

■ Sequentielle Mauser – „modernes“ Vogelmerkmal bei einem Dinosaurier?

Wenn ein Wirbeltier flugtaugliche, asymmetrische Federn besitzt, bezeichnet man es üblicherweise als „Vogel“. Nicht so bei *Microraptor*, der zur Dinosaurier-Gruppe der Dromaeosauridae gerechnet und einer eigenen evolutionären Linie zugeordnet wird. Ungewöhnlich an dieser Gattung ist ihre Vierflügeligkeit. CHATTERJEE & TEMPLIN (2007) vermuten, dass *Microraptor* eine Art Doppeldecker-Gleitflug ausübte. Aber es spricht einiges dafür, dass er auch aktiv fliegen konnte (PEI et al. 2020).

Dass *Microraptor* ein gewohnheitsmäßiger Flieger war, darauf weisen neue Befunde über seine Mauser hin. KIAT et al. (2021, 3635) konnten bei einem Exemplar eine deutliche Lücke im rechten Flügel nachweisen – ein Hinweis auf eine schrittweise Ersetzung der Federn. Diese Entdeckung liefere „den ersten klaren Beweis für eine sequentielle Flüggelfedermauser im Fossilbericht und die erste Identifizierung der Mauser bei Dinosauriern, die nicht zu den Vögeln gerechnet werden“ (KIAT et al. 2021, 3636). Die fossile Dokumentation dieser fortgeschrittenen Strategie der Federmauser reicht mit diesem Fund um bis zu 50 Mil-

lionen radiometrische Jahre weiter zurück als bisher bekannt, und trat „schon früh in der Evolution der Paraves“ auf; die Fundschichten von *Microraptor* werden auf etwa 120 Millionen radiometrische Jahre datiert. Die sequentielle Mauser ist für die Forscher ein starkes Indiz dafür, dass *Microraptor* dauerhaft und ununterbrochen flugfähig war.

Wie gelangen die Autoren zu dieser Schlussfolgerung? Sie erhoben Daten von 51 flugunfähigen heutigen Vogelarten, von weiteren 61 Arten, die während der Mauser flugunfähig sind, und von 190 Arten, die auch während der Mauser flugfähig sind. Eine aktuelle Phylogenese-Rekonstruktion ergab, dass sequentielle Mauser unter den „modernen“ Vögeln ursprünglich gewesen sein muss, während simultane Mauser, bei der alle Federn gleichzeitig abgeworfen werden, als abgeleitet eingestuft wird (KIAT et al. 2021, 3633). Weiter zeigt sich eine strenge Korrelation zwischen Mauser-Strategien und Flugfähigkeiten. Keine flugunfähige Art mausert sequentiell. Bei erst vor kurzem flugunfähig gewordenen Arten wie beim Inselkormoran ist die Mauser irregulär (KIAT et al. 2021, 3634). Aus der Mauser-Strategie kann daher bei heutigen Arten klar auf die Flugfähigkeit geschlossen werden; sequentielle Mauser ist ein klarer

Hinweis darauf, dass die Flugfähigkeit während der Mauser erhalten bleibt. Außerdem konnten die Forscher eine Korrelation zwischen Mauser-Strategie und dem besiedelten Lebensraum feststellen (KIAT et al. 2021, 3634).

Aufgrund der Befunde bei *Microraptor* schließen die Forscher, dass *Microraptor* seine Flugfähigkeit wahrscheinlich das ganze Jahr über beibehielt, auch während der Zeit der Mauser. Somit sei der Flug entweder für die tägliche Nahrungssuche oder die Flucht vor Raubtieren unerlässlich gewesen. Die Belege für eine sequentielle Mauserstrategie unterstützen ihrer Einschätzung nach die Existenz ausgeprägter aerodynamischer Fähigkeiten, die entweder aus Schlag- oder Gleitflug bestehen könnten, oder zumindest die Notwendigkeit des Fluges während des gesamten Jahreszyklus, einschließlich der Mauserzeit, für das tägliche Überleben. Die „ausgefeilten Flugfähigkeiten“ von *Microraptor* würden auch durch den starken Grad der Asymmetrie seiner Flüggfedern und das Vorhandensein eines Daumenfittichs unterstützt (KIAT et al. 2021, 3636). Der Daumenfittich (Alula, Federn am Daumen des Vogelflügels) ist wichtig für die Bremswirkung beim Flug.

