

zess der Fossilisierung und Einflüsse der Pflege des Fossils im Museum finden.

Die Bilder auf der Basis der für Phosphor (P) spezifischen Signale zeichnen das sichtbare fossil überlieferte und präparierte Skelett sehr detailreich nach. Erstaunlicherweise zeigt diese Darstellung auch sonst nicht erkennbare Schäfte (Rachis) von Schwungfedern. Der Gehalt an P und S (Schwefel) kann aus dem ursprünglichen Gehalt der Elemente in Skelett und Federn erklärt werden, man muss keine Anreicherung aus der Umgebung annehmen. Aus experimentellen Untersuchungen ist bekannt, dass die Federäste im Vergleich zum Federkiel schneller durch Bakterien abgebaut werden. Aus diesen Befunden schließen die Autoren, dass die fossilen Rückstände der Federschäfte zumindest teilweise chemische Bestandteile des ursprünglichen Lebewesens enthalten. Auch Zink (Zn) erscheint im Skelett deutlich angereichert, während dessen Konzentration im umgebenden Kalkgestein gering ist; daher geben die Zn-Bilder die Knochen gut wieder. Die Autoren fanden keine Hinweise darauf, dass Zn durch wässrige Lösungen angeliefert worden wäre. Vermutlich stammt also auch das vorhandene Zn aus den Knochen des *Archaeopteryx*.

Die Vorkommen von Eisen (Fe) und Mangan (Mn) ergeben ein anderes Bild, hier scheinen deutliche Veränderungen abgelaufen zu sein (z. B. Mn-Ausfällungen, Dendriten). Für alle gemessenen chemischen Elemente liegt die Verteilung aus dem Bereich der Federn innerhalb der statistischen Verteilung in der übrigen Kalkplatte, so dass nur Spuren des Materials von „Weichteilen“ erhalten geblieben sind. In allen weiteren anatomischen Strukturen weichen die jeweiligen Elementkonzentrationen von denjenigen in der Matrix signifikant ab. Zn und Cu (Kupfer) sind auffällig angereichert in Schädel, Krallen, postcranialem Skelett und den Zähnen; P und S konzentrieren sich in den Zähnen von *Archaeopteryx*. Die Analysenergebnisse wurden mit unabhängigen Methoden (inductive coupled plasma, ICP; Punktanalysen) bestätigt.

Damit haben die Autoren gezeigt, dass Elementanalysen an Fossilien sich zu Studien über chemische Änderungen vor und nach der Fossilisation eignen; weiter wird aufgedeckt, dass die Konzentration von Elementen innerhalb einer bestimmten Struktur stark variieren können.

BERGMANN et al. können mit ihrer Methode auch anatomische Strukturen im Submillimeterbereich differenziert analysieren. Das demonstrieren sie durch die Untersuchung einer Handkrallen: hier ist erstaunlicherweise die Elementverteilung zwischen dem Knochen der Handkrallen und deren Keratummantelung in den elementspezifischen Abbildungen nicht zu unterscheiden. Die Darstellung von Federresten anhand von P-Signalen zeigt ebenfalls Strukturen im Submillimeterbereich.

Im Blick auf die Entstehung des Fossils (Taphonomie) zeigt die Untersuchung der einzelnen Ele-

mente, dass ca. 90% des ursprünglich vorhandenen P verschwunden sind, aber auch die Matrix, das umgebende Kalkgestein ist auffällig arm an P, so dass der noch im Skelett verbliebene P aussagekräftige Abbildungen ermöglicht. Der Verlust an Ca ist dagegen extrem gering (ca. 4%), was auf die Kalkmatrix zurückgeführt werden kann. Der hohe Zn-Gehalt könnte evtl. mit dem geringen Ca-Verlust gekoppelt sein.

S und Fe liegen in oxidiert Form (z. B. S als Sulfat) vor und weisen damit darauf hin, dass nach den für die Phase der Sedimentation angenommenen reduzierenden Bedingungen zumindest zeitweise oxidierende Bedingungen vorherrschen haben müssen.

Die Abbildung aufgrund der Chlor (Cl)-Signale macht Fingerabdrücke auf der Platte erkennbar, was die Autoren zu Vorsichtsmahnungen für die Handhabung von Fossilien in Museen veranlasst.

Die von BERGMANN et al. (2010) angewandte Methode zur Untersuchung von Fossilien ermöglicht sehr vielfältige und differenzierte Aussagen über das Fossil. Dabei gewinnt man sowohl Hinweise auf physiologische Aspekte des Lebewesens als auch Aussagen zu seiner Fossilisierung und der Geschichte seiner geologischen Geschichte, bis hin zu seiner Präparation und Pflege im Museum. Man darf darauf gespannt sein, wie diese Methode zukünftig mit dazu beitragen wird, die Hinweise aus der Erdgeschichte genauer betrachten zu können und etwas besser zu verstehen.

