly predator-prey interactions.- Paläontol. Z., **80**: 112-123.
- Keupp, H. & Ilg, A. (1989): Die kalkigen Dinoflagellaten im Ober- Callovium und Oxfordium der Normandie/Frankreich.- Berl. geowiss. Abh., **A106**: 165-205.
- Keupp, H. & Ilg, A. (1992): Paläopathologische Interpretation der Ammoniten-Fauna des Ober-Callovium von Villers-sur-Mer/Normandie.- Berliner geowiss. Abh., **E3**: 171-189.
- Keupp, H. & Ilg, A. (1994): Paläopathologische Nachlese zur Ammonitenfauna aus dem Obercallovium der Normandie.- Berliner geowiss. Abh., **E13**: 321-327.
- Keupp, H., Koch, R. & Leinfelder, R.R. (1990): Steuerungsprozesse der Entwicklung von Oberjura-Spongolithen Süddeutschlands: Kenntnisstand, Probleme und Perspektiven.- Facies, **23**: 141-174, Erlangen.
- Kiessling, W. (2005): Long-term relationships between ecological stability and biodiversity in Phanerozoic reefs.- Nature, **433**: 410-413.
- Kiessling, W. (2008): Sampling-standardized expansion and collapse of reef building in the Phanerozoic.- Fossil Record, **11**: 7-18.
- Kiessling, W. & Aberhan, M. (2007): Geographical distribution and extinction risk: Lessons from Triassic-Jurassic marine benthic organisms. Journal of Biogeography, **34**: 1473-1489.
- Kiessling, W., Flügel, E. & Golonka, St. (eds.) (2002): Phanerozoic Reef Patterns.- SEPM Spec. Publ., **72**, 790 p., SEPM (Society for Sedimentary Geology), Tulsa.
- Kiessling, W. & Simpson, C. (2009): On the potential for ocean acidification to be a general cause of ancient reef crises.- Cincinnati Museum Center, Scientific Contributions, **3**: 316.
- Kohring, R. & Schlüter, Th. (Hrsg.)(1997): Quo vadis, Paläontologie? Paläontologische Essays von Walter Georg Kühne 1943-1990.- Documenta naturae, **113**: 1-127.
- Korn, D. (2003): Typrostrophism in Palaeozoic Ammonoids? - Paläontologische Zeitschrift, **77**: 445-470.
- Krautter, M., Conway, K.W., Barrie, J.V., & Neuweiler, F. (2001): Discovery of a "Living Dinosaur": Globally Unique Modern Hexactinellid Sponge Reefs off British Columbia, Canada.- Facies, **44**: 265-282.
- Kubodera, T., Koyama, Y. & Mori, K. (2007): Observations of wild hunting behaviour and bioluminescence of a large deep-sea, eight-armed squid, *Taningia danae*.- Proc. Royal Society B, **272**: 1029-1034; doi:10.1098/rspb.2006.0236
- Kunzig, R. (2008): Geoengineering: How to Cool Earth--At a Price.- Scientific American Magazine, Nov 2008. - <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=geoengineering-how-to-cool-earth>
- Leinfelder, R.R. (2001): Jurassic Reef Ecosystems.- In: Stanley, G.D.jr. (ed): The History and Sedimentology of Ancient Reef Systems, Topics in Geobiology Series, **17**: 251-309, Kluwer/Plenum Press, New York.

- Leinfelder, R.R. (2006): Archaeopteryx – the lost evidence.- *Science, Letters*, **312**: 197-198.
- Leinfelder, R.R. (2008a): Forschung für das Gedächtnis des Lebens.- *Süddeutsche Zeitung*, 15.5.2008
- Leinfelder, R.R. (2008b): Gastkommentar: Biodiversitätsforschung. Der größte Schatz ist noch nicht gehoben. Das vernetzte globale Gedächtnis des Lebens erlaubt die Erforschung der Dynamik der Biodiversität und damit auch Prognosen für die Zukunft.- *Leibniz-Journal*, **1/2008**.
- Leinfelder, R.R. (2008c): Die Evolution der Korallenriffe - und was uns die Jura-Riffe dazu verraten.- In: Leinfelder, R.R. et al. (eds): „abgetaucht“. Begleitbuch zur Sonderausstellung zum Internationalen Jahr des Riffes 2008. pp. 96-117, Konradin-Verlag (Leinfelden-Echterdingen).
