

Flugsaurier: Phantastische Weichteilerhaltung – Federn oder Haare?

Zusammenfassung: Mineralisierte Weichteile bei Plattenkalk-Flugsauriern geben Einblick in den mehrschichtigen Aufbau der Flughaut. Nicht nur bei Dinosauriern, auch bei den nicht als näher verwandt geltenden Flugsauriern werden haarähnliche und fiederartige Strukturen beschrieben. Wenn Federn und/oder Haare bei Flugsauriern und anderen Reptilien vorkämen, könnte die Gleichheit in einem wichtigen Körpermerkmal nicht mehr als Abstammungshinweis gelten. Vielmehr müßte man von unabhängigem evolutiven Erwerb (Konvergenz) ausgehen. Die Erhaltung von (mineralisierten) Weichteilen ist ferner ein guter Hinweis auf die rasche Phosphatisierung der toten Flugsaurier und Bedeckung mit neuen Kalkschlicklagen.

Weichteile – von Kopf bis Fuß. In den letzten Jahren wurde von Flugsauriern (Pterosaurier, Abb. 1) aus dem Oberjura des Solnhofener Plattenkalks (Südliche Frankenalb, Bayern) und dem Unterkreide-Plattenkalk der Crato-Formation (Nordost-Brasilien) zum Teil spektakuläre (mineralisierte!) Weichteilerhaltung beschrieben. Es handelt sich u. a. um kammartige Hinterhauptlappen bzw. Scheitelskämme sowie Zwischenzehenhaut, Sohlen- und Fersenpolster (FREY & TISCHLINGER 2000; TISCHLINGER & FREY 2001). Nachdem schon vor vielen Jahrzehnten fossile Flughaut von Flugsauriern entdeckt worden war, konnten anhand besonders guter Erhaltung bei einem Solnhofener *Rhamphorhynchus* nun Details ihres mehrschichtigen Aufbaus beschrieben werden. Aus den Feinstrukturen (u. a. Stütz-

fasern der Armflughaut; vermutlich luftgefülltes Unterhaut-„Schwammgewebe“; Blutgefäßschicht) wird abgeleitet, daß die Flughaut feine, wellige Oberflächenstrukturen aufwies, die im Luftstrom als „Kühlrippen“ fungierten (Abb. 2). Das Ganze wird als komplexes Thermoregulations-System bezeichnet (TISCHLINGER & FREY 2002; FREY & TISCHLINGER 2003). Solche Entdeckungen wurden durch den Einsatz spezifischer, langwelliger UV-Strahlung möglich (TISCHLINGER 2002; TISCHLINGER & UNWIN 2004).

Federn bei Flugsauriern – Fehlanzeige? Haar- und federähnliche Körperbedeckung bei Flugsauriern hatte schon 1834 der bedeutende Paläontologe G. A. GOLDFUSS auf einer Solnhofener Platte an einem „Dickschnabel-Flugsaurier“ *Scaphognathus* beschrieben; doch wurde seine Deutung abgelehnt (TISCHLINGER 2002, 28). TISCHLINGER (2006) bestätigt nun jedoch diese Beobachtungen anhand der Originalplatte; er erkennt „büschelförmige, fast federartig aussehende Gebilde“ bzw. „haarähnliche Fasern, Haarbüschel und vor allem fiederartige Strukturen“ (245).

In diesem Zusammenhang ist die weltweit Furore machende Entdeckung kleiner, zweibeinig laufender räuberischer Dinosaurier (Theropoden) mit „Federn oder federartigen Hautanhängen“ bedeutsam, die seit den 1990er Jahren in der Unterkreide von Nordost-China gelang (z. B. PEI-JI 2001). Nicht zuletzt aufgrund dieser Funde sehen die meisten Paläontologen die Abstammung der Vögel von Theropoden bestätigt (vgl. aber JUNKER 2005a). Jedoch wurden solche federartigen Gebilde bei chinesischen Dinosauriern unlängst als „Zerfallsstadien von Geweben“ der Körperbedeckung gedeutet, denn im Zustand des Zerfalls gleichen sie auffallend den fossilen Überresten der vermeintlichen sogenannten ‚Protofedern‘ (FEDUCCIA et al. 2005; vgl. JUNKER 2006, 33).

