

Die Anfänge der heutigen Tierwelt: Forschung im Unterkambrium von Südchina

Helmut Keupp, Michael Steiner & Angela Forchielli

Von Sedimentgesteinen wissen wir, dass seit mindestens 3,8 Milliarden Jahren Leben auf der Erde existiert. Die frühesten Lebensformen standen ausschließlich auf der Organisationsstufe von Bakterien. Selbst nachdem die Photosyntheseaktivität bestimmter Bakteriengruppen, vor allem der Cyanobakterien, durch die allmähliche Anreicherung von atmosphärischem Sauerstoff vor etwa 2,4 Milliarden Jahren die Voraussetzung für höheres (eucaryotisches) Leben geschaffen hatten, gab es im Präkambrium, abgesehen von einigen höheren Algen und Pilzen, im Wesentlichen nur Einzeller. Erst im ausgehenden Präkambrium, dem Ediacarium, vor ca. 600 Millionen Jahren, treten mit den „Vendobionten“ die ersten Vielzeller auf, deren Zuordnung zu modernen Lebensformen jedoch umstritten ist (Seilacher 1988, Buss & Seilacher 1994). Der Ursprung der heutigen vielzelligen Tiere scheint an der Basis des Kambriums (vor 542 Millionen Jahren) zu liegen und markiert den Beginn des Phanerozoikums. Der Beginn des Kambriums wird durch zwei revolutionäre, weltweit fast gleichzeitige Phänomene definiert, dem Auftreten von Spurenfossilien, die das Sediment erstmals tiefgreifend durchwühlen, und die ersten Massenvorkommen von primär überwiegend kalkigen Schälchen und Skelettresten unterschiedlichster Organismen („Small Shelly“-Fauna).

Paläontologie aktuell

Im Rahmen einer von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützten Zusammenarbeit zwischen der Freien Universität Berlin und der Academia Sinica Nanjing sowie dem Geologischen Dienst von Yunnan befassen wir uns mit den Umweltbedingungen zu Beginn des Kambriums, die dafür verantwortlich waren, dass die rasante Entfaltung der modernen, vielzelligen Lebewesen in den Sedimenten bestens dokumentiert wurde.

Sedimentologische Ausnahmebedingungen geben uns fensterartige Einblicke in den Start der modernen Vielzeller. Dabei kam es bei weitgehendem Sauerstoffmangel am damaligen Meeresboden zeitlich und örtlich zu einer überdurchschnittlich guten Fossilüberlieferung („Fossilagerstätten“). Unter diesen günstigen Bedingungen konnten selbst Weichkörperreste fossil überliefert werden. Im Unterkambrium sind vor allem zwei Typen von Fossilagerstätten von Interesse.

Orsten-Faunen und Chengjiang-Biota

Neben dem sogenannten „Orsten-Typ“, einer Phosphat-Erhaltung von Fossilien überwiegend im Millimeter-Bereich („Small Shellys“, Arthropoden mit Körperanhängen, Eier und Embryonen von Metazoen) stehen die „Chengjiang-Biota“ im Vordergrund des wissenschaftlichen Interesses.

Beim Orsten-Typ (nach einem oberkambrischen Vorkommen in Schweden benannt) sind kalkige und organische Skelette durch Kalziumphosphat (Apatit) ersetzt. Weichkörperliche Gewebe meist kleinwüchsiger Organismen und dünne Arthropoden-Kutikeln wurden phosphatisch imprägniert und detailgetreu dreidimensional überliefert. Da Apatit säureresistent ist, können die meist winzigen Fossilreste mit Hilfe von Essigsäure schonend aus dem Kalkstein herausgelöst werden. Neben den „Small Shellys“, die man übrigens auch im Unterkambrium von Görlitz im Osten Sachsens gefunden





Klassische Fundpunkte der Chengjiang-Biota im Raum Kunming, Provinz Yunnan.

hat, erregen in Südchina vor allem die Eier und Embryonen unterschiedlicher Entwicklungsstadien von Vielzellern besonderes Interesse. Ihr Vorkommen konzentriert sich dort auf Kalksteine im Bereich der Präkambrium-Kambrium-Grenze, in denen häufig sedimentäre Phosphorit-Lagerstätten ausgebildet sind.

