

Entstehung der kambrischen Tierwelt – auch nach molekularen Daten explosiv

Eine der markantesten Diskontinuitäten in der Fossilüberlieferung bildet der Übergang vom Präkambrium zum Unterkambrium. In einem 2004 veröffentlichten umfangreichen Überblickswerk plädierte der Paläontologe James VALENTINE für die „Echtheit“ der sogenannten „kambrischen Explosion“. Das heißt, er führt das plötzliche Auftreten zahlreicher ausdifferenzierter verschiedenster Tierstämme innerhalb einer kurzen Zeitspanne nicht auf eine allzu lückenhafte Fossilüberlieferung zurück, sondern vertritt die Auffassung, daß die Entstehung der Tierstämme tatsächlich in geologisch sehr kurzer Zeit vor sich gegangen ist. Allerdings gibt es über die Gründe des plötzlichen fossilen Erscheinens im Kambrium auch andere Auffassungen unter den Paläontologen; der Befund selber aber ist wenig umstritten.

In einer Ende 2005 in *Science* veröffentlichten Studie kommt ein Team von der University of Wisconsin (ROKAS et al. 2005) nun aufgrund von Sequenzvergleichen von 12.060 Amniosäuren, die von 50 Genen codiert werden, ebenfalls zum Ergebnis, daß die kambrische Explosion echt ist. 16 Arten von 9 Stämmen wurden in die Untersuchung einbezogen; darunter sind einige Tierstämme, die bei bisherigen ähnlichen Studien noch nicht angemessen berücksichtigt worden waren, schreiben JERMIIN et al. (2005) in einem Kommentar. ROKAS et al. untersuchten eingehend, ob ihr Befund das Ergebnis von Analyse-Artefakten sein könnte. Sie konnten dabei ausschließen bzw. unwahrscheinlich machen, daß Faktoren wie Konvergenz, „Spitzbuben“-Sequenzen (d.h., solche, die je nach Analysemethode an verschiedene Stellen des Baumes „springen“), heterogene Zusammensetzung des Datensatzes, fehlende oder schlecht ausgewählte Daten sowie Sättigung mit Mutationen die phylogenetische Hypothese beeinträchtigten.

Die Autoren schreiben in der Zusammenfassung ihres Artikels: „Trotz des Ausmaßes und der Breite der analysierten Daten bleiben die Verwandtschaftsbeziehungen der meisten Metazoen (Vielzeller-) Stämme unaufgelöst.“ Das heißt: Das Aufzweigungsmuster ist buschig, es gibt viele Polytomien, d. h. mehrere „gleichzeitige“ Verzweigungen. ROKAS et al. sprechen von einer in der Zeit gestauchten Radiation. Dies ist in Übereinstimmung mit dem oben geschilderten paläontologischen Befund. Frühe molekulare Studien hatten z. T. sehr verschiedene Ergebnisse erbracht (Überblick bis 2000 siehe JUNKER 2001), mit Tendenz zu deutlich früheren Abspaltungszeitpunkten und einer zeitlichen Streckung der Aufzweigungen. Die Ergebnisse von ROKAS et al. sprechen dagegen für zwei kurz hintereinander erfolgte Episoden mehrfacher Aufzweigungen.

Den Kommentatoren JERMIIN et al. (2005) scheint dieses Ergebnis Unbehagen zu bereiten. Auf die Frage, ob der „Big Bang“ der Tierevolution real sei, antworten sie, daß die Bejahung dieser Frage vielleicht mit mehr Daten oder durch andere Analysemethoden vermieden werden könne. Seltsamerweise fragen sie auch, ob die Studie von ROKAS et al. ignoriert werden sollte, verneinen dies aber mit Blick auf den großen Umfang der zugrundeliegenden Daten. Die Möglichkeit, daß auch molekulare Daten einen „Big Bang“ nahelegen, wollen sie letztlich nicht ausschließen. Dagegen unterstreicht DEVITT (2005) in einer Pressemitteilung der University of Wisconsin die Schlußfolgerung von ROKAS et al., daß der Familien-„Baum“ buschig aussieht und spricht von rasend schneller Evolution („frenetic bursts of evolution“). Es sei schwierig, evolutionäre Ereignisse zu unterscheiden, trotz großer Datenmengen („boatloads of data“).

Sollten sich diese Deutungen weiter bestätigen, hätte dies zwei Konsequenzen: Eine Reihe von Mutmaßungen, wonach die kambrische Explosion ein Artefakt sei, würde sich weitgehend erübrigen. Die kambrische Explosion wäre echt. Damit aber würde sich die Frage nach den Mechanismen unabweisbar und erneut mit aller Schärfe stellen.

