



Steht der „Urvogel“ *Archaeopteryx* auf dem Abstellgleis?

Neue Vogelfossilien vergrößern die Merkmalsvernetzung

Aktuelle Funde fossiler Vögel aus Oberjura und Oberkreide weisen Merkmalsmosaik auf, die bisherigen evolutionären Hypothesen widersprechen. Sie sind typische Beispiele dafür, dass Mosaikformen nicht als evolutionäre Bindeglieder interpretiert werden können. Stattdessen zeigt sich eine klare Tendenz: Die Merkmalsbeziehungen der „Urvögel“ sind netzartig und lassen sich nur mit zahlreichen Widersprüchen in Stammbaumform bringen.

Reinhard Junker

Introbild Moderne Rekonstruktion von *Archaeopteryx*. (Adobe Stock)

Einleitung

Bis vor Kurzem galt der berühmte „Urvogel“ *Archaeopteryx* (Introbild) als der einzige bekannte Vogel aus dem Oberjura und – im Rahmen evolutionstheoretischer Modellierungen – zugleich mit deutlichem Abstand als *ältester* Vogel (ca. 150 Millionen radiometrische Jahre, MrJ). Es wurden zwar noch ältere mit echten Federn ausgestattete Formen gefunden (s. u.), die aber nicht als Vögel klassifiziert werden. *Archaeopteryx* kann aufgrund einer Kombination wichtiger Merkmale als eine Mosaikform im Bereich zwischen bestimmten sich zweibeinig fortbewegenden Raubdinosauriern (Theropoden) und „moderneren“ Vögeln angesehen werden. Am auffälligsten reptiltypisch sind ein bezahnter Kiefer, eine lange Schwanzwirbelsäule, Bauchrippen und scharfe Klauen, während die Flügel mit flä-

chigen, asymmetrischen Federn und manche Schädelmerkmale vogeltypisch sind.

Einige Funde der letzten ca. 15 Jahre haben allerdings dazu geführt, dass *Archaeopteryx* seinen Status als ältestes Fossil mit echten flächigen Federn verloren hat. „Echt“ meint hier „flächig, mit Federschaft, Federästen und Federstrahlen“ (s. auch Streiflicht auf S. 139). Bei einigen fossilen Arten, die zur Theropoden-(Raubdinosaurier-) Untergruppe der Anchiornithidae gestellt werden – und die bis ca. 10 MrJ älter als *Archaeopteryx* datiert werden, wurden echte Federn nachgewiesen (Abb. 1): Dies ist der Fall bei *Anchiornis huxleyi* (HU et al. 2009; ca. 160 MrJ; Abb. 1a), bei *Caihong juji* (HU et al. 2018; ca. 161 MrJ; Abb. 1b) und wahrscheinlich auch bei *Fujianvenator prodigiosus* (XU et al. 2023; ca. 150 MrJ; Abb. 1c), bei dem aufgrund von Skelettmerkmalen auf den Besitz von Federn geschlossen

wird. Darüber hinaus gibt es echte Federn auch bei den jüngeren, erst seit der Unterkreide fossil bekannten, vierflügeligen (!) Gattungen *Changyuraptor* (Abb. 1d) und *Microraptor* (Abb. 1g), die aber zu einer anderen Theropodengruppe gestellt werden, den Dromaeosauridae. Daraus folgt, dass diese vierflügeligen Formen den Flug unabhängig (*konvergent*) von der Linie der echten Vögel erworben haben müssten – ebenso wie die Arten *Ambopteryx longibrachium* (Abb. 1e) und *Yi qi* (Abb. 1f), die wiederum zu einer anderen Gruppe gestellt werden, den Scansoriopterygidae. Sie wurden auf 160 MrJ und damit älter als *Archaeopteryx* datiert. Diese beiden Arten sind jedoch nicht mit flugtauglichen Federn, sondern mit Flughäuten (!) ausgestattet (vgl. JUNKER 2019, 9).

Von den oben genannten Gattungen besaß *Caihong* ebenso wie *Archaeopteryx* asymmetrische Flugfedern, während bei *Anchiornis* nur symmetrische Federn in ungewöhnlicher Anordnung erkennbar sind. Die genaue Art der Flugfähigkeit der oberjurassischen Arten und die genaue Funktion ihrer Federn sind unklar. Die Merkmalskombinationen waren allesamt

Kompakt

Neue Fossilfunde von „Urvögeln“ erweitern die bekannte Formenvielfalt auf eindruckliche Weise. Es wird der Frage nachgegangen, ob damit auch bisherige Lücken im mutmaßlichen evolutionären Stammbaum geschlossen werden.

Baminornis zhenghensis aus dem Oberjura Chinas weist überraschend modern anmutende Vogelmerkmale auf: Ein pygostylartiges kurzes Ende der Wirbelsäule – geeignet als Ansatzstelle für einen Fächerschwanz –, einen heutigen Vögeln vergleichbaren Schultergürtel und ein vogelartiges Gabelbein (Furcula). Die neue Art unterscheidet sich in diesen Merkmalen deutlich vom etwa gleichalten „Urvogel“ *Archaeopteryx* (Introbild), der durch diesen neuen Fund seine Position als evolutionäres Bindeglied wohl endgültig verliert. Die Forscher sehen die Notwendigkeit, Vorgehensverfahren in tieferen Schichten als bisher zu suchen. Das Merkmalsmosaik von *Baminornis* lässt sich nicht mit bisherigen Abstammungshypothesen vereinbaren. Eine ähnliche Einschätzung kann auch für die neu entdeckte Gattung *Navaornis* gegeben werden. Auch diese Gattung weist ein Mosaik aus Merkmalen auf, die zwischen denen von *Archaeopteryx* und denen heutiger Vögel stehen. Doch stehen spezielle Merkmale einer Einordnung als Bindeglied entgegen, sodass *Navaornis* nicht ansatzweise als ursprünglicher Vogel angesehen werden kann.

mehr oder weniger unerwartet und wurden im Falle von *Fujianvenator* (Abb. 1c) sogar als „bizarrr“ bezeichnet (COLEMAN 2023). Diese Merkmalsmosaiken sind insgesamt bezüglich Funktionalität und ökologischer Bedeutung schwer zu verstehen und die betreffenden Gattungen passen