Aus evolutionstheoretischer Sicht ergibt sich, dass einmal mehr moder-



Abb. 1 Holotyp-Fossil von *Microraptor gui*. Weiße Pfeile zeigen auf die erhaltenen Federn. Maßstab: 5 cm. (PLoS ONE 5(2): e9223, CC BY 2.5)

ne Merkmale früh in der Geschichte einer Formengruppe etabliert sind. Und da *Microraptor* in einen anderen evolutionären Ast als die Vögel gestellt wird, muss diese Art der Mauser mindestens zweimal unabhängig entstanden sein (Konvergenz). Das bedeutet aber auch, dass der Flug mithilfe von Federn bei *Microraptor* unabhängig von den Vögeln entstanden sein müsste (PEI et al. 2020) – aus evolutionstheoretischer Sicht unerwartet und unwahrscheinlich. Damit verlöre der Flug mithilfe von Federn seinen Status als evolutionäres Schlüsselmerkmal.

[CHATTERJEE S & TEMPLIN RJ (2007) Biplane wing planform and flight performance of the feathered dinosaur *Microraptor gui*. PNAS 104, 1576-1580 • KIAT Y, BALABAN A et al. (2021) Sequential molt in a feathered dinosaur and implications for early Paravian ecology and locomotion. Curr. Biol. 30, 3633-3638 • PEI R, PITTMAN M et al. (2020) Potential for powered flight neared by most close avialan relatives, but few crossed its thresholds. Curr. Biol. 30, 1-14.] R. Junker

■ „Total unsichere“ Phylogenie an der Basis der Vögel

Vögel gelten heute in der Fachwelt als „lebende Dinosaurier“. In den letzten Jahren wurden zunehmend vogeltypische Merkmale bei Dinosauriern aus der Gruppe der Theropoden* nachgewiesen. Daher gilt ein schrittweiser Übergang von Dinosauriern zu Vögeln als fossil gut belegt. Nur wenige Merkmale eignen sich demnach, um zwischen Vögeln und Dinosauriern zu unterscheiden. Man könne daher heute keine Grenze mehr zwischen Dinosauriern und Vögeln ziehen. Eine Analyse zahlreicher vogeltypischer Merkmale zeigt jedoch, dass diese in der Regel so unsystematisch auf verschiedene Theropodengruppen verteilt sind, dass evolutionstheoretisch eine mehrfach unabhängige Entstehung angenommen werden muss (Konvergenz*). Darüber hinaus sind nach aktuellen Phylogenien* viele dieser Merkmale nicht an der Basis der jeweiligen Gruppen, sondern bei jüngeren Formen ausgeprägt gewesen, womit sie nicht als Merkmale bei mutmaßlichen Vogelvor-

läufern gerechnet werden können (JUNKER 2019).

