

dem Kambrium auftritt. Ohne weitere bekannte Vorläufer kommt es zu einer plötzlichen Überfülle an tierischen Bauplänen. Dieses Rätsel möchte eine neue Disziplin, „molekulare Paläobiologie“ erhellen. In einem neuen Artikel stellen PETERSEN et al. (2009) drei neue Befunde vor, die ihrer Meinung nach Licht in das Dunkel bringen könnten: 1. Vergleicht man die Körperbaupläne der Trilobiten über die geologische Zeit, so ist die Variabilität der frühen Arten höher und sie nimmt im Laufe der Zeit vom Kambrium zum Devon hin ab, bevor die Trilobiten im Perm aussterben. 2. Eine neue Form der Regulation wurde entdeckt: Regulation durch microRNA. MicroRNAs sind etwa 22 Nukleotide lang und sie binden sich an die Genkopien (mRNAs), die normalerweise in Proteine übersetzt werden würden. Durch die Bindung der microRNA an die mRNA kommt es aber zur Blockierung und zum Abbau der betroffenen Genkopien. 3. Im Laufe der Evolution erwarben die Mehrzeller immer mehr solcher regulativer microRNAs.

Am Anfang der Kambrischen Evolution steht also ein Organismus, dessen molekulare Maschine aufgrund ihrer Primitivität viele Möglichkeiten eröffnet und den „Raum aller Baupläne“ dadurch effektiv „absuchen“ kann. Das soll das Fenster für die Entstehung der vielen unterschiedlichen Baupläne in der Kambrischen Explosion öffnen. Dann werden vorteilhafte Baupläne mit ihrer noch unpräzisen Genregulation durch die microRNAs präzisiert und damit in eine bestimmte Richtung hin kanalisiert und konserviert. Der Vorteil der microRNA-Regulation liegt darin, dass das betreffende regulierte Gen nicht verloren geht, sondern für spätere Evolutionsschritte weiterhin zur Verfügung steht.

Kritik. PETERSEN et al. (2009) erklären nicht – wie so häufig – die Entstehung der Anfangszustände. Es gibt nach wie vor keine Antwort auf die Frage: Wie kommt es zu einem Lebewesen mit einer anfangs (hypothetischen!) unpräzisen aber dennoch lebensfähigen Genregulation? Dieses Lebewesen muss komplex genug sein, um die Evolution praktisch aller bekannten Tierstämme zu erlauben. Zum anderen ist der Mechanismus der Genregulation durch microRNAs selbst durchaus komplex. Wie ist dieser entstanden? Die in der nachfolgenden Evolution neu hinzugekommenen microRNAs mussten im passenden Moment hergestellt werden, mehrere Enzymkomplexe sind daran beteiligt und die blockierten mRNAs mussten abgebaut werden. Wie entstand dieser komplexe Mechanismus? Weitergehende Fragen der Evolvierbarkeit solcher Systeme sind davon noch völlig unberührt.

[PETERSON KJ, DIETRICH MR & McPECK MA (2009) MicroRNAs and metazoan macroevolution: insights into canalization, complexity, and the Cambrian explosion. *Bioessays* 31, 736-747.] N. Winkler

Lignin – eine weitere ungewöhnliche Konvergenz?

Ihre Stabilität und Größe verdanken unsere Bäume einem besonderen Stoff: Lignin (lat. *lignum*, Holz). Dabei handelt es sich um komplexe aromatische chemische Verbindungen, die aus verschiedenen Einzelbausteinen zusammengesetzt sind (Heteropolymere) und in die sekundäre pflanzliche Zellwand eingelagert werden (Verholzung oder Lignifizierung). Dort bilden Lignine eine dichte Matrix, die an Cellulosefasern bindet und andere Bestandteile der Zellwand miteinander verknüpft. Durch diese Einlagerung bewirkt Lignin eine Verholzung der Zelle und ermöglicht deren Festigkeit. Die Trockenmasse verholzter Pflanzen besteht zu 20% bis 30% aus Lignin. Evolutionstheoretisch werden lignifizierte Zellwände als Schlüsselneheiten bei der Entstehung von Landpflanzen interpretiert.