Vielleicht ist es kein Zufall, daß es chinesische Paläontologen waren, die auch bei „haarähnlichen“ Strukturen der Körperbedeckung eines Flugsauriers aus dem Mittel-/Oberjura der Inneren Mongolei (Nordchina) auf den Besitz von „Vorfedern“ („protofeathers“) geschlossen haben (TISCHLINGER & FREY 2002, 14). Aber es stellt sich die Frage, ob nicht auch ähnliche Strukturen bei Flugsauriern durch

Abb. 1: Ältere Darstellung eines fisch-jagenden Flugsauriers. (Staatliches Museum für Naturkunde, Karlsruhe)



Verwesungsprozesse des Hautgewebes entstanden sein könnten. Zumindest bei *Sordes pilosus* („behaartes Teufelchen“) ist das offenbar teilweise der Fall. Dieser Flugsaurier wurde 1971 aus dem Oberjura von Kasachstan (Zentralasien) mit „langer, dichter und dicker“ Körperbehaarung beschrieben (z. B. WELLNHOFER 1983, 54f.). Inzwischen sind „die meisten der ‚langen Haare‘ als zerfallene Stützfasern ... identifiziert“ worden. TISCHLINGER & FREY (2002, 5) betonen allerdings: „Daneben sind bei *Sordes* aber auch haarähnliche Borsten einer pelzartigen Körperbedeckung vorhanden.“ Doch abgesehen davon spricht sich TISCHLINGER (2006) grundsätzlich gegen eine *wirkliche* Federnatur solcher Strukturen bei Flugsauriern aus: Sie hätten „mit Vogel- oder Dinosaurierfedern absolut nichts zu tun“ und seien „auch keine ‚protofeathers‘ (Urfedern)“. Es handle sich vermutlich um Reste einer „haarähnlichen, dunenartig fein aufgefasernten Körperbedeckung“ (251).

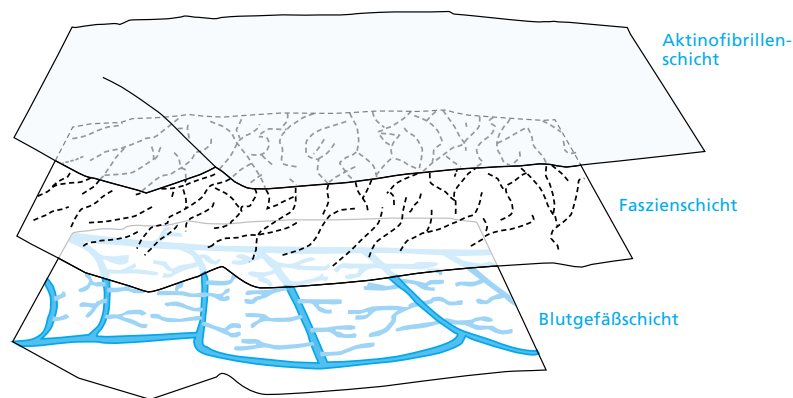
Evolutionsprobleme. Welche vorläufigen Schlüsse können aus diesem – unabgeschlossenen – Diskussionsstand gezogen werden?

1. *Flugsaurier besaßen Federn oder federartige Strukturen.* Das ist die am wenigsten wahrscheinliche Variante. Aber Flugsaurier gelten, auch wenn sie echte Federn besaßen, aufgrund ihrer übrigen Körpermerkmale (im makroevolutiven Interpretationsgebäude) nicht als (nahe) Verwandte der Dinosaurier und Vögel. „Der Ursprung der Flugsaurier liegt im Dunkeln. Ihre ältesten Vertreter aus der Trias der italienischen Alpen sind bereits fertig ausgebildete Flugsaurier mit allen für diese Gruppe typischen Spezialisierungen“ (VIOHL 2000, 6). Als Vorfahren sind unterschiedliche Reptilgruppen wie Urwurzelzähner (Thecodontier) oder Urschuppensaurier (Eosuchier) aus Perm und Untertrias vermutet worden (VIOHL 2000, 9). Im Fall des Besitzes von Federn läge also eine unabhängige

„Der Ursprung der Flugsaurier liegt im Dunkeln.“

Entwicklung (Konvergenz) sogar eines Schlüsselmerkmals vor (vgl. JUNKER 2005b). Selbst wenn Federn bei bestimmten Dinosauriern (Theropoden) vorkämen (s.o.), wären durch Federn auch bei Flugsauriern – an sich das Schlüsselmerkmal der Vogel-Tierklasse! – die Abstammungs-Szenarien in ihrer Plausibilität geschwächt, da Merkmalsgleichheit in einem wichtigen Merkmal nicht mehr als Abstammungshinweis gelten könnte (dazu grundlegend JUNKER 2002, 31-66, 81-98).