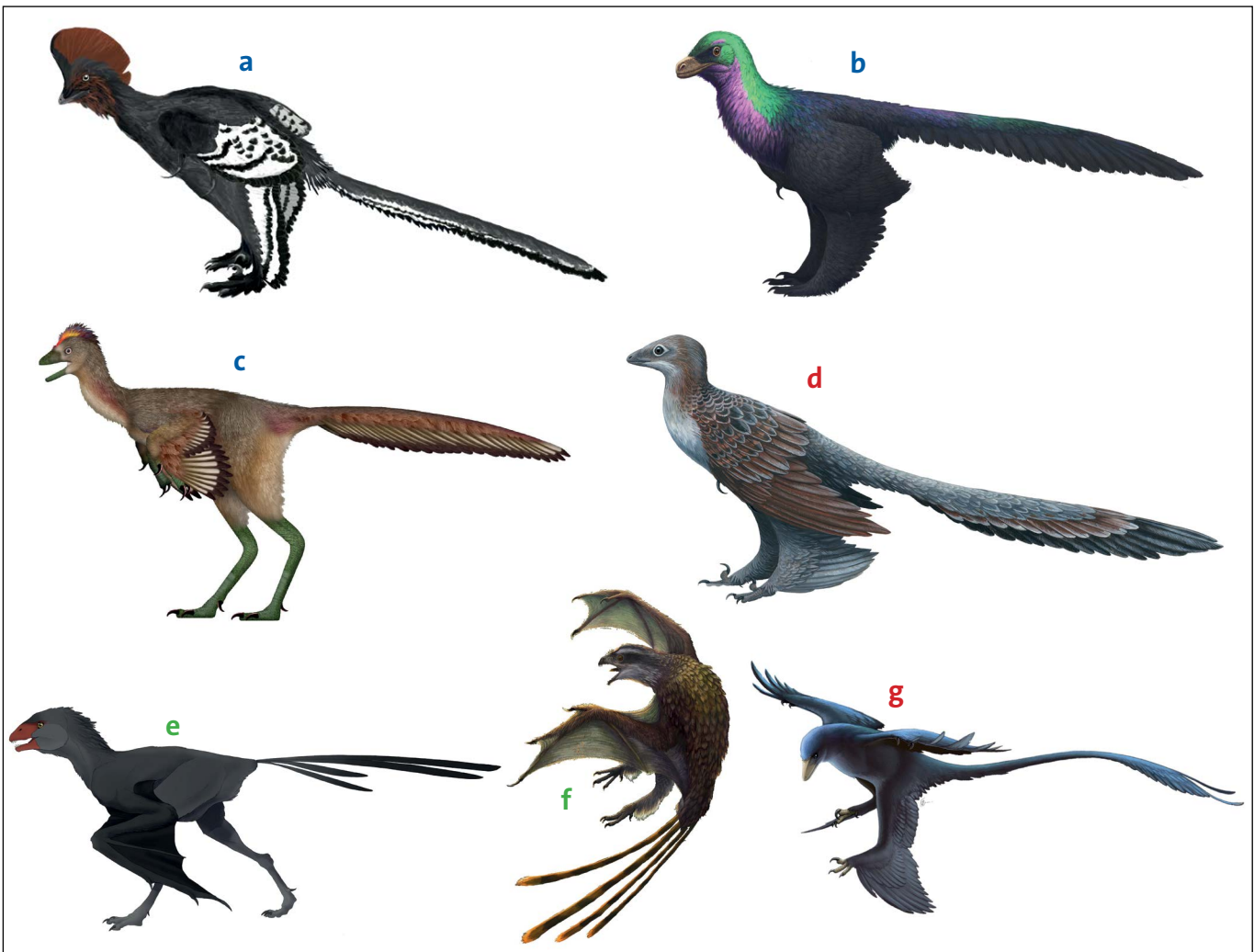
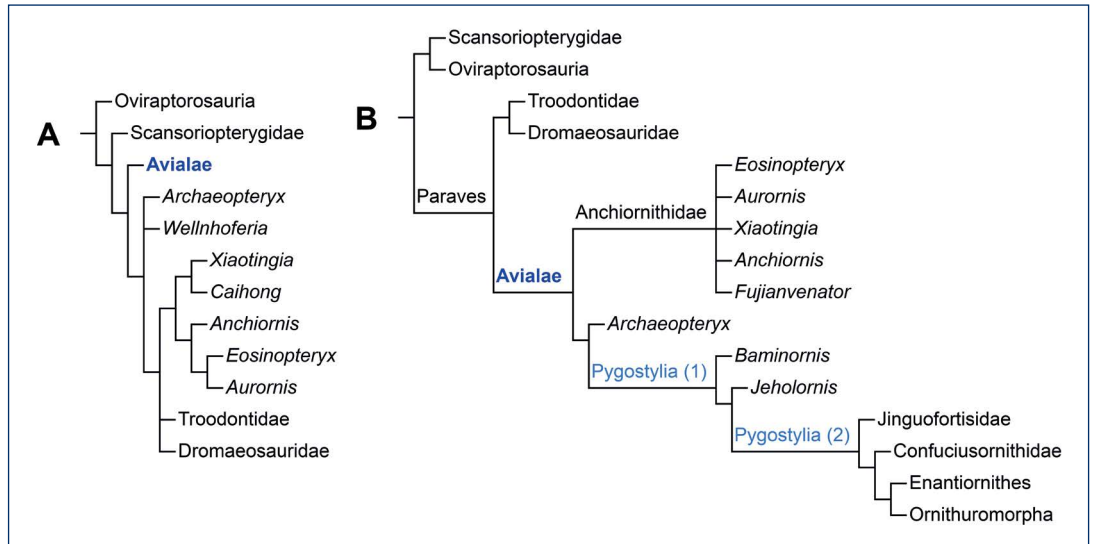


