

Winzige Boten der Kreide-Katastrophe: Foraminiferen

Bettina Schenk & Christian Koeberl

An einem zunächst ganz normalen Tag vor 65 Millionen Jahren sollte sich die Welt für immer verändern. Von einem Augenblick zum anderen brach ein globales Inferno herein. Ein kohlig-chondritischer Asteroid von schätzungsweise 10 km Durchmesser war auf Kollisionskurs mit der Erde (Bottke et al. 2007). Innerhalb von Sekunden durchdrang er die Atmosphäre und schlug mit der Sprengkraft von einer Milliarde Megatonnen TNT im Golf von Mexiko ein (Abb. 1). Eine Sekunde nach dem Aufprall war der Asteroid bereits verdampft. Der Feuerball, der dabei entstand, hatte in seinem Inneren eine Temperatur um 10.000°C und vernichtete im Umkreis von 1000 km sämtliches Leben. Noch in 2500 km Entfernung zerstörte die nachfolgende Druckwelle die Landschaft und tötete größere Tiere (Kring 1997).

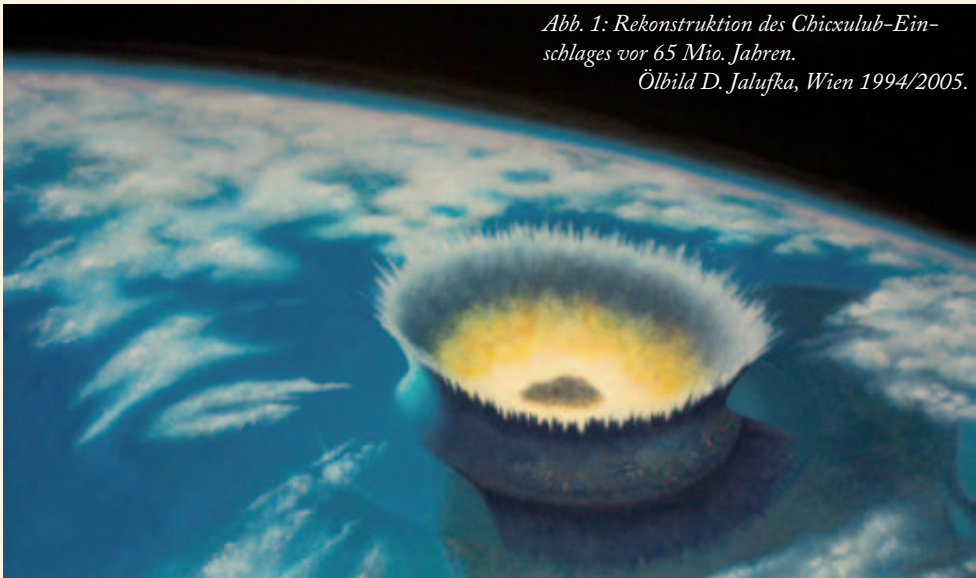


Abb. 1: Rekonstruktion des Chicxulub-Einschlages vor 65 Mio. Jahren.

Ölbild D. Jaluška, Wien 1994/2005.

Das Impakt-Szenario

Schockwellen mit unvorstellbar hohem Druck im Bereich von Millionen Bar breiteten sich mit enormer Geschwindigkeit um den Einschlagskrater herum aus und veränderten sogar die Kristallstruktur der gesteinsbildenden Minerale (Koeberl 2007). Die Gesteine enthielten große Mengen an Kohlenstoff und Schwefel. Diese wurden durch den Schockeinfluss gasförmig als Kohlendioxid und Schwefeldi- und -trioxid freigesetzt und reicherten sich in der Atmosphäre an. Gleichzeitig liefen Erdbebenwellen mit

Stärken von 11 bis 12 auf der Richterskala rund um den Globus. Tsunamis von hundert Metern Höhe verwüsteten die kreidezeitlichen Küsten bis weit ins Landesinnere (Kring 2007). Die glühenden Gesteinsbrocken, die beim Aufprall weit emporgeschleudert worden waren, fielen nun wieder auf die Erde zurück. Noch tausende Kilometer vom Einschlagsort entfernt setzten sie Wälder in Brand.

