

Kann Evolution die „kambrische Explosion“ erklären? (von LUCA bis Eva Teil 8)

Intro

Vor über 500 Millionen Jahren, im frühen Kambrium, passierte etwas Außergewöhnliches: Innerhalb kurzer geologischer Zeiträume tauchten fast alle heutigen Tierstämme erstmals im Fossilbericht auf – mit Augen, Beinen, Exoskeletten, Muskeln, Mäulern... und manchmal Dingen, die man bis heute nicht ganz versteht. Diese „kambrische Explosion“ gilt als eine der faszinierendsten Phasen der Evolutionsgeschichte. Aber war sie wirklich so explosionsartig? Warum genau zu diesem Zeitpunkt? In diesem Video gehen wir zurück in die Tiefen der Erdgeschichte – zu seltsamen Kreaturen wie *Hallucigenia*, *Opabinia* und den ersten Vertretern unserer eigenen Tiergruppe. Schaut auch in die Beschreibung für weiterführende Literatur und Studien.

Lücken im Fossilbericht

Der Fossilbericht ist lückenhaft, was schlicht und einfach daran liegt, dass Fossilisation ein sehr seltes und unwahrscheinliches Ereignis ist.¹ Die meisten Lebewesen werden vorher gefressen oder verweser, bevor sie eine Möglichkeit haben zu fossilisieren. Fossilien findet man auch nicht in allen Gesteinsschichten, sondern nur in Sedimentgesteinen. Geologen unterscheiden drei Typen des Gesteins: magmatische Gesteine, Sedimentgesteine und metamorphe Gesteine. Sedimentgesteine sind verschiedene mineralische (anorganische) und/oder organische Lockermaterialien, die – nach einem kürzeren oder längeren Transport durch Schwerkraft oder ein strömendes Medium – auf dem trockenen Land oder am Grund eines Gewässers abgelagert werden. Magmatische Gesteine sind Steine, die durch vulkanische Einwirkung entstanden sind und metamorphe Gesteine, sind

¹ Praktisch jedes Lehrbuch zur Paläontologie beschreibt die Prozesse der Fossilisation. Einige Literaturempfehlungen:

- Benton, M., Harper, D. (2020): Introduction to Paleobiology and the Fossil Record. Wiley., Kapitel 1 „Paleontology as science“, Kapitel 5: „Taphonomy and the quality of the fossil record“; Kapitel 6: „Fossil form and function“
- Grotzinger, J., Jordan, T. (2017): Press/Siever Allgemeine Geologie, 7. Auflage, Springer Verlag, Kapitel 11: „Geobiologie“
- Prothero (2013): Bringing fossils into life. Columbia University Press
- Prothero, D. (2017): Evolution – What the Fossils say and why it matters. Second edition. New York: Columbia University Press, Kapitel 3: „The Fossil Record“
- Prothero, D. (2021): The Evolving Earth. Oxford University Press
- Prothero, D. & Dott, (2004): Evolution of the Earth, Seventh edition., Kapitel 2: „Flood, Fossils and Heresies“
- Oschmann, W. (2018): Leben der Vorzeit. Utb; Kapitel 1 „Taphonomie und Fossilisation“

zu empfehlen ist auch mein Fossilien Tutorial: <https://internet-evoluzzer.de/fossilien-tutorial/> auch als Video: https://www.youtube.com/watch?v=kTn_IC-uWDc

welche, die sich tief in der Erdkruste durch die Metamorphose anderer Gesteinsarten gebildet haben.²

Dass Fossilien entstehen können, bedarf ganz besonderer Bedingungen. Tiere, die normalerweise in Sedimenten leben, werden eher im Sediment begraben, bevor sie zerstört werden, und Arten, die auf der Oberfläche des Sediments (d. h. auf dem Meeresboden) leben, versteinern eher als Arten, die im freien Wasser schwimmen. An Land lebende Arten werden am seltensten zum Fossil. Das mag einen verwunderlich klingen, denn die für den Nichtfachmann bekanntesten Fossilien sind interessanterweise die Landtiere, wie Dinosaurier, Eizeittiere oder unsere Vorfahren. Die häufigsten Fossilien findet man bei Korallen, Schwämmen, Trilobiten, Krebstieren, Ammoniten und den Foraminiferen. Je weiter eine Art von Sedimenten lebt, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie versteinert. Trotz der Seltenheit der Fossilisation sind immerhin über 250.000 fossile Taxa beschrieben worden. Diese Zahl repräsentiert aber den Stand Ende der 1990er Jahre und dürfte derzeit also bei über 300.000 liegen.³ Trotzdem dürfte das weit weniger als 1% aller Arten sein, die jemals in der Erdgeschichte gelebt haben. Die meisten Arten werden fossil nicht überliefert.

Damit ein Lebewesen zum Fossil wird, müssen die sterblichen Überreste an einem Ort zu liegen kommen, wo sie nicht vollständig von Aasfressern oder durch Verwitterung zersetzt werden. Das kann zum Beispiel begraben unter Sand, Schlamm oder Lehm der Fall sein. Ein guter Ort dafür ist zum Beispiel ein Flussbett oder der Meeresgrund. Die Einbettung in Sedimente verhindert, dass Luft zum Körper gelangt, und verlangsamt so die Verwesung. Im Laufe der Zeit wird der tote Körper immer tiefer begraben, da sich neue Sedimentschichten auf ihn legen. Durch den so entstehenden Druck wird Schlamm und Sand langsam zu Stein zusammengepresst. Der steigende Druck wirkt sich auch auf die eingegrabenen Reste der Lebewesen aus. Diese werden dadurch zusammengedrückt und alles Wasser aus ihnen herausgepresst. Hier kann es passieren, dass Teile des Körpers auch zerstört oder verformt werden. Wenn sich die Sedimente verdichten, werden sie allmählich zu Sedimentgestein. Anschließend können sie durch tektonische Bewegungen der Erdplatten nach oben, unten oder um den Globus bewegt und wieder freigelegt werden. Im Laufe der geologischen Zeit werden die ursprünglichen harten Teile eines Organismus im Sedimentgestein umgewandelt. Mineralien aus dem umgebenden Gestein imprägnieren langsam die Knochen oder die Schale des Fossils und verändern seine chemische Zusammensetzung. Man spricht von Umkristallisation. Die weichen Teile eines Körpers – Muskeln, Fett, Organe etc. – überstehen die Umwandlung zum Fossil nur in äußerst seltenen Fällen.

Durch die verschiedenen Fossilisationsbedingungen sind einige Gruppen von Lebewesen besser im Fossilbericht vertreten als andere. Dasselbe gilt auch für verschiedene geologische Epochen. Dies wirkt sich dann auf den Fossilbericht aus und hinterlässt Lücken im Fossilbericht. Von allen Verzerrungen des Fossilnachweises, die die Kreationisten verbreiten, ist die schlimmste ihre Version der

² über die Arten der Gesteine und des Gesteinskreislaufes siehe:

- Grotzinger, J. & Jordan, T. (2017): Press/Siever Allgemeine Geologie, 7. Auflage, Springer Verlag; Kapitel 3 – 6
- Prothero, D. (2021): The Evolving Earth. Oxford University Press, Kapitel 2

Zudem sei auch mein Gesteinstutorial zu empfehlen: <https://internet-evoluzzer.de/gesteine-und-gesteinskreislauf/> als Video: <https://www.youtube.com/watch?v=zOI82yYp30>

³ Prothero, D. (1999): Fossil Record. In: Ronald Singer (Hrsg.): Encyclopedia of Paleontology. Fitzroy Dearborn Publishers, Chicago 1999, ISBN 1-884964-96-6, S. 491.

sog. "kambrischen Explosion". Ihrer Vorstellung nach tauchten die meisten wirbellosen Fossilien plötzlich zu Beginn des Kambriums auf, ohne dass ihnen Fossilien vorausgegangen sind. Und diese Fossilien waren praktisch gesehen schon „fertig“ ausgebildet, hatten also keine oder nur geringfügige evolutionäre Veränderungen. Es wird eine Art Schöpfung suggeriert, dass alle Lebewesen tatsächlich durch einen göttlichen Akt sehr schnell erschaffen wurden.

Kreationisten zitieren dafür gerne eine Vielzahl seriöser Wissenschaftler über das „Mysterium“ der kambrischen Explosion, obwohl die meisten ihrer Zitate völlig veraltet sind und viele aus dem Zusammenhang gerissen sind und genau das Gegenteil aussagen, wenn man das vollständige Zitat genau liest. Neben den typischen Kreationisten, die von einer 6.000 Jahre alten Erde phantasieren, bringen selbst prominente Vertreter des Intelligent Design, die sich sonst eher zögernd über Fossilien äußern, gerne die kambrische Explosion zur Sprache.

Das Problem mit der Faszination der Kreationisten für die kambrische Explosion ist, dass sie völlig falsch ist! Die Hauptgruppen der wirbellosen Fossilien tauchen nicht alle plötzlich an der Basis des Kambriums auf, sondern verteilen sich auf Schichten, die sich über 80 Millionen Jahre erstrecken - kaum eine sofortige „Explosion“! Einige Gruppen tauchen Dutzende von Millionen Jahren früher auf als andere. Und der "kambrischen Explosion" ging eine lange, langsame Entwicklung bis zum ersten Auftreten der typischen wirbellosen Schalentiere des Kambriums voraus.

Daher werden wir Schritt für Schritt viele der jüngsten Entwicklungen durchgehen, die die kambrische Explosion in eine „kambrische Zündschnur“ verwandelt haben. Hoffen wir, dass einige, die die kreationistischen Märchen zur kambrischen Evolution gehört haben, erkennen, was für einen Blödsinn Kreationisten verzapfen.