Abb. 1 Rekonstruktionen (nicht maßstabsgetreu) von **a** *Anchiornis huxleyi*, **b** *Caihong juji*, **c** *Fujianvenator prodigiosus*, **d** *Changyuraptor*, **e** *Ambopteryx longibrachium*, **f** *Yi qi*, **g** *Microraptor gui*. Diese Gattungen waren ca. 30–60 cm groß, mit Ausnahme des ca. 1,2 m großen *Changyuraptor*. Sie werden gewöhnlich den Familien Anchiornithidae (blau), Dromaeosauridae (rot) und Scansoriopterygidae (grün) zugeteilt. (a Matt Martyniuk, CC BY 3.0; b Lucas-Attwell, CC BY-SA 4.0; c TotalDino, CC BA-SA 4.0; d, f Emily Willoughby, CC BY-SA 4.0; e Audrey.m.horn, CC BY-SA 4.0; g Fred Wierum, CC BY-SA 4.0)

Abb. 2 Zwei Cladogramme der Avialae (Vogelverwandten) und Paraves (Avialae + raptorartige Deinonychosaurier, s. u.) mit unterschiedlichen Positionen mehrerer Gruppen, z. T. farblich hervorgehoben. Man beachte die unterschiedlichen Positionen der Avialae (blau) und deren unterschiedliche Mitglieder. **A** nach HU et al. (2018); **B** nach CHEN et al. (2025), mit zwei Varianten für die Position der Pygostylia (hellblau). Dabei entspricht in B „Pygostylia (2)“ der traditionellen Definition und „Pygostylia (1)“ einer alternativen Definition. Nach (2) ist das Pygostyl bei *Baminornis* konvergent (unabhängig) entstanden; gemäß (1) muss eine Rückentwicklung zu einer langen Schwanzwirbelsäule bei *Jeholornis* angenommen werden.



nicht in eine lineare evolutionäre Reihe von bestimmten Dinosauriergruppen zu *Archaeopteryx* oder in eine Linie zu anderen Vögeln. Die Positionen dieser Gattungen in den Cladogrammen (Ähnlichkeitsbäumen) sind je nach Analyse unterschiedlich und ändern sich bei Hinzunahme neuer Arten häufig (Abb. 2).

Die Gattungen aus dem Oberjura passen nicht in eine lineare evolutionäre Reihe von Dinosauriern zu *Archaeopteryx* bzw. zu anderen Vögeln.

Vorhersage neuer Fossilfunde und *Baminornis*

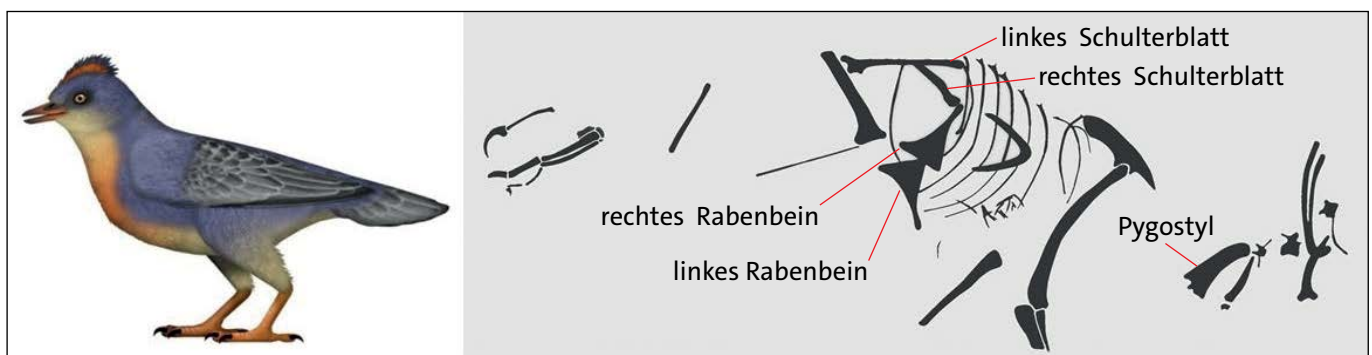
Eine spannende Frage an Evolutionsbiologen lautet, welche Merkmalsausprägungen man vor dem Hintergrund dieses Kenntnisstandes aus evolutionärer Sicht erwarten würde, wenn weitere vogelartige Fossilfunde aus dem Oberjura gefunden würden. Solche Vorhersagen sind nicht bekannt. Man kann allerdings Folgendes sagen: Angesichts der Tatsache, dass aus dem Oberjura unterschiedliche Merkmalsmosaik mit unklaren Abstammungsbeziehungen bekannt sind, sollte man aus evolutionstheoretischer Perspektive durch zukünftige Fossilfunde diesbezüglich zunehmende Klarheit erwarten –

also passende Übergangsformen, die insgesamt widerspruchsfrei zwischen verschiedene, bereits bekannte Gattungen eingefügt werden können. Solche Funde sollten aus dem Oberjura oder aus älteren Schichten stammen.

***Baminornis* besaß trotz seines Alters einige „moderne“ Vogelmerkmale.**

Anfang dieses Jahres wurde mit *Baminornis zhenghensis* nun tatsächlich eine weitere fossilisierte Vogelart im Oberjura Südost-Chinas beschrieben. Sie besaß (aus evolutionstheoretischer Sicht überraschenderweise) einige „moderne“ Vogelmerkmale. Das geologische Alter (ca. 150 Mrj) entspricht etwa dem Alter der Solnhofener Plattenkalke, in denen *Archaeopteryx* im fränkischen Altmühltal gefunden wurde. Von der neu entdeckten fossilen Gattung sind Teile der linken Vorder- und Hinterextremität, ein Teil des linken Brust- und Beckengürtels, Rücken- und Schwanzwirbel, ein mutmaßliches Pygostyl sowie mehrere Rippen und Bauchrippen (Gastralia) gefunden worden. Daher kann abgeschätzt werden, dass *Baminornis* 130–300 Gramm schwer und ca. 15 cm groß war. Obwohl keine fossilen Federn gefunden wurden, ist aufgrund der anatomischen Merkmale unter den Forschern unstrittig, dass es sich um einen Vogel handelt (Abb. 3).

Abb. 3 Links: Rekonstruktion von *Baminornis* (TotalDino, CC BY 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>); rechts: der fossile Befund (skizziert nach CHEN et al. 2025).