Die sich ausbreitende Wolke aus Gasen und Staub blockierte das Sonnenlicht, umhüllte bald den ganzen Globus, und eine lange

und kalte, fast zwei Jahre andauernde Nacht brach an. Die Schwefelgase wurden als saurer Regen langsam wieder aus der Atmosphäre gewaschen. Durch den Ausfall des Sonnenlichts stagnierte die Photosynthese der Pflanzen, und die Nahrungsketten brachen teilweise völlig zusammen (Maruoka et al. 2007). Doch damit noch nicht genug. Nach dem langen, dunklen, kalten, globalen Winter heizte sich die Erdatmosphäre durch die gewaltige Menge an Kohlendioxid in der Atmosphäre wieder auf. Dieser Treibhauseffekt war noch viel intensiver und schneller als der heute zu beobachtende. Innerhalb weniger tausend Jahre starben unzählige Tier- und Pflanzenarten aus. Diese hatten vielleicht zunächst noch die Dunkelheit und Kälte verkraftet, aber den neuerlichen Wechsel überlebten sie nicht. Unter ihnen waren auch die wohl bekanntesten Vertreter der kreidezeitlichen Fauna, die Dinosaurier (allerdings abgesehen von den Vögeln). Doch um diese soll es hier nicht gehen, sondern um viel kleinere und unscheinbarere, aber dennoch un-gemein wichtige Vertreter des Tierreichs: die Foraminiferen.

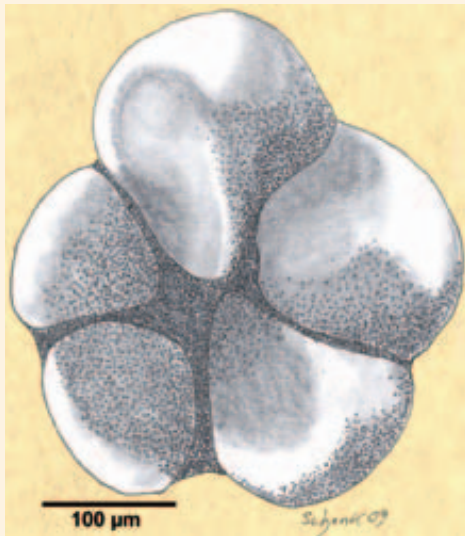


Abb. 2: Leitfossil am Ende der Kreide: Die Foraminifere *Abathomphalus mayaroensis*.

Zeichnung: B. Schenk.

Was sind Foraminiferen?

Foraminiferen (= Lochschalen-träger) sind einzellige Tiere, die fast ausschließlich im Meer leben. Vom Strand bis in die Tiefsee kann man sie finden. Bis auf ein paar wenige Ausnahmen entwickeln alle Arten

ein Gehäuse, sei es aus Kalk, aus Chitin oder aus unterschiedlichsten Materialien zusammengeklebt (agglutiniert). Durch diese fossil erhaltungsfähigen Gehäuse weiß man, dass Foraminiferen seit dem Kambrium vorkommen. Ihre Größe schwankt von wenigen tausendstel Millimetern bis zu einigen Zentimetern.

Schon im 18. Jahrhundert, als Mikroskope eine größere Verbreitung fanden, wurden einige Arten erstmalig beschrieben und klassifiziert, zum Beispiel 1758 vom schwedischen Naturforscher Carl von Linné. 1846 zählte der französische Paläontologe Alcide d'Orbigny 68 moderne Foraminiferen-Gattungen und schätzte, dass es 1000 Arten gäbe. 1987 wurden in einer großen Monografie von Alfred R. Loeblich und Helen Tappan bereits 878 moderne Gattungen beschrieben (Sen Gupta 1999). Die Anzahl der heute lebenden Foraminiferen-Arten wird auf ungefähr 10.000 geschätzt (Vickermann 1992). Die überwältigende Mehrheit davon ist benthisch, das heißt, sie leben auf oder im Sediment, sind beweglich oder festgeheftet. Von den im Meereswasser frei schwebenden, sogenannten planktonischen Foraminiferen, gibt es nur etwa 40-50 Arten (Sen Gupta 1999).