Der Burgess-Schiefer-Typ, hier repräsentiert durch die „Chengjiang-Biota“, ist durch eine flachgedrückte Erhaltung vollständiger Organismen einschließlich der Überlieferung von Weichkörper-Elementen und noch zusammenhängenden Gliedmaßen gekennzeichnet. In dieser erdgeschichtlich ältesten Konservat-Fossilagerstätte sind – ähnlich wie im etwas jüngeren, mittelkambrischen Burgess-Schiefer Kanadas – vollständige Vielzeller wie Schwämme, Würmer, Brachiopoden, Arthropoden und andere teilweise mit ihren Organen erhalten. Wir geben hier Impressionen einer Geländekampagne im April 2009, die uns in den Raum Kunming führte, der Hauptstadt der Provinz Yunnan im Süden der Volksrepublik China.

Fossilagerstätten in großem Ausmaß

Im Unterkambrium Südchinas sind Fossilagerstätten des Burgess-Typs auf dem ehemaligen Mikrokontinent der Yangtze-Plattform großflächig aufgeschlossen. Im Gegensatz zu dem engräumigen und im Hochgebirge nur schwer erreichbaren mittelkambrischen Burgess-Schiefer in Kanada (Walcott 1911) können die unterkambrischen Vorkommen in den chinesischen Provinzen Yunnan und Guizhou über Zehnerkilometer im Gelände verfolgt werden. Ihre Hauptverbreitung konzentriert sich auf die Region südlich der



Abb. 1-2: Sedimentwühlende Spurenfossilien (oben) und das Einsetzen der „Small Shelly“-Fauna (unten: auf einer Schichtfläche des Dahai-Members der Zhujiaping-Formation) markieren den Beginn des Phanerozoikums. Unterkambrium des Xiaotan-Profiles am Jinshan-Fluss, Nord-Yunnan.



Provinzhauptstadt Kunming im Westen und Osten des Dianchi-Sees. Erste Berichte über Arthropoden-Funde von Mansuy (1912) blieben lange kaum beachtet, bis systema-

tische Grabungen durch chinesische Kollegen in den 1980er und 1990er Jahren aus den klassischen Aufschlüssen der Yuanshan-Formation im südchinesischen Chengjiang County eine überwältigende Fülle von Arthropoden, Würmern, Brachiopoden und vie-

Innerhalb der unterkambrischen Schichtfolge Südchinas treten Chengjiang-Fossilagerstätten in mehreren stratigraphischen Niveaus auf, so dass innerhalb des Unterkambriums die evolutive Entwicklung der Faunen verfolgt werden kann. Die Fundstellen südöstlich von Chengjiang und westlich des Dianchi-Sees um Haikou sind Bestandteil der Yuanshan-Formation des Atdabaniums, während das Profil Shitan-shan unmittelbar im Süden von Kunming die Wulongqing-Formation aufschließt, die dem jüngeren Unterkambrium (Botomium) angehört (Abb. 5).

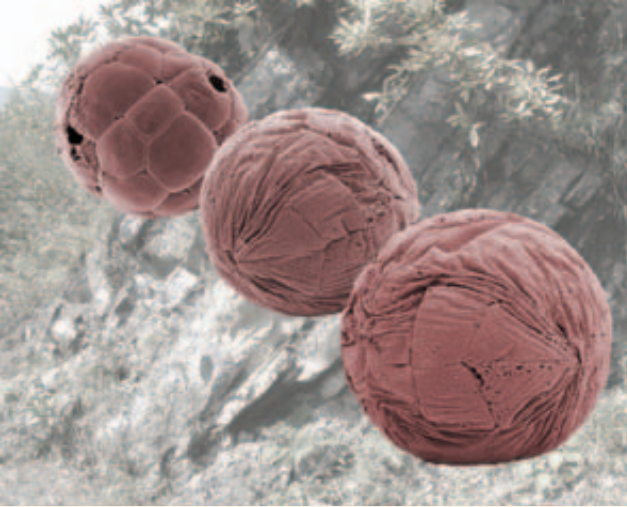


Abb. 3: Blastula-Stadium (links) und spätere Embryos mit entwickeltem Keimband (Mitte, rechts) in phosphatischer „Orsten“-Erhaltung aus der unterkambrischen Kuanchuanpu-Formation von Kuanchuanpu (Hintergrund) im Süden der Provinz Shaanxi.