Gravierende Merkmalswidersprüche

Bemerkenswert sind besonders zwei Befunde: Erstens besitzt *Baminornis* keinen langen Schwanz, wie er bei Raubsauriern, bei *Archaeopteryx* und der „primitiven“ Vogelgattung *Jeholornis* aus der Unterkreide vorkommt. Stattdessen sind bei *Baminornis* am Ende der Wirbelsäule fünf seiner Wirbel zu einem kurzen, nach oben gebogenen Stummel verschmolzen, wie das bei Pygostylen von heutigen Vögeln der Fall ist. Das Pygostyl verankert die Flugfedern des Fächerschwanzes, verringert den Luftwiderstand (im Vergleich zu Vögeln mit langem Fiederschwanz) und trägt dazu bei, den Schwerpunkt nach vorne zu den Flügeln zu verlagern, was die Biomechanik beim Fliegen unterstützt. Das Pygostyl von *Baminornis* ist nach CHEN et al. (2025) noch „abgeleiteter“ (und damit vogelähnlicher) als das Pygostyl mancher Pygostylier aus der jüngeren Unterkreide (vgl. Abb. 1), da bei ersterem weniger Wirbel einbezogen sind. Aus evolutionstheoretischer Sicht wäre eine unabhängige (konvergente) Entstehung des Pygostyls bei *Baminornis* theoretisch denkbar – schließlich muss eine konvergente Entstehung sowieso schon bei einigen Oviraptorosauriern (Abb. 4a), Therizinosauriern (Abb. 4b) und Scansoriopterygiden (Abb. 1e+f) angenommen werden, da dieses Merkmal auch dort unsystematisch verteilt vorkommt (CHEN et al. 2025, 446). Die Anzahl extrem unwahrscheinlicher Konvergenzen beim Merkmal „Pygostyl“ hat sich damit noch einmal vergrößert. Die von CHEN et al. ins Spiel gebrachte Alternative, nämlich eine Rückentwicklung des Pygostyls zu einer langen Schwanzwirbelsäule wie bei *Jeholornis*, dürfte wegen des enormen Rückbaus (inklusive neuromuskulärer Steuerung des Schwanzes) und völlig unklarer Selektionsdrücke noch weniger glaubhaft sein.¹ Außerdem ist die Schwanzwirbelsäule von *Jeholornis* sogar noch etwas länger als die von *Archaeopteryx*. Kein Wunder also, dass das Auftreten von abgeleiteten Strukturen bei *Baminornis* für die Beschreiber „unerwartet“ ist (CHEN et al. 2025, 447).

Zweitens sind beim Schultergürtel von *Baminornis* Schulterblatt und Rabenbein in vogeltypischer Weise getrennt, und das Rabenbein hat die Form einer Strebe (vgl. Abb. 3). Diese Konstellation hängt mit der speziellen Muskulatur und den Armbewegungen beim Schlagflug („Flatterflug“) zusammen (CHEN et al. 2025). Diese anatomischen Merkmale deuten nach Auffassung der Forscher darauf hin, dass *Baminornis* sehr wahrscheinlich besser fliegen konnte

¹ „The stemward position of *Baminornis* relative to the long-tailed *Jeholornis* raises following questions: did the pygostyle evolve independently in *Baminornis*? Alternatively, was the long tail re-evolved in *Jeholornis* since the appearance of pygostyle in the last common ancestor of *Baminornis* onward?“ (CHEN et al. 2025, 446)

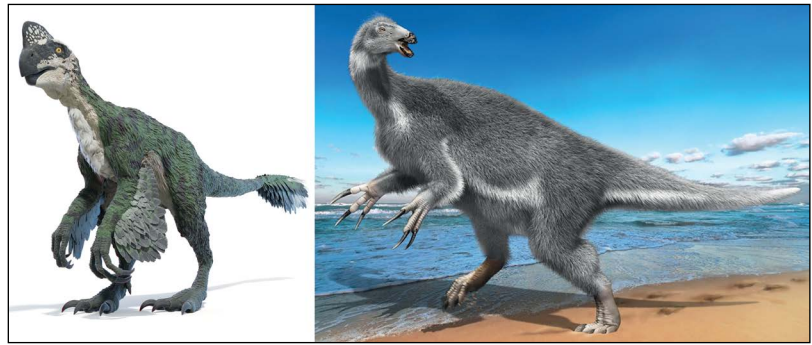


Abb. 4 Rekonstruktion von *Oviraptor* (links) und des Therizinosauriers *Paralitherizinosaurus*. (Sebastian Kaulitzki, AdobeStock; Masato Hattori, CC BY 4.0)

als *Archaeopteryx* – und dass er vielleicht sogar besser flog als einige andere Vögel aus der deutlich jüngeren Unterkreide.

Außerdem wurde in denselben Schichten ein spitzwinkliges Gabelbein (Furkula, verschmolzene Schlüsselbeine) gefunden, das ähnlich ausgebildet ist wie das Gabelbein bei der Vogelgruppe der Ornithuromorpha, von der viele Gattungen aus der Kreide bekannt sind und aus der die heutigen Vögel hervorgegangen sein sollen. Das Gabelbein wirkt wie eine Feder, um Energie während des Fluges zu speichern.

Die Hand von *Baminornis* ist andererseits der Hand von Maniraptoren („Handräuber“, Gruppe von Theropoden-Dinosauriern wie der berühmte *Deinonychus*) vergleichbar.

Insgesamt bilden die Merkmale von *Baminornis* also ein absolut merkwürdiges Mosaik. Daraus resultiert ein markanter Merkmalswiderspruch: Nach den Schultermerkmalen ist *Baminornis* „fortschrittlicheren“ Vögeln zuzuordnen, während dieselbe Skelettpartie beim gleichalten *Archaeopteryx* und den jüngeren (!) und gut flugfähigen Confuciusornithiden (Unterkreide) „ursprünglicher“ ausgeprägt ist (vgl. JUNKER 2017). Dagegen sind aufgrund der Handmerkmale alle jurassischen vogelartigen Gattungen einschließlich *Baminornis* mit Theropoden gruppiert, die weit entfernt von den vogelartigen Formen sind (CHEN et al. 2025, 447).

Da bei *Baminornis* kein Brustbein entdeckt wurde, ist unklar, wie groß seine Flugmuskeln waren; und da Federn nicht überliefert sind, kann der Bau der Flügel nicht rekonstruiert werden. Auch das Vorkommen eines Pygostyls hilft hier nicht weiter, da Pygostyle unabhängig auch bei einigen anderen Theropoden vorkommen (s. o.), die keine nähere verwandtschaftliche Beziehung zu Vögeln haben (BRUSATTE 2025, 324) und deren Funktion unklar ist.