- Leinfelder, R. (2009a): SciColl - Naturwissenschaftliche Sammlungen als globale Infrastruktur.- <http://achdulieberdarwin.blogspot.com/2009/09/scicoll-naturwissenschaftliche.html>
- Leinfelder, R.R. (2009b): „Evolution in Aktion“ - Ein Beispiel für neue Wege der Wissensvermittlung an Forschungsmuseen.- In: *Wissenschaftskommunikation - Perspektiven der Ausbildung - Lernen im Museum*. Dritte Tagung der Wissenschaftsmuseen im deutsch-französischen Dialog. Berlin, 14. bis 16. Oktober 2007. Herausgegeben von ICOM Deutschland, ICOM Frankreich und dem Deutschen Technikmuseum Berlin. Mit einem Vorwort von Bernhard Graf und Thomas Schneider, 166 S.
- Leinfelder, R.R. (2009c): Ach Du lieber Darwinus! Wo kommst Du denn her? <http://achdulieberdarwin.blogspot.com/2009/06/ach-du-lieber-darwinus-wo-kommst-du.html>
- Leinfelder, R.R. (2009d): Wie kann Wissenschaft für die Öffentlichkeit attraktiv gestaltet werden? Ein Vorgehen mit allen Sinnen am Beispiel des Museums für Naturkunde Berlin.- In: Hanft, A. & Knust, M. (eds): *Weiterbildung im Elfenbeinturm!?*, S. 106-112, Münster, New York, München, Berlin (Waxmann).
- Leinfelder, R.R. & Keupp, H. (1995): Upper Jurassic mudmounds: Allochthonous sedimentation versus autochthonous carbonate production.- In: Neuweiler, F. & Reitner, J. (coord.): *Mudmounds: A polygenetic spectrum of fine-grained carbonate buildups*.- *Facies*, **32**: 17-26, Erlangen.
- Leinfelder, R.R., Krautter, M., Laternser, R., Nose, M., Schmid, D.U., Schweigert, G., Werner, W., Keupp, H., Brugger, F.-H., Herrmann, R., Rehfeld-Kiefer, U., Schroeder, J.H., Reinhold, C., Koch, R., Zeiss, A., Schweizer, V., Christmann, H., Menges, G. & Luterbacher, H.-P. (1994): The origin of Jurassic reefs. Current research developments and results (ed. & coord. Leinfelder, R.R).- *Facies*, **31**: 1-56.
- Leinfelder, R.R., Krautter, M., Nose, M., Ramalho, M.M. & Werner, W. (1993): Siliceous sponge facies from the Upper Jurassic of Portugal.- *N.Jahrb. Geol. Paläont., Abh.*, **189**: 199-254.
- Leinfelder, R.R., Schlagintweit, F., Werner, W., Ebli, O., Nose, M., Schmid, D.U. & Hughes, G.W. (2005): Significance of stromatoporoids in Jurassic reefs and carbonate platforms. Concepts and implications.- *Facies*, **51**: 287-325.
- Leinfelder, R.R., Schmid, D.U., Nose, M. & Werner, W. (2002): Jurassic reef patterns - The expression of a changing globe.- In Flügel, E. et al. (eds): *Phanerozoic Reef Patterns*, SEPM Sp.P., **72**: 465-520, Tulsa.
- Leinfelder, R.R. & Seyfried, H. (1993): Sea level change - a philosophical approach.- *Geologische Rundschau*, **82**: 159-172.
- Leinfelder, R.R., Wuttke, M. & Kunkel, A. (2004): Fossilien – das Weltkulturerbe schlechthin.- *Mineralientage München, Messethemenheft 2004*: pp. 150-153, München.
- Martinez, M.L., Intralawana, A., Vázquez, G., Pérez-maqueo, O., Sutton, P. & Landgrave, R. (2007): The Coasts of our World: Ecological, Economic and Social Importance.- *Ecological Economics*, **63**: 254-272.
- Nose, M. & Leinfelder, R.R. (1997): Upper Jurassic coral communities within siliciclastic settings (Lusitanian Basin, Portugal): Implications for symbiotic and nutrient strategies.- *Proc. 8th Int. Coral Reef Symp.*, **2**: 1755-1760, Panama City.
- Payne, J. L. & Finnegan, S. (2007): The effect of geographic range on extinction risk during background and mass extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **104**: 10506-10511.
- Peters, S.E. (2008): Environmental determinants of extinction selectivity in the fossil record. *Nature*, **454**: 626-629.
- Peters, S.E. & Ausich, W.I. (2008): A sampling-adjusted macroevolutionary history for Ordovician-Early Silurian crinoids.- *Paleobiology*, **34**: 104-116.