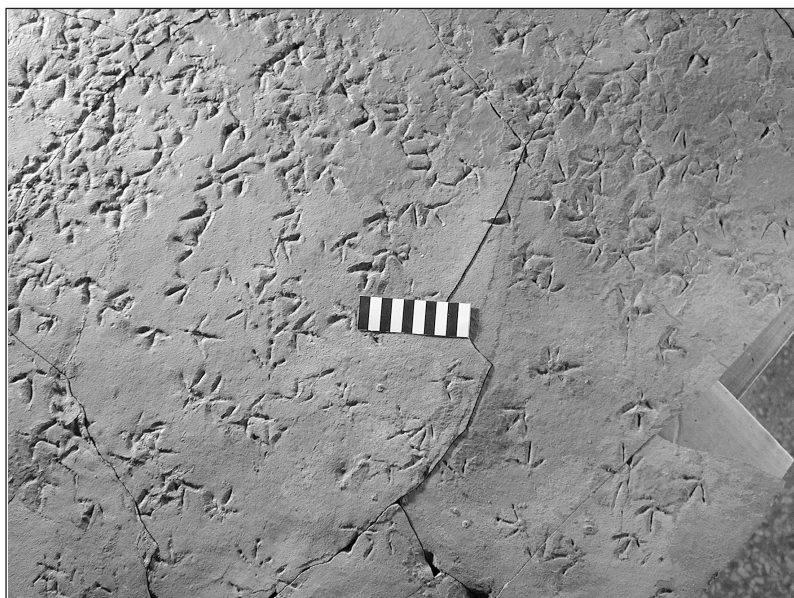
Nun berichten MORTONE et al. (2009) von der Entdeckung sekundärer Zellwände mit Lignin in der Rotalge *Calliarthron cheilosporioides*, die in der Gezeitenzone lebt. Bisher waren derart spezialisierte Zellwände und Lignine nur von Gefäßpflanzen bekannt. Da die Rotalgen in keiner näheren Verwandtschaftsbeziehung zu den Gefäßpflanzen stehen, drängt sich die Annahme einer konvergenten (zweimaligen unabhängigen Entstehung) von Lignin auf. Evolutionstheoretisch ist dies angesichts der Komplexität dieser Moleküle sehr problematisch, da deren biochemische Synthese ausgesprochen komplex ist (MORTONE et al. 2009, 170). Welche andere Möglichkeit gibt es, wenn Evolution zugrundegelegt wird? Die Autoren vermuten gemeinsame Synthesewege bei gemeinsamen Vorfahren von Rotalgen und Gefäßpflanzen, so dass man es doch wenigstens zum Teil mit sogenannten „tiefen Homologien“ zu tun hätte. („Homolog“ werden Ähnlichkeiten genannt, die auf gemeinsame Vorfahren zurückgeführt werden.) Das würde die Konvergenz mindestens weniger ausgeprägt erscheinen lassen. Ein Beispiel eines solchen Synthesewegs wurde tatsächlich gefunden. Damit ist aber nur ein möglicher Baustein für eine unabhängige Lignin-Synthese nachgewiesen. Die Frage, weshalb und wie schon vorhandene Synthesewege genutzt wurden, um denselben chemischen Stoff zu synthetisieren, bleibt dennoch offen. MORTONE et al. (2009, 172) „spekulieren“, dass die Lignin-Biosynthese-Wege im evolutionstheoretisch anzunehmenden gemeinsamen Vorfahren von Rot- und Grünalgen (von Letzteren sollen die Gefäßpflanzen abstammen) die Aufgabe hatten, die Zellen vor mikrobiellen Infektionen und UV-Strahlung zu schützen. Aus einer Schöpfungsperspektive ist das unabhängige Auftreten komplexer Merkmale im Sinne eines „Baukastensystems“ zu verstehen, aus dem sozusagen nach Bedarf funktionell passende Teile entnommen werden können.

[MORTONE PT, ESTEVEZ JM, LU F, RUEL K, DENNY MW, SOMERVILLE C & RALPH J (2009) Discovery of lignin in seaweed reveals convergent evolution of cell-wall architecture. *Curr. Biol.* 19, 169-175.] R. Junker

Fußspuren von Vögeln lange Zeit vor dem „Urvogel“?