Kommentar und Schlussfolgerungen

CHEN et al. (2025, 441) sprechen von „mosaikartiger Evolution entlang der Stammlinie, die zu den Vögeln führt“. Der Begriff „mosaikartig“ kaschiert aber ein schwerwiegendes evolutionstheoretisches Problem: Eine klare graduelle Abfolge, die evolutionär zu erwarten wäre, ist

bei den Fossilien nicht erkennbar. Vielmehr stellt sich die Vielfalt jurassischer befiederter Formen als ein Netzwerk verschiedenster Merkmalsmosaiken dar, wobei ungeklärt ist, zu welcher Form von Flug diese Formen jeweils befähigt waren. Zudem platzieren stammesgeschichtliche Analysen diese Gattungen auf verschiedene Äste, sodass selbst unter den zweiflügeligen Formen (unter Ausschluss der vierflügeligen Dromaeosauriden-Gattungen aus der Unterkreide) ein *mehrfach unabhängiger* Erwerb von Flugfähigkeit diskutiert wird (JUNKER 2019, 10). Und wie bereits erwähnt führen verschiedene Studien je nach betrachteten Merkmalen zu unterschiedlichen Verwandtschaftsverhältnissen. So werden die langschwänzigen jurassischen Anchiornithiden und Scansoriopterygiden teils den Vogelverwandten (Avialae) zugeordnet (CHEN et al. 2025, 441), teils jedoch außerhalb der Avialae gestellt (Abb. 1).

Eine klare graduelle Abfolge der Vogelverwandten, die evolutionär zu erwarten wäre, ist bei den Fossilien nicht erkennbar.

Aus dem Merkmalsmosaik von *Baminornis* ergeben sich des Weiteren folgende Schlussfolgerungen:

1. *Archaeopteryx* scheidet als Übergangsform zwischen Dinosauriern und Vögeln aus, da mit *Baminornis* eine Form mit „hochgradig abgeleiteten Vogelmerkmalen“ (CHEN et al. 2025, 441) gleichzeitig überliefert ist und es jüngere Formen in der Unterkreide gibt, die in manchen Merkmalen ebenfalls „primitiver“ sind als *Baminornis*. Dinosaurierarten mit haarartigen Körperbedeckungen aus der deutlich jüngeren Unterkreide wären zeitlich noch weiter als bisher von mutmaßlichen Vogelvorfahren entfernt, weil sie viel zu jung sind, um Vorfahren darzustellen. Im Rahmen des Evolutionsmodells muss die Suche nach geeigneten Vorläufern der Vögel in tieferen Schichten neu aufgenommen werden.

2. Der Befund, dass Pygostyl-Konstruktionen bei verschiedenen Theropoden bzw. „Urvögeln“ mehrfach auftreten, kann evolutionstheoretisch nicht einfach achselzuckend beiseitegelegt werden. Konvergenzen sind evolutionstheoretisch problematisch, da sie im Rahmen zukunftsblinder, zufälliger Evolutionsprozesse unerwartet sind. Mit *Baminornis* kommt hier entweder eine aus evolutionärer Sicht unwahrscheinliche neue Pygostyl-Konvergenz hinzu, oder es müssen erhebliche Änderungen in den Vorstellungen über die Vogelevolution vorgenommen werden, insbesondere müssten bisher unbekannte Vogelvorfahren in tieferen Schichten gesucht werden – so sehen es CHEN et al. (2025).

Baminornis schließt keine vorhandenen Lücken zwischen bereits bekannten Gattungen, sondern reißt neue Lücken auf.

3. Mit *Baminornis* werden somit keine vorhandenen Lücken zwischen bereits bekannten Gattungen geschlossen, sondern es tun sich große (!) neue Lücken für ein Evolutionsverständnis auf. Die Anzahl von Mosaikformen, die nicht widerspruchsfrei in eine Baumdarstellung gebracht werden können, nimmt mit *Baminornis* weiter zu. „Dieses Fossil liefert einen eindrucksvollen Beweis dafür, dass die Vögel schon früh in ihrer Geschichte vielfältiger waren als bisher angenommen“ (BRUSATTE 2025, 324). Der Ursprung der Flugfähigkeit mithilfe von Federn muss deutlich in die Vergangenheit geschoben werden, aus der aber keine einigermaßen passenden Übergangsformen bekannt sind. „Diese neu entdeckten Fossilien [...] deuten auf einen früheren Ursprung der Vögel und eine Radiation der frühen Vögel im Jura hin“ (CHEN et al. 2025, 441). Einer Klärung der Entstehung des Vogelflugs im Rahmen des Evolutionsparadigmas kommt man mit dem neuen Fund nicht näher.

Navaornis – ideales Bindeglied zwischen *Archaeopteryx* und heutigen Vögeln?

Ein weiteres Beispiel für eine interessante Mosaikform, die nicht als Übergangsform interpretiert werden kann, ist der ebenfalls erst kürzlich entdeckte *Navaornis hestiae* (Abb. 5+6). Dieses Vogelfossil ist hervorragend erhalten und wurde in der Wissenschaftspresse als Bindeglied zwischen *Archaeopteryx* und heutigen Vögeln dargestellt. Doch auch diese Gattung schließt keine evolutionäre Lücke der frühen Vogelevolution, obwohl ein durch Computertomographie erstelltes 3D-Modell Merkmale zeigt, die zwischen dem „Urvogel“ *Archaeopteryx* und Vögeln stehen, wie wir sie heute kennen. Allerdings sind diese passenden Merkmale nur ein Teil des gesamten Merkmalspektrums.