2. *Flugsaurier besaßen Haare oder haarähnliche Strukturen.* Das scheint nach den heutigen Daten wahrscheinlich zu sein. Auch in diesem Fall läge im Evolutionsrahmen die konvergente Entwicklung eines reptilienuntypischen Schlüsselmerk-



mals vor – ebenfalls eine Schwächung des Evolutionsszenarios. Das Problem vertieft sich noch durch die Entdeckung komplexer Hautanhänge (borstenartige Strukturen) bei Papageienschnabel-Dinosauriern (Psittacosaurier; MAYR 2004, 27). Auch diese Hautstrukturen müssen unabhängig (konvergent) entstanden sein, denn Psittacosaurier gehören nicht wie die chinesischen Funde mit Hautanhängen zu den Echtenbecken-Dinosauriern (Saurischier; Theropoden), sondern zur zweiten Dinosaurier-Großgruppe, die ein vogelartiges Becken besitzen (Ornithischier). Letztere werden heute aufgrund der Gesamtheit ihrer Skelettmerkmale – trotz der vogelähnlichen Beckenform – nicht als Ursprungsgruppe der Vögel angesehen, und sie gelten auch nicht als verwandt mit Säugetieren (Haare!). Ebenso wenig werden die Ornithischier in die nähere Verwandtschaft mit Flugsauriern gestellt.

Schnelle Fossilisation und baldige Einbettung. Die Weichteile von Flugsauriern sind im Solnhofener Plattenkalk zumeist durch Kalziumphosphat (Apatit) fossilisiert, also mineralisiert. „Schon wenige Stunden nach dem Tode eines Tieres [kann] in den Weichteilen eine Phosphatisierung einsetzen“ (TISCHLINGER 2002, 29/32). Mehr noch, sie *muß* vor dem Zerfall des Gewebes erfolgt sein. Das geschieht entweder anorganisch (direkt) oder aber organisch (indirekt), nämlich „durch die relativ rasch erfolgte Phosphatisierung eines hauchdünnen Bakterienfilms“, der die Weichteile des toten Organismus zuvor überzogen hatte. „Aufgrund der geringen Größe der Apatitkristalle gibt das ‚Bakterienreplikate‘ alle Einzelheiten des ursprünglichen Gewebes detailgetreu wieder, vergleichbar einem digitalen Bild mit hoher Pixelzahl“ (TISCHLINGER 2006, 250). Das muß sozusagen „blitzschnell“, also „innerhalb weniger Stunden“ geschehen sein (GALL & KRUMBEIN 1992, 44.42), weil sonst der Zerfall des Gewebes fortgeschritten wäre. Aber erst durch baldige Überdeckung mit neuen Kalkschlick-Lagen war der tote Flugsaurier endgültig von zerstörenden Einflüssen der Umwelt abgeschirmt und konnte dauerhaft überliefert werden – ein weiterer Hinweis auf die rasche Ablagerung von Plattenkalken (vgl. STEPHAN 2005, 85-87).

Abb. 2: Gewebetypen des besonders gut erhaltenen Flügels eines Flugsauriers *Rhamphorhynchus muensteri* aus dem Oberen Jura des Solnhofener Plattenkalks (Südliche Frankenalb), einzelne, übereinander liegende Gewebeschichten. (Nach TISCHLINGER & FREY 2002)

Literatur

- FEDUCCIA A, LINGHAM-SOLIAR T & HINCHLIFFE JR (2005) Do Feathered Dinosaurs Exist? Testing the Hypothesis on Neontological and Paleontological Evidence. *J. Morphol.* 266, 125-166.
- FREY E & TISCHLINGER H (2000) Weichteilanatomie der Flugsaurierfüße und Bau der Scheitelkämme: Neue Pterosaurierfunde aus den Solnhofener Schichten (Bayern) und der Crato-Formation (Brasilien). *Archaeopteryx* 18, 1-16.
- FREY E & TISCHLINGER H (2003) Am Puls der fliegenden Drachen. *Fossilien* 20, 234-240.
- GALL J-C & KRUMBEIN WE (1992) Weichkörperfossilien. *Fossilien* 9, 35-49.
- JUNKER R (2002) Ähnlichkeiten • Rudimente • Atavismen. Design-Fehler oder Design-Signale? *Studium Integrale. Holzgerlingen.*
- JUNKER R (2005a) Der Ursprung der Vögel – ein Update. *Stud. Int. J.* 12, 51-57.
- JUNKER R (2005b) Unerhört: Konvergenz eines Schlüsselmerkmals. *Stud. Int. J.* 12, 74-76.
- JUNKER R (2006) Gefiederte Dinosaurier – eine Fehldeutung? *Stud. Int. J.* 13, 33-34.
- MAYR G (2004) Ein Papageienschnabel-Dinosaurier mit „Borsten“ am Schwanz. *Natur und Museum* 134, 26-28.
- PEI-JI C (2001) Die Jehol-Lebensgemeinschaft/The Jehol Biota. In: SCHLEICH HH (Hg) *Fossile Schätze Chinas*, 39-52. Fuhlrott-Museum, Wuppertal.
- STEPHAN M (2005) Plattenkalk: Neue Hinweise auf rasche Entstehung und geologisch nicht überlieferte Biotope. *Stud. Int. J.* 12, 85-87.
- TISCHLINGER H (2002) Der Eichstätt *Archaeopteryx* im langwelligen UV-Licht. *Archaeopteryx* 20, 21-38.
- TISCHLINGER H (2006) ... und Goldfuß hatte doch Recht! *Fossilien* 23, 245-253.
- TISCHLINGER H & FREY E (2001) „Mit Haut und Haar!“ – Flugsaurier-Neufunde mit Weichteilerhaltung. *Fossilien* 18, 151-158.
- TISCHLINGER H & FREY E (2002) Ein *Rhamphorhynchus* (Pterosauria, Reptilia) mit ungewöhnlicher Hauerhaltung aus dem Solnhofener Plattenkalk. *Archaeopteryx* 20, 1-20.
- TISCHLINGER H & UNWIN D (2004) UV-Untersuchungen des Berliner Exemplars von *Archaeopteryx lithographica* H. v. MAYER 1861 und der isolierten *Archaeopteryx-Feder*. *Archaeopteryx* 22, 17-50.
- VIOHL G (2000) Drachen der Lüfte – Entwicklung und Leben der Flugsaurier. Jura-Museum Eichstätt. München.
- WELLNHOFER P (1983) Solnhofener Plattenkalk: Urvögel und Flugsaurier. Museum beim Solenhofer Aktien-Verein. Maxberg.