Das Kambrium⁴

Beginnen wir mit den geologischen Grundlagen. Das Kambrium markiert den Auftakt eines neuen Äons, des Phanerozoikums. Dieses Wort leitet sich aus dem

⁴ Einen Überblick über das Kambrium (sowie das davor liegende Ediacarium) und die Grundlagen der kambrischen Explosion berichten ebenfalls eine Reihe von Lehrbüchern, die hier aufgelistet werden sollen. Der restliche Beitrag orientiert sich an diesen Quellen und in den folgenden Fußnoten wird lediglich auf Spezialliteratur verwiesen, die bestimmte Aspekte detaillierter darstellen:

- Benton, M. (2020; Hrsg): Cowens's History of Life. Wiley Blackwell, 6th edition. Kapitel 5: „The Cambrian Explosion“
- Benton, M., Harper, D. (2020): Introduction to Paleobiology and the Fossil Record. Wiley. Kapitel 11 „Origins and expansion of the metazoans.“
- Bromham, L. & Cardillo, M. (2019): Origins of biodiversity. Oxford University Press. Kapitel 4 „Why did evolution explode in the Cambrian?“
- Elicki, O., Breitkreuz, C. (2023): Die Entwicklung des Systems Erde. Springerverlag, zweite Auflage ; Kapitel 4: „Paläozoikum I – Kambrium“
- Grotzinger, J. & Jordan, T. (2017): Press/Siever Allgemeine Geologie, 7. Auflage, Springer Verlag, Kapitel 11: „Geobiologie“
- Prothero, D. (2017): Evolution – What the Fossils say and why it matters. Second edition. New York: Columbia University Press, Kapitel 7: „Cambrian ‚Explosion‘ – or ‚Slow Fuse‘?“
- Prothero, D. (2021): The Evolving Earth. Oxford University Press, Kapitel 10: „The Early Paleozoic: Cambrian–Ordovician 541–444 Ma“
- Prothero, D. & Dott, (2004): Evolution of the Earth, Seventh edition., Kapitel 9: „Early Life and its patterns“
- Oschmann, W. (2016): Evolution der Erde. Utb; Kapitel 6 „Kambrium“
- Rosselbroich, B. (2014): On the Origin of Autonomy. A New Look at the Major Transitions in Evolution. Springer Verlag. Kapitel 5: the cambrian Explosion and Thereafter

Griechischen ab: φανερός (phanerós) bedeutet so viel wie „sichtbar“, ζῶον (zōon) bedeutet „Lebewesen“. Das Phanerozoikum ist in drei Ären untergliedert: das Paläozoikum (Erdaltertum), das Mesozoikum (Erdmittelalter) und das Känozoikum (Erdneuzeit). Wir betreten im Kambrium also nun den ersten Abschnitt im Zeitalter des sichtbaren Lebens. In den vorherigen Abschnitten der Erdgeschichte: dem Hadaikum, Archaikum und Proterozoikum waren lange Zeit keine Fossilien bekannt, weswegen diese Äonen als Prökambrium zusammengefasst wurden. Mittlerweile stimmt das aber auch nicht mehr. Seinen Namen verdankt das Kambrium dem englischen Naturforscher und einem der Begründer der modernen Geologie, Adam Sedgwick (* 1785, † 1873). Sedgwick leitete den Namen von dem lateinischen Namen von Wales ab (Cambria), wo man viele geologische Schichten des Kambiums aufgeschlossen findet.⁵

Anfang, Ende und Dauer des Kambiums wurden in der Geschichte mehrmals umdefiniert. Anfangs ließ man es bereits vor 600 Millionen Jahren beginnen, beim Erstauftreten der ältesten tierischen Fossilien. Alle vorherigen Zeitalter fasste man, wie erwähnt, als „Prökambrium“ zusammen. Heute weiß man jedoch, dass das Leben selbst schon sehr viel älter ist und selbst von höheren Lebewesen fand man bereits in älteren Schichten Fossilien. Deshalb entschied man sich noch in den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts dafür, das Kambrium mit dem Erstauftreten der ältesten Trilobiten beginnen zu lassen. In den letzten Jahren wurde jedoch die radiometrische Datierung, mit der man das Alter dieser Fossilien bestimmen konnte, immer präziser. Heute definieren wir den Beginn des Kambiums nach der Datierung vulkanischer Zirkone aus dem Oman, die ein radiometrisches Alter von 538,8 +/- 0,2 Millionen Jahren haben. Der Aschehorizont in Oman, aus dem dieses Datum gewonnen wurde, entspricht einem deutlichen Rückgang des Kohlenstoff-13-Gehalts, der mit entsprechenden Ausschlägen in anderen Teilen der Welt korreliert. Ähnlich verhält es sich mit dem Ende des Kambiums. Anfangs folgte auf das Kambrium auch noch nicht das Ordovizium, sondern direkt das Silur. Das Ordovizium wurde erst in den 1960ern offiziell als Periode anerkannt. Heute lässt man das Kambrium mit einem großen Massenaussterben enden, das vor etwa 488 Millionen Jahren begann und vor 485,4 Millionen Jahren endete.⁶

Das Kambrium selbst wird dann in weitere Abschnitte, genauer in vier Epochen, unterteilt: Terreneuvium, Epoche 2, Miaolingium (auch Epoche 3 genannt) und Furongium. Diese Epochen werden dann in weitere Stufen untergliedert. Anfang und Ende dieser Abschnitte des Kambiums werden durch das Auftreten bestimmter Leitfossilien definiert und durch radiometrische Datierungen präzisiert. Ein Leitfossil muss eine Reihe von Bedingungen erfüllen. So muss das Leitfossil in möglichst

-
- Zrzavy, J., Storch, D., Mihulka, S. (2004): Evolution – Ein Lese-Lehrbuch. Spektrum Akademischer Verlag. Kapitel 4.1 „Kambrische Explosion“

⁵ Cooper, B.J.; Jago, J.B. (2007). History of Cambrian investigations in South Australia with particular reference to the biostratigraphy. Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists. 33: 1–27.

https://www.researchgate.net/publication/303809275_History_of_Cambrian_investigations_in_South_Australia_with_particular_reference_to_the_biostratigraphy

⁶ Das Kambrium wird in seiner zeitlichen Einteilung von der „International Commission on Stratigraphy“ festgelegt <https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2024-12.pdf>

siehe auch:

- Geyer, G., Landing, E. (2016). The Precambrian–Phanerozoic and Ediacaran–Cambrian boundaries: A historical approach to a dilemma. Geological Society, London, Special Publications. 448(1):311–349. <https://doi.org/10.1144/sp448.10>
- Peng, S.C. et al. (2020). The Cambrian Period, Geologic Time Scale 2020, Elsevier, 565–629, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012824360200019X?via%3Dihub>

unterschiedlichen Lebensräumen existiert haben und geographisch weit verbreitet sein. So können auch geographisch weit entfernte Schichten miteinander verglichen werden. Dementsprechend müssen die Leitfossilien auch leicht und eindeutig bestimmbar sein, die relevanten Merkmale der Art nur über eine kurze Zeit existiert haben und sie müssen auch in hoher Anzahl vorkommen. Z. B. wird das Terreneuvium mit dem Auftreten eines Spurenfossils *Trichophycus pedum* definiert.⁷ Diese Fossilien sind Bohr- bzw. Fraßgänge von Tieren, die im Meeresboden lebten, vermutlich waren es Würmer. Das Terreneuvium hat seinen Namen von der lateinischen Schreibweise für Neufundland, wo man derartige Spurenfossilien häufig finden kann. Epoche 2 wird z. B. mit dem Auftreten bestimmter Trilobiten definiert, z.B. *Lemdadella*, die man in Spanien, Marokko und in der Antarktis fand.⁸

Es gibt berühmte Lagerstätten des Kambriums, die teilweise einen reichhaltigen Fossilnachweis haben. Die ältesten kambrischen Sedimente in Deutschland befinden sich im Raum Leipzig (Torgau-Doberlug-Synklinorium) und sind aus Bohrungen seit fast 100 Jahren gut bekannt. Eine für Mitteleuropa besondere Position nimmt aufgrund seiner bemerkenswerten Fossilführung das 2500 m mächtige böhmische Kambrium ein, welches im Barrandeum (einem klassischen Gebiet geologischer Forschung südwestlich von Prag) aufgeschlossen ist. Während die Sedimente des frühen Kambriums zumeist fossilienfrei sind, finden sich im mittleren Kambrium eine reiche marine Fauna. Die international berühmtesten Fossillagerstätten des Kambriums sind der Burgess Shale in British Columbia (Kanada)⁹ und die Chengjiang-Fauna der Maotianshan Shales in Yunnan (Südchina).¹⁰ Der Burgess Shale wurde bereits 1909

⁷ Peng SC, Babcock LE (2011). Continuing progress on chronostratigraphic subdivision of the Cambrian System". Bulletin of Geosciences. 86 (3): 391–396. <http://www.geology.cz/bulletin/contents/art1273>

⁸ Siehe:

- Wu, T. et al. (2021). Age of the lower Cambrian Vanadium deposit, East Guizhou, South China: Evidences from age of tuff and carbon isotope analysis along the Bagong section. Open Geosciences. 13 (1): 999–1012. <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/geo-2020-0287/html>
- Yuan, J.L. et al. (2011). Tentative correlation of Cambrian Series 2 between South China and other continents. Bulletin of Geosciences: 397–404. <http://www.geology.cz/bulletin/contents/art1274>

⁹ Literatur zur Burgess-Fauna:

- Butterfield, N. J. (2003). Exceptional Fossil Preservation and the Cambrian Explosion. Integrative and Comparative Biology. 43(1):166–177. <https://doi.org/10.1093/icb/43.1.166>
- Briggs, D.E.G. et al. (1995). Fossils of the Burgess Shale, Washington: Smithsonian Institution Press
- Conway Morris, S. (1999). The Crucible of Creation: The Burgess Shale and the Rise of Animals, Oxford University Press
- Gaines, R. R. et al. (2012). Mechanism for Burgess Shale-type preservation. Proceedings of the National Academy of Sciences. 109(14):5180–5184. <https://doi.org/10.1073/pnas.1111784109>
- Gaines, R. R. (2014). Burgess Shale-type Preservation and its Distribution in Space and Time. The Paleontological Society Papers. 20:123–146. <https://doi.org/10.1017/S1089332600002837>
- Yochelson, E.L. (1996). Discovery, Collection, and Description of the Middle Cambrian Burgess Shale Biota by Charles Doolittle Walcott. Proceedings of the American Philosophical Society. 140(4):469–545. <https://www.jstor.org/stable/987289>

¹⁰ Literatur zur Chengjiang-Fauna:

- Hou, X., Bergström, J. (2003). The Chengjiang fauna — the oldest preserved animal community. Paleontological Research. 7(1):55–70. <https://doi.org/10.2517/prpsj.7.55>
- Hou, X. et al. (1991). Composition and preservation of the Chengjiang fauna – a Lower Cambrian soft-bodied biota. Zoologica Scripta. 20(4):395–411. <https://doi.org/10.1111/j.1463-6409.1991.tb00303.x>
- Hou, X. et al. (2017). The Cambrian Fossils of Chengjiang, China: The Flowering of Early Animal Life. Wiley-Blackwell, New York.
- Shu, D.G. et al. (1999). Lower Cambrian Vertebrates from South China. Nature. 402(6757):42–46. <https://www.nature.com/articles/46965>
- Shu, D.G. et al. (2001). Primitive deuterostomes from the Chengjiang Lagerstatte (Lower Cambrian, China). Nature. 414(6862):419–424. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11719797/>
- Shu, D. G. et al. (2003). A new species of yunnanozoan with implications for deuterostome evolution. Science. 299(5611):1380–1384. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12610301/>
- Shu, D. G. et al. (2004). Ancestral echinoderms from the Chengjiang deposits of China. Nature. 430(6998):422–428. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15269760/>

von Charles Walcott entdeckt. Zeitlich ist er mit einem Alter von etwa 505 Mio. Jahren in die dritte Epoche des Kambriums, dem Miaolingium, einzustufen. Vereinzelte Fossilien der Chengjiang-Fauna sind ebenfalls schon seit Beginn des 20. Jahrhunderts bekannt. Die detaillierte wissenschaftliche Untersuchung begann aber erst 1984. Zeitlich wird sie mit einem Alter von etwa 520 Mio. Jahren eingestuft, als zum Ende des Terreneuviums. Beide Fundstellen sind durch eine exzellente Fossilerhaltung, auch von Weichkörpern, gekennzeichnet. Sie geben Einblick in die frühe Entwicklung der Tiere und belegen, dass es bereits im unteren Kambrium zu einer enormen Diversifizierung im Rahmen der sog. „Kambrischen Explosion“ gekommen ist. Die meisten Funde stellen frühe Entwicklungsstufen der heute bekannten Tier-Stämme dar. Es tauchten mit den Trilobiten die ersten Arthropoden auf, daneben gab es Brachiopoden, Stachelhäuter, Mollusken und die ersten Vorfahren der Wirbeltiere. Es scheint im Fossilbericht eine Art „Quantensprung“ erfolgt zu sein, denn aus früheren Schichten war lange Zeit nicht diese große Vielfalt an Lebewesen dokumentiert. Doch mittlerweile sind wir da schon viel weiter.

Fossilien im Prökambrium¹¹

Lange Zeit waren vor dem Kambrium keine Fossilien bekannt, so wusste z. B. Darwin nichts von den präkambrischen Fossilien. Erst in den 1940er und 1950er Jahren entdeckten Stanley Tyler und Elso Barghoorn in Kanada Hornsteine und Feuersteine wie den 2 Milliarden Jahre alten Gunflint Chert, in denen Mikrofossilien erhalten sind und die es uns ermöglichen, sie zu untersuchen.¹² Weiterhin findet man 3,5 Mrd. Jahre alte Gesteine aus Australien und Südafrika, die die ältesten bekannten Mikrofossilien beherbergen. Bei diesen Fossilien handelt es sich um Bakterien, meist Cyanobakterien. Ihre Äquivalente unter den modernen Cyanobakterien sind praktisch nicht von ihren fossilen Gegenstücken zu unterscheiden, was zeigt, dass sie sich in den letzten 3,5 Milliarden Jahren, zumindest was ihre äußere Gestalt angeht, nur wenig verändert haben.

Die frühesten Lebensformen bildeten einfache mikrobielle Matten auf dem Meeresboden, und diese Lebensweise war so erfolgreich, dass keinen Grund gab, sie seitdem zu ändern. Weltweit gibt es Hunderte von Mikrofossilfundstellen in Gesteinen,

-
- Shu, D. G. et al. (2006). Lower Cambrian vendobionts from China and early diploblast evolution". Science. 312(5774):731–734. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16675697/>
 - Yang, C. et al. (2018). Geochronological constraint on the Cambrian Chengjiang biota, South China. Journal of the Geological Society. 175(4):659–666. <https://doi.org/10.1144/jgs2017-103>
 - Zhang, X. et al. (2008). Cambrian Burgess Shale-type Lagerstätten in South China: Distribution and significance. Gondwana Research. 14(1–2):255–262. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2007.06.008>

¹¹ Literatur zu den ersten Lebewesen im Prökambrium, siehe:

- Knoll, A. H. (2003). Life on a Young Planet: The First Three Billion Years of Evolution on Earth. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Knoll, A. H., Carroll, S. B. (1999). Early animal evolution: emerging views from comparative biology and geology. Science 284:2129–2137. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10381872/>
- Mojzsis, S. J. et al. (1996): Evidence for life on Earth by 3800 million years ago. Nature 384:55–59 <https://www.nature.com/articles/384055a0>
- Nutman, A. P. et al. (2016): Rapid emergence of life shown by 3700-million-year-old microbial structures. Nature 537:535–538. <https://www.nature.com/articles/nature19355>
- Schopf, J. W. (1999). Cradle of Life: The Discovery of the Earth's Earliest Fossils. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Schopf, J. W., Klein, C. (1992). The Proterozoic Biosphere, a Multidisciplinary Study. New York: Cambridge University Press.

¹² Tyler, SA, Barghoorn ES (1954). Occurrence of Structurally Preserved Plants in Pre-Cambrian Rocks of the Canadian Shield. Science 119:606-608 <https://www.science.org/doi/10.1126/science.119.3096.606>

die auf die Zeit zwischen 3,5 und 1,75 Milliarden Jahren datiert werden, und sie liefern viele gute Beispiele für Bakterien (und gelegentlich ihre makroskopischen Sedimentstrukturen, die geschichteten versteinerten Bakterienmatten, die als Stromatolithen bekannt sind). In der Tat zeigen sie in 3,5 Milliarden Jahren fast keine sichtbaren Veränderungen. Überall in den Gesteinen, die zwischen 3,5 Milliarden Jahren und etwa 1,75 Milliarden Jahren alt sind, sehen wir nichts Komplizierteres als Prokaryoten und Stromatolithen. Die ersten fossilen Zellen, die groß genug sind, um Eukaryoten zu sein, tauchen erst vor 1,75 Milliarden Jahren auf, und mehrzelliges Leben gibt es erst vor 600 Millionen Jahren. Fast 2 Milliarden Jahre lang, d. h. etwa 60 % der Geschichte des Lebens, gab es auf dem Planeten nichts Komplizierteres als ein Bakterium oder eine mikrobielle Matte, und fast 3 Milliarden Jahre lang, d. h. 85 % der Erdgeschichte, gab es nichts Komplizierteres als einzellige Organismen.

Der Garten von Ediacara¹³

Im Gegensatz zu den Mythen der Kreationisten gibt es reichlich Fossilien in Gesteinen, die älter sind als das frühe Kambrium. In der letzten Periode des Proterozoikums, dem Ediacarium, welche vor 635 Mio. Jahren begann und vor 538,8 Mio. Jahren endete, tauchten die ersten fossilen Nachweise von vielzelligen Tieren auf.¹⁴ Die Ediacara-Fauna wurde erstmals 1946 von Reg Sprigg in den Ediacara-Hügeln Australiens entdeckt und ist heute von einer Vielzahl von Fundorten auf der ganzen Welt bekannt, darunter viele spektakuläre Fundorte in China, Russland, Namibia, England, Skandinavien, dem Yukon und Neufundland; insgesamt ist die Ediacara-Fauna aus 25 Orten bekannt. Diese Fauna wird üblicherweise in drei Haupttypen gruppiert, die als Fossilanhäufungen bezeichnet und nach typischen Orten benannt werden: Avalon in Kanada, vor 575 bis 565 Millionen Jahren; Weißes Meer in Russland, vor 560 bis 550 Millionen Jahren; und Nama in Namibia, vor 550 bis 542 Millionen Jahren. Jede dieser Fossilanhäufungen nimmt in der Regel eine eigene Region des Morphosystems ein und verändert sich nach einem anfänglichen Diversifizierungsschub für den Rest ihres Bestehens kaum.¹⁵ Bei den meisten dieser Fossilien handelt es sich um Abdrücke von Weichkörperorganismen ohne Skelett, d. h. es gibt keine harten Teile, die den Großteil des späteren Fossilnachweises ausmachen. Stattdessen haben diese Abdrücke einige Paläontologen an die Abdrücke von Quallen, Würmern, Weichkorallen und anderen einfachen Organismen ohne Hartteile erinnert. Es sind über 2.000 Exemplare bekannt, die in der Regel 30-40 Gattungen und etwa 50-70 Arten zugeordnet werden, also relativ vielfältig sind.

