

wird insbesondere auf die Vermessung des Ions H^+_3 (Derivat von Wasser) in der Ionosphäre des Saturn-Mutterkörpers abgehoben. Je mehr wassereishaltiges Ringmaterial auf den Mutterkörper fällt, desto stärker ist die Emission von H^+_3 im infraroten Wellenlängenbereich.

Die neuen Untersuchungen wurden am 10m-Keck-Teleskop auf dem Mauna Kea in Hawaii durchgeführt, indem das Maximum der Emission von H^+_3 in der Ionosphäre des Saturn korreliert wird mit dem Einfall von Wassereis. Die einfallende Menge beläuft sich dabei auf der Basis von Modellen auf 432 bis 2870 kg/s.

Die bisher geschilderten Einflüsse beziehen sich insbesondere auf den inneren Teil des Ringsystems. Mit dem im fernen UV-Licht messenden *Ultraviolet Imaging Spectrograph* (UVIS) auf der Raumsonde *Cassini-Huygens* wurden die im Saturnsystem vorkommenden Elemente erfasst. Beim Auswerten der Daten fiel ein ultraviolettes Leuchten von atomarem Sauerstoff besonders auf, das sich in einer Ebene um den Saturn bis zu zehn Saturnradien in den Weltraum erstreckte. Mögliche Ursachen könnten eine plötzliche Kollision von Staubpartikeln sein oder eben ein Meteoriteneinschlag. So fand das UVIS-Team um Axel KORTH (ESA 2018) vom MPS für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau eine Häufung atomaren Sauerstoffs im Bereich des E-Ringes bei 3,7 Saturnradien auf der sonnenabgewandten Seite des Planeten. Die Anzahl atomarer Sauerstoff-Atome war extrem hoch. Sie betrug bis zu etwa 1 Million Tonnen Sauerstoff. Dieser Sauerstoff bildet sich relativ schnell und entweicht nach einigen Monaten ebenso schnell in den interplanetaren Raum.

Sollte sich die aus den H^+_3 -Messungen ermittelte Rate als typisch erweisen, würde allein dieser Verlust ausreichen, um das Ringsystem innerhalb von rund 300 Millionen Jahren verschwinden

zu lassen. Es deutet sich allerdings an, dass dieser Ringregen nur einen Teil der verschwindenden Masse ausmacht. Zusätzlich kommt eine Mixtur an beträchtlichen Mengen Methan, Ammoniak, molekularem Stickstoff sowie Kohlenmonoxid und -dioxid dazu. Rechnet man alle bekannten Verluste zusammen, überstehen die Ringe wegen dieser „schmutzigen Dusche“ und anderer Verlustprozesse womöglich keine 100 Millionen Jahre als Worst Case Szenario. Das mit den organischen Verbindungen vermischte Wassereis fällt in rund zehnfach höherer Konzentration auf den Planeten, als von den bisherigen Modellen „prognostiziert“, berichtet Hunter WAITE vom Southwest Research Institute.

Zusammenfassend können zwei überraschende Befunde beim Saturn-Ringsystem festgehalten werden: zum einen die chemische Komplexität des Ringregens und zum anderen die schiere Menge dieses Regens und die damit verbundene kurze Lebenserwartung des Ringes. Möglicherweise dürfen wir uns glücklich schätzen, in einer Zeit zu leben, in der wir das Saturnringsystem in seinen besten Jahren erleben, während wir die anderen Staubbringe bei Jupiter, Uranus oder Neptun gerade verpassten, die heute nur schwache Ringe bzw. Ringlets zeigen. Allerdings müssen für eine sichere Prognose mögliche Recyclingprozesse besser verstanden werden.

