

# DINOSAURIER

Neues aus einem Land vor unserer Zeit

## Tyrannenechsen

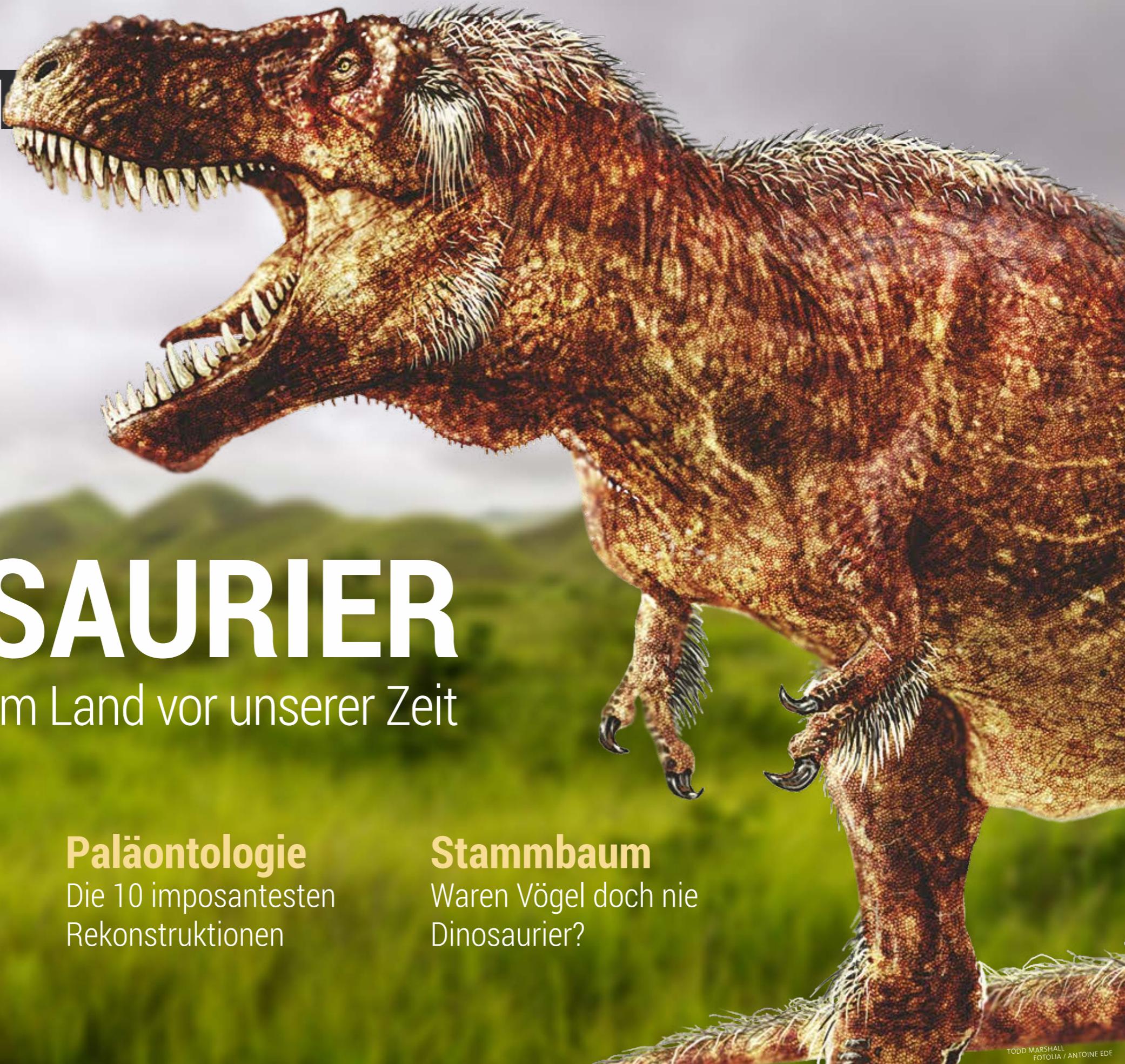
Die Wahrheit über  
die *T.-rex*-Familie

## Paläontologie

Die 10 imposantesten  
Rekonstruktionen

## Stammbaum

Waren Vögel doch nie  
Dinosaurier?