¹³ Ein Überblick über die Ediacara-Fauna siehe hier: <http://www.ediacaran.org>

¹⁴ Spezialliteratur über die Ediacara-Fauna siehe:

- Grazhdankin, D. (2014): Patterns of Evolution of the Ediacaran soft-bodied Biota. *Journal of Paleontology* 88(2):269–283. <https://doi.org/10.1666/13-072>
- Knoll, A. H.; et al. (2006). The Ediacaran period: A new addition to the geologic time scale. *Lethaia*. 39:13–30. <https://doi.org/10.1080/00241160500409223>
- Waggoner, B. (2003): The Ediacaran Biotas in Space and Time. *Integrative & Comparative Biology* 43(1):104-113. <https://doi.org/10.1093/icb/43.1.104>
- Narbonne GM, Gehling, JG (2003): Life after snowball: The oldest complex Ediacaran fossils. *Geology* 31(1):27–30. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2003\)031<0027:LASTOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2003)031<0027:LASTOC>2.0.CO;2)

¹⁵ Siehe:

- Shen, B. et al. (2008). The Avalon Explosion: Evolution of Ediacara Morphospace. *Science*. *Science*. 319(5859):81–84. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18174439/>
- Erwin, D. H. (2008). Wonderful Ediacarans, Wonderful Cnidarians?. *Evolution & Development*. 10(3):263–264. <https://doi.org/10.1111/j.1525-142X.2008.00234.x>

Obwohl es sich bei der Ediacara-Fauna eindeutig um Fossilien mehrzelliger Organismen handelt (einige erreichen eine Länge von fast einem Meter), gibt es unter Paläontologen ein breites Spektrum von Meinungen darüber, was für Lebewesen man genau hat.¹⁶ Einige ordnen sie bekannten Tiergruppen, wie Quallen oder diversen Würmern, zu. Trifft dies zu, so weisen die Ediacara-Biota jedoch Körpersymmetrien und Segmentierungen auf, die modernen Organismen nicht ähneln. Die „Würmer“ haben weder Augen, Mund, Anus, Fortbewegungsorgane noch einen Verdauungstrakt.

Aus diesem Grund haben andere Paläontologen vorgeschlagen, dass die Ediacara-Fauna aus Organismen bestand, die mit den heute lebenden nicht vergleichbar sind und argumentieren, dass es sich um ein frühes, gescheitertes Experiment der Vielzelligkeit handelt. Adolf Seilacher beispielsweise nennt sie „Vendozoa“ und vermutet, dass sie wie eine „wassergefüllte Luftmatratze“ konstruiert waren, um die Oberfläche zu maximieren. Anstatt interne Verdauungs- und Kreislaufsysteme zu verwenden, um das Problem großer mehrzelliger Körper zu lösen, schlägt Seilacher vor, dass diese einfachen Organismen keine inneren Organe hatten, sondern stattdessen alle Nährstoffe und Sauerstoff über ihre riesige Oberfläche aufnahmen.¹⁷ Mark McMenamin schlug vor, dass sie symbiotische Algen beherbergten (wie viele Riffkorallen). Die große Oberfläche maximierte die Sonneneinstrahlung für die Algen, die dann den Stoffwechsel dieser großen Organismen unterstützen.¹⁸

Andere Gattungen der Ediacara-Fauna scheinen jedoch eine direkte Verwandtschaft zu modernen Organismen zu belegen. Zum Ende des Ediacariums, vor etwa 555 Mio. Jahren, tauchten Organismen wie *Kimberella* auf, welche eine Bilateralsymmetrie aufweisen sowie Spuren einer möglichen Raspelzunge (Radula), was sie in die Verwandtschaft der Mollusken stellt.¹⁹ Zum anderen stammen aus dieser Zeit

¹⁶ Ediacara-Biota als Pilze oder Flechten:

- Retallack, G. J. (1994). Were the Ediacaran fossils lichens?. *Paleobiology*. 20(4):523–544. <https://doi.org/10.1017/S0094837300012975>
- Retallack, G. J. (2013). Ediacaran life on land. *Nature*. 493(7430):89–92. <https://www.nature.com/articles/nature11777>
- Retallack, G. J. (2016). Ediacaran fossils in thin section. *Alcheringa*. 40(4):583–600. <https://doi.org/10.1080/03115518.2016.1159412>
- Peterson, K.J.; et al. (2003). A fungal analog for Newfoundland Ediacaran fossils?. *Integrative and Comparative Biology*. 43(1):127–136. <https://doi.org/10.1093/icb/43.1.127>

Ediacara-Biota als Algen:

- Ford, T.D. (1958). Pre-Cambrian fossils from Charnwood Forest. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*. 31(6):211–217. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2451.1999.00007.x>

Ediacara-Biota als Bakterien oder andere Einzeller:

- Grazhdankin, D. (2001). Microbial origin of some of the Ediacaran fossils. *GSA Annual Meeting*.

¹⁷ Siehe:

- Seilacher, A. (1989). Vendozoa: organismic construction in the Proterozoic biosphere. *Lethaia* 22:229–239. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.1989.tb01332.x>
- Seilacher, A. (1992). Vendobionta and Psammocorallia. *Journal of the Geological Society of London* 149:607–613. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.149.4.0607>

¹⁸ McMenamin, M. A. S. (1998). *The Garden of Ediacara*. New York: Columbia University Press.

¹⁹ Siehe:

- Butterfield, N. J. (2008). An Early Cambrian Radula. *Journal of Paleontology*. 82(3):543–554 <https://doi.org/10.1666/07-066.1>
- Erwin, D. H.; Davidson, E. H. (2002). The last common bilaterian ancestor. *Development*. 129(13):3021–3032. <https://doi.org/10.1242/dev.129.13.3021>
- Fedonkin, M. A.; Waggoner, B. M. (1997). The Late Precambrian fossil Kimberella is a mollusc-like bilaterian organism. *Nature*. 388(6645):868–871. <https://www.nature.com/articles/42242>
- Fedonkin, M.A. et al. (2007). New data on Kimberella, the Vendian mollusc-like organism (White sea region, Russia): palaeoecological and evolutionary implications, in Vickers-Rich, Patricia; Komarower,

Spurenfossilien, die ein differenziertes Bewegungsverhalten belegen und vermutlich bilateralen Tieren zuzuordnen sind.²⁰ Vor 555 Mio. Jahren treten auch mineralisierte Hartteile auf, die der wurmförmigen Gattung *Cloudina* zugeordnet werden, welcher als sicherer Vertreter der Ringelwürmer (Annelida) gilt.²¹ Im März 2020 wurde die Entdeckung eines ähnlich alten Fossils, eines Wurms, der die Bezeichnung *Ikaria wariootia* erhielt, veröffentlicht. Das etwa reiskorngroße Fossil wurde in Südaustralien entdeckt und auf ein Alter von 571 bis 539 Millionen Jahre datiert und gehört damit zu den ältesten Bilateria.²²

Die Debatte um die Ediacara-Fauna ist noch nicht abgeschlossen. Unabhängig von der biologischen Verwandtschaft der Ediacara-Fauna steht fest, dass es sich um mehrzellige Organismen handelt. Tatsache ist auch, dass einige Schätzungen der molekularen Uhr für die wichtigsten Verzweigungspunkte wirbelloser Tiere auf die Zeit vor 800 bis 900 Mio. Jahren ansetzen.²³ Tier-Fossilien aus dieser Zeit sind nicht bekannt – geschuldet der Tatsache, dass die Fossilisation von Tieren ohne Hartteile äußerst selten auftritt. Umso verblüffender sind die Funde der Ediacara-Fauna!

Überlappend mit der Ediacara-Fauna treten die Doushantuo-Biota auf, die in Südchina entdeckt wurden und bis an die Grenze des Kambriums reichen.²⁴ Sie sind durch eine

Patricia (eds.), The Rise and Fall of the Ediacaran Biota, Special publications, vol. 286, London: Geological Society, 157–179, <https://doi.org/10.1144/sp286.12>

- Ivantsov, A. Y. (2010). Paleontological evidence for the supposed precambrian occurrence of mollusks. *Paleontological Journal*. 40(12):1552–1559.
<https://link.springer.com/article/10.1134/S0031030110120105>
- Smith, M. R. (2012). Mouthparts of the Burgess Shale fossils Odontogriphus and Wiwaxia: Implications for the ancestral molluscan radula. *Proceedings of the Royal Society B*. 279(1745):4287–4295.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1577>

²⁰ Siehe:

- Gehling, J. G.; et al. (2014). Scratch Traces of Large Ediacara Bilaterian Animals. *Journal of Paleontology*. 88(2):284–298. <https://doi.org/10.1666/13-054>
- Ivantsov, A. Y. (2013). Trace Fossils of Precambrian Metazoans "Vendobionta" and "Mollusks". *Stratigraphy and Geological Correlation*. 21(3):252–264.
<https://link.springer.com/article/10.1134/S0869593813030039>

²¹ Siehe:

- Germs, G.J.B. (1972): New shelly fossils from Nama Group, South West Africa. *American Journal of Science* 272(8):752–761 <https://ajsonline.org/article/59561>
- Glaessner, M. F (1976): Early Phanerozoic annelid worms and their geological and biological significance. *Journal of the Geological Society (London)*. 132(3):259–275
<https://doi.org/10.1144/gsjgs.132.3.0259>
- Hua, H., et al. (2003): Borings in Cloudina Shells: Complex Predator-Prey Dynamics in the Terminal Neoproterozoic. *PALAIOS*. 18(4–5) <https://pubs.geoscienceworld.org/sepm/palaios/article-abstract/18/4-5/454/99927/Borings-in-Cloudina-Shells-Complex-Predator-Prey?redirectedFrom=fulltext>

Eine Forscher sehen *Cloudina* als potentielles Mitglied der Cnidaria und nicht der Annelida:

- Vinn, O., Zatoń, M. (2012): Inconsistencies in proposed annelid affinities of early biomimeticized organism *Cloudina* (Ediacaran): structural and ontogenetic evidences. *Carnets de Géologie*. CG2012_A03: 39–47, <http://paleopolis.rediris.es/cg/12/A03/index.html>

²² Evans, S. D.; et al. (2020). Discovery of the oldest bilaterian from the Ediacaran of South Australia.