Quellen

- O'DONOGHUE J, MOORE L, CONNERNEY J, MELIN H, STALLARD T, MILLER S & BAINES KH (2018) Observations of the chemical and thermal response of 'ring rain' on Saturn's ionosphere. *Icarus*. doi:10.1016/j.icarus.2018.10.027
- PAILER N (2018) Staub im Weltall. Neueste Daten fordern ein radikales Umdenken. *Stud. Integr. J.* 25, 4–11.
- ESA (2018) Ein gigantisches rätselhaftes Ringsystem. [http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Ein_gigantisches_raetselhaftes_Ringsystem/\(print\)](http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Ein_gigantisches_raetselhaftes_Ringsystem/(print))

Neuigkeiten über alte Vögel

Eine Reihe von Merkmalen an neu entdeckten fossilen Vögeln, die evolutionstheoretisch an die Basis des mutmaßlichen Vogelstammbaums gestellt werden, sind unerwartet und bestätigen, dass bereits an der Basis der Gegenvögel und der Ornithuren auch „moderne“ Vogelmerkmale ausgebildet waren. Eine beachtliche Vielfalt tritt relativ abrupt fossil in Erscheinung.

Reinhard Junker

Archaeorhynchus spathula

Eine bemerkenswerte Entdeckung wurde beim Ornithuromorphen *Archaeorhynchus spathula* gemacht. Die Ornithuromorphen („Vogelschwän-

ze“) sind diejenige Vogelgruppe, zu der auch die heutigen Vögel gerechnet werden. Fossil sind sie in erheblicher Verschiedenartigkeit seit der Unterkreide überliefert. *Archaeorhynchus spathula* aus der Unterkreide Chinas (Jehol-Formation,

Abb. 1 Künstlerische Darstellung von *Archaeorhynchus spathula*, der etwas größer als eine Taube war. (© Brian CHOO)



auf 120 Millionen radiometrische Jahre datiert) war etwa so groß wie ein Star (Abb. 1) und wird aufgrund von Skelettmerkmalen als „basal“ eingestuft. Dennoch besaß diese Art auch eine Reihe „moderner“ Vogelmerkmale: einen zahnlosen Schnabel, einen Brustbeinkiel, die Form der Furcula und asymmetrische Federn. Bemerkenswert ist die Erhaltung von Weichgewebe, die WANG et al. (2018a) als fossilisierte Lungen interpretieren. Aus den fossilen Resten schließen sie, dass die Lunge „sehr ähnlich der Lunge heutiger Vögel“ war. Die Spezialisierungen der Lunge wie das stark unterteilte Parenchym seien „modern“; manche Strukturen ähneln nach ihrer Einschätzung Parabronchien (das sind sehr feine Kapillaren in den Lungen heutiger Vögel). Diese Merkmale deuteten darauf hin, dass die für den Kraftflug erforderliche Sauerstoffmenge aufgenommen werden konnte. Der fossile Befund zeige weiter, dass die Lunge wie bei heutigen Vögeln direkt an der Wand der Hohlräume befestigt war, was die Lunge praktisch unbeweglich machte, wie das auch bei heutigen Vögeln der Fall ist. Diese Fixierung macht es möglich, dass das Parenchym in extrem feine Kapillaren unterteilt werden kann, ohne dass das Gewebe kollabiert, was eine große Atemwegsfläche und die Ausbildung einer extrem dünnen Blut-Gas-Barriere ermöglicht (WANG et al. 2018a, 11559).

Ungewöhnlich sind auch Merkmale des Schwanzes. Zusätzlich zu den gewöhnlichen Schwanzfedern ragen zwei besonders lange, schmale Schwanzfedern über den Rest der Federn hinaus (als „pintail“ bezeichnet). Bei Kreidevögeln war dieser Federtyp bisher nicht bekannt, kommt aber bei heutigen Vögeln wie bei einigen Kolibriarten vor.

Bewertung. Insgesamt weist *Archaeorhynchus* ein ausgeprägtes Merkmalsmosaik auf, das kaum in eine evolutionäre Übergangstellung passt. Einmal mehr zeigt sich, dass Erfordernisse für

das Fliegen – hier vogeltypische leistungsfähige Lungen – nahe der Basis der fossilen Überlieferung nachweisbar sind.

