

hand den Fingern II, III und IV, während die Theropoden die Finger I, II und III besaßen. Eine homeotische Transformation als Erklärung für diese Verschiebung ist hypothetisch und wegen eines fehlenden Selektionsdrucks schwer zu begründen (vgl. ULLRICH 2008). Ein kontrovers diskutiertes weiteres Beispiel ist der Bau der Lunge. Fossilfunde deuten darauf hin, dass Theropoden eine krokodilartige Lunge besaßen, die nach Auffassung einiger Forscher konstruktiv nicht in die ganz anders gebaute Vogellunge umgebaut werden könne (JONES & RUBEN 2001).

Der letztgenannte Kritikpunkt erhält neuerdings durch eine Studie von QUICK & RUBEN (2009) weitere Unterstützung. Die beiden Forscher weisen auf einen bisher offenbar nicht beachteten anatomischen Zusammenhang hin: Lungenfunktion und Oberschenkelanatomie hängen bei Vögeln eng miteinander zusammen. Damit hat es folgende Bewandnis: Der Oberschenkelknochen sitzt bei den Vögeln relativ fest, und die Hauptbewegung findet im Unterschenkel und im Fuß statt. Diese Anatomie hängt damit zusammen, dass Knochen und Muskulatur der Oberschenkelregion benötigt werden, um die Luftsack-ähnliche Lunge der Vögel vor dem Kollabieren zu bewahren. Die Position der Oberschenkelknochen und Muskeln ist also entscheidend für die Lungenfunktion der Vögel, und erst diese gibt den Vögeln ausreichend Lungenkapazität für den Flug. Die einzigartige Lungenstruktur wird gebraucht, weil die Vögel etwa 20 Mal mehr Sauerstoff als Reptilien benötigen.

Die Theropoden-Dinosaurier weisen dagegen eine ganz andere Anatomie der beweglichen Oberschenkelknochen auf, die nicht in die Vogelanatomie überführbar sei. Daher müsse die Evolution der Vögel unabhängig von den Dinosauriern verlaufen sein. QUICK & RUBEN stellen damit eine etablierte Sicht in Frage und vermuten gemeinsame Vorfahren von Dinosauriern und Vögeln unter den älteren thecodonten Reptilien (Urwurzelzähmern). Sie weisen auch auf das oben genannte Problem hin, dass die Dinosaurier, von denen die Vögel abstammen sollen, durchweg in erheblich jüngeren Schichten als die ältesten Vögel gefunden seien.

Bemerkenswert an der Position von QUICK & RUBEN ist, dass sie behaupten, eine konstruktive Umwandlung sei unmöglich. Dann stellt sich aber die Frage, ob diese Unmöglichkeit auch anderen postulierten Übergängen entgegensteht. Die Atmung bei Vögeln ist auf so vielfältige Weise mit anatomischen Konstruktionen verwoben, dass der Umbau zur Vogellunge ein entsprechend komplexer Vorgang gewesen sein muss. Ob natürliche Evolutionsmechanismen das erlauben, kann ernsthaft bezweifelt werden. Für evolutionstheoretische Deutungen sind Merkmalsübereinstimmungen – einer der Belege für die Dino-Vogel-Hypothese – zu wenig, um evolutive Übergänge zu begründen. Man kann die Mechanismenfrage nicht ausblen-

den, zumal Merkmalsübereinstimmungen auch funktionelle Gründe haben können, ohne dass ein Bezug auf Evolution genommen werden müsste.

[JONES TD & RUBEN JA (2001) Respiratory structure and function in theropod dinosaurs and some related taxa. In: GAUTHIER J & GALL LF (eds) New Perspectives on the Origin and Early Evolution of Birds. New Haven, pp 443-461; JUNKER R (2005) Der Ursprung der Vögel – ein Update. Stud. Int. J. 12, 51-57; QUICK DE & RUBEN JA (2009) Cardio-pulmonary anatomy in theropod dinosaurs: implications from extant archosaurs. J. Morphol., 2009, May 20 (online); ULLRICH H (2008) Sind Vogelflügel umgestaltete Dinosaurierhände? Zum Konflikt zwischen fossilen und entwicklungsbiologischen Daten bei der phylogenetischen Herleitung des Vogelflügels. Stud. Int. J. 15, 18-30; Vögel doch nicht Nachfahren der Dinos? <http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-10026-2009-06-10.html>] R. Junker

Protofedern bei einem Ornithischier?