Proceedings of the National Academy of Sciences. 117(14):7845–7850. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001045117>

²³ Siehe:

- Ayala, F. J., Rzhetsky, A. (1998). Origins of the metazoan phyla: molecular clocks confirm paleontological estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 95:606–611.
<https://doi.org/10.1073/pnas.95.2.606>
- Runnegar, B. (1992). Evolution of the earliest animals. In *Major Events in the History of Life*. ed. J. W. Schopf. New York: Jones and Bartlett, 65–94.
- Wray, G. A., et al. (1996). Molecular evidence for deep Precambrian divergences among metazoan phyla. *Science* 274:568–573. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.274.5287.568>

²⁴ Siehe:

- Chen, J.Y., Chi, H.M. (2005). Precambrian phosphatized embryos and larvae from the Doushantuo Formation and their affinities, Guizhou (SW China). *Chinese Science Bulletin* 50:2193–2200.
<https://PMC.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC18256/>

spezielle Form der Erhaltung gezeichnet: Kleine Zellaggregate, z. B. Mikrofossilien oder mutmaßliche Embryos, wurden phosphatisiert und dreidimensional erhalten. Assoziierte Faunenelemente erinnern an Schwämme, Korallen und Bilateria. Besonders interessant sind die als Blastula erhaltenen Embryos, die Tieren zugeordnet werden.

Small Shelly fauna²⁵

Wenn die mehrzellige Ediacara-Fauna mit ihren weichen Körpern den nächsten logischen Schritt nach dem einzelligen Leben darstellt, dann wäre der nächste Schritt das Auftreten von mineralisierten, fossilen Skeletten. Tatsächlich wird die früheste Periode des Kambriums, das Terreneuvium, von winzigen (nur wenige Millimeter großen) Fossilien dominiert, die in der Fachwelt den Spitznamen "small shelly fauna" trägt. Jahrzehntelang wurden diese kleinen Fossilien übersehen, weil man in den jüngeren Schichten nach den spektakuläreren Trilobitenfossilien suchte. Es waren vor allem die Paläontologen in der Sowjetunion, die nach dem zweiten Weltkrieg ihre

- Chen, J.Y., et al. (2000). Precambrian animal diversity: putative phosphatized embryos from the Doushantuo Formation of China. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 97:4457–4462. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10781044/>
- Chen, J. Y., et al. (2004). Small bilaterian fossils from 40 to 55 million years before the cambrian. Science 305:218–222. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1099213>
- Hagadorn, J. W. et al. (2006). Cellular and Subcellular Structure of Neoproterozoic Animal Embryos. Science. 314 (5797):291–294. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1133129>
- Xiao, S.H., Knoll, A.H. (2000) Phosphatized animal embryos from the Neoproterozoic Doushantuo Formation at Weng'An, Guizhou, South China. Journal of Paleontology 74:767–788. [https://doi.org/10.1666/0022-3360\(2000\)074<0767:PAEFTN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1666/0022-3360(2000)074<0767:PAEFTN>2.0.CO;2)
- Xiao, et al. (1998). Three-dimensional preservation of algae and animal embryos in a Neoproterozoic phosphorite. Nature. 391(6667): 553–558. <https://www.nature.com/articles/35318>
- Xiao, S.H., et al. (2007). Rare helical spheroidal fossils from the Doushantuo Lagerstätte: Ediacaran animal embryos come of age? Geology 35:115–118. <https://doi.org/10.1130/G23277A.1>
- Yin, C.Y., et al. (2001). Discovery of phosphatized gastrula fossils from the Doushantuo Formation, Weng'an, Guizhou Province, China. Chinese Science Bulletin 46:1713–1716. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02900658>
- Yin, C.Y., et al. (2004). Silicified and phosphatized Tianzhushania, spheroidal microfossils of possible animal origin from the Neoproterozoic of South China. Acta Palaeontologica Polonica 49:1–12. <https://www.app.pan.pl/article/item/app49-001.html>
- Yin, L.M., et al. (2007). Doushantuo embryos preserved inside diapause egg cysts. Nature 446:661–663. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17410174/>

zu einer kritischen Einschätzung, dass es sich bei bestimmten Fossilien der Doushantuo-Biota um Fossilien der Bilateria handelt siehe:

- Bengtson, S., et al. (2012): A merciful death for the „earliest bilaterian“, Vernanimalcula. In: Evolution and Development 14(5):421–427 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1525-142X.2012.00562.x>
- Bengtson, S. Budd, G. (2004): Comment on "Small Bilaterian Fossils from 40 to 55 Million Years Before the Cambrian". Science 306(5700):1291a.

²⁵ Spezialliteratur zur „small shelly fauna“:

- Cohen, B.L. (2005). Not armour, but biomechanics, ecological opportunity and increased fecundity as keys to the origin and expansion of the mineralized benthic metazoan fauna. Biological Journal of the Linnean Society. 85(4):483–490. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2005.00507.x>
- Dzik, J. (1994). Evolution of 'small shelly fossils' assemblages of the early Paleozoic". Acta Palaeontologica Polonica. 39(3):27–313. <https://www.app.pan.pl/archive/published/app39/app39-247.pdf>
- Germs, G. J. (1972). New shelly fossils from Nama Group, South West Africa. American Journal of Science. 272(8):752–761. <https://doi.org/10.2475/ajs.272.8.752>
- Matthews, S. C., Missarzhevsky, V. V. (1975). Small Shelly Fossils of Late Precambrian and Early Cambrian Age: a Review of Recent Work. Journal of the Geological Society. 131(3):289–304. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.131.3.0289>
- Porter, S. (2007). Seawater Chemistry and Early Carbonate Biomineralization. Science. 316(5829):1302. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1137284>
- Skovsted, C.B. (2006). Small shelly fossils from the basal Emigrant Formation (Cambrian, uppermost Dyeran Stage) of Split Mountain, Nevada. Canadian Journal of Earth Sciences. 43(4):487–496. <https://doi.org/10.1139/e05-119>

langen und detaillierten Abfolgen von Sedimenten aus dem Proterozoikum und Kambrium im Detail studierten und die Stufen des Kambriums benannten. Und als sie sich die Schichten unter den Trilobiten genauer ansahen und Proben mit ins Labor nahmen, um sie in Säure aufzulösen oder in dünne Schnitte zu schneiden, wurde deutlich, dass diese lange vernachlässigten Schichten vollgestopft mit winzigen Fossilien waren.

Einige der kleinen Schalenorganismen sehen aus wie einfache kappenförmige oder gewundene Mollusken; andere sehen aus wie primitive Muscheln. Viele andere sind einfache röhren- oder kegelförmige Fossilien, deren Verbindung zu einer lebenden Gruppe schwer herzustellen ist. Viele der Fossilien sehen aus wie kleiner stacheliger Weihnachtsschmuck. Diese scheinen Teil eines „Kettenpanzers“ gewesen zu sein, der die Haut größerer Organismen wie des Schwamms *Chancelloria*²⁶ zerte, die bis auf diese kleinen stacheligen Objekte weich waren. Die meisten dieser kleinen Muscheln bestanden aus Kalziumphosphat, dem gleichen Mineral, aus dem auch die Knochen der Wirbeltiere bestehen. Heute bestehen die meisten Schalen der wirbellosen Meerestiere aus Kalziumkarbonat (den Mineralien Kalzit und Aragonit). Für einige Wissenschaftler deutet dies darauf hin, dass bestimmte Umweltbedingungen (z. B. niedriger Luftsauerstoffgehalt) die Bildung von Kalzitskeletten erschwerten, während Phosphatskelette leichter zu produzieren waren. Sie vermuten, dass das Auftreten großer Trilobiten und anderer Fossilien den Zeitpunkt widerspiegelt, an dem der atmosphärische Sauerstoff eine kritische Schwelle überschritt und reichlich genug vorhanden war, um diese chemische Mineralisierung zu ermöglichen. Was auch immer der Grund sein mag, die kambrische Explosion brannte fast 25 Millionen Jahre lang auf Sparflamme. Die kleinen Muscheln waren reichlich vorhanden, größere Fossilien jedoch nicht. Die ersten Schwämme tauchten bereits im Ediacarium auf, was jedoch nicht überrascht, wenn man bedenkt, dass Schwämme die ursprünglichsten heute lebenden Tiere sind. Vor etwa 530 Millionen Jahren, in der Stufe 2 des Terreneuvium, tauchten nach und nach weitere Gruppen größerer wirbelloser Tiere auf, darunter die ersten Brachiopoden und auch Mitglieder einer ausgestorbenen schwammähnlichen Gruppe, die als Archäocyathen bekannt sind.²⁷ Die Artenvielfalt erreichte nur etwa 50 Gattungen, was in etwa derjenigen der Ediacara-Fauna entspricht. Darüber hinaus zeigen die Sedimente des frühesten Kambriums reichlich Wühltätigkeit, was beweist, dass viele andere Arten von Lebewesen, mit wurmartiger Körperform und mit einer echten, mit Flüssigkeit gefüllten Innenhöhle (einem Coelom) zu dieser Zeit gelebt haben müssen. Das früheste Kambrium zeigt also eine allmähliche Zunahme der Vielfalt, aber keine „Explosion“.

