

Versuchen mit kleinen Feldern von Säulchen konnten die Wissenschaftler zeigen, dass die Ausrichtung der SunBOTS zur Lichtquelle wie erwartet die Effizienz der Energieaufnahme bei wechselnden Einfallswinkeln gegenüber Flächen, die sich nicht Richtung Licht ausrichten, deutlich verbessert. Sie berechneten, dass SunBOTS in geographischen Breiten wie den unseren die Energieaufnahme um 30–110 % verbessern. Die Autoren haben die Prozesse bezüglich Umwandlung von Licht in Temperatur, Temperaturdiffusion, Massendiffusion und mechanischer Deformierung so weit theoretisch modelliert und verstanden, dass sie sich in der Lage sehen, gewünschte Designs robust gegen ein breites Spektrum an Umweltfaktoren gezielt zu erstellen. Wegen der großen Auswahl an möglichen Lichtrezeptoren und reversibel thermisch verformbaren Polymermaterialien und Polymerstrukturen sowie der physikalischen Einfachheit ihres Design-Prinzips des „Künstlichen Phototropismus“ versprechen sich die Autoren ein potenziell weites Einsatzgebiet in Energiegewinnung, Robotik und Umwelt. Um von den kleinen SunBots zu selbst-anpassenden Signalempfängern, smarten Fenstern, selbst-steuender Robotik, Solarpanels für Raumschiffe, gesteuerten medizinischen Operationen, selbstregulierenden optischen Geräten und intelligenter Energiegewinnung durch Solarzellen und Bio-Treibstoffe mit Algen zu gelangen, ist allerdings mit Sicherheit noch einiges an Ingenieursleistung erforderlich.

Beim Vergleich von natürlichem Original und künstlicher Kopie will man nicht glauben,

Das Original ist sehr viel komplizierter als die mit großem Aufwand entwickelte Nachahmung.

dass das sehr viel kompliziertere und noch nicht komplett verstandene Original durch zufallsgetriebene und naturgesetzliche Prozesse entstanden sein soll, während der erste Prototyp der künstlichen Kopie doch schon ein erhebliches Maß an designerischen Fähigkeiten und geballter Intelligenz mehrerer wissenschaftlicher Institutionen, honoriert mit einer *Nature*-Publikation, erforderte.

Anmerkung

- ¹ SunBOT steht für „Sunflower-like biomimetic omnidirectional tracker“. In Deutsch in etwa „sonnenblumenähnliche, der Natur nachempfundene, richtungsunabhängige Nachführeinrichtung“ (die Abkürzung lohnt sich wirklich).

Literatur

- XIAOSHI Q. et al. (2019) Artificial phototropism for omnidirectional tracking and harvesting of light. *Nature Nanotechnology* 14, 1048–1055. Videos unter: <https://www.nature.com/articles/s41565-019-0562-3>
- ATAMIAN HS et al. (2016) Circadian regulation of sunflower heliotropism, floral orientation, and pollinator visits. *Science* 353, 587–590.
- KUTSCHERA U & BRIGGS WR (2016) Phototropic solar tracking in sunflower plants: an integrative perspective. *Ann. Bot.* 117, 1–8.
- VANDENBRINK JP et al. (2014) Turning heads: The biology of solar tracking in sunflower. *Plant Sci.* 224, 20–26.

Parmastega – neuer erster Vierbeiner?

Der neu entdeckte fossil erhaltene Vierbeiner (Tetrapode) *Parmastega* weist ein unerwartetes Merkmalsmosaik auf. Unter den gut erhaltenen Tetrapoden ist *Parmastega* zwar die geologisch älteste Gattung, weist aber mehrere markante Merkmale auf, die einer basalen Position deutlich widersprechen, allen voran ein weitgehend knorpeliges Skelett und ungewöhnlich hochstehende Augen. Das gesamte Merkmalsmosaik wird leichter verständlich, wenn man wie im Rahmen von Schöpfungsmodellen von einer freien Kombinierbarkeit von Merkmalen ausgeht.

