

im Karbon nachgewiesen wären. Vielmehr vermuten sie, dass die biochemischen Stoffwechselwege, die zur Synthese von Ic-Harzen erforderlich sind, bereits vor den wirklichen Koniferen vorhanden waren, d. h. bevor sich die Pflanzen entwicklungs-mäßig in Angiospermen und Gymnospermen aufgespalten haben. Die analytischen Befunde für die fossilen Harze aus dem Karbon stehen also nicht im Einklang mit den gängigen evolutionstheoretischen Hypothesen zur Entstehung der Pflanzen und das prägt den Ansatz zur Interpretation der neuen Ergebnisse.

Die analytischen Befunde für die
fossilen Harze aus dem Karbon stehen
nicht im Einklang mit den gängigen
evolutionstheoretischen Hypothesen.

Die grundlegenden Schritte zur Biosynthese dieser Harze müssten über mehr als 300 Millionen Jahre sowohl in Gymnospermen als auch in Angiospermen erhalten geblieben sein.

BRAY & ANDERSON sehen in ihrem Beitrag eine Bestätigung einer Hypothese, die aufgrund genetischer Untersuchungen aufgestellt wurde, nämlich dass die ursprüngliche Differenzierung der Gene für die Terpensynthesen während des Karbons stattgefunden hat. Um diesen Punkt zu erhärten, sind sicher noch weitere Untersuchungen nötig.

Die Arbeit von BRAY & ANDERSON (2009) zeigt aber vor allem, dass die leistungsfähigen Analyse-

methoden bei der Untersuchung fossiler Harze aufgrund der Biosynthese der Harzkomponenten Anstöße geben können, Fragen nach den Lieferpflanzen, deren Verwandtschaft und Auftreten in der Erdgeschichte immer wieder neu zu überdenken.

Mit dieser Publikation sind, wie GRIMALDI (2009) in einem Begleitkommentar schreibt, neue spannende Fragen aufgeworfen, die den Wunsch und die Hoffnung nach neuen Fossilfunden – im Idealfall mit Fossilien von Pflanzen und Insekten nähren. Es bleibt spannend bei der Erforschung fossiler Harze und dem, was sie uns an Hinweisen über die Erdgeschichte liefern.

Harald Binder

Literatur

- ANDERSON KB (1995) New evidence concerning the structure, composition, and maturation of class I (Polyabdanoid) resins. In: ANDERSON KB & CRELLING JC (eds.) *Amber, Resinite, and Fossile Resins*. ACS Symposium Series 617, 105-129.
- BECK CW (1986) Spectroscopic investigations of amber. *Appl. Spectroscopic Rev.* 22, 57-110.
- BRAY PS & ANDERSON KB (2009) Identification of Carboniferous (320 million years old) Class Ic amber. *Science* 326, 132-134.
- GRIMALDI D (2009) Pushing back amber production. *Science* 326, 51-52.
- LANGENHEIM J (2003) *Plant Resins. Chemistry, Evolution, Ecology, Ethnobotany*. Timber Press, Portland, Oregon.
- VAVRA N (1993) A chemical characterization of fossil resins („amber“) – a critical review of methods, problems, and possibilities: determination of mineral species, botanical sources and geographic attribution. *Abh. Geol. Bundesanstalt* 49, 147-157.

Löst Haplocheirus das Zeit-Paradox der Vogelevolution?

Zusammenfassung: Der Fund eines Alvarezsauriden der Gattung *Haplocheirus* scheint ein Paradox der Vogelevolution zu lösen, das darin besteht, dass die am ehesten als **Vogelvorfahren** geeigneten Formen mit Federn oder federartigen Strukturen **später** in der Fossilabfolge auftauchen als die ältesten Vögel. Denn *Haplocheirus* war teilweise befiedert und wird etwa 15 Millionen Jahre älter datiert als der „Urvogel“ *Archaeopteryx*. *Haplocheirus* kann jedoch aufgrund spezialisierter Merkmale nicht zu den Vogelvorfahren gestellt werden. Für die Frage nach der evolutiven Entstehung der Vögel ist mit dem neuen Fund außer einer gewissen Entschärfung des Zeit-Paradoxons nichts gewonnen. Vielmehr trägt *Haplocheirus* weiter dazu bei, dass „extreme morphologische Konver-

genzen“ (CHOINIERE et al. 2010, 571), also die **unabhängige Entstehung gemeinsamer Merkmale, angenommen werden müssen**.