Die Explosion auf Sparflamme

Die dritte Stufe des frühen Kambriums, in der Epoche 2, welche vor ca. 521 Mio. Jahren begann und vor 514 Mio. Jahre endete, ist jene Stufe, bei der eine große Zunahme der Vielfalt zu beobachten ist: mehr als 600 Gattungen sind verzeichnet. Diese Zahl ist jedoch irreführend und ein wenig übertrieben. Bei den meisten

²⁶ Sdzu, K. (1969): Unter- und mittelkambrische Porifera. (Chancellorida und Hexactinellida). In: Paläontologische Zeitschrift 43(3–4):115–147 <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02987647>

²⁷ Siehe:

- Rowland, S.M. (2001). Archaeocyatha: A history of phylogenetic interpretation. Journal of Paleontology. 75(6):1065–1078. [https://doi.org/10.1666/0022-3360\(2001\)075<1065:AAHOP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1666/0022-3360(2001)075<1065:AAHOP>2.0.CO;2)
- Wang, Q. et al. (2025). Fortunian archaeocyath sponges acquired biomineralization in the beginning of the Cambrian explosion <https://doi.org/10.1130/G53249.1>

Gattungen handelt es sich um Trilobiten, die sich leicht versteinern lassen und so das Volumen und die Vielfalt der großen Schalenfossilien stark erhöhen. Die meisten anderen Tiergruppen waren zu diesem Zeitpunkt bereits entstanden (einschließlich Weichtiere, Schwämme, Korallen, Stachelhäuter) oder erschienen später im Kambrium (Wirbeltiere) oder sogar im darauffolgenden Ordovizium (z. B. die Bryozoen). Der zweite irreführende Aspekt dieser scheinbaren „Explosion“ der Artenvielfalt besteht darin, dass hier die ersten gut erhaltenen Weichkörper fossil überliefert sind, besonders die Chengjiang- und Burgess-Fauna. Da aber Weichkörper selten als Fossilien erhalten bleiben, ist davon auszugehen, dass es diese Gruppen schon länger gab. Wie Stephen Jay Gould in seinem Buch *Wonderful Life* (1989)²⁸ hervorhebt, ermöglichen uns die in diesen erstaunlichen Ablagerungen erhaltenen Weichkörper-Tiere zu sehen, was im normalen Fossilbericht fehlt. Wir haben viele bizarre wurmartige und seltsame Fossilien, von denen viele in keinen lebenden Stamm passen. Einige, wie die fünfügige *Opabinia*²⁹ oder die weiche, blumenartige *Dinomischus*,³⁰ geben den Zoologen völlige Rätsel auf. Andere sind offenbar weichschalige Arthropoden. Ein Fossil mit dem passenden Namen *Hallucigenia*³¹ war eine bizarre Kreatur, die Tentakel oder Stacheln auf einem wurmartigen Körper zu haben schien, bis neuere, bessere Fossilien aus China zeigten, dass sie mit dem Stamm Onychophora verwandt ist. Das größte Raubtier (etwa 1,5 m lang) war ein Schwimmer mit weichem Körper, der als *Anomalocaris*³² bekannt war und ein seltsames Maul hatte, das wie eine Ananasscheibe aussah.

²⁸ Gould, S. J. (1989). *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History*. New York: Norton

²⁹ Siehe:

- Briggs, D. E. G. (2015). Extraordinary fossils reveal the nature of Cambrian life: a commentary on Whittington (1975) 'The enigmatic animal *Opabinia regalis*, Middle Cambrian, Burgess Shale, British Columbia'. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 370(1666):20140313. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0313>
- Whittington, H. B. (1975). The enigmatic animal *Opabinia regalis*, Middle Cambrian Burgess Shale, British Columbia. Philosophical Transactions of the Royal Society B. 271(910):1–43 271. <https://doi.org/10.1098/rstb.1975.0033>

³⁰ Siehe:

- Conway Morris, S. (1977). A new entoproct-like organism from the Burgess Shale of British Columbia. Palaeontology. 20(4):833–845.
- Peng, J et al. (2006). *Dinomischus* from the Middle Cambrian Kaili Biota, Guizhou, China. Acta Geologica Sinica. 80(4):498–501. <https://doi.org/10.1111/j.1755-6724.2006.tb00269.x>

³¹ Siehe:

- Caron, J-B.; Aria, C. (2017). Cambrian suspension-feeding lobopodians and the early radiation of panarthropods. BMC Evolutionary Biology. 17(1):29. <https://bmcecoevol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12862-016-0858-y>
- Hou, X., Bergström, J. (1995). Cambrian lobopodians—ancestors of extant onychophorans?. Zoological Journal of the Linnean Society. 114(1):3–19. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1995.tb00110.x>
- Liu, J.; Dunlop, J. A. (2014). Cambrian lobopodians: A review of recent progress in our understanding of their morphology and evolution. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Cambrian Bioradiation. 398:4–15. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.06.008>
- Ma, X.; et al. (2012). Morphology of Cambrian lobopodian eyes from the Chengjiang Lagerstätte and their evolutionary significance. Arthropod Structure & Development. 41(5):495–504 <https://doi.org/10.1016/j.asd.2012.03.002>
- Ortega-Hernández, J. (2015). Lobopodians. Current Biology. 25(19):R873 – R875. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.07.028>
- Smith, M. R.; Caron, J-B (2015). Hallucigenia's head and the pharyngeal armature of early ecdysozoans. Nature. 523(7558):75–78. <https://www.nature.com/articles/nature14573>
- Smith, M. R.; Ortega-Hernández, J. (2014). Hallucigenia's onychophoran-like claws and the case for Tactopoda. Nature. 514(7522):363–366. <https://www.nature.com/articles/nature13576>
- Zhang, X-G.; et al. (2016). Onychophoran-like musculature in a phosphatized Cambrian lobopodian. Biology Letters. 12(9):20160492. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0492>

³² Siehe:

- Briggs D.E. (1979). *Anomalocaris*, the largest known Cambrian arthropod. Palaeontology. 22(3):631–664. <https://ia802805.us.archive.org/34/items/biostor-165391/biostor-165391.pdf>

Ein weiteres Missverständnis bezüglich der kambrischen Explosion ist, dass wir ein verhältnismäßig rasches Auftreten verschiedener Tierstämme, so genannter Phyla, haben. Das heißt aber nicht, dass alle Vertreter einer Gruppe entstanden sind. Der Begriff Phylum als höchste Rangstufe in der Taxonomie und seine Bezeichnung wurde zuerst von dem deutschen Zoologen Ernst Haeckel eingeführt. Mittlerweile gibt es, wie wir in den letzten Episoden gesehen haben, natürlich auch Ränge oberhalb des Phylums.³³ Für Haeckel waren Stämme grundlegend verschiedene Organisationstypen, die jeweils auf eine gemeinsame Stammart zurückgeführt werden können. Sie sind also gekennzeichnet durch eigene Apomorphien, die viele niedere Ränge miteinander vereinen. Oft schreibt man ihnen einen grundlegenden Bauplan zu. Gegenwärtig sind in der Zoologie, je nach Kenntnisstand, über 30 Phyla bekannt. Bei über 1,5 Mio. Tierarten klingen 30 Phyla nun wirklich nicht viel. So sind Beispielsweise alle Insekten, Spinnen, Krebstiere, Tausend- und Hundertfüßer, sowie die Trilobiten im Phylum der Arthropoda zusammengefasst. Sie vereinende Merkmale sind ein segmentierter Körperbau, Gliederfüße und ein Außenskelett aus Chitin. Alle Wirbeltiere (Säugetiere, Vögel, Reptilien, Amphibien, Fische) werden zusammen mit einigen für die meisten befreundlich wirkenden Gruppen wie den Schädellosen und Manteltieren als Chordata zusammengefasst. Ein typisches Merkmal der Chordata ist die sie definierende Chorda dorsalis. Es zeigt sich, dass trotz dieses grundlegenden Körperbaus, es innerhalb eines Phylums zu großen evolutionären Veränderungen kommen kann: Wenn ein Otto-Normal-Verbraucher schon mal ein Manteltier gesehen hat, wird er oberflächlich betrachtet kaum eine Verbindung zu einem Wirbeltier erkennen. Gleichzeitig können diese Phyla in noch höhere Ränge zusammengefasst werden: so lassen sich Chordata mit Echinodermata als Deuterostomia zusammenfassen, aufgrund von Gemeinsamkeiten in der Embryonalentwicklung. Arthropoda vereinen mit den Nematoda und weiteren als Ecdysozoa, Ringelwürmer (Anneliden) mit Mollusken als Lophotrochozoa usw. Das entscheidende ist: Im Kambrium mögen zwar die ersten Arthropoden, Chordaten und weitere Phyla entstanden sein, es gab aber weder Insekten, Spinnen noch Säugetiere und Dinosaurier. Es gab erste, ursprüngliche und einfach gebaute Vertreter dieser Phyla. Das lässt sich gut an den im Kambrium entdeckten Chordaten wie *Pikaia*³⁴ zeigen: Dieser ist durch die Existenz einer Chorda dorsalis als Chordat diagnostizierbar, gleicht aber eher einem Wurm als einem modernen Wirbeltier. In anderen Fällen haben wir experimentelle Formen innerhalb eines Phylums, die jedoch bald verschwanden und von modernen Vertretern ersetzt wurden. Das belegen die Echinodermata,

-
- Collins D (1996). The "Evolution" of Anomalocaris and Its Classification in the Arthropod Class Dinocarida (nov.) and Order Radiodonta (nov.). Journal of Paleontology. 70(2):280–293. <https://doi.org/10.1017/S0022336000023362>
 - Whittington HB, Briggs DE (1985). The largest Cambrian animal, Anomalocaris, Burgess Shale, British Columbia. Philosophical Transactions of the Royal Society B. 309(1141):569–609. <https://doi.org/10.1098/rstb.1985.0096>