Navaornis wurde von einem Team um den Paläontologen Luis CHIAPPE in der oberen Kreide Brasiliens entdeckt, datiert auf ein Alter von 80 MrJ. Sein Schädel ist außerordentlich gut in dreidimensionaler Form erhalten. Mittels computertomografischer Aufnahmen konnten die Forscher ein 3D-Modell eines Schädelinnenausgusses (Endocast) anfertigen. Es sind aber auch viele andere Skeletteile fossil vorhanden (vgl. Abb. 5), die bisher offenbar nicht ausgewertet wurden. Der Schädel Fund ist bedeutsam, 1. weil von den Vögeln aus Jura und Kreide nur

sehr wenige Schädel dreidimensional erhalten sind und 2. weil er zeitlich und in der Ausprägung mancher Merkmale zwischen dem „Urvogel“ *Archaeopteryx* und „modernen“ Vögeln angesiedelt ist. Gemäß dem Zeitrahmen der Historischen Geologie klafft allerdings eine Lücke von etwa 70 MrJ zwischen *Archaeopteryx* und *Navaornis*, aus der keine Schädel in 3D-Erhaltung bekannt sind.

Navaornis – eine Art der Gegenvögel

Die Merkmalsanalyse weist *Navaornis* als Vertreter der sogenannten Gegenvögel (Enantiornithes) aus. Diese Vogelgruppe dominiert die Vogelwelt des geologischen Systems der Kreide: Es sind ca. 50 Gattungen in fast allen Kontinenten entdeckt worden. Sie besetzten viele teils sehr unterschiedliche ökologische Nischen, waren in ihrer äußeren Körperform von heutigen Vögeln zwar wenig verschieden, wiesen jedoch einige markante Unterschiede im Skelettbau auf, die sie als separate Vogelgruppe ausweisen. So waren beim Gelenk zwischen Schulterblatt und Rabenbein Gelenkkopf und Gelenkpfanne im Vergleich zu allen anderen Vögeln – passend zum Namen „Gegenvögel“ – sozusagen vertauscht. Das Skelett zeigte weniger Verwachsungen. Die meisten Arten waren bezahnt. Die Gegenvögel gelten allgemein als vergleichbar flugfähig wie heutige Vögel (SANZ et al. 2002; NAVALÓN et al. 2015, 6; Überblick über weitere Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei JUNCKER 2022). Trotz guter Flugfähigkeit starben sie am Ende der Kreide aus. Die mutmaßliche Evolution zu den heutigen Vögeln soll evolutionstheoretisch aber nicht über die Gegenvögel, sondern über die Ornithurae („Vogelschwänze“) verlaufen sein, die in Kreideschichten ebenfalls zahlreich vertreten sind.

Auch *Navaornis* ist eine ausgeprägte Mosaikform.

Der Schädel von *Navaornis* ist zahnlos und besitzt ähnlich heutigen Vögeln große Augenhöhlen, einen gewölbten Hirnschädel und ein knöchernes Labyrinth (Teil des Innenohrs; bei *Navaornis* ungewöhnlich groß). Andererseits weist er zahlreiche als „ursprünglich“ gewertete Merkmale auf, darunter einen Schnabel, der von der Maxilla (Oberkieferknochen) dominiert ist, einen nicht-beweglichen Gaumen, eine Schläfe mit zwei Öffnungen (diapside Temporalkonfiguration), ein Kleinhirn von geringer Größe und ein schwach erweitertes Großhirn.

Somit handelt es sich bei dieser neu entdeckten Vogelart um eine ausgeprägte Mosaikform. Die Gesamtgeometrie des Schädels ist dennoch



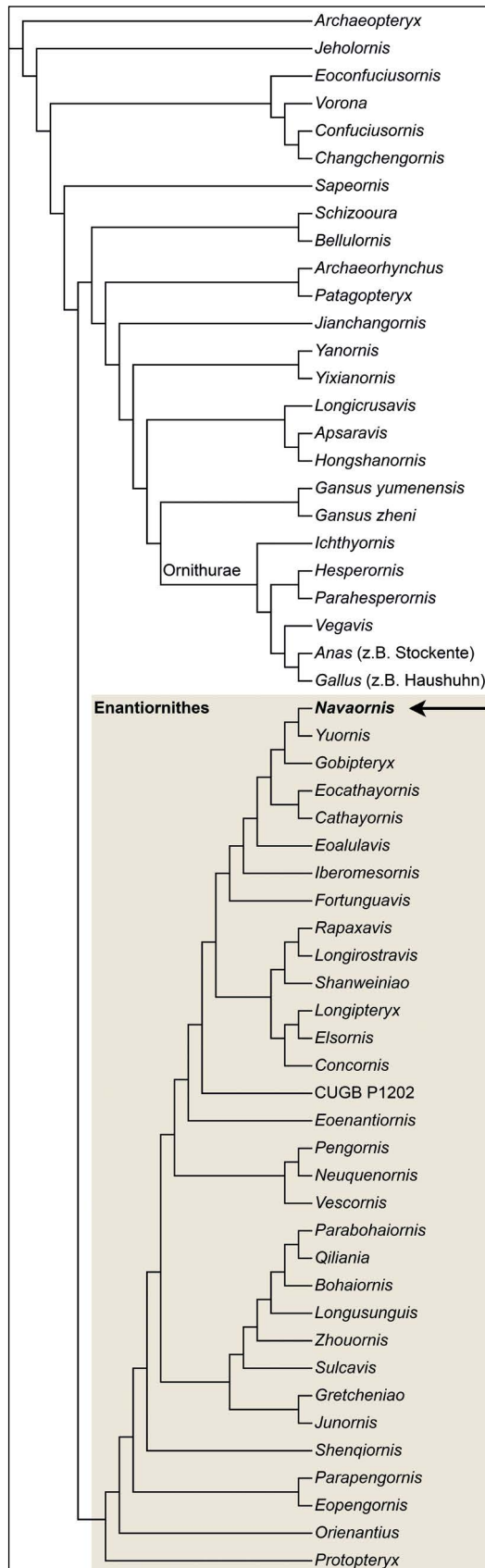
Abb. 5 Fotografie (a) und interpretierende Zeichnung (b) von *Navaornis*. In b sind der Schädel weiß und die Körperskelettelemente, von denen angenommen wird, dass sie zu demselben Individuum gehören, in hellgrau gezeichnet. Außerdem sind zusätzliche Knochen fossilisiert, die mutmaßlich anderen Individuen von Gegenvögeln zuzuordnen sind (dunkelgrau in b). (Aus CHIAPPE et al. 2024, extended data, CC BY-SA 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