Nicht auf die Größe kommt es an

Mikrofossilien sind für Wissenschaftler im Hinblick auf bestimmte Fragestellungen oftmals viel wichtiger als große Skelette. Vor allem findet man sie wesentlich häufiger. In einem Kubikmeter Sediment kann ein einziger *Tyrannosaurus*-Zahn stecken oder aber Milliarden von Foraminiferen. Was nun wissenschaftlich statistisch aussagekräftiger ist, sollte auf der Hand liegen.

Foraminiferen eignen sich wunderbar, um ein Fenster in die erdgeschichtliche Vergangenheit aufzustoßen. Die Zusammensetzung einer fossilen Artengemeinschaft kann die damaligen Umweltbedingungen unter Wasser erhellen. Die ökologischen Haupteffektoren solcher Lebensgemeinschaften im marinen Umfeld sind Wassertiefe, Salzgehalt, Temperatur, Wasserbewegung, Sauerstoffgehalt und Nährstoffverfügbarkeit. Eine hohe Artenzahl, die charakteristisch für Nahrungsreichtum ist, zeigt die Quantität und Qualität der einstigen Nahrungsnetze in den Meeren. Nicht alle Foraminiferen-Arten sind dazu allerdings gleich gut geeignet. Mit Hilfe der stabilen Isotope von



Kohlenstoff und Sauerstoff lassen sich bei manchen Arten die damals herrschenden Wassertemperaturen bestimmen. Die Foraminiferen befinden sich im Gleichgewicht mit dem sie umgebenden Wasser. Sie bauen deswegen ein bestimmtes Sauerstoff- und Kohlenstoffverhältnis ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ bzw. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) in ihre Kalkschalen ein, das mit einem Massenspektrometer gemessen werden kann. Daraus können dann die Paläotemperaturen berechnet werden (Etter 1994).

Zeitbestimmung und Aussterben

Warum nun dieser große Bogen vom Meteoriteneinschlag hin zu den Foraminiferen? Wie schon eingangs erwähnt, haben viele Pflanzen- und Tierarten den Sprung ins Paläogen (= Alttertiär) nicht geschafft, da sie sich den abrupt wechselnden Umweltbedingungen nicht schnell genug anpassen konnten. Etwa 2/3 aller Tierarten und jedes größere Landtier (ca. über 25 kg Körpergewicht) starben aus. Unter Wissenschaftlern gibt es allerdings Kontroversen darüber, ob der Impakt direkt für das Aussterben verantwortlich war. Einige behaupten auch, dass der Einschlag bereits vor der eigentlichen Kreide-Paläogen-Grenze stattgefunden habe – die Zahlen schwanken von 300.000 bis 800 Jahre vorher. War es ein wirkliches Massensterben, oder erfolgte das Aussterben schrittweise? War der Meteoriteneinschlag in dem Fall sozusagen nur der Schubs über die Kante, oder sind einige Arten schon vorher verschwunden? Und waren die ökologischen Folgen des Einschlags auf der ganzen Erde überall dieselben? Eine umfassende Antwort, die alle zufriedenstellt, kann bis jetzt nicht gegeben werden.

Doch auch hier können Foraminiferen unschätzbare Dienste leisten. Da sie in den meisten marinen Sedimenten unterhalb und oberhalb des Grenztones, der in vielen Profilen den Übergang vom Meso- ins Känozoikum markiert, vorkommen, werden mit ihrer Hilfe die einzelnen stratigraphischen Zonen definiert. Für das Ende der Kreide ist die Art *Abathomphalus mayaroensis* (Abb. 2) typisch, im anschließenden Paläogen die Art *Parvularugoglobigerina eugubina* (Abb. 3). Nun weiß der Mikropaläontologe präzise, in welcher Schicht und Zeit er sich befindet, und kann anschließend ökologische Rekonstruktionen erstellen.

In Mexiko kam es an der Kreide-Paläogen-Grenze zu einem Massenaussterben von

planktonischen Foraminiferen. Bei den benthischen Arten hingegen trat kein Aussterbeereignis ein, dafür änderte sich die Zusammensetzung der Vergesellschaftungen am Meeresgrund. Auffällig ist, dass diejenigen Arten, die in den obersten Millimetern des Sediments leben, drastisch abnehmen. Höchstwahrscheinlich ist der Zusammenbruch der Primärproduktion nach dem Impaktereignis dafür verantwortlich (Alegret et al. 2002). Auch in Spanien fanden Mo-