³³ Die Phyla der Bilateria werden in Teil 5 der Serie besprochen. Transkript mit Quellen: <https://internet-evoluzzer.de/die-erfindung-von-links-rechts-die-geburt-der-bilateria-von-luca-bis-eva-teil-5/> Video: <https://www.youtube.com/watch?v=1d1Dvpk9bCc>

³⁴ Siehe:

- Conway Morris, S.; Caron, J-B. (2012). Pikaia gracilens Walcott, a stem-group chordate from the Middle Cambrian of British Columbia. Biological Reviews. 87(2):480–512. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2012.00220.x>
- McMenamin, M. (2019). Cambrian Chordates and Vetulicolians. Geosciences. 9(8):354. <https://doi.org/10.3390/geosciences9080354>
- Mussini, G.; et al. (2024). A new interpretation of *Pikaia* reveals the origins of the chordate body plan. Current Biology. 34(13):2980–2989.e2. [https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(24\)00669-9?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0960982224006699%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(24)00669-9?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0960982224006699%3Fshowall%3Dtrue)

Brachiopoda und Archaeocyatha, die im Kambrium bizarre und urtümliche, oft einfach gebaute Formen haben, in den späteren Perioden der Erdgeschichte jedoch durch andere Formen innerhalb des Phylums ersetzt wurden: und je näher man unserer eigenen Epoche kommt, desto vertrauter werden die Organismen, da sie den heutigen Formen immer ähnlicher sehen. Auch spezialisierte und erfolgreiche Gruppen des Kambriums, wie die Trilobiten, zeigen im Verlauf ihrer Evolutionsgeschichte teilweise starke Veränderungen. Und die Trilobiten des darauffolgenden Ordoviziums unterschieden sich von jenen des Kambriums wie Katz und Maus.³⁵ Die Kambrische Explosion zeigt also auch im Bereich der Taxonomie, was von der Evolutionstheorie ausgehend zu erwarten wäre! Dass dabei nicht jede Gruppe gut als Fossil dokumentiert ist, widerlegt die Evolution nicht, da der vorhandene Fossilbericht diese genau stützt. Es ist, wie erwähnt, auch nicht zu erwarten, dass jede Spezies, geschweige denn jedes Individuum, zum Fossil wird: der Prozess der Fossilisation lässt solch einen lückenlosen Bericht nicht zu!

Was führte zur kambrischen Explosion?

Während der kambrischen Explosion entwickelte sich eine erstaunliche Vielfalt an Körperplänen, Zelltypen und Entwicklungsmustern. Die Gründe, weshalb der Fossilbericht im Kambrium im Vergleich zum Proterozoikum so gut belegt ist, wirft den Forschern natürlich einige Fragen auf. Früher interpretierte man das Fehlen komplexer, mehrzelliger Tiere im Proterozoikum mit einem unvollständigen Fossilbericht. Die Entdeckung der Ediacara-Fauna scheint dem zu entsprechen. Gleichzeitig lässt sich jedoch nicht die Tatsache verleugnen, dass präkambrische Tierfossilien vergleichsweise selten sind und diese phylogenetisch nicht genau bestimmbar sind. Hinzu kommt, dass im frühen Kambrium mit der small shelly fauna eine andere Fauna dominierte als ab dem mittleren Kambrium. Es gibt also wahrscheinlich objektive Gründe, weshalb der Fossilbericht ab dem mittleren Kambrium gut dokumentiert ist und sich auch von jenen des frühen Kambriums und dem Ediacarium in punkto Erhaltung und der Entwicklung kalziumcarbonathaltiger Schalen unterscheidet. Die meisten Ediacara-Organismen nahmen Nährstoffe über Membranen auf, weideten auf mikrobiellen Matten oder ernährten sich von organischen Ablagerungen.³⁶

³⁵ Siehe:

- Aria, C (2022). The origin and early evolution of arthropods. *Biological Reviews*. 97 (5): 1786–1809. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/brv.12864>
- Berks et al. (2023). A possibly deep branching artiopodan arthropod from the lower Cambrian Sirius Passet Lagerstätte (North Greenland). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/spp2.1495>
- Briggs, DEG.; Fortey, RA.(1989). "The early radiation and relationships of the major arthropod groups." *Science*, 246(4927), 241-243. <http://www.sciencemag.org/content/246/4927/241>
- Brysse, K (2008). "From weird wonders to stem lineages: the second reclassification of the Burgess Shale fauna." *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*. 39(3), 298-313. <http://dx.doi.org/10.1016/j.shpsc.2008.06.004> <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369848608000393>
- Lieberman, BS (2002). Phylogenetic analysis of some basal early Cambrian trilobites, the biogeographic origins of the eutrilobita, and the timing of the Cambrian radiation", *Journal of Paleontology*, 76(4):692–708 [https://doi.org/10.1666/0022-3360\(2002\)076<0692:PAOSBE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1666/0022-3360(2002)076<0692:PAOSBE>2.0.CO;2)
- Hughes NC (2003). Trilobite body patterning and the evolution of arthropod tagmosis. *Bioessays* 25(4):386-95. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12655645/>

³⁶ Siehe:

Die Fauna des Burgess Shale führt jedoch eine Vielzahl von benthischen und pelagischen Räubern, Filtrierern, Weidegängern, Aasfressern und Detritivoren ein, von denen viele ihre Beute aktiv jagten.³⁷ Die kambrische Explosion füllte viele der ökologischen Nischen in flachen Meereslebensräumen. Ausgehend von dieser Beobachtung dreht sich die Frage, warum die kambrische Explosion stattfand, darum, welche Umweltveränderungen all diese neuartigen Lebensformen möglich machten. Eine Ursache für die kambrische Explosion liegt im erhöhten Sauerstoffgehalt. Steigende Sauerstoffkonzentrationen im Meerwasser während des Proterozoikums waren der Schlüssel für die Entstehung von Vielzelligkeit und Größe.³⁸ Mehr Sauerstoff macht höhere Stoffwechselraten und größere Körper möglich. Größere Körper sind eine Voraussetzung für die Entwicklung von Geweben, und höhere Stoffwechselraten sind für die aktive Bewegung erforderlich. Beide Merkmale treten zum ersten Mal in den Ediacaran-Faunen auf. Um die kambrische Explosion zu erklären, schlugen Andrew Knoll und Sean Carroll (1999) vor, dass ein plötzlicher Anstieg des atmosphärischen Sauerstoffs in der Mitte des Kambriums auftrat und große Körper und schnelle Bewegungen ermöglichte.³⁹ Sie stellten auch die These auf, dass ein Massenaussterben am Ende des Proterozoikums einen Großteil der Ediacaran-Fauna auslöschte und so den winzigen Vorfahren der modernen Phyla, die zu dieser Zeit existierten, die Möglichkeit gab, sich als Reaktion auf die veränderten Bedingungen zu entwickeln.

Weiterhin dürfte das Ende der Eiszeiten im Cyrogenium, der Periode vor dem Ediacarium vor 720 bis 635 Mio. Jahren und Veränderungen der Plattentektonik zum Ende des Proterozoikums die Entwicklung von mehrzelligen Tieren begünstigt haben. Erhöhte vulkanische Aktivität und das Auseinanderbrechen des Großkontinents Pannotia hatte einen erhöhten Eintrag von Nährstoffen wie Kalzium und Phosphat in die Ozeane zur Folge. Dies erlaubte zum einen das schnelle Wachstum der Organismen, sowie die Ausbildung von mineralisierten Skeletten. Kalzium ist ein natürliches Nebenprodukt des Stoffwechsels und Organismen sind in der Lage ihren Kalziumhaushalt auszugleichen, indem sie diesen als Hartteile ausscheiden. Dies ist jedoch nur bei kritischem Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre möglich. Das könnte erklären warum die hartschaligen Organismen zu Beginn des Kambriums noch relativ

-
- Laflamme, M. et al. (2009). Osmotrophy in modular Ediacara organisms. PNAS 106:14438–14443. Available at <http://www.pnas.org/content/106/34/14438.full>
 - Xiao, S. Laflamme, M. (2009). On the eve of animal radiation: phylogeny, ecology and evolution of the Ediacara biota. Trends in Ecology and Evolution 24:31–40. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.07.015>

³⁷ Bush, A.M., Bambach, R.K. (2011). Paleoecologic megatrends in marine Metazoa. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 39:241–269. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-040809-152556>

³⁸ Siehe:

- Butterfield, N. J. (2009). Oxygen, animals and oceanic ventilation: An alternative view. Geobiology. 7(1):1–7. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4669.2009.00188.x>
- Butterfield, N.J. (2018). Oxygen, animals and aquatic bioturbation: an updated account. Geobiology 16:3–16. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29130581/>
- Canfield, D.E.; et al. (2007). Late-Neoproterozoic Deep-Ocean Oxygenation and the Rise of Animal Life. Science. 315(5808):92–5. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1135013>
- Schirrmeister, B. E.; et al. (2013). Evolution of multicellularity coincided with increased diversification of cyanobacteria and the Great Oxidation Event. PNAS. 110(5):1791–1796. <https://doi.org/10.1073/pnas.1209927110>
- Towe, K.M. (1970). Oxygen-Collagen Priority and the Early Metazoan Fossil Record. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 65(4):781–788. <https://doi.org/10.1073/pnas.65.4.781>

³⁹ Knoll, A.H.; Carroll, S.B. (1999). Early Animal Evolution: Emerging Views from Comparative Biology and Geology. Science. 284(5423):2129–37. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.284.5423.2129>

klein waren (die small shelly fauna) und in den späteren Stufen des Kambriums bei steigendem Sauerstoffgehalt größer werden konnten.