kaum von den heutigen Vögeln verschieden – das bedeutet: gleiche Form trotz verschiedener Einzelelemente (CHIAPPE et al. 2024, 376). Die Gehirnstruktur von *Navaornis* liege fast genau in der Mitte zwischen *Archaeopteryx* und modernen Vögeln (S. 379), die Form des Endocasts (Schädelinnenraum) zeige ein Zwischenstadium in der Evolutionsgeschichte des Vogelgehirns (S. 380). Das 3D-Modell zeigt, dass *Navaornis* zwar ein stärker ausgeprägtes Großhirn als *Archaeopteryx* hatte, die meisten Bereiche seines Gehirns, etwa das Kleinhirn, jedoch weniger entwickelt waren als bei heutigen Vögeln. In einer Wissenschaftsmeldung von *Spektrum der Wissenschaft* wird daraus der spekulative Schluss gezogen, dass *Navaornis* über „stärkere kognitive Fähigkeiten“ als die (evolutionär) ältesten Vögel verfügte – jedoch noch nicht die komplexen Flugsteuerungsmechanismen seiner modernen Verwandtschaft besaß (LINGENHÖHL 2024). In einer kurzen Zusammenfassung in *Nature* äußert sich CHIAPPE (2024) allerdings vorsichtiger (Hervorh. hinzugef.): „Diese Forschungen [...] ermöglichen [...] es uns *nicht*, die kognitiven Funktionen der Vögel, die während des Zeitalters der Dinosaurier lebten, vollständig zu verstehen. Hierfür ist ein viel detaillierteres Verständnis der Verbindung zwischen der Form des Gehirns und der kognitiven oder verhaltensbezogenen Ökologie erforderlich.“



Abb. 6 Künstlerische Darstellung des Gegenvogels *Navaornis hestiae*. (Paleo Miguel, CC BY-SA 4.0)

Abb. 7 Konsensbaum unter ausschließlicher Verwendung des Schädels. *Navaornis hestiae* (fett) gehört demnach zur Gruppe der Gegenvögel (Enantiornithes) und ist dort tief eingeschachtelt. Stammesgeschichtlich eignet er sich daher nicht als Übergangsform zwischen Urvögeln wie dem *Archaeopteryx* und heutigen Vögeln. (Nach CHIAPPE et al. 2024, extended data, CC BY-SA 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Kritische Einschätzung

Damit ist auch bereits ein Kritikpunkt bezüglich der evolutiven Bedeutung des Fundes angesprochen. Die Leistungsfähigkeit des Gehirns kann weder aus einem Endocast (also der Form des Gehirns) noch aus dessen Größe sicher erschlossen werden. (Zur grundsätzlichen Proble-

matik der Paläoneurologie siehe BRANDT [2023] am Beispiel der Homininen.) Hier ist schon deshalb Zurückhaltung in der Deutung angebracht, weil das Skelett der Gegenvögel unterhalb des Schädels wie bereits erwähnt auf gute Flugfähigkeit hinweist. Dann aber müssen diese Vögel auch entsprechend für diese komplexe Fortbewegungsweise leistungsfähige Gehirne besessen haben, auch wenn ihr Gehirn anders gebaut gewesen sein mag als bei heutigen Vögeln.

CHIAPPE et al. (2024, 380) äußern die Auffassung, dass die Kombination aus „kronenvogel-ähnlichen“ (auch heute vorkommenden) und plesiomorphen (ursprünglichen) Merkmalen mit Hypothesen einer sogenannten *modularen Evolution* übereinstimme. Danach entwickeln sich verschiedene anatomische Regionen quasi unabhängig voneinander in unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Allerdings ist eine völlige Unabhängigkeit der Schädelelemente wegen unvermeidlicher Abhängigkeiten der Einzelteile auch bei modularem Aufbau im Grunde gar nicht möglich. Das gilt erst recht, wenn es um verschiedene Teile desselben Organkomplexes (Schädel und Gehirn) geht. „Modulare Evolution“ ist daher nur ein Schlagwort, im Grunde genommen eine oberflächliche semantische Verschleierung eines Evolutionsproblems. Die angenommenen Prozesse müsste man im Detail evolutionär modellieren, was aber nicht geschehen ist.

„Modulare Evolution“ ist ein Schlagwort, das ein Evolutionsproblem verschleiert.

Gegen eine besondere evolutive Bedeutung spricht schließlich auch folgender Umstand: *Navaornis* wird als Gegenvogel eingestuft und in einer phylogenetischen Analyse erscheint diese Gattung an einer tief eingeschachtelten Position, weit entfernt von einer Übergangsstellung zwischen *Archaeopteryx* und heutigen Vögeln (Abb. 7). In evolutionstheoretischer Deutung handelt es sich somit um eine „evolutionäre Sackgasse“.

Navaornis ist daher ein Paradebeispiel dafür, dass eine Mosaikform oder Zwischenform nicht automatisch als Bindeglied bzw. Übergangsform interpretiert werden muss. Bei *Navaornis* ist die Deutung als Bindeglied – wie in vielen anderen Fällen – aufgrund der konkreten phylogenetischen (stammesgeschichtlichen) Stellung sogar völlig ausgeschlossen (Abb. 7).

Evolutionstheoretisch folgt daraus, dass der „beispiellose Grad an Ähnlichkeit zwischen Kronenvögeln und Gegenvögeln“ (CHIAPPE et al. 2024, 376) in der Schädelgeometrie von *Navaornis* entweder konvergent entstanden ist, also zweimal unabhängig, oder dass er ein sehr altes

Erbe aus der Zeit vor 130 MrJ darstellt und schon vorhanden war, *bevor* sich die Vorfahren der Ornithothoraces (die die Gegenvögel und Ornithurae umfassen) in diese beiden Gruppen aufspalteten.² Beide Deutungen sind evolutionstheoretisch jedoch problematisch. Schließlich wäre eine so weitreichende Konvergenz bei zufälligen und zukunftsblinden Evolutionsprozessen sehr unwahrscheinlich. Außerdem wäre die Existenz eines vergleichsweise „modernen“ Schädels bereits an der Basis der Gegenvögel und der Ornithurae unerwartet – und ist auch sonst nicht fossil bestätigt. Man müsste zudem vermutlich in diesem Fall Rückentwicklungen annehmen, die ihrerseits wiederum erklärungsbedürftig wären.