[BERGMANN U, MORTON RW, MANNING PL, SELLERS WI, FARRAR S, HUNTLEY KG, WOELIUS RA, & LARSON P (2010) *Archaeopteryx* feathers and bone chemistry fully revealed via synchrotron imaging. Proc. Nat. Acad. Sci. USA; doi/10.1073/pnas.1001569107; MAYR G, POHL B, & PETERS DS (2005) A well-preserved *Archaeopteryx* specimen with Theropod features. Science 310, 1483-1486; MAYR G, POHL B, HARTMANN S, & PETERS DS (2007) The tenth specimen of *Archaeopteryx*. Zool. J. Linn. Soc. 149, 97-116] H. Binder

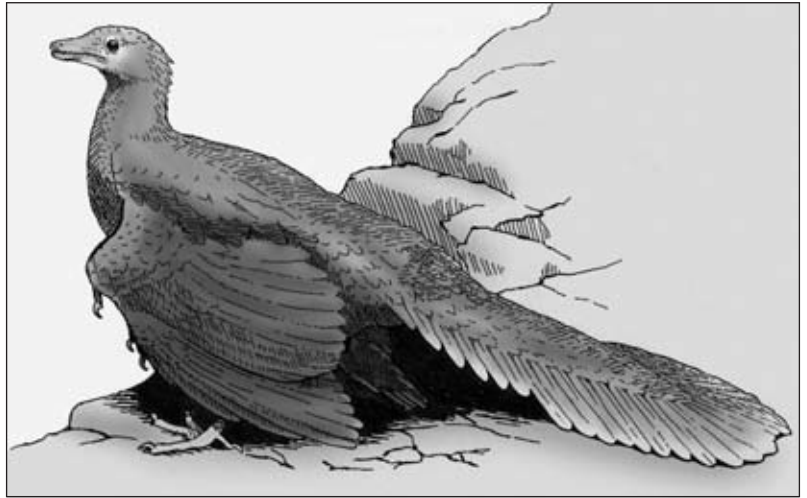
Konnte *Archaeopteryx* doch nicht aktiv fliegen?

Die Flugfähigkeit des berühmten „Urvogels“ *Archaeopteryx* wurde immer wieder kontrovers diskutiert. Seine modern anmutenden Federn schienen aber deutlich dafür zu sprechen, dass die Flügel gewissen aerodynamische Belastungen – als Voraussetzung für die Fähigkeit zum aktiven Flug – standhalten können. Eine Analyse der Federschäfte der Handschwingen von *Archaeopteryx* (NUDDS & DYKE 2010) brachte nun ein etwas anderes Ergebnis: Verglichen mit heute lebenden Vogelarten waren die Schäfte deutlich zu schwach für einen kontinuierlichen Ruderflug. Auch unter der Annahme, dass die Schäfte nicht wie bei heutigen Vögeln hohl waren, sondern massiv (was an den Fossilien nicht erkennbar ist), würde ihre Dicke nicht ausreichen, um den Belastungen beim Flug (Widerstand beim Verbiegen) standhalten zu können oder den Vogel aufgrund seiner geschätzten Körper-

masse überhaupt in der Luft halten zu können. Beide Schlussfolgerungen gelten auch für die Feder-schäfte des fossilen *Confuciusornis* aus der frühen Unterkreide, die ebenfalls untersucht wurden.