Die Vögel und die mit ihnen evolutionstheoretisch nächstverwandten Gruppen – die Deinonychosaurier (Troodontidae und Dromaeosauridae) – werden als Paraves* zusammengefasst. In einer aktuellen Überblicksarbeit über diese Gruppe gelangen AGNOLIN et al. (2019) zu Schlussfolgerungen, die die o. g. Ergebnisse von JUNKER (2019) bestätigen. Sie stellen fest, dass ein Konsens über die phylogenetischen Beziehungen der Paraves längst nicht erreicht ist. Der evolutionäre Übergang zu den Vögeln sei wesentlich komplexer gewesen als bisher angenommen und weitgehend verdeckt durch die mosaikartige Verteilung anatomischer Merkmale im Theropoden-Stammbaum (AGNOLIN et al. 2019, 2). Daher sei das Wissen über die Schritte zum Erwerb anatomischer und verhaltensbiologischer Merkmale, die zum Ursprung des Vogelfluges beitragen, noch immer ungewiss und im Wandel begriffen. Die Autoren stellen weiter fest, dass sie keine klare Abfolge von evolutionären Neuerungen finden konnten. Auch sei der Fossilbericht im Bereich des Übergangs von Dinosauriern zu Vögeln spärlich, und neue Fossilien würden benötigt, um die Lücken zwischen den verschiedenen Kladen (Zweige des Stammbaums) der Paraves zu schließen. Die Natur der frühen Radiation*, die unter den Paraves zu den Vögeln geführt habe, sei „völlig ungewiss“ („totally uncertain“), ebenso wie ihr Ursprungszentrum und ihre Ausbreitungswege (AGNOLIN et al. 2019, 22).

Es sei außerdem seit langem bekannt, dass viel „Experimentierung“ stattfinde, wenn eine neue adaptive Zone erreicht wird. Daher werde der Übergang von Dinosauriern zu Vögeln von zahlreichen Konvergenzen in eng verwandten Linien bei vogelartigen Merkmalen begleitet. Das Ausmaß der evolutionären Experimentierung und der Konvergenzen in Bezug auf „Vogelartigkeit“, die durch jüngste Entdeckungen, insbesondere aus China, deutlich geworden seien, hätten zur

Folge, dass ein Konsens über phylogenetische Beziehungen schwer zu erreichen sei (AGNOLIN et al. 2019, 22). Dies äußere sich auch darin, dass in den letzten Jahren verschiedene Hypothesen zur Phylogenie der Paraves vorgeschlagen wurden (AGNOLIN et al. 2019, 2).

Kommentar: Wenn wirklich eine Evolution abgelaufen wäre, würde man ein solches Ergebnis („totally uncertain“) nicht erwarten. Das Auftreten von Konvergenzen gilt als unwahrscheinlich, erst recht, wenn es vielfach vorkommt. Nicht umsonst konstruiert man Stammbäume so, dass möglichst wenige Konvergenzen angenommen werden müssen. Begriffe wie „Experimentierung“ oder „komplexe Evolution“ verschleiern diesen Umstand nur, ohne etwas zu erklären. Sie stehen für den Befund, dass die Merkmale der einzelnen Gruppen netzartig und nicht baumartig verbunden sind. Evolutionstheoretisch erwartet man aber baumförmige, nicht netzförmige Ähnlichkeitsbeziehungen unter den Gruppen der Lebewesen. Weitere Funde können diese Situation auch nicht mehr grundsätzlich auflösen, könnten aber das „Merkmalsnetz“ noch „dichter“ machen. Bestenfalls kommen durch neue Funde keine neuen netzförmigen Verbindungen mehr hinzu. Die Geschichte der Paläontologie gibt zu dieser Erwartung allerdings wenig Anlass. Diese Situation wiegt umso schwerer, als der mutmaßliche evolutive Übergang von

Glossar

Konvergenz: Zwei- bis mehrfache Entstehung weitgehend baugleicher Merkmale bei nicht abstammungsverwandten Formen.

Paraves: Vögel und ihre evolutionstheoretisch nächstverwandten Gruppen. Üblicherweise werden die Deinonychosaurier (Troodontidae und Dromaeosauridae) dazu gerechnet. Als gemeinsames (namengebendes) Merkmal der Deinonychosaurier („schreckliche Klaue“) gilt eine vergrößerte sichelförmige zweite Krallen.

Phylogenie: Stammbaumrekonstruktion

Radiation: Vielfache evolutionäre Aufspaltung einer Organismengruppe.

Theropoden: „Handräuber“, Gruppe zweibeiniger, meist räuberisch lebender Dinosaurier; aus dieser umfangreichen Gruppe sollen die Vögel hervorgegangen sein.