Judith Merkelt  
E-Mail: [sdwu@spektrum.de](mailto:sdwu@spektrum.de)

*Liebe Leserin, lieber Leser,*  
wussten Sie als Kind auch alles über *T. rex* und Co und konnten sogar ihre Namen im Schlaf aufsagen? Seitdem hat sich einiges getan in der Saurierforschung – Zeit, die kindliche Neugierde zu reaktivieren und unser Wissen aufzufrischen. In dieser Ausgabe geben wir aktuelle Antworten auf die großen Fragen der Paläontologie: Weshalb sind die Dinosaurier wirklich ausgestorben? Sind Hühner und Enten ihre legitimen Nachfahren? Und hatten Dinos wirklich Federn? Aber Vorsicht: Der nächste fossile Fund kann die Geschichte der Dinosaurier schon wieder komplett umschreiben.

Eine spannende Lektüre wünscht

*j. merkelt*

PS: Ich würde mich freuen, wenn Sie an einer kleinen Umfrage zu unseren Kompakt und Ratgebern teilnehmen – damit wir diese Serie in Ihrem Interesse weiter entwickeln und verbessern können!

FOLGEN SIE UNS:



**CHEFREDAKTEURE:** Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.), Dr. Uwe Reichert

**REDAKTIONSLINTER:** Christiane Gelitz, Dr. Hartwig Hanser, Dr. Daniel Lingenhöhl

**ART DIRECTOR DIGITAL:** Marc Grove

**LAYOUT:** Oliver Gabriel

**SCHLUSSREDAKTION:** Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle

**BILDREDAKTION:** Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe

**PAID-CONTENT-MANAGERIN:** Antje Findeklee

**VERLAG:** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Slevogtstraße 3–5, 69126 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600, Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114, UStd-Id-Nr. DE147514638

**GESCHÄFTSLEITUNG:** Markus Bossle, Thomas Bleck

**MARKETING UND VERTRIEB:** Annette Baumbusch (Ltg.)

**LESER- UND BESTELLSERVICE:** Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ute Park, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)

Die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH ist Kooperationspartner der Nationales Institut für Wissenschaftskommunikation gGmbH (NaWik). Das NaWik ist ein Institut der Klaus Tschira Stiftung gGmbH und des Karlsruher Instituts für Technologie. Wissenschaftlicher Direktor des NaWik ist Spektrum-Chefredakteur Prof. Dr. Carsten Könneker.

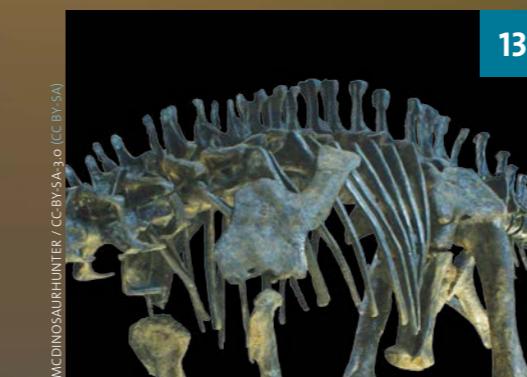
**BEZUGSPREIS:** Einzelausgabe € 4.99 inkl. Umsatzsteuer.

**ANZEIGEN:** Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an [anzeigen@spektrum.de](mailto:anzeigen@spektrum.de)

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2015 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

04

## KÖNIG DER TYRANNENECHSEN

Die Wahrheit über die *T.-rex*-FamilieDie letzten Geheimnisse von *Tyrannosaurus rex*

## SAUROPODEN

## Verkannte Giganten

Die Sauropoden passten sich an Veränderungen der Umwelt an

24

## MASENGRAB

## Tödliche Falle für Dinosaurier

Spektakulärer Fossilfund in der Wüste Gobi zeugt von einem prähistorischen Unglück



35

## EXTINKTION

## Dinosaurier auf falschem Fuß erwischt

Waren Dinosaurier auch ohne Asteroideneinschlag reif zum Aussterben?