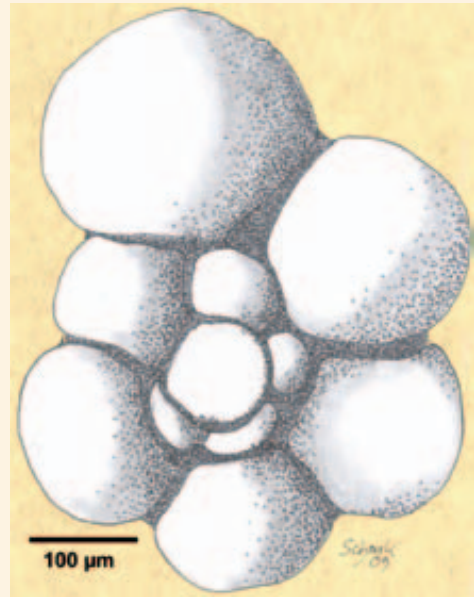
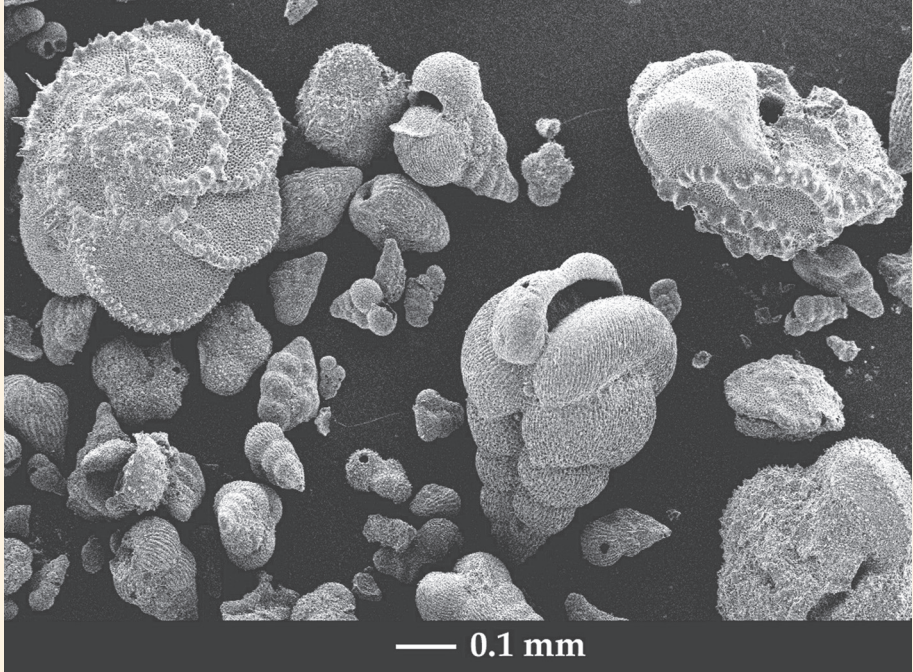


Abb. 3: Leitfossil am Anfang des Paläogen: Die Foraminifere *Parvularugoglobigerina eugubina*.
Zeichnung B. Schenk.

lina et al. (1996) Hinweise auf ein plötzliches Massensterben von planktonischen Foraminiferen. 47 Arten starben direkt an der Kreide-Paläogen-Grenze aus, aber erstaunlicherweise überlebten 16 Arten bis weit in das Tertiär hinein. Interessanterweise verschwanden vor allem die großen tropischen bis subtropischen Formen, die in den mittleren bis tiefen Wasserbereichen vorkamen. Überlebt haben hauptsächlich kleine, einfach gestaltete Formen mit kosmopolitischer Verbreitung.

Im japanischen Meer lässt sich eine Tiefenabhängigkeit der Arten, die ausgestorben sind, feststellen. Ab einer Wassertiefe von ca. 150 m überlebten rund 90 % der kalkschaligen Foraminiferen; in den oberen Wasserschichten hingegen verschwanden rund 80 %. Auch dies lässt sich mit den Auswirkungen des

Abb. 4: Typische Foraminiferen vor dem Impakt. Foto: Smithsonian Institution.



