Wird das Leben auf der Erde immer komplexer?

Stephan Krall

Die Frage, ob das Leben seit seiner Entstehung ständig komplexer wird, werden die meisten mit Ja beantworten. Beleg sind wir Menschen als differenzierte und selbstreflexive Lebewesen, wie es sie vorher nie gegeben hat. Aber kann man daraus einen Trend in der Evolution ableiten und was ist eigentlich Komplexität? Im Folgenden werde ich dieser Frage nachgehen und Schlüsse ziehen.

Das Leben entstand vor 3,8 bis 4 Milliarden Jahren, rund 600 bis 800 Millionen Jahre nach der Entstehung der Erde und des Mondes. Voraussetzung waren geeignete Bedingungen, die es in den ersten hunderten Millionen Jahren nach der Entstehung der Erde noch nicht gab. Eine dieser Vorbedingungen war das Vorhandensein von Wasser, denn in diesem entstand das Leben und blieb es die ersten fast 3 ½ Milliarden Jahre. Die ersten zwei Milliarden Jahre waren es Bakterien und Archaeen[1], sogenannte Prokaryoten, d. h. einzellige Organismen noch ohne einen abgeschlossenen Zellkern. Eine Linie der Bakterien entwickelte nach rund einer Milliarde Jahre die Fotosynthese, die Energiegewinnung aus dem Licht der Sonne. Die Cyanobakterien waren entstanden. Zwei Milliarden Jahre lang lebten in den Meeren nur Bakterien, Cyanobakterien und Archaeen.

Durch Endosymbiose[2] entstanden nach rund zwei Milliarden Jahren Einzeller mit einem echten Zellkern, sogenannte Eukaryoten. Erst nach vielen Millionen Jahren entwickelten sich aus den eukaryotischen Einzellern Zellverbände mit spezialisierten Zellen, wie wir sie heute z. B. bei der Kugelalge Volvox sehen. Die Oberfläche dieser hohlen Kugel besteht aus vielen miteinander verbundenen Zellen mit Geißeln, von denen sich auf dem einen Pol der Kugel solche befinden, die zur Fortbewegung dienen und auf dem anderen Pol solche, die nur zur Fortpflanzung fähig sind. Erst viel später in der Evolution entwickelten sich kleine vielzellige Organismen mit einem höheren Spezialisierungsgrad.

Vor maximal 800 Millionen Jahren entstanden langsam etwas komplexere Lebewesen, aus denen vor rund 600 Millionen Jahren die Ediacara-Fauna hervorging, mit z. T. über einen Meter langen, am Boden festsitzende Wedeln, die aus der Umgebung des Wassers Nährstoffe aufnahmen, also keine Pflanzen waren.

Vor 542 Millionen Jahren entstand innerhalb von wenigen zehn Millionen Jahren in der sogenannten kambrischen Explosion erstes wirklich komplexes Leben. Das waren aber immer noch kleine Lebewesen im Meer, das mit Abstand größte 60-120 cm lang (*Anomalocaris*), die meisten aber viel kleiner. Es waren vor allem Arthropoden (Gliederfüßer) in unterschiedlichen Stämmen, von denen viele Stämme heute nicht mehr existieren.[3] Im Gegensatz zur Ediacara-Fauna, die vor allem benthisch[4] lebende Organismen umfasste, gab es nun viele frei bewegliche Tiere im Meer.

---

[1] Archaeen sind eine gegenüber den Bakterien kleinere Gruppe von Einzellern mit sehr speziellen Stoffwechselwegen.

[2] Beim Vorgang der Endosymbiose gelangte in eine Zelle, nach neustem Wissen eine Archaee, ein Bakterium bzw. ein Cyanobakterium. Daraus wurde ein Eukaryot, der entweder zu Sauerstoffatmung oder Fotosynthese fähig war.

[3] Die Arthropoden oder Gliederfüßer, dominieren noch heute die Welt der Lebewesen, vor allem die Insekten mit einer Million beschriebenen Arten, aber auch die Krebstiere im Wasser.

[4] Unter benthisch versteht man festsitzende Organismen. Solche, die frei schwimmen, nennt man pelagisch.