38

## CHICXULUB

## Killerasteroid brachte Kälte und Finsternis

Wie der Asteroideneinschlag am Ende der Kreidezeit die Erde über Jahrzehnte in eine Art nuklearen Winter stürzte



51

## ERSTAUNLICHER FUND

## Trugen alle Dinos Federn?

Ein Fund aus Sibirien überrascht Forscher

55

## URVOGEL

## Als die Federn fliegen lernten

Das elfte *Archaeopteryx*-Fossil und ein neuer Stammbaum bringen Licht in die frühe Evolution des Fliegens

65

## PALÄONTOLOGIE

## Die 10 imposantesten Dinosaurier-Rekonstruktionen

Wie würden die Giganten aus Jurassic Park wohl heute aussehen?



KÖNIG DER TYRANNENECHSEN

# Die Wahrheit über die *T.-rex*-Familie

von Brian Switek

Die Familie des Superstars *T. rex* kennt zahlreiche Geheimnisse. Wieso wurden die Tiere so groß? Hatten sie Federn? Und wozu dienten die kleinen Arme?

Ende des Jahres 1905 hatten die Zeitungsredaktionen einen neuen Liebling gefunden: ein prähistorisches Monster, dessen Knochen in den Badlands von Montana ausgegraben wurden. Die »New York Times« schwärmte in ihrer Beschreibung des »Tyrannensauriers« vom »Furcht erregendsten Raubtier, von dem wir Zeugnis haben«. Auch in den 100 Jahren seitdem hat der *Tyrannosaurus rex* nichts von seiner Faszination verloren – weder für Laien noch für Forscher.

Über zwölf Meter Körperlänge von Kopf bis Schwanz und ein Gebiss, das vor dolchgroßen Zähnen nur so starzte: Kein Wunder, dass der 66 Millionen Jahre alte *T. rex* als ultimatives Beispiel eines urzeitlichen Räubers gilt. Und ebenso wenig muss der mediale Aufschrei erstaunen, den eine Veröffentlichung im Jahr 2013 verursachte. Die Autoren hatten darin wieder einmal die Frage aufgeworfen, ob *T. rex* seine Beute überhaupt selbst erlegte oder sich doch lieber an den übrig gelassenen Mahlzeiten anderer gütlich tat [1].

Das brachte sogar einige Paläontologen auf die Palme. Das sei doch schon längst geklärt, entgegneten sie, es gebe ausrei-

chend Belege dafür, dass der *T. rex* seine Beute niederringen und den Kadaver aufbrechen konnte. Schlimmer noch: Die Pseudodiskussion lasse andere – wichtigere – Fragen in den Hintergrund treten.

Wie zum Beispiel seine evolutionäre Herkunft. Sie ist nach wie vor ein Mysterium. Forscher setzen derzeit alles daran, zu klären, wie sich die Könige der Kreidezeit (145 Millionen bis 66 Millionen Jahre vor heute) aus winzigen Dinosauriern des Jura (201 Millionen bis 105 Millionen Jahre vor heute) entwickeln konnten. Heiß umstritten ist außerdem, wie man sich einen jugendlichen *T. rex* vorzustellen hat. Wurden vielleicht die Fossilien junger Tyrannosaurier jahrzehntelang als Angehörige einer anderen Art falsch klassifiziert?

Selbst grundlegende Fragen über sein Äußeres sind noch offen: Einige Wissenschaftler sind der Ansicht, dass *T. rex* von einem Flaum aus Federn bedeckt war, andere sehen ihn im Schuppenkleid. Und dann die quälende Frage, warum er trotz seines massigen Kopfs und seiner muskulösen Beine nur so derart spindeldürre Arme hatte.