Impaktereignisses erklären (Kaiho 1992). In Neuseeland reagierten die benthischen ebenso wie die planktonischen Foraminiferen auf den Impakt mit einer Verzweigung (Abb. 4-5). In den Sedimenten über dem Grenzton übertrifft die Zahl der benthischen Arten die der planktonischen um das zehnfache. Epifaunale Foraminiferen, also die Arten, die auf dem Sediment leben, dominieren die Artgemeinschaften (Strong 2000). Auch dies sind wieder Auswirkungen

des Einschlags, der auf der gegenüberliegenden Seite der Erde stattgefunden hat.

Was bewirkte der Impakt?

Wie man unschwer erkennen kann, folgten dem Impakt weltweite, teilweise dramatische Veränderungen. Mikroorganismen in den unterschiedlichsten marinen Lebensräumen reagierten darauf. Teils verschwanden sie, teils wurden sie kleiner, und nur zu einem geringen Bruchteil veränderten sie sich gar nicht.

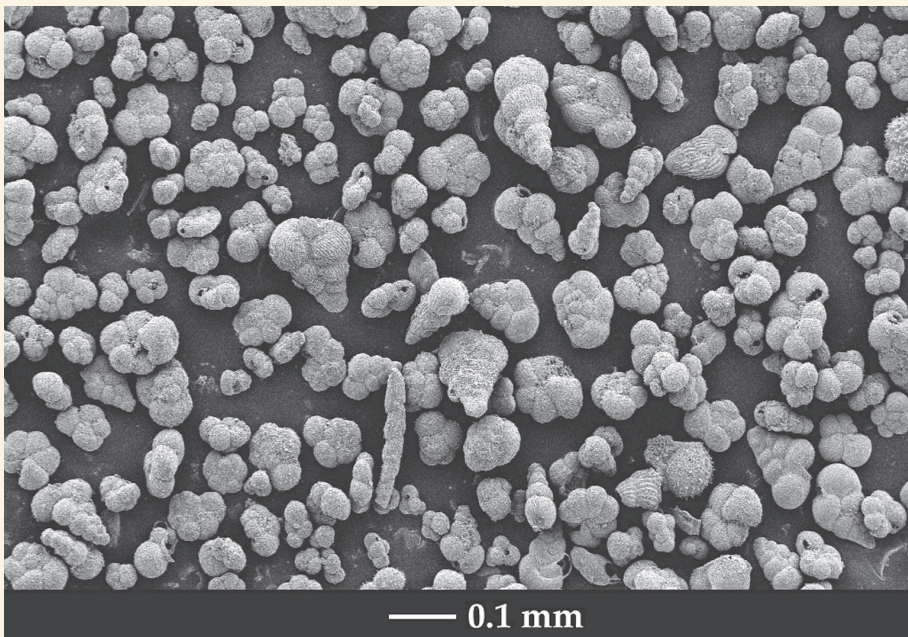


Abb. 5: Typische Foraminiferen nach dem Impakt. Foto: Smithsonian Institution.



Allerdings stellt sich dann doch die Frage, inwieweit dies alles verallgemeinert werden darf. Ist es denn überhaupt wissenschaftlich statthaft, die Auswirkungen des Einschlags zu globalisieren? Waren die jeweiligen ökologischen Folgen nach dem Impact im Pazifik, Atlantik, der Tethys und im Indischen Ozean überall dieselben? Die Tatsache, dass Meteoriten- oder Kometeneinschläge massive Umwälzungen des (Paläo)Ökosystems und des (Paläo)Klimas bewirken können, dringt langsam ins allgemeine Bewusstsein vor. Der Asteroideneinschlag im Golf von Mexiko an der Kreide-Paläogen-Grenze hat nachweislich die geologischen Gegebenheiten und die biologische Evolution beeinflusst und auch zu gravierenden Klimaänderungen geführt. Ebenso elementar und wichtig ist das Verständnis der biologischen bzw. ökologischen Reaktionen auf solche extraterrestrischen Ereignisse. All dies, in einen globalen Kontext eingebunden, zeigt weltweite Gemeinsamkeiten, aber auch regionale Unterschiede. Ein neues Projekt an der Universität Wien bietet die Gelegenheit, diese grundlegenden Fragen durch den Einsatz neuer Daten zu beantworten. Ziel ist es, mineralogische und paläontologische Datensätze mit einer Vielzahl analytischer Methoden zu vervollständigen und die Ergebnisse dann in einer neuen, ganzheitlichen Art und Weise zu interpretieren. So soll aus vielen Puzzleteilchen ein großes Gesamtbild entstehen. Es mögen zwar noch viele Teilchen fehlen, aber das Grundbild eines großen Impakts am Ende der Kreide ist deutlich zu erkennen.