Reinhard Junker

Einleitung

Wenn fossile Arten neu entdeckt werden, wird häufig behauptet, sie würden immer wieder die Evolutionstheorie bestätigen oder füllen Lücken im evolutionären Stammbaum. Diese Aussage ist fast trivial, denn wenn man von

einem gemeinsamen Stammbaum aller Arten ausgeht, wird jeder Fund automatisch eine Lücke füllen. Die interessantere Frage ist aber, ob neue Fossilien *an zuvor erwarteten Stellen* im bis dato geltenden Stammbaum eingeordnet werden können. Diese Frage muss bei neuen Funden sehr oft verneint werden. Vielmehr erfordern



Abb. 1 Rekonstruktion von *Parmastega*. (© Mikhail SHEKHANOV/Ukhta Local Museum)

sie häufig die Hinzunahme eines neuen Astes im hypothetischen Stammbaum. Und nicht selten muss angenommen werden, dass bestimmte Merkmale konvergent entstanden sind, also zwei- oder mehrfach unabhängig, weil das gesamte Merkmalsmosaik der betreffenden Art nicht an eine Stelle des bisherigen Stammbaumes passt, oder es muss eine Rückentwicklung (Reversion) postuliert werden. Solche Fälle, in denen Ähnlichkeiten nicht auf gemeinsame Vorfahren zurückgeführt werden (können), werden unter „Homoplasien“^{*} zusammengefasst. Sowohl das Auftreten von Homoplasien als auch die Notwendigkeit, eine zusätzliche evolutionäre Linie annehmen zu müssen, kann jedoch nicht als „Bestätigung der Evolutionstheorie“ gelten (wenn man umgekehrt auch nicht von Widerlegung sprechen kann).

Jeder Fund füllt eine Lücke – aber auch an einer erwarteten Stelle im zuvor geltenden Stammbaum?

Man kann immer, egal welche Merkmalsmosaiken neue Funde liefern, Cladogramme erstellen; das sind Ähnlichkeitsbäume, die nach bestimmten Vorschriften bzw. Verfahren auf der Basis einer Merkmalsanalyse und der Verteilung von Merkmalen und Merkmalsausprägungen erstellt werden. Bestehende Cladogramme werden durch neue Funde oft umorganisiert. Eine Infragestellung der zugrunde liegenden Evolutionsanschauung ist auf diese Weise methodisch aber nicht möglich. Man kann nur eine Art Gütekriterium anwenden: Je mehr Homoplasien in einem Cladogramm auftreten, desto problematischer ist eine solche Situation für evolutionstheoretische Modellierungen.¹

Parmastega

Die geschilderte Situation trifft beispielhaft auf einen neuen Fund eines geologisch alten Vierbeiners (Tetrapoden) zu: den auf 372 Millionen radiometrische Jahre (MrJ) datierten *Parmastega aelidae* aus dem Oberdevon (unteres Famennium) Russlands (BEZNOSOV et al. 2019). Der Fund gilt als das älteste gut erhaltene Fossil eines frühen Tetrapoden; es wurden allerdings deutlich ältere Vierbeiner-Fußspuren (s.u.) und einige geringfügig ältere kleinere Knochenfragmente mutmaßlicher Tetrapoden gefunden, die jedoch keine Rekonstruktionen des Körperbaus ermöglichen. Zu den bisher geologisch ältesten gut erhaltenen Tetrapoden-Fossilien gehören das berühmte *Ichthyostega* und *Acanthostega*, die auf 360 MrJ datiert werden.

Von *Parmastega* wurden mehr als 100 gut erhaltene Knochen vor allem des Schädels und des Schultergürtels gefunden, die von vielen Individuen stammen und aus denen sich ein ca. ein Meter langes Tier rekonstruieren lässt, das wesentliche Merkmale der Tetrapoden im Bereich des Schädels aufwies. Allerdings fällt ein Merkmal des Schädels ziemlich aus dem Rahmen: Auf der Oberseite des Kopfes saßen größere Augen in einer Position, wie man sie bei Krokodilen kennt. Daher vermuten die Forscher, dass *Parmastega* an der Wasseroberfläche schwamm, ähnlich wie heute die Krokodile, und dort vermutlich auf Beute lauerte. Für seine räuberische Lebensweise spricht sein großes Maul mit spitzen, langen Zähnen.