[DEVITT T (2005) New study shows animal family tree looking bushy in places. www.news.wisc.edu/11974.html; JERMIIN LS, POLADIAN L & CHARLESTON MA (2005) Is the „big bang“ in animal evolution real? *Science* 310, 1910-1911; JUNKER R (2001) Das Präkambrium/Kambrium-Problem: Molekulare Uhren und Fossilien. *Stud. Int. J.* 8, 83-85; ROKAS A, KRÜGER D & CARROLL SB (2005) Animal evolution and the molecular signature of radiations compressed in time. *Science* 310, 1933-1938; VALENTINE JW (2004) On the origin of phyla. Chicago and London.] RJ

Ein weiteres rätselhaftes Fossil aus dem Kambrium

Stephen Jay GOULD beschreibt in seinem Buch „Zufall Mensch“ (GOULD 1991) die erstaunliche Vielfalt der kambrischen Tiere. Viele von ihnen lassen sich nur schwer den heute bekannten Tierstämmen zuordnen. GOULD beschreibt unter den Fossilien des Burgess-Schiefers in Britisch-Kolumbien (Kanada) 20 neue Tierstämme mit großen Bauplan-Unterschieden, die er als „irre Wundertiere“ bezeichnet; die äußerst vielgestaltigen Arthropoden nennt er „einzigartige Gliederfüßer“ mit einem „Maximum an anatomisch leistungsfähigen Möglichkeiten“. Seiner Meinung nach übertreffen die Burgess-Fossilien „wahrscheinlich das gesamte Spektrum des wirbellosen Lebens in den heutigen Ozeanen“. Andere Paläontologen sind zurückhaltender. Sie meinen, daß das damalige Tierspektrum nicht so groß war wie GOULD annimmt und kritisieren die Aufstellung so zahlreicher neuer Tierstämme. Doch wie immer man diese Funde auch taxonomisch einordnet, es ändert nichts an der erstaunlichen Verschiedenartigkeit kambrischer Tiergestalten. Die hauptsäch-

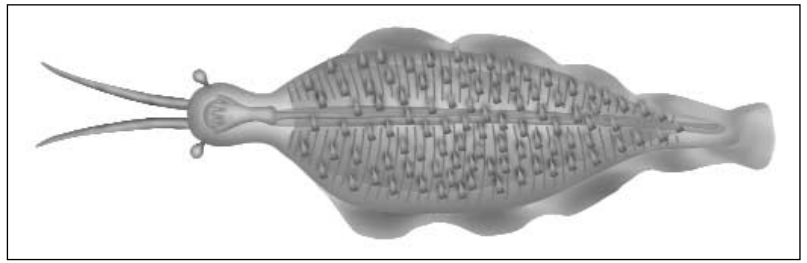
lichen Unterschiede zwischen den Bauplänen der Tierwelt waren damit von Beginn der dokumentierten Fossilüberlieferung vielzelliger Organismen bereits vorhanden.

Schon DARWIN hatte diese Vielfalt der kambri-schen Fossilien als Problem für seine Theorie vermerkt. In einer aktuellen Monographie stellt VALENTINE (2004) fest, daß sich diese markante Diskontinuität seither durch viele Forschungen bestätigt hat. Es finden sich kaum Fossilien, die die verschiedenen Stämme miteinander verbinden, aber auch diese wenigen Ausnahmen eignen sich nicht als evolutionäre Übergangsformen. Der Grund dafür ist, daß einzelnen verbindenden Merkmalen solcher Formen Merkmalskomplexe gegenüberstehen, die eine Übergangsstellung ausschließen.

Im Herbst 2005 untersuchten CHEN et al. neue Fossilien eines dieser rätselhaften Tiere aus dem unteren Kambrium. Die 5-10 cm große Gattung *Vetustovermis* (Abb. 1) war bereits 1979 von GLAESSNER als Ringelwurm oder Gliederfüßer beschrieben worden. Die neuen anatomischen Untersuchungen bestätigen diese Zuordnung jedoch nicht. Merkmale im Bau ähneln demnach anderen Gruppen wie modernen Plattwürmern, Nemertinen und Mollusken (Weichtieren). Die pelagische nacktschneckenartige Form, der ventrale (bauchseitige) Fuß und der Kopf mit Augen und Tentakeln stellt das Tier in die Nähe von Mollusken, doch kommen einige dieser Merkmale auch bei anderen Tiergruppen vor. Der ausdifferenzierte Kopf ist bei Mollusken sonst erst bei einem „höheren“ evolutionären Level (Conchifera, Schalenweichtiere) bekannt. Anstelle von Kammkiemen, die bei Mollusken sonst ausgebildet sind, sind die Kiemen bei *Vetustovermis* stabartig. Das komplette Merkmalsmosaik dieses auf 525 Millionen Jahre datierten Weichkörper-Tiers paßt insgesamt zu keiner anderen bekannten heute lebenden oder ausgestorbenen Tiergruppe, stellen CHEN et al. (2005) fest. Nach ihrer Auffassung repräsentiert dieses Tier eine unabhängige Evolutionslinie.