Literatur

- Alegret, L., I. Arenillas, J. A. Arz & Z. Molina (2002): Environmental changes triggered by the K/T impact event at Coxquihui (Mexico) based on foraminifera. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.* 2002: 295-309.
- Bottke, W.F., D. Vokrouhlický & D. Nesvorný (2007): An asteroid breakup 160 Myr ago as the probable source of the K/T impactor. *Nature* 449 (7158): 48-53.
- Etter, W. (1994): *Paläoökologie: eine methodische Einführung*. Birkhäuser-Verlag, Basel.
- Kaiho, K. (1992): A low extinction rate of intermediate-water benthic foraminifera at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Marine Micropaleont.* 18: 229-259.
- Koerberl, C. (2007): Massensterben und Impaktereignisse in der Erdgeschichte: Ein kurzer Überblick. *Denisia* 20 = *Katal. Oberösterreich. Landesmus.*, n. S. 66: 97-114.
- Kring, D. A. (1997): Air blast produced by the Meteor Crater impact event and a reconstruction of the affected environment. *Meteor. & Planet. Sci.* 32: 517-530.
- Kring, D. A. (2007): The Chicxulub impact event and its environmental consequences at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 255: 4-21.
- Maruoka, T., Ch. Koerberl & B. F. Bohor (2007): Carbon isotopic compositions of organic matter across continental Cretaceous-Tertiary (K-T) boundary sections: Implications for paleoenvironment after the K-T impact event. *Earth Planet. Sci. Lett.* 253: 226-238.
- Molina, E., I. Arenillas & J. A. Arz (1996): The Cretaceous/Tertiary boundary mass extinction in planktic foraminifera at Agost, Spain. *Rev. Micropaleont.* 39 (3): 225-243.
- Sen Gupta, B. K. (1999): *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Strong, C.P. (2000): Cretaceous-Tertiary foraminiferal succession at Flaxbourne River, Marlborough, New Zealand. *New Zealand J. Geol. Geophys.* 43: 1-20
- Vickermann, K. (1992): The diversity and ecological significance of Protozoa. *Biodiversity & Conservation* 1: 334-341.

Schenk, B. & C. Koerberl: Foraminifera as witnesses of the Cretaceous disaster

65 million years ago, an asteroid with about 10 km in diameter collided with the earth and changed the world forever. A high number of plants and animals became extinct. There are many questions on behalf of this extinction event. Foraminifera can be very helpful in answering some of these questions, as they can be found in many marine sediments below and above the layer that marks the Cretaceous-Tertiary boundary. The occurrence of certain foraminifera species in these sediments is studied worldwide. In Mexico, just like in Spain, many planktonic foraminifera became extinct. In Japan, around 80% of the foraminifera from the upper water layer disappeared, while 90% of the foraminifera living in a depth of 150 m and deeper survived. Benthic and planktonic foraminifera from New Zealand reacted with dwarfing. Summing this up, it can be said that the reaction of the foraminifera was highly diverse. The goal of a new research project at the University of Vienna is to bring these results, together with many other results, into a global context, to form a big picture.



Mitglieder der Paläontologischen Gesellschaft berichten aus Forschung und Wissenschaft. Der 1912 in Greifswald gegründeten Paläontologischen Gesellschaft gehören heute mehr als 1000 Paläontologen, Geologen, Biologen, Ur- und Frühgeschichtler, aber auch zahlreiche Hobbypaläontologen an.

Seit 1984 wurde bereits 21-mal die Karl-Alfred-von-Zittel-Medaille der Gesellschaft an verdiente Hobbypaläontologen verliehen.

www.palaeontologische-gesellschaft.de • www.palges.de

Spezielle Fragen zu Fossilien, regionaler Geologie und Paläontologie werden von kompetenten Ansprechpartnern aus der Paläontologischen Gesellschaft beantwortet unter:

www.palaeontologische-gesellschaft.de/palges/kontakt/frag.html