Anders als bei heutigen Krokodilen war die Position der Nasenöffnung jedoch tief in der Nähe der Kiefer und somit im Wasser, woraus eine Kiemenatmung erschlossen wird. *Parmastega* besaß in seinem Schädel aber auch ein großes Atemloch (Spiraculum, Spritzloch), was eine Luftatmung ermöglicht haben könnte.

Beine anstelle paariger Flossen wurden allerdings nicht gefunden; ihre Existenz wurde vielmehr aus dem Bau der erhaltenen Teile des Schultergürtels erschlossen (BEZNOSOV et al. 2019). Da die Schultern nur teilweise und Wirbel gar nicht verknöchert waren, glauben die Wissenschaftler, dass *Parmastega* trotz Besitz von Beinen nicht an Land gehen konnte. Auffällig sei außer der Abwesenheit von Beinknochen auch das Fehlen von Rippen, Wirbeln oder Hüftknochen trotz augenscheinlich guter Erhaltungsbedingungen. Wären diese Skeletteile verknöchert gewesen, wären also auch fossile Reste davon zu erwarten. Die fossile Abwesenheit dieser Skeletteile spreche daher dafür, dass auch diese Skeletteile nicht verknöchert, sondern knorpelig waren. Wenn *Parmastega* aufgrund eines relativ weichen Skeletts nicht an Land gehen konnte, stellt sich allerdings die Frage, wozu unter

Glossar

Cladistik, Cladogramm: Methode des Vergleichs verschiedener Arten (oder höherer Taxa) anhand gemeinsamer abgeleiteter Merkmale zum Zwecke einer Stammbaumrekonstruktion, die in einem Cladogramm (Verzweigungsschema)

dargestellt wird.

Homoplasie: Sammelbegriff für mehrfach unabhängige gleichsinnige Änderungen: Konvergenzen (unabhängige Entstehung ähnlicher Merkmale); Parallelismen und Rückbildungen.

diesen Umständen Tetrapodenbeine ausgebildet waren. Für ein Leben im Wasser spricht, dass im Bereich des Schädels das Seitenlinienorgan gut ausgebildet war; dieses Organ enthält Sensoren, mit denen Wasserströmungen wahrgenommen werden können.

Insgesamt ist die Lebensweise von *Parmastega* etwas rätselhaft: Die hochstehenden Augen machen nur Sinn, wenn der Blick über die Wasseroberfläche ging und es eine Interaktion mit der Umgebung auf dem Land gab (BEZNOSOV et al. 2019, 530). Aber was soll *Parmastega* dort gesucht haben? Da das Tier vermutlich nicht landgangtauglich war, mutmaßen die Forscher, dass es im Wasser gelauert und am Ufer trinkende oder ruhende Beute ins Wasser gezogen haben könnte – ähnlich wie Krokodile das heute tun. Nach gängigen evolutionstheoretischen Vorstellungen gab es aber noch keine größeren Landlebewesen als geeignete Beute (FRÖBISCH & WITZMANN 2019, 494). Die Ausstattung mit großen Reißzähnen spricht jedenfalls klar dafür, dass größere Tiere erbeutet wurden; vielleicht auch am Ufer liegende Kadaver. Hier gibt es offensichtlich noch ein Rätsel zu lösen: Wie war die Fortbewegungsweise von *Parmastega* wirklich, und gab es wirklich noch keine größeren landlebenden Tiere? Immerhin sind eindeutige Vierbeinerspuren bekannt, die auf bis zu 390 Millionen radiometrische Jahre und somit 18 Millionen Jahre älter als *Parmastega* datiert werden (NIEDZWIEDZKI et al. 2010; AHLBERG 2018; vgl. JUNKER 2019).