- Pujol, F., Berner, Z. & Stüben, D. (2006): Palaeoenvironmental changes at the Frasnian/Famennian boundary in key European sections: Chemostratigraphic constraints.- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **240**: 120-145, Evolution of the System Earth in the Late Palaeozoic: Clues from Sedimentary Geochemistry, doi:10.1016/j.palaeo.2006.03.055
- Reitner, J. & Keupp, H. (1991): The fossil record of the haplosclerid excavating sponge *Aka de Laubenfels*.- in: Reitner, J. & Keupp, H. (eds.): *Fossil and Recent Sponges*: 102-120; Berlin-New York-Heidelberg (Springer-Verlag)
- Riquier, L., Averbuch, O., Tribouvillard, N., Albani, A.E., Lazreq, N. & Chakiri, S. (2007): Environmental changes at the Frasnian–Famennian boundary in Central Morocco (Northern Gondwana): integrated rock-magnetic and geochemical studies. Geological Society, London, Special Publications, **278**: 197-217; doi: 10.1144/SP278.9
- Robock, A. (2008): 20 reasons why geoengineering may be a bad idea.- *Bulletin of the Atomic Scientist*, **64**: p. 14-18, doi: 10.2968/064002006.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F.S. III, Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., Wit, C.A. de, Hughes, T., Leeuw, S. van der, Rodhe H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.F., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. & Foley, J.A. (2009a): A safe operating space for humanity.- *Nature*, **461**: 472-475.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F.S. III, Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., Wit, C.A. de, Hughes, T., Leeuw, S. van der, Rodhe H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.F., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. & Foley, J.A. (2009b): Planetary Boundaries: Exploring the safe operating space for humanity.- *Ecology and Society*, In Press, online unter <http://tinyurl.com/planetary-boundaries-long>
- Schellnhuber, H.-J., Messner, D., Leggewie, C., Leinfelder, R.R., Nakicenovic, N., Rahmstorf, S., Schlacke, S., Schmid, J. & Schubert, R. (2009): Kassensturz für den Weltklimavertrag.- *Sondergutachten*, 58 S., Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung, Globale Umweltveränderungen (WBGU), Berlin.
- Schindewolf, O. H. (1950): *Grundfragen der Paläontologie. Geologische Zeitmessung, Organische Stammesentwicklung, Biologische Systematik*.- Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Shubin, N. (2008): *Der Fisch in uns: Eine Reise durch die 3,5 Milliarden Jahre alte Geschichte unseres Körpers*.- 282 S., S. Fischer
- Stockstad, E. (2005): Best Archaeopteryx Fossil So Far Ruffles a Few Feathers.- *Science*, **310** (5753): 1418-1419, doi: 10.1126/science.310.5753.1418
- Struck, U. (2007): Isotopes as an early-warning system.- In: Glaubrecht, M. et al. (eds.): *Evolution in Action*. Prestel, Berlin, p: 93.
- Tomasovych, A. & Siblik, M. (2007): Evaluating compositional turnover of brachiopod communities during the end-Triassic mass extinction (Northern Calcareous Alps): removal of dominant groups, recovery and community reassembly.- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **244**: 170-200.
- Villier, L. & Korn, D. (2004): Morphological disparity of ammonoids and the mark of Permian mass extinctions.- *Science*, **306**: 264-266.
- Wagner, A. (1861): "On a new reptile, supposedly furnished with feathers", *Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften*, vol. **2**, Heft II.
- Wagner, P.J., Aberhan, M., Hendy, A. & Kiessling, W. (2007): The effects of taxonomic standardization on occurrence-based estimates of diversity.- *Proceedings of the Royal Society of London B. Biological Sciences*, **274**: 439-444.
- Wall, P.D., Ivany, L.C., & Wilkinson, B.H. (2009): Revisiting Raup: Exploring the influence of outcrop area on diversity in light of modern sample-standardization techniques.- *Paleobiology*, **35**: 146-167.
- Ward, P.D., Haggart, J.W., Carter, E.S., Wilbur, D., Tipper, H.W. & Evans, T. (2001): Sudden Productivity Collapse Associated with the Triassic-Jurassic Boundary Mass Extinction.- *Science*, **292** (5519): 1148-1151, doi: 10.1126/science.1058574
- Weidlich, O., Kiessling, W. & Flügel, E. (2003): The Permian-Triassic boundary interval as a model for forcing marine ecosystem collapse by long-term atmospheric oxygen drop.- *Geology*, **31**: 961-964.