Die Gründe für die kambrische Explosion waren vielfältig. Einerseits näherte sich der Sauerstoffgehalt dem heutigen Wert von 21%. Andererseits nahm der Kalziumgehalt und anderer Substanzen im Wasser zu, was die Biomineralisation und somit die Bildung von harten Exoskeletten ermöglichte, wie wir sie heute u. a. bei Insekten und Krebstieren finden.[5] Ein weiterer Grund war das Ende der Vergletscherung der Erde 40 Millionen Jahre zuvor. Dass sich so schnell so viele neue Baupläne entwickelten, lag auch daran, dass erstmalig in der Evolution große, räuberische Lebewesen entstanden.[6] Das erhöhte den evolutiven Druck auf die nicht räuberisch lebenden Organismen und ein Wettrennen zwischen gefressen werden und nicht gefressen werden begann.

Vor 419 Millionen Jahren gab es neben Bakterien, die vermutlich schon das Land besiedelt hatten, auch erste Landpflanzen, vermutlich Flechten[7], und vor 366 Millionen Jahren eroberten Tiere die Landflächen. Im Meer hatten sich vorher bereits größere Lebewesen entwickelt und dieser Trend setze sich mit den Wirbeltieren an Land fort, z. B. Amphibien und Reptilien. Das Maximum an Größe auf dem Land wurde mit den Sauriern erreicht[8], deren Entwicklung vor knapp 280 Millionen Jahren begann, die aber vor 66 Millionen durch einen Asteroideneinschlag im Golf von Mexiko wieder ausstarben. Aber auch vor den Sauriern hatte es bereits sehr große, massige Wirbeltiere an Land gegeben.

Durch das Aussterben der Saurier wurden Nischen frei, die die bereits vorhandenen kleinen Säugetiere nutzten, um sich zu großen Landsäugetieren und noch größeren im Meer zu entwickeln. Das begann erst langsam nach dem Aussterben der Saurier. Aus ihnen entwickelte sich dann vor sehr kurzer Zeit auch der moderne Mensch (*Homo sapiens*), den es erst seit 300.000 Jahren gibt, in Europa erst seit rund 50.000 Jahren, kaum wahrnehmbar auf der Skala der Erdgeschichte.

Erlaubt uns dieser Schnelldurchlauf durch die Evolution die Schlussfolgerung, dass sich immer komplexeres Leben entwickelt hat, mit einer immer komplexeren Informationsverarbeitung bis hin zu unserem selbstreflexiven Bewusstsein? Ja und Nein. Unbestreitbar ist, dass ein höher Entwickeltes Lebewesen um ein Vielfaches komplexer aufgebaut ist als ein Bakterium. Aber wie definieren wir eigentlich Komplexität? Ist es die Anzahl von Zellen oder Zelltypen, die ein Organismus hat, seine körperliche Größe, sein Gewicht oder die Zahl der Individuen und der verschiedenen Arten? Oder ist es die Fähigkeit zur Fortpflanzung, die Zahl der Gene oder die Genomgröße? Oder beziehen wir es auf die komplexere Informationsverarbeitung und die Intelligenz? Je nach Betrachtungswinkel gewinnen aus heutiger Sicht die Bakterien oder die Säugetiere. Klar ist, dass nach wie vor Bakterien diese Welt dominieren, was die Artenzahl und z. T. die Biomasse[9] angeht, auch wenn sie für die meisten von uns Menschen nicht wahrgenommen und nur als Krankheitserreger angesehen werden.

Energetisch ist ein komplex aufgebautes Lebewesen nicht effizient, weshalb die Evolution ungeachtet dieses angeblichen Trends immer versucht durch Vereinfachung entgegenzuwirken. Beispiele hierfür sind viele Organismen, die eine parasitäre Lebensweise entwickelt haben, wie die eukaryotischen Malariaerreger (*Plasmodium*) oder prokaryotische Mykoplasmen. In beiden Fällen ging das mit einem erheblichen Verlust ihrer Komplexität einher, aber auch mit einer Zunahme

[5] Ein Exoskelett ist ein harter Panzer, bei den Insekten aus Chitin, der den knochenlosen Organismus umschließt. Die Muskeln setzen von innen an das Skelett an. Im Gegensatz dazu haben die Wirbeltiere ein innen liegendes Skelett, an dem die Muskeln invertiert sind.

[6] Bei den einzelligen Protisten gab es allerdings zuvor auch schön Räuber, wie Amöben und viele Wimpertieren.