lem mehr in Weichkörper-Erhaltung geliefert haben (Zhang & Hou 1985; Chen et al. 1996; Chen & Zhou 1997; Hou et al. 1999). Im Fundgebiet bei Maotianshan, 11 km südwestlich von Chengjiang, wo Professor Hou Xiguang von der Yunnan-Universität 1984 seine spektakulären Ausgrabungen begonnen hatte, wurde im Jahr 2001 der 18 km² große „Chengjiang Fauna National Geopark“ eingerichtet, in dem ein Museum gute Einblicke in diese Fauna vermittelt.

Erst Verwitterung fördert Fossilfundezutage

Das Gestein, in dem die typischen Chengjiang-Biota in oberflächennahen Aufschlüssen gefunden werden (Abb. 4-10), ist ein feinkörniger, fein laminiertes, ockergelber bis grünlicher Tonstein. Auf seinen Schichtflächen liegen flachgepresste Fossilien, die sich durch ihre häufig bräunliche Färbung vom umgebenden Gestein abheben. Wir unterscheiden in den fein klastischen Gesteinen zwischen den organisch-reichen und feingeschichteten (laminierten) Lagen, die meist nur Hartteile von Organismen (zerfallene Trilobiten und andere Arthropoden-Reste, Brachiopoden-Schalen, Hyolithiden-Gehäuse) enthalten, und gleichmäßig feinstkörnigen und ungeschichteten Lagen (den Ereignislagen = „Event Beds“), die sich seifig-glatt anfühlen. In ihnen sind Weichkörper-Reste sowie Arthropoden mit erhaltenen Gliedmaßen teilweise unregelmäßig und scheinbar chaotisch dreidimensional eingebettet. Auch wenn sich die fein laminierten Schichten normalerweise kaum schichtparallel aufspalten lassen, lassen sich die ein-



Abb. 4: Maotianshan, die klassische Fundstelle der Chengjiang-Biota im „Chengjiang Fauna National Geopark“.

Chrono-Stratigraphie			Ost-Yunnan	
Unter-Kambrium	Canglangpuium	Botomium	Wulongqing-Formation 	
			Hongjingshao-Formation	
	Quiongzhusium	Atdabanium	Yuanshan-Formation 	
			Shiyantou-Formation	
	Meishucunium	Tommotium	Zhujiacquing-Formation	Dahai-Gruppe
				Zhongyicun-Gruppe
				Daibu-Gruppe
?	Nemakit-Daldynium	Zhujiacquing-Formation	Daibu-Gruppe	
?			Dahai-Gruppe	
Präkambrium			Dengying-Formation	



Chengjiang-Biota

Abb. 5: Stratigraphie des chinesischen Unterkambriums mit Position der Chengjiang-Biota (ähnlich dem Burgess-Schiefer). Aus Steiner et al. (2005).

geschlossenen Fossilien doch oft sauber herauspräparieren. Dieses typische Gepräge der Chengjiang-Biota ist jedoch nicht ursprünglich, sondern erst das Ergebnis einer tiefgreifenden Oberflächen-Verwitterung. Die Abbildungen 8-10 geben einige Funde von typischen Vertretern der Chengjiang-Biota wieder. In Bohrungen oder in tiefen Geländeeinschnitten, wie sie etwa 2009 bei Haikou im Zuge des Autobahnbaus aufgeschlossen waren (Abb. 11), erscheinen die Schichten der Yuanshan-Formation nicht mehr als weiche, ockergelbe Tonsteinabfolgen, sondern als sehr harte, dunkelgraue, kaum aufspaltende Gesteine. Selbst dort, wo Fossilien eingeschlossen sind, die aber aufgrund des fehlenden Farbkontrastes kaum erkennbar sind, spalten die Tonsteine normalerweise nicht schichtparallel auf. Fos-



Abb. 6: Grabungskampagne 2009 der Yunnan-Universität in der Yuanshan-Formation bei Ercaicun im Südwesten von Kunming.