Evolutionstheoretische Betrachtungen

In der von BEZNOSOV et al. (2019) durchgeführten cladistischen Analyse wird *Parmastega* an der Basis aller anderen Tetrapoden platziert, allerdings ist diese Position nicht sonderlich stabil und die Auflösung des Cladogramms schwach. Die Position von *Parmastega* im Cladogramm wird auf der Basis des gesamten vorliegenden Merkmalspektrums ermittelt und auf dieser Basis passt sie zu den gegenwärtigen evolutionstheoretischen Vorstellungen. Nimmt man jedoch einzelne Merkmale in Augenschein, ergibt sich ein deutlich anderes Bild: Einen teilweise krokodilartigen Kopf hätte man bei einem frühen Tetrapoden evolutionstheoretisch sicher nicht erwartet. FRÖBISCH & WITZMANN (2019, 494) kommentieren überrascht: „This eye shape and position is surprising because it indicates that this water dweller was looking above the surface of the water.“ Noch rätselhafter finden BEZNOSOV et al. (2019, 530), dass ein größerer Teil des Ske-

letts knorpelig ausgebildet ist, denn alle näher verwandten Formen – mutmaßliche Vor- und Nachfahren – haben ein gut verknöchertes Skelett, sodass *Parmastega* in dieser Hinsicht völlig aus dem phylogenetischen Rahmen fällt.

Der Hirnschädel von *Parmastega* ist morphologisch zwischen dem von *Ichthyostega*, von *Acanthostega* und *Ventastega* angesiedelt und könnte als hypothetische Ausprägung eines Vorfahren dieser recht verschiedenen Gattungen interpretiert werden, doch eine darauf aufgebaute Phylogenie führt zu einer „nicht-trivialen Homoplasie“ entweder beim Hirnschädel oder bei anderen Teilen des Skeletts (BEZNOSOV et al. 2019, 530), d.h. zu Merkmalswidersprüchen. BEZNOSOV et al. (2019, 530) kommen daher zum Schluss, dass *Parmastega* phylogenetisch zwar am ehesten an der Basis der gut erhaltenen Tetrapoden steht, jedoch nicht unbedingt charakteristisch für die primitiven Bedingungen für die Gruppe sei.² Und sie sprechen von „erheblichen morphologischen Homoplasien unter devonischen Tetrapoden“ (S. 530f.).

Das Merkmalsmosaik von *Parmastega* passt zur Vorstellung einer freien Kombinierbarkeit von Merkmalen.

Damit erweist sich *Parmastega* als ausgeprägte Mosaikform, die keineswegs eine bisher bestehende Lücke im Stammbaum füllt, sondern eher neue Lücken aufreißt und evolutionstheoretisch als weitere Seitenlinie angesehen werden muss. Das gilt auch, weil wie oben erwähnt viel älter datierte eindeutige Tetrapoden-Fußspuren bekannt sind. Auch daher scheidet *Parmastega* genauso wie andere frühe Tetrapoden als evolutionäre Übergangsform aus. Allem Anschein nach war *Parmastega* adaptiv für eine bestimmte Lebensweise optimiert und nicht „auf dem Weg zu irgendetwas“ (eine Formulierung von AHLBERG 2018, der dies über die den Tetrapoden nahe stehenden Elpistostegiden sagt). FRÖBISCH & WITZMANN (2019, 495) kommentieren: „Diese Entdeckung erinnert uns auch daran, dass im nächsten spannenden Kapitel dieser Detektivgeschichte noch viel zu lernen bleibt.“

Das Merkmalsmosaik von *Parmastega* passt besser zur Vorstellung einer freien Kombinierbarkeit von Merkmalen bzw. Merkmalskomplexen und zu netzförmigen Ähnlichkeitsbeziehungen, die aus einer Schöpfungsperspektive leichter verständlich sind. Dagegen haben stammesgeschichtliche Rekonstruktionen mit *Parmastega* mit weiteren teils schwerwiegenden Homoplasien zu kämpfen, was nicht den evolutionstheoretischen Erwartungen entspricht (vgl. Anmerkung 1).