Orienantius ritteri

Die zweite Art, die hier vorgestellt werden soll, wird zur neu entdeckten Gattung *Orienantius* aus der Gruppe der Gegenvögel (Enantiornithes) gestellt. Sie gehört zu den geologisch ältesten Gegenvögeln (Huajiyang-Formation Chinas, auf 131 Millionen radiometrische Jahre datiert). Auch bei diesem Fund sind Weichteile fossil erhalten, nämlich Teile der Flughäute (Patagien). Die Autoren schreiben (S. 16): „Die Morphologie der konservierten Weichteile zeigt, dass die für die Flügel moderner Vögel charakteristischen Hauptpatagien (Propatagium, Postpatagium und Metapatagium) bereits bei den frühesten bekannten Enantiornithinen vorhanden waren.“ Ihre Ausprägung deutet darauf hin, dass diese Vögel sehr gut manövrieren und abwechselnd flattern und gleiten konnten, heutigen kleinen und mittelgroßen Vögeln vergleichbar (LIU et al. 2018, 17).

Die für die Flügel moderner Vögel charakteristischen Flughäute waren bei den frühesten bekannten Gegenvögeln vorhanden.

Die Forscher konnten außerdem nachweisen, dass die erhaltene Kontur der Muskulatur des Beines identisch mit der von modernen Vögeln ist; die Weichteile um die Fußknochen deuten darauf hin, dass die Füße von *Orienantius ritteri* keine Hauptmuskeln hatten, was die Situation bei heute lebenden Vögeln widerspiegelt (LIU et al. 2018, 16).

Bewertung. Auch im Fall von *Orienantius* zeigt sich, dass eine gute Flugfähigkeit, aber auch andere vogeltypische Merkmale innerhalb der Gegenvögel, von Anfang an – bei den geologisch ältesten Formen – ausgeprägt sind. LIU et al. (2018, 18) kommen zum Schluss, dass dieses neue Taxon zahlreiche Merkmale aufweist, die für spätere Taxa typisch sind, und dass die Gegenvögel bereits bei ihrem frühesten Auftreten in der Fossilüberlieferung ein signifikantes Ausmaß an taxonomischer Differenzierung aufweisen.

Jinguoortis

Als Beispiel für eine „chaotisch“ verlaufene Evolution (Min WANG¹) wird die ebenfalls im Jahr 2018 beschriebene etwa krähengroße fossile Art *Jinguoortis perplexus* (Abb. 2) genannt. Ihre systematische Stellung ist nicht klar bestimmt. Wie heutige Vögel besaß sie ein Pygostyl (verschmolzene Schwanzwirbel) und damit einen Fächerschwanz. Ein weiteres ausgesprochen „modernes“ Merkmal sind die stark reduzierten Finger.

Neben vogeltypischen Merkmalen kommen aber auch Merkmale vor, die sonst bei Theropoden-Dinosauriern bekannt und vogeluntypisch sind. Dazu gehören Krallen an den Fingern der Flügel, eine bumerangförmige, vermutlich starre Furcula (Gabelbein), ein Kiefer mit winzigen Zähnen und ein verschmolzener Schultergürtel (Schulterblatt und Rabenbein). Da letzteres Merkmal ungünstig für das Fliegen erscheint, weil es die Flexibilität für den Schlagflug einschränkt, erhielt die Art ihren Artnamen „perplexus“. Nichtsdestotrotz waren die breiten, kurzen Flügel von *Jinguoortis* typisch für Vögel, die gut zwischen Bäumen manövrieren können. Vielleicht war eine bisher unbekannte Art des Fliegens verwirklicht. Bei heutigen Vögeln ist eine vergleichbare Fusion der beiden Schultergelenksknochen nur bei flugunfähigen Formen bekannt. Dass auch *Jinguoortis* sekundär flugunfähig war, scheint jedoch eher unwahrscheinlich, zumal die Schwungfedern ausgeprägt asymmetrisch waren (WANG et al. 2018b, 10710).