Abb. 7: Das Gestein besteht aus Wechsellagerungen fein geschichteter Tonsteine und Lagen feiner Siltsteine. Ihr helles Aussehen und ihre teilweise gute Spaltbarkeit sind das Produkt oberflächennaher Verwitterung.



Abb. 8: Links: *Lingulelloreteta malongensis*, ein inartikulater Brachiopode mit erhaltenem Stiel, Länge 9 mm, rechts: Priapulider Wurm *Cricocomia jinningensis* mit dunkel gefärbtem Darmtrakt, Länge 37 mm; beide aus feinkörnigen Lagen der Yuanshan-Formation von Ercaicun, Haikou.

silaufsammlungen werden dadurch extrem erschwert. Um spektakuläre Fossilien finden zu können, bedarf es also eines bestimmten Verwitterungsgrads und einer durch zirkulierendes Grundwasser bedingten Oxydation des Gesteins. Die Verwitterungsfront rückt dabei im Gesteinskörper bevorzugt entlang der Kluftsysteme und den latenten Schichtflächen vor. Dabei wird das Gestein einerseits durch Oxydation des enthaltenen fein verteilten Pyrits und des organischen Kohlenstoffs entfärbt, andererseits durch die Ausfällung von Eisenhydroxiden entlang von feinsten Trennflächen verändert.

Bei zunehmender Verwitterung der Siltsteine kommt es entlang der Lösungsfronten zu konzentrischen Abschalungen, die das Gestein mürbe machen und gerundete, an Kalkkonkretionen (Geoden) erinnernde Zerfallskörper hervorbringen (Abb. 12 ganz unten). In Verbindung mit den sekundären Eisenhydroxid-Fällungen täuschen die Abschalungen der Pseudogeoden durch ihre bizarren Formen zum Teil Fossilien vor, die in Wirklichkeit aber lediglich „Spiele der Natur“ sind (Abb. 12 Mitte). Die Fossilien der kambrischen Fossilagerstätten zeigen, dass bereits in dieser frühen Phase des Phanerozoikums fast alle modernen Tierstämme angelegt waren. Kleine, an Lanzettfischchen erinnernde Fossilien (*Haikouichthys*, *Mylokunmingia* und *Zhongjianichthys*) mit typischer Anlage von Kiemenspalten (Shu et al. 1999; Shu 2003) können als Belege dafür angesehen werden, dass sogar die Chorda-Tiere bereits ihre Wurzeln im Unterkambrium haben.

Die Kambrische Revolution

Worin bestand nun die einleitend erwähnte biogene Revolution des Planeten, die das Phanerozoikum eingeleitet hat? Globale Veränderungen, welche die Erde in ihrer etwa 4,6 Milliarden Jahre dauernden Geschichte grundlegend verändert haben, sind eng mit der Entwicklung des Lebens gekoppelt. So war eine der größten Umweltkatastrophen der Erdgeschichte lange vor der Kambrischen Revolution durch die Entwicklung der bakteriellen Photosynthese ausgelöst worden, also der Produktion organischer Substanzen aus atmosphärischem Kohlendioxid-Gas mit Hilfe des Sonnenlichts als Energieträger unter Freisetzung von elementarem Sauerstoff. Die vor etwa 2,4 Milliarden Jahren in



Abb. 9: Links: *Trilobit Palaeolenus lantenoisi* mit Antennen aus der Wulongqing-Formation von Shitanshan südlich Kunming, Länge des unvollständigen Exoskeletts 12 mm. Rechts: *Trilobit Eoredlichia intermedia* mit Antennen und langem Thoraxstachel, Yuanshan-Formation von Mafang bei Haikou, Länge des Panzers 36 mm.