Anmerkungen

- ¹ Der Grund dafür ist: Bei der Erstellung von Cladogrammen soll die Anzahl der anzunehmenden Konvergenzen bzw. Homoplasien minimiert werden, weil Homoplasien als evolutionstheoretisch unwahrscheinlich gelten. Cladogramme werden auf der Basis gemeinsamer abgeleiteter („höherentwickelter“) Merkmale erstellt, die als Marker für gemeinsame Vorfahren verwendet werden. Diese werden als Synapomorphien bezeichnet. Wenn Synapomorphien genauso wahrscheinlich wären wie Homoplasien, könnten cladistische Analysen gar nicht stammesgeschichtlich interpretiert werden.
- ² „*Parmastega* is phylogenetically the least-crownward of all of the non-fragmentary tetrapods, but it is not necessarily representative of the primitive conditions for the group.“

Literatur

- AHLBERG PE (2018) Early Vertebrate Evolution. Follow the footprints and mind the gaps: a new look at the origin of tetrapods. *Earth Environ. Sci. Trans. R. Soc. Edinb.*, 1–23. doi:10.1017/S1755691018000695
- BEZNOSOV PA, CLACK JA, LUKŠEVIČS E, RUTA M & AHLBERG PD (2019) Morphology of the earliest reconstructable tetrapod *Parmastega aelidae*. *Nature* 574, 527–531.
- FRÖBISCH NB & WITZMANN F (2019) Early tetrapods had an eye on the land. *Nature* 574, 494–495.
- JUNKER R (2019) Entstehung der Vierbeiner – doch kein glatter Übergang. *Stud. Integr. J.* 26, 106–108.
- NIEDZWIEDZKI G, SZREK P, NARKIEWICZ K, NARKIEWICZ M & AHLBERG PE (2010) Tetrapod trackways from the early Middle Devonian period of Poland. *Nature* 463, 43–48.

Neuer *Australopithecus*-Fund und das Grundtypmodell

Ein neuer Schädel Fund von *Australopithecus anamensis* zeigt völlig unerwartet ein ausgeprägtes Merkmalsmosaik. Mit diesem Fund ist die bisherige evolutionstheoretische Deutung von *Australopithecus anamensis* als Vorläuferart von *Australopithecus afarensis* hinfällig. Die Merkmale von *Australopithecus anamensis* sind besser im Grundtypmodell der Schöpfungslehre als in einem evolutionären Stufenleitermodell zu verstehen.

Michael Brandt

Bisherige Überreste von *Australopithecus anamensis* aus Kenia und Äthiopien, zu denen Zähne sowie Kiefer- und Extremitätenknochen gehören, zeigen „primitivere“ Merkmale als das entsprechende Material von *Australopithecus afarensis*. Die Australopithecinen werden im Evolutionsmodell als Vormenschen, im Schöpfungsmodell dagegen als separater Großaffen-Grundtyp gedeutet. Ausgehend von den „primitiven“ Merkmalen und der früheren zeitlichen Stellung (3,9 bis 4,2 Millionen Isotopenjahre) wurde *Australopithecus anamensis* im evolutionären Stammbaum der Paläanthropologie als Ahne von *Australopithecus afarensis* eingestuft und damit auch in die zum Menschen führende Ahnenreihe gestellt.

Erstmalige Untersuchungsergebnisse der Wirbelsäule versetzten dieser Deutung einen ersten „Knacks“, denn MEYER & WILLIAMS (2019) stellten am ersten, zweiten und sechsten Halswirbel sowie ersten Brustwirbel von *Australopithecus anamensis* „fortschrittlichere“ anatomische Merkmale gegenüber *Australopithecus afarensis* fest. Endgültig obsolet wurde die bisherige phylogenetische Deutung nun durch die

Entdeckung eines nahezu vollständigen Schädels von *Australopithecus anamensis* in Woranso-Mille, Äthiopien.

Der auf 3,8 Millionen Jahre datierte Schädel MRD-VP-1/1 (Abb. 1) weist eine völlig unerwartete Kombination von Merkmalen auf (HAILE-SELASSIE et al. 2019).

Die Merkmalskombination des neuen Fundes widerspricht einer linearen Abfolge.

MRD besitzt einerseits „primitive“ Merkmale. Dazu gehören ein Schädelvolumen von nur 365–370 cm³ (zum Vergleich: Schimpansen haben ein Gehirnvolumen von durchschnittlich 385 cm³) und eine niedrige, nur leicht gekrümmte Sutura squamosa (Schuppennaht). Beide Merkmale teilt der neue Schädel Fund nur mit dem frühen Homininen¹ *Sahelanthropus tchadensis*. Weiterhin zeigt MRD eine gegenüber *Australopithecus afarensis* stärkere Einschnürung hinter der Augenhöhle (postorbitale