Kürzlich berichteten Wissenschaftler um Xing Xu vom Institute of Vertebrate Paleontology Beijing von einem in mehrfacher Hinsicht bemerkenswerten Fund eines Alvarezsauriers (CHOINIERE et al. 2010; Abb. 1). Diese Gruppe wird zur Theropoden-Dinosaurier-Gruppe der Maniraptora gestellt, aus denen sich nach verbreiteter Auffassung die Vögel entwickelt haben sollen. Bislang wurden die schlanken und langbeinigen, wegen ihrer kurzen, spezialisierten Vorderextremitäten rätselhaften Alvarezsauriden allerdings als flugunfähig gewor-

dene Nachkommen von Vögeln angesehen, denn sie weisen im Skelettbau eine Reihe von Gemeinsamkeiten mit den Vögeln auf: ein kleines Brustbein mit einer Brustbeinleiste, die Verschmelzung von Handwurzel- und Mittelhandknochen und federartige Strukturen bei der Gattung *Shuvuuia*. Die Vorderextremitäten sind aber für einen Flug viel zu kurz. Die Alvarezsauriden kannte man bislang erst aus Schichtfolgen, die sehr viel jünger sind als die ältesten Vögel. Die Vorderbeine waren, unterstützt von starken Brust- und Armmuskeln, sehr wahrscheinlich zum Graben nach staatenbildenden Insekten geeignet. Der stark vergrößerte Daumen besaß eine Klaue, während die beiden anderen Finger stark reduziert waren.

Eine zum Graben spezialisierte Hand besaß auch der neue Fund aus dieser Gruppe, *Haplocheirus sollers*; der Name bedeutet etwa „einfache geschickte Hand“. Dieser Fund ist deshalb besonders bemerkenswert, weil er in Schichtfolgen des unteren Oberjura der Wüste Gobi (China) gefunden wurde, die auf etwa 160 Millionen Jahre datiert werden (CHOINIERE et al. 2010). Diese Schichten sind damit ca. 15 Millionen Jahre älter als der berühmte Urvogel *Archaeopteryx* aus dem obersten Oberjura (Tithonium-Stufe) Frankens. Bislang waren gut erhaltene Fossilien, die am ehesten als Vorfahrenkandidaten der Vögel interpretiert werden konnten, in Schichtfolgen gefunden worden, die jünger (oft deutlich jünger) als der Oberjura sind. Das betraf auch Fossilien, die Federn oder federartige Strukturen besaßen (deren Interpretation teilweise umstritten ist). Dieses „Zeit-Paradox“ – vereinfacht: Die Vorfahren der Vögel erscheinen fossil nach den Vögeln – ist viel diskutiert worden. Solche unpassenden Abfolgen können natürlich immer auf Lücken in der Fossilüberlieferung zurückgeführt werden. Für manche Kritiker ist dieses Zeit-Paradox aber auch einer der Gründe, die evolutive Abfolge Dinosaurier → Vögel anzuzweifeln; die Gemeinsamkeiten vieler Theropoden mit den Vögeln werden von ihnen als Konvergenzen angesehen (also als unabhängig entstandene Gemeinsamkeiten, die keine Hinweise auf gemeinsame Vorfahren sind). Dass diese Gemeinsamkeiten auch abgesehen von den stratigraphischen

Fundhorizonten genauso gut Konvergenzen sein könnten, wird auch durch eine neue cladistische Studie gezeigt (JAMES & POURTLESS 2009).

Nun scheint dieses Zeit-Paradox mit dem Fund von *Haplocheirus* aufgelöst zu sein, und zwar „ein für alle Mal“, wird der Paläontologe Hans-Dieter SUESS von STONE (2010) zitiert. Auch die Deutung, es handle sich um flugunfähig gewordene Vögel sei damit definitiv erledigt, zumal *Haplocheirus* einige vogelähnliche Merkmale fehlen, die die viel jüngeren Funde zeigen (CHOINIERE 2010; STONE 2010). *Haplocheirus* besitzt auch Federn an den Armen. Die zahlreichen Gemeinsamkeiten zwischen den jüngeren Alvarezsauriden und Vögeln müssen daher konvergent entstanden sein. Einmal mehr wird deutlich, wie unsicher die Schlüsse sind, die aus Merkmalsübereinstimmungen gezogen werden.