Zum Glück hat die Wissenschaft inzwischen genug Material, um nach Antworten

»Das Furcht erregendste Raubtier, von dem wir Zeugnis haben«

zu suchen. »Wir haben eine Menge *T.-rex*-Fossilien«, erklärt der Paläontologe [Stephen Brusatte von der University of Edinburgh](#). »Es kommt selten vor, dass man so viele Exemplare einer Dinosaurierart hat. Damit können wir tatsächlich diese Fragen angehen – wie er gewachsen ist, was er gegessen hat oder wie er sich bewegte. Bei anderen Dinosauriern können wir das nicht.« Im Folgenden geht »Nature« der Frage nach, wie Paläontologen dem wahrscheinlich populärsten aller Dinos seine letzten Geheimnisse entlocken wollen.

## Von welchen Arten stammten die Tyrannosauridae ab?

In den ersten Jahrzehnten nachdem [Henry Fairfield Osborn](#) den *T. rex* benannt und beschrieben hatte, galt der Dinosaurier als Höhepunkt einer Entwicklungstendenz zu immer größeren Raubtieren. Dieser Anschauung nach stammte *T. rex* von *Allosaurus* ab, einem neun Meter langen Raubsaurier, der über 80 Millionen Jahre früher gelebt hatte und mit anderen groß gewachsenen Fleischfressern zu den Carnosauriern gezählt wurde – im Wesentlichen eine »Mülleimerkategorie«, in die alles eingeordnet wurde, was andernorts

nicht passte. Als letzter und größter Vertreter dieser wilden Truppe soll *T. rex* auf den Plan getreten sein. Schon bald aber legten Paläontologen die Axt an diesen Stammbaum. Mit Hilfe eines deutlich rigoroseren Analysewerkzeugs, der Kladistik, nahmen sie sich Anfang der 1990er Jahre die alten Verwandtschaftsverhältnisse zwischen den Dinosauriern vor. Dabei stellte sich heraus, dass *T. rex* seine evolutionären Wurzeln in einer Gruppe kleiner Kreaturen mit flau-migen Gefieder hatte, die im Schatten von *Allosaurus* und anderen Räubern des Jura ihr Auskommen suchten.

Mit der Zeit zeichnete sich ein Bild ab, demzufolge *T. rex* und seine nahen Verwandten – man bezeichnet sie als Tyrannosauridae – am äußersten Ast des breiteren Stammbuschs der Tyrannosauroidea standen. Diese Gruppe soll sich vor rund 165 Millionen Jahren herausgebildet haben. Zu ihren ältesten bekannten Mitgliedern zählt *Stokesosaurus clevelandi*, ein zweifüßer Fleischfresser von zwei bis drei Meter Länge, der vor gut 150 Millionen Jahre lebte. Nur wenig ist über ihn bekannt, aber andere Tyrannosauroidea legen nahe, dass er einen länglichen, flachen Schädel und schmale Arme hatte. Die frühen Tyranno-

sauroidea waren kleine, bewegliche Jäger, aber auf Grund ihrer geringen Größe rangierten sie weit unten in der Hackordnung des Jura. »Das waren eher Schoßhündchen als Top-prädatoren«, sagt Brusatte.

Den Paläontologen stellt sich daher die Frage, wie *T. rex* aus so bescheidenen Anfängen an die Spitze der Nahrungskette in Nordamerika und Asien gelangen konnte. Doch leider fehlen ihnen dazu die entscheidenden Stellen der Geschichte. Es gibt nur vergleichsweise wenig fossilienreiche Gesteinsformationen aus der Zeit zwischen 145 Millionen und 90 Millionen Jahre vor heute, also aus der Phase, als sich der Aufstieg der Tyrannosaurier aller Wahrscheinlichkeit nach abspielte. Welche Lebensgemeinschaften zu dieser Zeit existierten, ist den Forschern daher nach wie vor ein Rätsel.