Der verschmolzene Schultergürtel ähnelt zwar der Situation bei einigen Theropoden-Dinosauriern, trotzdem eignet sich dieses Merkmal nicht als Beleg für eine stammesgeschichtliche Verbindung von Dinosauriern und Vögeln, weil bei *Archaeopteryx* diese beiden Knochen nicht verschmolzen waren.

Der Besitz von Zähnen ist bei mesozoischen Vögeln verbreitet, und auch bezüglich dieses Merkmals ist die Ausprägung bei *Jinguoortis* evolutionstheoretisch nicht gut passend. Denn bei *Jinguoortis* waren Prämaxilla und Maxilla bezahnt, während bei *Archaeopteryx* und den

Ornithothoraces (= Enantiornithes + Ornithurae) die Spitze der Prämaxilla und bei *Jeholornis* die ganze Prämaxilla zahnlos war. Daher müsste bezüglich dieses Merkmals evolutionstheoretisch eine Rückentwicklung bzw. wie beim Schultergürtel eine Art evolutionärer Zickzackkurs angenommen werden, was allgemein als unplausibel gilt.

Bewertung. WANG et al. (2018b, 10708) bemerken, dass *Jinguoortis* die bekannte Diversität früher Vögel vergrößere, und vermuten, dass Entwicklungs-Plastizität eine wichtige Rolle dabei spielte und dass die mutmaßliche Evolution mosaikartig verläuft. (Plastizität ist die Fähigkeit, Merkmale je nach Umwelteinflüssen unterschiedlich auszubilden, und hat mit Evolution an sich nichts zu tun.) Die Jinguoortidae trügen zum verbreiteten Vorkommen von Mosaik-Evolution bei (WANG et al. 2018b, 10710). BRUSATTE spricht von Experimentierung.¹

„Mosaik-Evolution“ und „Experimentierung“ sind Fremdkörper in einem evolutionären Szenario.

Doch sowohl Mosaik-Evolution als auch Experimentierung sind Fremdkörper in einem evolutionären Szenario. Denn Experimentierung ist ein zielgerichteter Vorgang; der Begriff verschleierte einen evolutionstheoretisch unerwarteten Befund. Die Merkmalsverteilung passt nicht in ein hierarchisches eingeschachteltes System; daher müssen in großem Maße Konvergenzen angenommen werden, was als „Mosaik-Evolution“ bezeichnet wird. Aber warum und auf welchem Wege gelangt ein natürlicher, zukunftsblinder evolutionärer Prozess vielfach unabhängig zu ähnlichen Konstruktionen? Zudem ist das Merkmalsmosaik so gestaltet, dass es insgesamt nicht als evolutionäre Übergangsform passt, sondern eine eigene evolutive Linie angenommen werden muss.

Abb. 2 Rekonstruktion von *Jinguoortis perplexus*.
(© Chung-Tat CHEUNG)



Anmerkung

¹ <https://www.nationalgeographic.com/science/2018/09/news-new-species-fossil-bird-dinosaurs-flight-evolution-paleontology>.

Literatur

LIU D, CHIAPPE LM, ZHANG Y, SERRANO FJ & MENG Q (2018) Soft tissue preservation in two new enantiornithine specimens (Aves) from the Lower Cretaceous Huajiyang Formation of Hebei Province, China. *Cretaceous Res.* (2018), doi: <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2018.10.017>.

NAVALÓN G, MARUGÁN-LOBÓN J, CHIAPPE LM, SANZ JL & BUSCALIONI A (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.
WANG X, O'CONNOR JK, MAINA JN, PAN Y, WANG M, WANG Y, ZHENG X & ZHOU Z (2018a) *Archaeorhynchus* preserving significant soft tissue including probable fossilized lungs. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 115, 11555–11560.
WANG M, STIDHAM TA & ZHOU Z (2018b) A new clade of basal Early Cretaceous pygostylian birds and developmental plasticity of the avian shoulder girdle. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 115, 10708–10713.