Eine weitere wichtige Veränderung, die „kambrische Substrat-Revolution“, fand etwa gleichzeitig statt: Durch die Zunahme der Weidegänger wurden die Cyanobakterienmatten stark zurückgedrängt, die noch im Proterozoikum große Teile der Sedimentoberflächen überzogen hatten. Damit wurde das Substrat frei für eine große Zahl grabender Organismen, die im Proterozoikum noch sehr selten waren.⁴⁰

Diese Umweltfaktoren führten dann natürlich auch zu komplexeren ökologischen Beziehungen und Räuber-Beute-Verhältnissen. Hier konnte die natürliche Selektion noch stärker ansetzen und die Vielfalt der Fauna im Kambrium mit verursachen.

Weitere kreationistische Mythen

Wir haben also gesehen, dass die „kambrische Explosion“ ein Mythos ist. Sie wird besser als „Kambrische Zündschnur“ beschrieben. Von den frühesten mehrzelligen Organismen des Ediacariums bis zu den ersten Trilobiten vergehen 80 Mio. Jahre! Achtzig Millionen Jahre sind beim besten Willen nicht explosiv! Es handelt sich nicht nur um eine langsame Explosion, sondern auch um eine Reihe von logischen Stufen, die von einfachen und kleinen zu größeren, komplexen und mineralisierten Organismen führen. Zunächst haben wir natürlich Mikrofossilien von Bakterien und später Eukaryonten, die bis vor 3,5 Milliarden Jahren zurückreichen und die gesamte Fossilgeschichte seit dieser Zeit abdecken. Dann, vor etwa 600 Millionen Jahren, erhalten wir den ersten guten Beleg für mehrzellige Tiere, die Ediacara-Fauna. Sie sind größer und vielzellig, hatten aber keine harten Schalen. Die frühesten Stadien des Kambriums, werden von der small shelly fauna dominiert, die gerade begannen, kleine mineralisierte Skelette zu entwickeln. Erst nach mehreren weiteren Schritten sehen wir die vollständige kambrische Fauna. Kurz gesagt, die Fossilienaufzeichnungen zeigen einen allmählichen Aufbau von einzelligen Prokaryonten und dann Eukaryonten zu mehrzelligen Weichkörpertieren bis hin zu Tieren mit winzigen Schalen und schließlich im mittleren Kambrium die gesamte Palette der wirbellosen Tiere mit großen Schalen. Diese allmähliche Umwandlung durch logische Fortschritte bei der Körpergröße und Skelettierung hat keine Ähnlichkeit mit einer plötzlichen kambrischen Explosion, die mit der Bibel übereinstimmen könnte, sondern zeigt deutlich eine Reihe von evolutionären Veränderungen. All diese Informationen sind zumindest seit den letzten Jahrzehnten bekannt, und die ersten präkambrischen Mikrofossilien wurden vor über 70 Jahren entdeckt. Sie sind in allen gängigen Geologie- und Paläontologie-Lehrbüchern veröffentlicht, und das schon seit Jahrzehnten. Aber die Kreationisten wollen entweder nichts davon wissen oder können die Tragweite dieser Entdeckungen nicht verstehen. Ihre aus dem Zusammenhang gerissenen Zitate von echten

⁴⁰ Siehe:

- Butterfield, N. J. (2001). Ecology and evolution of Cambrian plankton. *The Ecology of the Cambrian Radiation*. Columbia University Press, New York.
- Butterfield, N. J. (2007). Macroevolution and macroecology through deep time. *Palaeontology*. 50(1):41–55. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4983.2006.00613.x>
- Erwin, D. H.; Tweedt, S. (2011). Ecological drivers of the Ediacaran-Cambrian diversification of Metazoa. *Evolutionary Ecology*. 26(2):417–433. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10682-011-9505-7>
- Seilacher A. (2007). Trace fossil analysis. Springer, Berlin
- Seilacher, A.; et al. (2005). Trace fossils in the Ediacaran–Cambrian transition: Behavioral diversification, ecological turnover and environmental shift. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 227(4):323–356. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.06.003>

Wissenschaftlern, die über die kambrische Explosion rätseln, stammen alle aus alten Quellen, die nicht widerspiegeln, was wir aus den jüngsten Entdeckungen gelernt haben. Sogar in ihren jüngsten Büchern, einschließlich der Texte zum „intelligenten Design“, wird dieses veraltete Bild immer wieder reproduziert. 2013 veröffentlichte z. B. der ID-Kreationist Stephen Meyer ein ganzes Buch zu diesem Thema mit dem Titel Darwin's Doubt: The Explosive Origin of Animal Life and the Case for Intelligent Design.

Die meisten Wissenschaftler ignorierten dieses Buch, aber die wenigen, die ihre Zeit damit verschwendeten, es zu lesen, verrissen es.⁴¹ Dieses Buch ist ein großes Stück Inkompetenz und dilletantischer Arbeit, mit Fehlern, falschen Behauptungen, Zitatensammlungen, Rosinenpickerei von Daten, Ignorieren unbequemer Tatsachen und unverhohlenen Lügen über den Fossilbericht auf fast jeder Seite. Es ist auch gar nicht Wert, jede Lüge von Meyer einzeln zu widerlegen. Es reicht in unserem Fall nur eine: Die wichtigste Täuschung, die Meyer begeht, ist, dass er die ersten beiden Stufen des Kambriums völlig ignoriert! Nirgendwo im Buch wird die "small shelly fauna" auch nur erwähnt! Wenn man absichtlich die entscheidenden Beweise für die Entwicklung der Zwischenstufe des Lebens von den großen Weichkörpern der Ediacarier (die er als irrelevant abtut, weil wir nicht sicher sind, ob sie zu den modernen Phyla gehören) zu den großen Trilobiten der dritten Stufe des Kambriums weglässt, wirkt das Ganze natürlich noch explosiver. Selbst wenn wir davon ausgehen, dass viele Tiergruppen erst im mittleren Kambrium auftauchten auftauchen, liegt ihre Diversifizierung im Rahmen typischer evolutionärer Ereignisse. So wurde gezeigt, dass die Evolutionsraten während der "kambrischen Explosion" typisch für jede adaptive Radiation in der Geschichte des Lebens sind, ob man nun die Diversifizierung der Säugetiere im Paläozän nach dem Aussterben der Dinosaurier oder sogar die Diversifizierung des Menschen von seinem gemeinsamen Vorfahren mit den Schimpansen vor 6 Millionen Jahren betrachtet (Lieberman 2003).⁴²

Schließlich könnte man sich fragen: Was soll die ganze Aufregung um die "kambrische Explosion"? Warum sollte es eine Rolle spielen, ob die Evolution während der dritten Stufe des Kambriums schnell oder langsam verlief? Manchen Wissenschaftlern mag dies rätselhaft erscheinen, aber man muss die Denkweise der Kreationisten verstehen. Sie arbeiten mit dem Argument des Gottes der Lücken: Alles, was die Wissenschaft derzeit nicht leicht erklären kann, wird automatisch auf übernatürliche Ursachen zurückgeführt. Auch wenn ID-Kreationisten sagen, dass dieser übernatürliche Designer jede beliebige Gottheit oder sogar Außerirdische sein könnte, ist es gut dokumentiert, dass sie an den jüdisch-christlichen Gott denken, wenn sie auf die Komplexität und das „Design“ des Lebens hinweisen. Sie argumentieren, dass die

⁴¹ Siehe:

- Cook, G. (2013). Doubting "Darwin's doubt." New Yorker, July 2, 2013.
- Marshall, C. R. (2013). When prior beliefs trump scholarship. Science 341:1344.
- Matzke, N. (2013): Meyer's hopeless Monster Part II <https://pandasthumb.org/archives/2013/06/meyers-hopeless-2.html>
- Prothero, D.R. (2013). Stephen Meyer's fumbling bumbling Cambrian follies: a review of Darwin's Doubt by Stephen Meyer. Skeptic 18(4):50–53.

⁴² Siehe z. B.

- Lieberman, B. S. (2003). Taking the pulse of the Cambrian radiation. Integrative and Comparative Biology 43:229–237. <https://doi.org/10.1093/icb/43.1.229>
- Marshall, CR. (2006). "Explaining the Cambrian 'explosion' of animals." Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 34: 355–384. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.earth.33.031504.103001>
- Peterson, KJ; McPeek, MA.; Evans, DAD (2005). "Tempo and mode of early animal evolution: inferences from rocks, Hox, and molecular clocks." Paleobiology 31(2Suppl), 36-55. [http://dx.doi.org/10.1666/0094-8373\(2005\)031\[0036:TAMOE\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1666/0094-8373(2005)031[0036:TAMOE]2.0.CO;2)

Wissenschaft versagt hat und wir übernatürliche Ursachen in Betracht ziehen müssen, wenn die Wissenschaftler nicht alle möglichen Ereignisse des frühen Kambriums vollständig erklärt haben. Immer wieder präsentieren Kreationisten eine Version des Kambriums, die mindestens 70 Jahre veraltet ist, entweder weil sie es nicht besser wissen (die „ahnungslose“ Hypothese) oder weil sie es doch besser wissen, also Betrüger sind. Wie war nochmal das achte Gebot?

Outro

Die Kambrische Explosion war kein einzelner Urknall, sondern ein evolutionäres Feuerwerk – voller neuer Körperpläne, Organsysteme und ökologischer Innovationen. Und mittendrin – meist übersehen, aber evolutionär enorm wichtig – tauchte auch eine unscheinbare Tiergruppe auf, aus der später Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel, Säugetiere... und ja, auch wir Menschen hervorgingen: die Chordaten.

Im nächsten Video gehen wir der Frage nach: Wie entstanden die ersten Chordatiere? Was unterscheidet sie von anderen Tierstämmen? Und warum ist ein kleines Tier mit einem flexiblen Stab im Rücken der Vorfahr von Tieren mit Wirbelsäule?

Also: Wenn du wissen willst, wie aus einem winzigen Schwimmer das Fundament für das Rückgrat der Evolution wurde – dann bleib dran, abonnier den Kanal, und wir sehen uns im nächsten Kapitel.