[7] Flechten sind eine Symbiose aus Pilzen mit entweder Algen oder Cyanobakterien.

[8] Es gab nicht nur die allgemein bekannten großen, sondern auch kleine Saurier. Die Flugsaurier (Pterosaurier) und die im Meer lebenden Saurier (Ichthyosaurier), waren eigenen Gruppen.

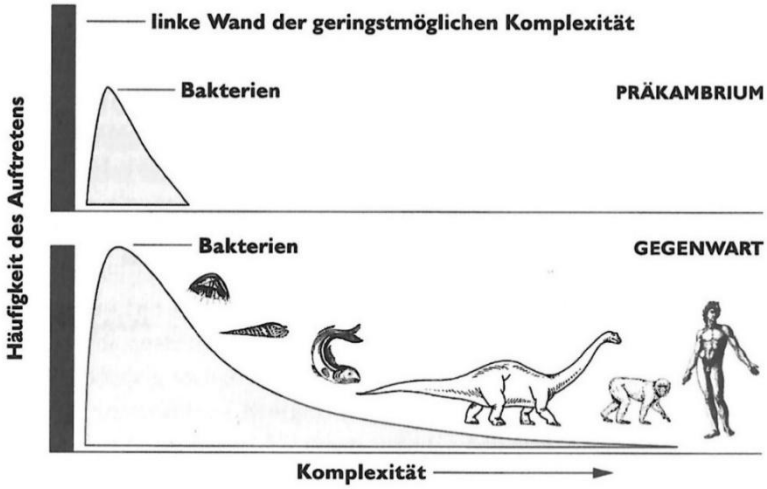
[9] Wahrscheinlich liegen die Landpflanzen bei der Biomasse vorne, aber ggf. auch gleichauf mit Bakterien.

der Vermehrungsrate. Auch bei sekundären Höhlenbewohnern, also solchen die vorher außerhalb von Höhlen lebten, entwickelten sich die nicht mehr notwendigen Augen zurück und ebenfalls ihre Pigmentierung.

Selbst wir Menschen machen einen solchen Prozess durch, indem sich unsere Gallenblase langsam zurückentwickelt und wir auch bereits rund einhundert überflüssige Gene verloren haben.[10] Und aus dem Verlust der Regenrationsfähigkeit von Organen und Extremitäten, wie wir sie noch bei Plattwürmern, Salamandern, Fischen und Kopffüßern finden, könnte man einen Rückgang der Komplexität ableiten. Wir Menschen können nur noch wenige Organe und Gewebe in unserem Körper regenerieren, so z. B. die Darmschleimhaut, das Blut, Skelettmuskel, die Leber und die Haut, und auch das lässt mit dem Alter nach. Wenn man Komplexität (auch) auf Regenerationsfähigkeit bezieht, dann hat sie in der Evolution mit den Säugetieren abgenommen.

Eine weitere Frage ist, wie wir Viren einschätzen, die in der Biologie nicht als Leben angesehen werden, weil sie keinen Stoffwechsel haben, die man aber als *lebensnah* bezeichnen könnte. Wenn man sie als eine Rückentwicklung von einzelligen Organismen zu noch größerer Einfachheit einstuft, kann man sie als Trend weg von Komplexität betrachten. Wenn man sie hingegen als eine Vorstufe in der präbiotischen Welt hin zur Entwicklung des Lebens betrachtet, wäre das nicht der Fall. Aber vielleicht gab es beide Wege.

Wir sollten die Tendenz zur Komplexität (Orthogenese[11]), die auch immer wieder mit dem Begriff Teleologie in Verbindung gebracht wird, statistisch betrachten. Wenn es einen Trend zur Komplexität gäbe (wie auch immer man diese definiert), dann sollte statistisch der Modus zunehmen. Dazu eine kurze Erläuterung. Es gibt in der Statistik drei relevante Werte, erstens den allen bekannten Mittelwert, den Median und den Modus. Beim Mittelwert nimmt man alle Werte, addiert sie und teilt sie durch die Anzahl der Werte. Der Mittelwert aus den Zahlen 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 4, 5, 6 ist 2,4 (36/15). Der Median ist der Wert, der genau in der Mitte liegt, also 2. Der Modus ist der häufigste Wert, also in diesem Fall die 1, die sechsmal vorkommt. Bei einer asymmetrischen Verteilung nimmt man statistisch meist den Modus. Dazu eine Abbildung aus einem Buch von Steven J. Gould[12]:



[10] Am. J. Human Gen. 84(2): 224-234

[11] Orthogenese ist die Hypothese, wonach das Leben die innere Tendenz besitzt, sich in eine vorgegebene Richtung zu entwickeln, die von einer internen oder externen treibenden Kraft gesteuert wird. Es ist ein Begriff der Teleologie (Zielgerichtetheit) miteinschließt.