Die Länge der Handfedern von *Archaeopteryx* und *Confuciusornis* entspricht dagegen der Größe bei vergleichbar großen heute lebenden Vögeln. Die Forscher schließen daraus, dass die untersuchten fossilen Vögel nur kurze Strecken gleiten, aber nicht aktiv fliegen konnten. Sonderbar ist aber, dass der Bau der Flügel im Ganzen nicht zum längeren Gleiten passt (NUDDS & DYKE 2010, 889), obwohl weitere anatomische Befunde (z. B. Anatomie des Schultergürtels, Federinnervation) bei *Archaeopteryx* dafür sprechen. Rätselhaft ist zudem, dass der deutlich jüngere und in vielen Eigenschaften als moderner geltende *Confuciusornis* hinsichtlich seiner Flugfähigkeit als noch schwächer einzustufen ist als der ältere *Archaeopteryx*. Wie aber passt ein an sich flugtaugliches Federkleid zu einer Fortbewegung als Gleiter? Offenbar genügten die Federn und weitere anatomische Anpassungen jedoch der Erzeugung von kurzzeitiger Schubkraft bzw. Gleitfähigkeit. Über die von den Autoren geäußerten Erklärungsversuche hinaus käme dies z. B. einem durch Flattern unterstützten Herumhüpfen (vergleichbar den relativ ungerichteten Flugbewegungen von Jungvögeln moderner Arten) oder einem kurzzeitigen Gleiten mit nach hinten gerichteten Flügeln (etwa dem Stoßflug heutiger Vögel mit fast parallel zum Körper angelegten Flügeln) zugute. Eine solche Fähigkeit könnte in Gefahrensituationen durchaus nützlich gewesen sein, um etwa einem unmittelbaren Feindangriff zu entgehen. Selbstverständlich fehlen in diesem Kontext wichtige Informationen zur Lebensweise und Ökologie zu einem besseren Verständnis. Einstweilen können die beiden Gattungen überzeugender als bisher als Übergangsformen auf dem Weg zum aktiven Flug interpretiert werden, wenn auch wesentliche Fragen nach Selektionsdrücken und Umbaumechanismen offen bleiben.

Mit dieser Deutung der Federn von *Archaeopteryx* und *Confuciusornis* durch NUDDS & DYKE 2010 würde auf jeden Fall eine der beiden konkurrierenden Theorien zur Flugentstehung ausscheiden: Ausgehend von diesen beiden Arten könnte das Fliegen kaum vom Boden ausgehend durch immer längere Sprünge entstanden sein. Es bliebe nur das Gleiten über kurze Entfernungen (etwa von Baum zu Baum) übrig. Die Frage der eingeschränkten Gleitfähigkeit stünde dabei der relativ modern anmutenden Flügelanatomie entgegen. Dieser Widerspruch könnte sicherlich nur anhand von Fossilfunden späterer Kreidevögel gelöst werden, die nach Autorenmeinung von *Confuciusornis* abzuleiten wären. Für *Archaeopteryx* selbst bliebe nach dieser Interpretation hinsichtlich der Vorläuferschaft moderner Ruderflieger nur eine evolutionäre Sackgasse übrig.



[NUDDS RL & DYKE GJ (2010) Narrow Primary Feather Rachises in *Confuciusornis* and *Archaeopteryx* Suggest Poor Flight Ability. *Science* 328, 887-889. Vgl. auch: <http://www.g-o.de/wissen-aktuell-11720-2010-05-28.html>] R. Junker & A. Weller

Abb. 1: *Rekonstruktion von Archaeopteryx.* (Nach PORTMANN 1976)

Geologisch nicht überlieferte Lebensräume bei Burgess-Fauna

Der Burgess-Schiefer des Mittelkambriums in den kanadischen Rocky Mountains birgt eine weltberühmte Fossilagerstätte mit verschiedensten Bauplänen vielzelliger Tiere in sehr guter Erhaltung, auch mit lithifizierten (versteinerten) Weichteilen. Einer breiten Öffentlichkeit wurde diese Vielfalt früher Lebensformen durch Stephen Jay GOULDS Buch „Wonderful Life“ vorgestellt (GOULD 1989; deutsch 1991 unter dem Titel „Zufall Mensch“). GOULD schreibt darin: „Der Burgess-Shale umfaßt eine große anatomische Verschiedenartigkeit wie sie nie wieder erlangt wurde und auch heute von keinem der in den Weltmeeren lebenden Geschöpfe erreicht wird“ (S. 230). Es handelt sich dabei auch keineswegs um primitive Baupläne, wie schon frühere Bearbeiter herausgestellt haben; GOULD bezeichnet einige von ihnen gar als „irre Wundertiere“. Die Burgess-Tiere sind Teil der sogenannten „kambrischen Explosion“, des geologisch plötzlichen fossilen Auftretens verschiedenster Tier-Baupläne (VALENTINE 2004).

Bisher schien es so, als ob ein Großteil der Burgess-Fauna genauso schnell von der Weltbühne verschwunden wäre wie er auftauchte, so dass man ein großes Aussterben bereits im Kambrium annahm. Doch wurde auch die Vermutung geäußert, dass in Wirklichkeit geeignete Fossilisationsbedingungen fehlten und viele Burgess-Tiere weiterlebten. Diese Vermutung wurde nun durch die Entdeckung zahlreicher ähnlicher Formen im unteren Ordovizium Marokkos bestätigt (VAN ROY et al. 2010). In der Fezouta-Formation fand man eine Reihe von Bauplänen, die bisher als charakteristisch für das Kambrium galten. Damit ist klar, dass die betreffenden Formen in geologisch nicht über-