Möglicherweise waren es Veränderungen des Meeresspiegels oder des Klimas, die den Tyrannosauriern zu ihrer späteren Dominanz verhalfen, sagt Brusatte, räumt aber ein, dass solche Überlegungen größtenteils Spekulation sind. »Wir brauchen einfach mehr Fossilien aus dieser Fundlücke in der mittleren Kreidezeit, wenn wir hinter dieses Mysterium schauen wollen.« In den letzten Jahren vermeldeten Forscher

erste Fortschritte: Einige Formationen in China enthalten Spuren aus dieser kritischen Zeitspanne. So beschrieb im Jahr 2009 ein Team um [Peter Makovicky vom Field Museum](#) in Chicago einen lang-schnäuzigen Tyrannosaurier namens *Xiaongguanlong baimoensis*, von dem ein zwischen 100 Millionen bis 125 Millionen Jahre altes Exemplar im Westen Chinas gefunden worden war [2]. Dieses Tier erreichte bereits eine Körperlänge von vier Metern – deutlich mehr also als seine jurassischen Vorgänger. Und im Jahr 2012 beschrieben Xu Xing vom Institut für Wirbeltierpaläontologie und Paläoanthropologie in Peking und Kollegen einen neun Meter langen Tyrannosaurus, den sie auf den Namen *Yutyrannus huali* tauften [3]. Er stammte aus einer ähnlichen Epoche.

Beide könnten sie genau in jener entscheidenden Phase gelebt haben, als sich Tyrannosaurier und Allosaurier ein Habitat teilten, aus dem sich Letztere dann langsam verabschiedeten. Bei Untersuchungen von Felsgestein im Norden Chinas sind Brusatte und Mitarbeiter auf den fünf bis sechs Meter langen Allosaurier *Shaochilong maortuensis* gestoßen, der vor zirka 90 Millionen Jahren lebte [4]. »Es sieht also

so aus, als wären sowohl Allosauroiden und Tyrannosauroiden damals in Asien vorgekommen und als hätten sie beide in etwa die gleiche Größe gehabt«, sagt er. Doch es braucht noch einige Fossilfunde mehr, um der Geschichte vom Aufstieg der Tyrannosaurier mehr Substanz zu verleihen.

### **Waren »kleine« Arten nur Jungtiere der »großen«?**

Genau wie die evolutionären Anfänge von *T. rex* bleiben auch seine Jugendjahre bislang im Dunkeln. In diesem Fall kreist die Debatte um ein Tier namens *Nanotyrannus lancensis* – einen Dinosaurier, den man in denselben Ablagerungen gefunden hat wie *T. rex* und der eine Körperlänge von rund sechs Metern erreichte. Als man ein solches Fossil zum ersten Mal ausgrub, waren Forscher überzeugt, es mit einer eigenen Art zu tun zu haben. Mittlerweile mehren sich die Stimmen derer, die im *Nanotyrannus* stattdessen einen jungen *T. rex* erkennen glauben.

Nach Meinung von [Thomas Holtz Jr.](#), einem Paläontologen von der University of Maryland in College Park, sehen *Nanotyrannus*-Exemplare einem *T. rex* erstaunlich ähnlich. Überdies entsprächen die Unter-

---

»Das waren eher Schoßhündchen als Topprädatoren«

[Stephen Brusatte]