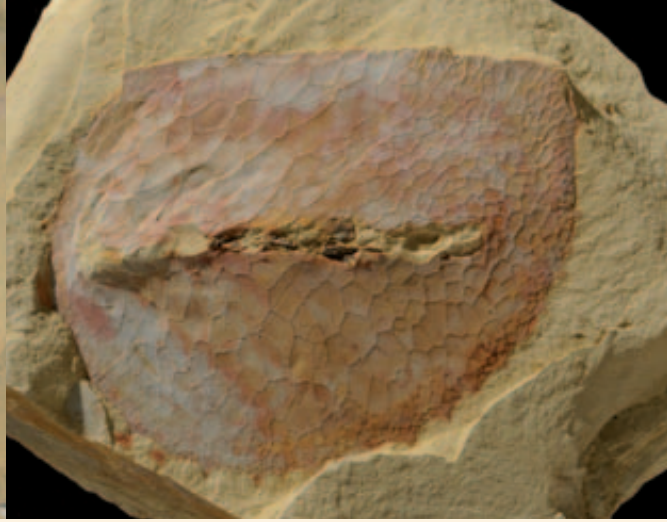
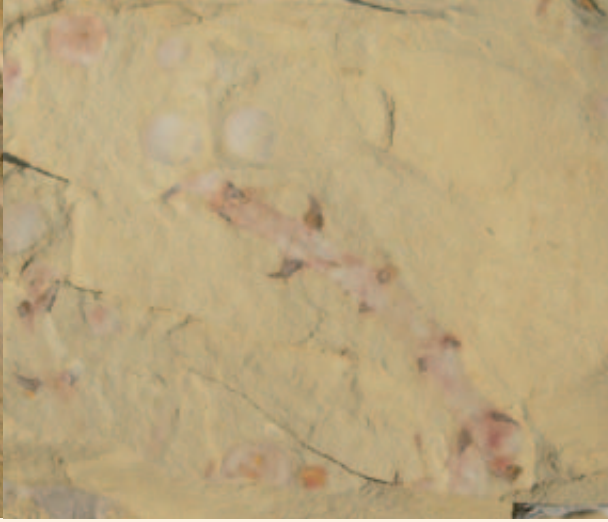


Abb. 10: Funde aus der Wulongqing-Formation von Shitanshan, südlich Kunming. Links: ein nur wenige Zentimeter langer Vertreter einer möglicherweise neuen Hallucigenia-Art. Rechts: Tuzoia sinensis, Panzer eines zweiklappigen Arthropoden mit dem Darmtrakt, Länge 65 mm.

der Atmosphäre wirksam werdende Anreicherung von Sauerstoff (O_2) leitete in eine grundlegend neue Welt über. Das verheerende Zellgift Sauerstoff führte zu einem Massensterben, dem die meisten der an eine anoxische Umwelt angepassten Lebensformen zum Opfer fielen. Die Veränderung der chemischen Prozesse im oberflächennahen Bereich der Erde durch den Wechsel von einem reduzierenden zu einem oxydierenden System ermöglichte u.a. auch die Ablagerung zunehmend oxydierter Sedimente. Durch die photosynthetische CO_2 -Abreicherung im Ozean wurden große Mengen sedimentärer Kalksteine (Stromatolithen) deponiert, die wiederum Anteil an der Revolution des Systems Meer hatten, die in einem Wechsel der Meerwasser-Chemie von einem ba-

sischen Soda (= Natrium-Karbonat)-Ozean zu dem heutigen Natrium-Chlorid-Ozean resultiert. Jedoch entpuppte sich diese verheerende Umweltkatastrophe im Nachhin-

Abb. 12: Ganz unten: Bei wechselndem Grundwasserspiegel entstehen in den feinkörnigen Gesteinen durch von den Klüften ausgehende Lösungsfronten kugelig-schalige Absonderungen, die an Geoden erinnern und manchmal dreidimensional erhaltene Fossilien vortäuschen, wie bei der 83 mm breiten Pseudogeode (Mitte). Auf den ersten Blick glaubt man, ein Trilobiten-Cephalon zu erkennen. Beide Fotos wurden im Autobahn-Aufschluss bei Haikou gemacht.

Abb. 11: Profil Guoxiangin der Yuanshan-Formation an der Autobahnbaustelle bei Haikou. Unter der Verwitterungszone war vorübergehend das unverwitterte dunkelgraue und sehr harte Material aufgeschlossen, das sich kaum spalten lässt.



ein als eine notwendige Voraussetzung dafür, dass sich auf unserem Planeten höhere Lebensformen (mit eucaryotischen Zellen) entwickeln konnten, deren Energie-Haushalt auf die effizientere Sauerstoff-Atmung angewiesen ist.