Tiktaalik – ein erstklassiges Bindeglied?

Zusammenfassung: Das im Frühjahr 2006 in der Presse gefeierte Fischfossil *Tiktaalik* weist neben typischen fischartigen Eigenschaften auch eine Reihe von Merkmalen auf, die kennzeichnend für Tetrapoden (= Vierbeiner) sind. Der Fund paßt daher grob in einen Übergangsbereich Fische – Vierbeiner. Wie gut diese Passung ist, wird anhand einiger wichtiger Merkmale kritisch diskutiert. Alternative, nicht-evolutionäre Deutungsmöglichkeiten der Fossilabfolgen im Bereich Oberdevon/ Unterkarbon werden kurz betrachtet.

Ein neues Bindeglied schickt sich an, Berühmtheit zu erlangen – *Tiktaalik roseae*, ein Fisch mit einigen Merkmalen, die typisch für Vierbeiner (Tetrapoden) sind. Anfang April wurde diese neue Fischgattung

in zwei ausführlichen Artikeln in *Nature* beschrieben (DAESCHLER et al. 2006, SHUBIN et al. 2006). Überreste mehrerer Exemplare wurden in der kanadischen Arktis auf der Insel Ellesmere gefunden; geologisch gehören die Fundschichten zum untersten Oberdevon (Unterfrasn). Erhalten sind Schädel, Halsbereich, Schultergürtel, Brustflossen, Rippen und ein größerer Teil der Wirbelsäule (Abb. 1). Die Tiere waren ca. 1,2-2,7 m groß, hatten einen flachen Körper und einen krokodilähnlichen Kopf und waren mit ihren scharfen Zähnen vermutlich gefährliche Räuber. Erik AHLBERG und Jennifer CLACK, zwei ausgewiesene Spezialisten für frühe Tetrapoden (Vierbeiner), halten es für möglich, daß der neue Fund eine ähnliche Bedeutung erlangen könnte wie der berühmte „Urvogel“ *Archaeopteryx* (AHLBERG & CLACK 2006, 747), und Neil SHUBIN kreierte anlässlich dieses Fundes den Begriff „fishopod“. Der Gattungsname *Tiktaalik* entstammt der Sprache der Inuit (Eskimos) und bedeutet „großer Fisch aus seichtem Gewässer“ in Anlehnung an den mutmaßlichen Lebensraum (s. u.); den Artnamen *roseae* verdankt der Fund einem anonymen Sponsor.

Was macht diesen Fund so interessant? *Tiktaalik* weist eine ausgeprägte Kombination aus eindeutig fischtypischen Merkmalen und typischen Tetrapodenmerkmalen auf. Fischartig sind die großen Kiemenhöhlen, die ausgeprägten Flossenstrahlen, die Schuppenhaut, der Unterkiefer und der Gaumen. Dagegen sind das verkürzte Schädeldach, der

Abb. 1: *Tiktaalik roseae* aus dem Oberdevon. (© Academy of Natural Sciences, Philadelphia, Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Ted DAESCHLER)