Die Hypothese der Abstammung der Vögel von zweibeinigen sich fortbewegenden kleinen Raubdinosauriern (vgl. das vorige Streiflicht) wurde in den letzten Jahren vor allem auch durch zahlreiche Funde von Dinosauriern postuliert, die federartige Strukturen besitzen. Allerdings ist die Federnatur dieser Hautstrukturen teilweise umstritten (FEDUCCIA et al. 2005). ZHENG et al. (2009) berichten nun vom Fund eines Dinosaurier-Teilskeletts mit Schädelresten, genannt *Tianyulong confuciusi*. Es gehört zur Untergruppe der Ornithischia und besitzt unverzweigte filamentöse (fadenförmige) Hautstrukturen, die als Protofedern interpretiert werden. Die bis zu 60 mm langen und 0,4 mm dicken Filamente wurden an drei Stellen in der Nähe der Wirbelsäule gefunden und scheinen hohl gewesen zu sein. Die Autoren interpretieren dies als äußere Hautstrukturen; es soll sich nicht um innere Versteifungselemente der Haut handeln.

Besonders bemerkenswert ist bei diesem Fund, dass er nicht der Dinosaurier-Großgruppe Saurischia (Echsenbeckensaurier) mit der Untergruppe Theropoda angehört, aus der die Vögel hergeleitet werden, sondern der anderen Großgruppe, den Ornithischia (Vogelbeckensaurier). Sie sollen sich schon sehr früh (in der Mittel-/Obertrias) von den Saurischiern getrennt haben. Damit müssten sich die Hautstrukturen von *Tianyulong* unabhängig von den Hautstrukturen der Saurischier entwickelt haben. WELLNHOFFER (2009) ist der Auffassung, der letzte Beweis fehle, dass es sich wirklich um epidermale und nicht um innere Strukturen handle. Dazu müsse sicher geklärt werden, ob sie wirklich hohl waren, was für eine äußere Hautstruktur sprechen würde. Gegen eine Festigungsfunktion führt er an, dass die Filamente im Schwanzbereich extrem lang sind und die Schwanzwirbelsäule ohnehin durch verknöcherte Sehnen versteift gewesen sei. Vergleichbare epidermale Bildungen kennt man schon lange von den ebenfalls nicht näher verwandten Flugsauriern. Der Besitz haarartiger Körperanhänge steht in diesen Fällen offenbar nicht im

Zusammenhang mit der Entstehung von Federn, und ob das bei den Gattungen der Fall ist, die man aus anatomischen Gründen eher als Vogelvorläufer ansieht, ist ebenso fraglich. Ein Problem für die Deutung dieser Strukturen ist die Unklarheit ihrer Funktion.

Wie die bisher bekannten Dinosaurier mit federähnlichen Strukturen ist auch *Tianyulong* jünger als der Urvogel *Archaeopteryx*, der echte, „moderne“ Federn besaß. Die Gruppe der Heterodontosauridae, zu der *Tianyulong* gehört, ist aber schon aus dem frühen Jura bekannt (Alter 200 Millionen Jahre nach herkömmlicher Zeitrechnung), so dass *Tianyulong* in der Unterkreide (vor 125-130 Millionen Jahren) ein lebendes Fossil darstellt. Die systematische Stellung der Heterodontosauridae ist unsicher, sie gelten aber als eine der ursprünglichsten Gruppen der Ornithischia (ZHENG et al. 2009).

[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; WELLNHOFER P (2009) Protofedern bei Vogelbeckensauriern? Nat. Rdsch. 62, 311-312; ZHENG XT, YOU HL, XU X & DONG ZM (2009) An Early Cretaceous heterodontosaurid dinosaur with filamentous integumentary structures. Nature 458, 333-336.] R. Junker

Protofedern in Bernstein?