Ist damit das Zeit-Paradox gelöst? Ja – insofern, als ein Vertreter aus der Gruppe der Maniraptora in älteren Schichtfolgen gefunden wurde. In dieser Gruppe werden am ehesten die Vogelvorfahren gesucht. Die Beschreiber des Fundes, CHOINIERE et al. (2010), stellen *Haplocheirus* jedoch nicht in die verwandtschaftliche Nähe von *Archaeopteryx* und der Linie, die zu den Vögeln führen soll (Abb. 2). Die zum Graben spezialisierten Vorderbeine, die auch *Haplocheirus* besaß, sind zudem nicht gerade eine passende Vorläuferstruktur für Flügel. Als Form, die zu den Vögeln überleitet, kann *Haplocheirus* also nicht interpretiert werden. Ungewöhnlich ist auch die Größe. Der Schwanz ist zwar nicht erhalten, aber aus dem Kopf und Rumpf kann eine Körpergröße von 190-230 cm geschlossen werden, womit diese Gattung die größte unter den Alvarezsauriden ist. Daraus ergibt sich in dieser Gruppe ein phylogenetischer Trend hin zu kleineren Formen, was unter Dinosauriern ungewöhnlich ist.

Bemerkenswert bei diesem Fund ist auch die große zeitliche Lücke zu den kreidezeitlichen Formen dieser Familie; sie beträgt 63 Millionen Jahre nach radiometrischen Datierungen, womit eine lange sogenannte „Geisterlinie“ („ghost range“) angenommen werden muss.

Für die Frage nach der evolutiven Entstehung der Vögel ist mit dem neuen Fund außer einer

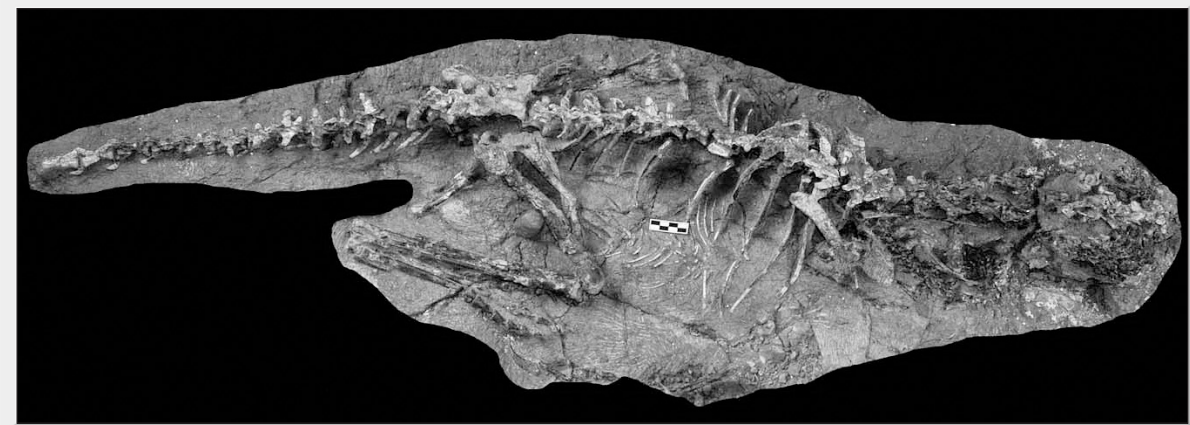


Abb. 1: Holotyp von *Haplocheirus sollers* IVPP V15988 nach Entfernung des Schädels. (Aus CHOINIERE et al. 2010, Supporting Online Material)

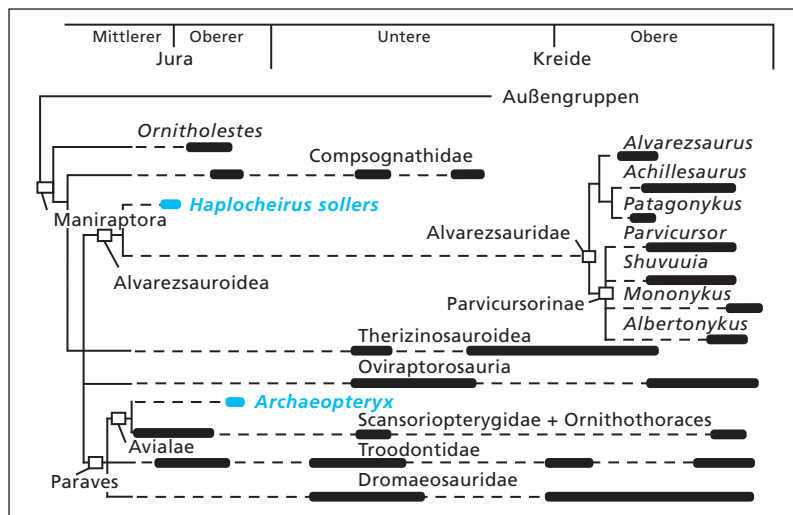


Abb. 2: Phylogenetische Position von *Haplocheirus sollers*. (Nach CHOINIERE et al. 2010)