In diesem Zusammenhang muss auch bedacht werden, dass nur der Schädel in der Arbeit von CHIAPPE et al. (2024) untersucht wurde. Ohne genauere Kenntnis über die weiteren Teile des Skeletts sind weitreichende Schlussfolgerungen über den Status von *Navaornis* im System der Vögel ohnehin nicht möglich.

Davon, dass *Navaornis* „die frühe Evolution der Vögel klärt“, wie es in der Überschrift von CHIAPPES (2024) Zusammenfassung formuliert wird, kann jedenfalls in keiner Weise die Rede sein.

Fazit

Neue Fossilfunde früher Vögel erweitern unsere Kenntnisse über die Verschiedenartigkeit früherer Lebewesen. Wenn aber stereotyp behauptet wird, es würden dadurch evolutionäre „Lücken geschlossen“, muss differenziert werden, welche Lücken gemeint sind. *Baminornis* und *Navaornis* schließen jedenfalls keine Lücken im bisher bevorzugten Stammbaum der Vögel. Es ergeben sich auch zeitliche Probleme – so sind mutmaßliche Vorfahren der Vögel unter den Dinosauriern hinsichtlich verschiedener Merkmale (z. B. bezüglich der postulierten Entwicklung von Federn aus haarartigen Federstrukturen bei Maniraptoren) aus der Unterkreide viel zu jung im Vergleich mit älteren, mit flugfähigen Federn ausgestatteten Vögeln (vgl. JUNKER 2019). Außerdem wurden die Merkmalsmosaiken der Vogelfossilien auch nicht (evolutions-)theoretisch vorhergesagt, sondern sind im Rahmen bisheriger evo-

lutionärer Hypothesen unerwartet. Vielmehr führen neue Funde aufgrund unterschiedlicher mosaikartiger Merkmalskombinationen zu mehr Vernetzung und damit einhergehend zu *weniger* Klarheit über mögliche Abstammungsverhältnisse. *Baminornis* und *Navaornis* sind in dieser Hinsicht keine Ausnahmen; diese Situation wird auch durch Gattungen wie *Caihong*, *Yi*, *Microraptor* und andere bestätigt (vgl. Abb. 1), sodass hier von einem *allgemeinen Trend* gesprochen werden kann. Widersprüchliche Merkmalskombinationen sind hingegen im Rahmen einer Schöpfung mit freier Merkmalsverteilung leichter verstehbar.

Literatur

- BRANDT M (2023) Gab es Vormenschen? Irrungen und Wirrungen in der Paläoneurologie. In BRANDT M: Frühe Homininen. Studium Integrale Special. Holzgerlingen: SCM Hänssler, S. 135–158.
- BRUSATTE SL (2025) The lost long tail of early bird evolution. *Nature* 638, 332–324.
- CHEN R et al. (2025) Earliest short-tailed bird from the Late Jurassic of China. *Nature* 638, 441–448.
- CHIAPPE LM (2024) Fossilized bird skull from 80 million years ago clarifies early avian evolution. *Nature Research Briefings*, <https://doi.org/10.1038/d41586-024-03694-7>.
- CHIAPPE LM & DYKE GJ (2002) The mesozoic radiation of birds. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 33, 91–124.
- CHIAPPE LM, NAVALÓN G et al. (2024) Cretaceous bird from Brazil informs the evolution of the avian skull and brain. *Nature* 635, 376–381.
- COLEMAN L (2023) ‘Weird’ dinosaur prompts rethink of bird evolution. *Nature* 621, 239.
- HU D, HOU L, ZHANG L & XU X (2009) A pre-*Archaeopteryx* troodontid theropod from China with long feathers on the metatarsus. *Nature* 461, 460–463.
- HU D, CLARKE JA et al. (2018) A bony-crested Jurassic dinosaur with evidence of iridescent plumage highlights complexity in early paravian evolution. *Nat. Comm.* 9, 217.
- JUNKER R (2017) *Confuciusornis*: Alter Vogel mit hoher Flugkunst. Genesisnet-News vom 14.02.2024, <https://genesis-net.de/n/332-0/>.
- JUNKER R (2019) Sind Vögel Dinosaurier? Eine kritische Analyse fossiler Befunde. W+W Special Paper B-19-4, <https://www.wort-und-wissen.org/artikel/voegel-dinosaurier-fossile-befunde/>.
- JUNKER R (2022) Die Gegenvögel der Kreide – Vögel 1.0. *Stud. Integr. J.* 29, 41–43.
- LINGENHÖHL D (2024) Herausragendes Vogelfossil erlaubt Einblicke in Hirnentwicklung. *Spektrum der Wissenschaft* vom 15.11.2024, <https://www.spektrum.de/news/evolution-vogelfossil-erlaubt-einblicke-in-hirnentwicklung/2242894>.
- NAVALÓN G et al. (2015) Soft-tissue and dermal arrangement in the wing of an Early Cretaceous bird: Implications for the evolution of avian flight. *Sci. Rep.* 5, 14864.
- SANZ JL, PÉREZ-MORENO BP, CHIAPPE LM & BUSCALIONI AD (2002) The birds from the Lower Cretaceous of Las Hoyas (Province of Cuenca, Spain). In: CHIAPPE LM & WITMER LM (eds.) *Mesozoic birds: Above the heads of dinosaurs*. Berkeley, Los Angeles, London: University California Press, pp. 209–229.
- XU L, WANG M et al. (2023) A new avialan theropod from an emerging Jurassic terrestrial fauna. *Nature* 621, 336–343.

E-Mail-Adresse des Verfassers:
reinhard.junker@wort-und-wissen.org

² „Das Vorhandensein einer nach unten gebogenen Gehirnkongfiguration, nach unten verlagert Sehnerven und eines vergrößerten sinusförmigen Labyrinths bei *Navaornis* deutet darauf hin, dass die Ursprünge dieser ‚fortschrittlichen‘ Merkmale, die oft mit Kronenvögeln in Verbindung gebracht werden, entweder vor der Entstehung von Ornithothoraces lagen oder sich konvergent sowohl bei Enantiornithes als auch bei kronenwärts gerichteten Euornithes [heutige Vögel und fossile verwandte Formen] entwickelt haben“ (CHIAPPE et al. 2024, 380).