Im Jahr 2002 berichteten MELCHOR et al. über hunderte fossiler Fußabdrücke aus Argentinien, die bezüglich Abfolge und Morphologie verblüffend vogelähnlich aussehen (vgl. *Studium Integrale Journal* 9, 95-96; Abb. 1). Sie werden der Spurengattung (Ichnotaxon) *Gruipeda* zugeordnet. (Von Ichnotaxa kennt man nur Spuren, nicht aber deren Verursacher.) Diese Fußabdrücke sind allerdings 55 Millionen Jahre älter als die ältesten Skelettfunde früher Vögel wie z.B. des bekannten *Archaeopteryx* und werden erdgeschichtlich in den Übergang Obertrias/Unterjura gestellt. In einer umfangreichen Studie wurden diese Spuren nun mit verschiedenen Arten von Fußspuren heutiger Vögel verglichen, die in küstennahen Biotopen – Tümpeln mit zeitweise trockenfallenden Ufern – vorkommen, weil sie den fossilen Lebensräumen mutmaßlich gleichen oder ähneln (GENISE et al. 2009). Als moderne Vergleichsgruppe wurden Watvögel (Strandläufer *Calidris* sp.) ausgewählt. Den unterschiedlich ausgeprägten Fußspuren der Watvögel ließen sich bestimmte Verhaltensweisen zuordnen, z.B. vor- und seitwärts gerichtete Laufbewegungen, Stochern nach Nahrung oder Flugbewegungen. Fünf dieser Verhaltensweisen konnten auch auf die fossilen Spuren bezogen werden, darunter Merkmale, die auf Flugfähigkeit der Verursacher schließen lassen. Die Autoren werten dies als deutlichen Hinweis auf eine Vogelverwandtschaft der Verursacher der Spuren. Alternativ wäre denkbar, dass sich entsprechende Füße und die von ihnen

Abb. 1: Vogelartige Fußspuren aus der Santo Domingo-Formation der Obertrias. Balken: 10 cm. (© Ricardo N. MELCHOR, Abdruck mit freundlicher Genehmigung)



gesetzten Arten der Spuren konvergent bei zweibeinigen Theropoden-Dinosauriern entwickelt haben, doch ist diese Annahme spekulativ. Das Alter der Schichten, das mittels fossiler Bäume, radiometrischer Datierungen und paläomagnetischer Studien bestimmt wurde, wird von den Autoren aufgrund dieser Funde angezweifelt. Damit der Befund besser mit der zeitlichen Einordnung von Körperfossilien zusammenpasst, müssten die betreffenden Schichten jünger sein (GENISE et al. 2009, 143, 159, 160). Weitere vogelähnliche Fußspuren waren schon früher in Südafrika entdeckt worden, ebenfalls im Bereich der Grenze Obertrias/Unterjura.

Das Hinterfragen eines (auch) radiometrisch bestimmten Alters aufgrund unerwarteter Fossilfunde ist ungewöhnlich. In einem Kurzzeitszenario wäre das deutlich frühere Auftreten von Spuren vor der Überlieferung von Körperfossilien nicht so ungewöhnlich (vgl. STEPHAN 2002). Denn ein Individuum kann sehr viele Spuren hinterlassen, aber nur einen Körper. Dass Spurenfossilien vor Körperfossilien gefunden werden, ist so gesehen nicht überraschend, wohl aber dass beides durch einen Zeitraum von 55 Millionen Jahren getrennt sein soll. Kein Wunder also, wenn die zeitliche Einstufung der Spurenfossilien in Frage gestellt wird.

[GENISE JF, MELCHOR RN, ARCHANGELSKY M, BALA LO, STRANECK R & DE VALAIS S (2009) Application of neoichnological studies to behavioural and taphonomic interpretation of fossil bird-like tracks from lacustrine settings: The Late Triassic–Early Jurassic? Santo Domingo Formation, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 272, 143-161; MELCHOR RM, DE VALAIS S & GENISE JF (2002) Bird-like fossil footprints from the late Triassic. *Nature* 417, 936-938; STEPHAN M (2002) Der Mensch und die geologische Zeittafel. Holzgerlingen; s. auch: http://www.arn.org/blogs/index.php/literature/2009/06/16/did_birds_fly_in_the_late_triassic] R. Junker

Scheiden die Dinosaurier als Vorfahren der Vögel aus?

In den letzten Jahren galt die Hypothese, dass zweibeinige kleine Raubdinosaurier (Theropoden) die evolutionären Vorfahren der Vögel seien, als zunehmend gesichert. Überspitzt formuliert lautet das Schlagwort: „Vögel sind überlebende Dinosaurier.“ Nur wenige Paläontologen und Ornithologen widersprachen.

Als Kritikpunkte an der Dino-Vogel-Hypothese wurden genannt (vgl. JUNKER 2005): 1. Die den Vögeln ähnlichsten Theropoden stammen alle aus der Oberkreide und sind damit sehr viel jünger als der oberjurassische „Urvogel“ *Archaeopteryx*. 2. Fast alle Theropoden sind zweibeinige Läufer und wegen ihres zu großen Gewichts aus aerodynamischen Gründen nicht als Vogelvorläufer geeignet. 3. Einem hypothetischen evolutiven Umbau von Theropoden zum Vogel-Bauplan stehen konstruktive Aspekte entgegen: So entspricht die Vogel-