Neu entdeckte Rolle von Introns

Molekularer „Abfall“ erweist sich erneut als funktional

Lange Zeit wurden bestimmte kleine RNA-Abschnitte, die Introns, für molekularen Abfall in der Zelle gehalten, der keine biologische Funktion aufweist. Neuere Untersuchungen an Hefen unter Bedingungen der Nahrungsknappheit förderten das überraschende Ergebnis zutage, dass Introns unter diesen Bedingungen überlebenswichtig sind. Dies bestätigt auf eindrucksvolle Weise die Auffassung, dass Lebewesen intelligent geschaffen sind, und steht damit in einer Linie mit den bahnbrechenden Resultaten des ENCODE-Projekts.

Boris Schmidtgal

Die Vermutung, dass „die Natur“ nicht verschwenderisch ist, motiviert Forscher wiederholt dazu, etablierte Gewissheiten der Lebenswissenschaften zu hinterfragen. Die lange Zeit gängige Auffassung, dass es sich bei einem Großteil des menschlichen Erbguts um genetischen Abfall handelt, verursachte schon früh bei manchen Forschern Skepsis. Auch wenn die als „Junk-DNA-Hypothese“ bezeichnete Erklärung, dass sich eine genetische Müllhalde über Jahrmillionen durch Evolution angehäuft habe, von vielen für plausibel gehalten wurde, ließen einige Forscher sich nicht davon abhalten, die vermeintlich überflüssige DNA weiter zu untersuchen. Das Ergebnis der umfangreichen Arbeiten im Rahmen des ENCODE-Projekts* sorgte für

Erstaunen: Die Indizien sprechen dafür, dass mindestens 80% des genetischen Materials funktional sind. Bei den restlichen ca. 20% herrscht noch keine Klarheit bezüglich der Funktion (ENCODE consortium 2012).

Nun konnte die erstaunliche Effizienz von Organismen an einem anderen Beispiel gezeigt werden. Kürzlich untersuchten zwei wissenschaftliche Gruppen das Spleißen von mRNA bei der (gemeinen) Hefe (*Saccharomyces cerevisiae*). Das Spleißen ist ein Vorgang, der nur bei Eukaryoten vorkommt. Dabei wird das zunächst aus der DNA transkribierte (umgeschriebene) mRNA-Molekül durch Spleißosomen* (Proteinkomplexe) so verändert, dass bestimmte Sequenzabschnitte herausgeschnitten werden (Abb. 1). Das auf diese Weise erhaltene „reife“ mRNA-Molekül wird dann zu den Ribosomen transportiert und zur Proteinbiosynthese verwendet. Dabei wurde stets beobachtet, dass die ausgeschnittenen Sequenzen, welche als Introns bezeichnet werden, schnell wieder abgebaut werden. Allerdings war es bisher üblich, solche Vorgänge bei normalen Wachstumsprozessen von Hefen zu beobachten.

Dagegen untersuchten Wissenschaftler um ELELA (PARENTEAU et al. 2019) diese Vorgänge in extremeren Lebenssituationen wie z.B. unter

Glossar

ENCODE-Projekt: Ein umfangreiches, von 30 Forschungsgruppen durchgeführtes wissenschaftliches Projekt, bei dem das menschliche Genom auf funktionelle Elemente hin untersucht worden ist. Das Projekt wurde 2003 vom US-amerikanischen National Human Genome Research Institute initiiert.

Intron: Kurze Sequenz innerhalb einer

mRNA, die durch das Spleißen herausgeschnitten wird. Introns werden nicht in Proteine übersetzt (translatiert). Die übrigen Abschnitte der mRNA, die Exons, werden zusammengefügt und dann am Ribosom in ein Protein übersetzt.

Spleißosom: Ein Proteinkomplex, der das Herausschneiden von Introns aus mRNA-Molekülen bewerkstelligt.