Die vor 542 Millionen Jahren einsetzende „Kambriische Revolution“ ist durch die rasche Entwicklung moderner Lebensformen gekennzeichnet, welche ihre Umwelt selbst völlig veränderten. Dies wird nicht nur in der Entwicklung erfolgreicher Baupläne und der Fähigkeit, mineralische Stoffe wie Kalk, Phosphat und Opal zu beherrschen und als Hartteile in den Körper zu integrieren, deutlich, sondern auch in der Erschließung neuer Lebensräume. Mit der zunehmenden Nutzung des Bodensubstrats, die durch die Wühlspuren erkennbar ist, wurden auch die Bodenbedingungen grundlegend verändert. So löste diese zunehmende Bioturbation eine Umstellung der chemischen Prozesse im Sediment aus, da einerseits eine oberflächennahe Entgasung (z.B. Methan) ermöglicht wurde und andererseits fein im Substrat verteilte organische Komponenten, teils als Nahrung, teils durch Oxydation abgereichert werden konnten.

Dank: Die Untersuchungen im Unterkambrium von China wurden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft mitfinanziert, wofür wir uns herzlich bedanken möchten.

Literatur

- Buss, L.W. & A. Seilacher (1994): The Phylum Vendobionta: a sister group of the Eumetazoa? *Paleobiology* 20 (1): 1-4.
- Chen, J. & G. Zhou (1997): Biology of the Chengjiang fauna. *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci.* 10: 1-105.
- Chen, J., G. Zhou, M. Zhou. & K. Yeh (1996): The Chengjiang Biota – A unique window of the Cambrian Explosion. *Nat. Mus. Nat. Sci.* (Taichung, Taiwan).
- Hou, X., J. Bergström, H. Wang, X. Feng & A. Chen (1999): *The Chengjiang Fauna*. Yunnan Science & Technology Press, Kunming.
- Mansuy, H. (1912): Paléontologie. In: Deprat, J. & H. Mansuy (Hrsg.): *Étude géologique du Yunnan Oriental*. *Mém. Serv. Géol. Indochine*, 1: 1-31.
- Seilacher, A. (1992): Vendobionta and Psammocoralia: lost constructions of Precambrian evolution. *J. Geol. Soc. London* 149: 607-613.
- Shu, D.G. (2003): A paleontological perspective of vertebrate origin. *Chinese Sci. Bull.* 48 (6): 731-741.
- Shu, D., H. Luo, S. Conway Morris, X. Zhang, S. Hu, L. Chen, J. Han, M. Zhu, Y. Li & L. Chen (1999): Lower Cambrian vertebrates from South China. *Nature* 402: 42-46.
- Steiner, M., M. Zhu, Y. Zhao & B.-D. Erdtmann (2005): Lower Cambrian Burgess Shale-type fossil associations of South China. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 220: 129-152.
- Walcott, C.D. (1911): Cambrian geology and palaeontology II: No. 2, Middle Cambrian Merostomata. *Smithsonian Miscell. Coll.* 57 (2): 18-41.
- Zhang, W. & X. Hou (1985): Preliminary notes on the occurrence of the unusual trilobite *Naraoia* in Asia. *Acta Palaeont. Sinica* 2 (6): 591-595.

Keupp, H., M. Steiner & A. Forchielli: Back to the roots of modern life – studies in the Lower Cambrian of China

Early Cambrian exposures in the Yunnan Province of Southern China have been visited during a field campaign in 2009. This campaign was incorporated within the framework of a research program in cooperation with Chinese colleagues. In order to get an idea of the nature of the herein discussed so-called Cambrian Revolution, examples of two important types of Fossilagerstätten with excellently preserved soft-body fossils were studied. The first one is the Orsten-type, in which small fossils like eggs and embryos are characterized by a phosphatic replacement of the soft body. The second one is represented by the famous Chengjiang biota, a series of Chinese Early Cambrian equivalents of the Middle Cambrian Burgess-Shale Fossilagerstätte in Canada.



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.palaentologische-gesellschaft.de • www.palges.de

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

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