[12] Steven J. Gould (1998) *Illusion Fortschritt – Die vielfältigen Wege der Evolution*. Frankfurt a. M., S. Fischer, Seite 210.

Gould gibt hier zwar keine eindeutige Definition, was er unter Komplexität versteht, aber vermutlich das, was die meisten Menschen darunter verstehen, eine Zunahme der Größe, der Zelldifferenzierung und der Intelligenz bzw. des Bewusstseins. Er unterschiedet die Situation im Präkambrium (Bild oben), also vor der kambrischen Explosion vor 542 Millionen Jahren, und der Gegenwart (Bild unten). Im Präkambrium ist die Situation einfach, die Bakterien dominieren. In der Gegenwart sieht es so aus, dass die Häufigkeit der Bakterien sogar noch zugenommen hat. Bestimmt man jetzt den Modus, also den häufigsten Wert, so liegt dieser sowohl im Präkambrium als auch der Gegenwart eindeutig im Gipfel (Peak) der Bakterien. Es ist statistisch gesehen demzufolge kein Trend zu Komplexität zu erkennen.

Dazu kommt, dass der rechte Schwanz (Komplexität) keine kontinuierliche Folge in der Evolution darstellt, sondern eine buntscheckige Reihe sehr unterschiedlicher Formen, die eine nach der anderen, wie Gould schreibt, in diese Position „gestolpert“ sind. Der rechte Schwanz ist aber auch kein zufälliges Phänomen, obwohl Zufälle eine wichtige Rolle spielten, sondern die kausale Ursache, dass es mit der Einfachheit an der linken Wand (einmal von den Viren abgesehen) nur in die eine Richtung gehen konnte und der damit zusammenhängenden Zunahme der Artenzahl. Keine der beiden Argumente lässt aber den Schluss zum Fortschritt zu. Würde man das Leben vor 4 Milliarden Jahren neu beginnen lassen, würde sich vermutlich immer wieder dieser dünne Schwanz neben der Dominanz der Einzeller entwickeln. Ihn als generelle Zunahme der Komplexität zu deuten ist schwierig.

Das Fazit ist, dass es in der Evolution, die nach Darwin als zufällig und ungerichtet angenommen werden muss, zwar eine Tendenz gibt, dass im Laufe langer Zeiträume ein immer kleiner werdender Prozentsatz von Organismen mit höherer Komplexität entsteht und so den Schwanz nach rechts verlängert. Aber gleichzeitig gibt es auch eine Rückentwicklung der Komplexität, wie beim Parasitismus und ggf. den Viren. Der Anschein einer aktiven (oder teleologischen) Entwicklung zu immer mehr Komplexität ist auch auf die Wahrnehmung der Menschen zurückzuführen, die vor allem den rechten Teil der obigen Kurve sehen. Die „mikrobielle dunkle Materie“ wird nicht wahrgenommen und somit bei einer Gesamtbewertung ignoriert. Es ist eben nicht so, dass der Schwanz mit dem Hund wedelt, sondern umgekehrt, der Hund (Bakterien) mit dem Schwanz (komplexe Organismen).

Für mich ist die gesamte Evolution (Phylogenese), ungeachtet einer aktiven Rolle der Individuen und Arten in diesem Prozess, ein zufälliger Ablauf, in dem kein durchgehendes teleologisches Moment zu erkennen ist und auch keine inhärente Zunahme der Komplexität. Das liegt einerseits an den Mechanismen der Evolution, aber auch an den immer wieder stattgefundenen Umweltveränderungen und Katastrophen in der Erdgeschichte, die die Artenzusammensetzung und Vielfalt meist komplett durcheinandergewirbelt haben. Mehr als 99,9% aller Arten, die seit der Entstehung des Lebens existiert haben, sind wieder ausgestorben.

© Dr. Stephan Krall, Kronberg, 5. September 2025

Kontakt: stephan.krall@t-online.de