Eine der zentralen Neuheiten der Vögel gegenüber ihren mutmaßlichen Vorläufern nach der Evolutionslehre sind die Federn. Federn können verschiedene Funktionen ausüben, sind aber nur dann für den Flug brauchbar, wenn sie entsprechend detailliert gebaut, zweckmäßig und flexibel in der Körperoberfläche verankert und in einem funktionalen Federkleid zusammengefügt sind. Außerdem benötigt ein Vogel ein entsprechendes Verhaltensrepertoire, um den Flugapparat mit allen seinen Einzelteilen überhaupt nutzen zu können. Es ist klar, dass der Sprung von federlosen Reptilien zu

flugfähigen Vögeln so groß ist, dass er evolutiv allenfalls dann überbrückt werden kann, wenn es Zwischenstufen mit anderen Funktionen gibt. So wird beispielsweise angenommen, dass einfachere Federstrukturen – sogenannte Protofedern – ursprünglich der Wärmeisolierung dienten, zumal es auch heute Federn gibt, die nur diese Funktion ausüben.

Eine notwendige, wenn auch bei weitem nicht hinreichende Voraussetzung für die Plausibilität einer evolutiven Entstehung der Federn ist der Nachweis verschieden ausgeprägter Federstrukturen. Hierzu existieren zum einen theoretische Modelle (PRUM 1999, PRUM & BRUSH 2003), die in den vergangenen Jahren zum anderen mit Funden mutmaßlicher Protofedern gestützt wurden (kritisch dazu aber PETERS 2001). Ein Fund von einfachen federähnlichen Strukturen in Bernstein aus der oberen Unterkreide Frankreichs scheint hier einen wichtigen Baustein zu liefern (PERRICHOT et al. 2008), da er möglicherweise zwischen zwei Stufen des Modells von PRUM vermittelt. Es handelt sich um sieben identische Federn, die Seite an Seite im Bernsteinstück liegen (Abb. 1). Ihre Basis scheint zu fehlen. Die drei am besten untersuchbaren Federn sind 2,3, 1,6 und 1,1 mm lang, also winzig, und fiederig verzweigt. Die Rachis (Schaft) ist abgeflacht. Den Federästen fehlen die Federstrahlen, die die Äste der Federn bei vielen heutigen Vögeln miteinander verknüpfen. Ihre Form kommt Daunenfедern, Schmuck- oder Doppelfedern (Feder mit zwei Schäften, an der Basis verzweigt) morphologisch am nächsten; diese sind jedoch den Konturfedern nicht ähnlich. Anders als typische Daunenfедern haben sie eine dicke und lange Rachis, deren Äste allgemein von der sehr kurzen Spitze der Rachis abgehen (PERRICHOT et al. 2008, 1198). Die Autoren betrachten den Fund als intermediäre Ausprägung in der hypothetischen Federevolution, deren Existenz durch Theorien vorhergesagt worden sei, die sich an der ontogenetischen Federentwicklung orientieren (PRUM 1999).

Ob es sich um eine evolutive Übergangsform handelt, ist aber aus mehreren Gründen fraglich. Da die fossilen Federn morphologisch Daunenfедern stark ähneln, könnte es sich auch um solche Federn handeln, auch wenn eine Entsprechung mit heutigen Daunenfедern nicht durchweg vorliegt. Da die Fossilien so klein sind, müssten sie mit Daunenfедern frisch geschlüpfter Küken verglichen werden, nicht mit denen ausgewachsener Vögel. Es könnte sich auch um degenerierte Federn handeln. Federn mit einem Schaft, aber ohne Federstrahlen an den Ästen, sind von heutigen Vögeln wie den Kiwis bekannt. Wie alle anderen bisher entdeckten mutmaßlichen Protofedern ist auch der neue Bernsteinfund deutlich zu jung für die Deutung als Vorfeder, denn die den heutigen Federn vergleichbaren *Archaeopteryx*-Federn sind älter. Unklar ist auch, welche Selektionsvorteile die Aus-

Abb. 1: Winzige federähnliche Strukturen in Bernstein.
(© Museum für Naturkunde Berlin, s. <http://www.uni-protokolle.de/nachrichten/id/151999/>; Abdruck mit freundlicher Genehmigung)