Damit aber müssen viele Merkmale von *Vetustovermis* als konvergent gewertet werden. Das Tier ist wie viele andere ausgeprägt baukastenartig „zusammengesetzt“ – eine evolutionstheoretisch unerwartete Konstellation, die die Aufstellung von Stammbäumen erschwert. Dies äußert sich konkret bei *Vetustovermis* darin, daß trotz Ähnlichkeiten zu anderen Tiergruppen eine eigene unabhängige Evolutionslinie angenommen werden muß, weil das gesamte Merkmalspektrum eine Positionierung in den bisherigen hypothetischen Stammbaum verhindert. Der Ursprung dieser Linie liegt aber ebenso im Dunkeln wie die Linien der anderen kambrischen Gruppen (VALENTINE 2004).

[CHEN JY, HUANG DY & BOTTJER DJ (2005) An Early Cambrian problematic fossil: *Vetustovermis* and its possible affinities. Proc. R. Soc. Biol. Sci. 272, 2003-2007; GOULD SJ (1991) Zufall Mensch. München; VALENTINE JW (2004) On the origin of phyla. Chicago and London] RJ



„Urvogel“ mit Dinofuß

Vor kurzem gelangte ein zehntes Exemplar des berühmten „Urvogels“ *Archaeopteryx* aus den Schubladen eines Sammlers in die Hände der Wissenschaftler. Es stammt wie alle anderen *Archaeopteryx*-Fossilien aus den Solnhofener Plattenkalken; der genaue Fundort ist jedoch unbekannt. Ende Dezember 2005 publizierten Gerald MAYR und Mitarbeiter vom Frankfurter Forschungsinstitut Senckenberg einige anatomische Details über den neuen Fund. Das neue Exemplar ist sehr gut erhalten und läßt einige Merkmale erkennen, die bei den bisherigen Funden nicht oder nur schwer erkennbar waren, und zwar vor allem im Bau der Füße und des Schädels. Dabei zeigen sich einige typische Merkmale theropoder Dinosaurier (kleine zweibeinige Raubdinosaurier). So weist ein Teil des Gaumenknochens, das Palatinum, vier statt drei Fortsätze auf – ein Reptilmerkmal. Die Hinterzehen des Fußes sind nicht vogeltypisch nach hinten gerichtet, sondern zur Seite. Deren Lage war bisher unklar und umstritten gewesen. Daß *Archaeopteryx* nicht den typischen Vogel-Greiffuß hatte, war an den bisherigen Funden jedoch bereits erkennbar. Neu ist auch die Entdeckung, daß die zweite Zehe als kräftige Krallen ausgebildet war, die weit nach oben überdehnt werden konnte – eine Ausprägung, die von Dinosauriern wie *Deinonychus* („Schreckenskrallen“) bekannt ist. Allerdings ist diese Krallen beim Urvogel verhältnismäßig klein. Aufgrund der Fußmerkmale vermuten MAYR et al. (2005), daß *Archaeopteryx* sich nur gelegentlich im Geäst fortbewegte. Die Lebensweise des Urvogels ist laut CHIAPPE & DYKE (2002, 97) stark umstritten. Viele Körpermerkmale und vor allem der Besitz „moderner“ Federn sprechen dafür, daß er ein aktiver, wenn auch kein guter Flieger war. Ein Start vom Boden aus betrachten viele jedoch als unwahrscheinlich, was wiederum indirekt für Aufenthalte im Geäst spricht, von wo aus ein Flugstart leichter möglich wäre. Kein Wunder, daß WITMER (2002, 16) feststellte: „Despite numerous studies, even the basic lifestyle of *Archaeopteryx* is disputed.“ Das neue Exemplar scheint die Unklarheiten diesbezüglich nicht beseitigen zu können. „Radikal neu“ seien diese Merkmale bei *Archaeopteryx* nicht, meint STOKSTAD (2005) in einem Kommentar, doch die neu erkennbaren Merkmale verbreitern die Gemeinsamkeiten zwischen dem Urvogel und den Theropoden-Dinosauriern. Andererseits sprechen

Abb. 1: *Vetustovermis*. (Aus CHEN et al. 2005; Abdruck mit freundlicher Genehmigung von J. Y. CHEN)