gewissen Entschärfung des Zeit-Paradoxons nichts gewonnen. Es ist nun klar, dass die Alvarezsauriden als eine zur Vogellinie parallele Linie angesehen werden müssen, deren Merkmalsübereinstimmungen nicht auf Abstammung von den Vögeln

zurückgeführt werden können. Vielmehr müssen sie als „extreme morphologische Konvergenzen“ (CHOINIERE et al. 2010, 571) interpretiert werden – ein Umstand, der evolutionäre Deutungen nicht gerade erleichtert. Der Fund hilft aber zum Verständnis der (Mikro-?) Evolution der Alvarezsauriden, da die Vorderbeine (mit längerem Arm und etwas kürzerer Klaue) und andere Merkmale als Vorfahrenstadium der oberkreidezeitlichen Vertreter dieser Gruppe angesehen werden können.

Reinhard Junker

Literatur

- STONE R (2010) Bird-Dinosaurier Link Formed Up, And in Brilliant Technicolor. *Science* 327, 508.
- CHOINIERE JN, XU X, CLARK JM, FORSTER CA, GUO Y & HAN F (2010) A Basal Alvarezsaurid Theropod from the Early Late Jurassic of Xinjiang, China. *Science* 327, 571-574.
- JAMES FC & POURTLESS IV JA (2009) Cladistics and the Origin of Birds: A Review and Two New Analyses. *Ornithological Monographs* 66, 1-78.

Frühe fossile Fährten werfen neues Licht auf Übergangsformen

Zusammenfassung: Fossile Fußabdrücke von Tetrapoden (Vierbeinern) aus dem unteren Mitteldevon Polens sprengen das bisherige Bild von der evolutiven Entstehung der Vierbeiner. Die bisher als Übergangsformen interpretierten tetrapodenähnlichen Fischgattungen *Panderichthys* und *Tiktaalik* (Elpistostegalia) verlieren diesen Status und rücken auf einen Seitenzweig, da sie in deutlich jüngeren Schichten gefunden wurden. Auch die bisherigen Vorstellungen über die ökologischen Bedingungen der Entstehung der Vierbeiner sind mit den neuen Funden sehr in Frage gestellt. Für die frühen Tetrapoden wie das bekannte *Ichthyostega* und andere Gattungen sowie die tetrapodenähnlichen Fische muss nun angenommen werden, dass sie als „ghost taxa“ (Geisterlinien) lange Zeit in geologisch bislang nicht überlieferten Lebensräumen existierten. Die neue Situation erlaubt noch mehr als bisher, die Abfolge der devonischen Fossilien ausschließlich unter ökologischen Gesichtspunkten zu interpretieren. Die Funde reißen sich in die große Zahl von Fossilien ein, die evolutionstheoretisch nicht vorhergesagt worden waren.

Eine Sensation. Überraschend frühe fossile Fußabdrücke von Tetrapoden (Vierbeinern) werden in der ersten Ausgabe 2010 der führenden Wissenschaftszeitschrift „Nature“ beschrieben (Abb. 1). Sie stammen aus dem tiefsten Teil des unteren Mit-

teldevons und werden auf ca. 395 Millionen Jahre datiert (vgl. Abb. 2). Damit sind sie ca. 18 Millionen Jahre älter als die ältesten bisher bekannten Körperfossilien von Tetrapoden, aber auch ca. 10 Millionen Jahre älter als ihre mutmaßlichen fischartigen Vorfahren der Elpistostegalia wie *Panderichthys* (Abb. 3, 4) und *Tiktaalik* (AHLBERG & CLACK 2006; DAESCHLER et al. 2006, SHUBIN et al., vgl. JUNKER 2006; Abb. 3). Das polnisch-schwedische Forscherteam um Grzegorz NIEDZWIEDZKI hält aufgrund dieser Funde eine „radikale Neubewertung“ des Zeitpunktes und der ökologischen Umstände des Übergangs von den Fischen zu den Vierbeinern für zwingend geboten (NIEDZWIEDZKI et al. 2010). JANVIER & CLÉMENT (2010) kommentieren die Funde so, als hätten die Forscher eine „Granate“ in das bisherige Bild der Evolution der Vierbeiner geworfen.

Die Funde. Die fossilen Fußspuren waren zwischen 2002 und 2007 in einem aufgelassenen Steinbruch im Heiligkreuzgebirge bei Zachemie im Südosten Polens entdeckt worden. Es handelt sich um mehrere Fährtenzüge und um einige einzelne größere Fußabdrücke (Abb. 1). Bei einem Fährtenzug sind unterschiedlich große Vorder- und Hinterfüße zu erkennen. Aufgrund der Größe und des Abstands der Fährten-Abdrücke schließen die Forscher auf eine Größe des Tieres von 40-50 cm. Die einzel-