---

schiede zwischen ihnen den Unterschieden zwischen Jungtier und ausgewachsenem Tier bei anderen Tyrannosaurierarten. Und schließlich zeige auch die Tatsache, dass sämtliche bislang gefundenen *Nanotyrannus*-Exemplare als Heranwachsende klassifiziert wurden, während die *T.-rex*-Funde ausnahmslos von (fast-) Ausgewachsenen stammen, dass man es letztendlich mit einer und derselben Art zu tun habe. Der Paläobiologe [Lawrence Witmer von der Ohio University](#) in Athens ist sich da allerdings nicht so sicher. Im Jahr 2010 studierte er gemeinsam mit seinem Kollegen Ryan Ridgeley CT-Aufnahmen eines *Nanotyrannus*-Schädels aus dem Cleveland Museum of Natural History in Ohio. Es gilt als »Holotypus« dieser Art, an ihm wurden die definierenden Merkmale festgelegt. »Wir haben das Projekt unter der Annahme begonnen, dass der Cleveland-Schädel in Wirklichkeit einem juvenilen *T. rex* gehörte«, sagt Witmer. Dann aber stießen sie auf ungewöhnliche Einbuchtungen im Hirnschädel und den Schädelhöhlen, in denen zu Lebzeiten des Tiers Luftsäcke in der Schädelrückwand saßen [5]. Auf Grund dieser Merkmale weisen die Schädel von *T. rex* und *Nanotyrannus* deutliche Unterschiede auf. Das könne durch-

aus dafür sprechen, dass es sich um verschiedene Arten handelte, meint Witmer. Lautstärkstes Mitglied im Team *Nanotyrannus* ist Peter Larson, seines Zeichens Präsident des Black Hills Institute of Geological Research. Die Firma aus Hill City in South Dakota sammelt, präpariert und fertigt Abgüsse von Fossilien an. Larson verweist auf die Zähne von *Nanotyrannus*, die seiner Meinung nach viel zu dicht stünden und zu fein gezackt seien, um von einem jungen *T. rex* zu stammen. Auch in der Anatomie der Schultergelenkpfanne und einiger Schädelöffnungen gäbe es Unterschiede.

Ein Teil dieser Überlegungen gründet sich jedoch auf Fossilien, die noch nie in offiziellen Fachpublikationen beschrieben wurden – und es womöglich auch so bald nicht werden. Ein Skelett, das als *Nanotyrannus* eingeordnet wurde und entscheidende Hinweise liefern könnte, wird im kommenden Monat in New York versteigert. Der Hype um dieses Fossil und die Bedeutung, die es für die *Nanotyrannus*-Debatte hat, ließ zuletzt den Preis in die Höhe schnellen: Laut Schätzungen könnte es für bis zu neun Millionen US-Dollar unter den Hammer kommen. Die meisten Paläontologen weigern sich jedoch solche Funde zu

untersuchen, solange sie nicht in ein respektables Museum gelangt sind. Sollte ein privater Käufer den Zuschlag erhalten, könnte die Forschung dieser Chance verlustig gehen. (Anm. d. Red.: Es fand sich kein Käufer.)

»Die Lösung liegt – wie so oft – darin, auf mehr Fossilien zu hoffen«, sagt ein ernüchterter Witmer. Damit *Nanotyrannus* seinen Artstatus behalten kann, müsste mindestens einer von zwei Fällen eintreten: Man findet einen jungen Tyrannosaurus, der den Alttieren merklich ähnlicher sieht als jeder *Nanotyrannus*, oder man findet einen ausgewachsenen *Nanotyrannus*, der sich von einem *T. rex* unterscheidet. Doch dank des Promistatus von *T. rex* genügt am Ende vielleicht nicht einmal das, um alte Ansichten über Bord zu werfen. »Ich weiß nicht, wie viel Daten es braucht, damit wir uns einig werden«, sagt Witmer.

### Wie steht es um das Federkleid?

Seit Generationen wird *T. rex* mit einer schuppigen Haut dargestellt – ganz ähnlich wie die heutigen Reptilien, mit denen er jedoch nur entfernt verwandt ist. In den letzten beiden Jahrzehnten haben Forscher in China jedoch Exemplare vieler Dinosaurier-

gruppen gefunden, deren Haut mit Federn oder einem Flaum überzogen war, darunter auch einige enge Verwandte von *T. rex*.

Im Jahr 2004 beschrieb der Pekinger Forscher Xu die Art *Dilong paradoxus*, einen kleinen, frühen Tyrannosaurus [6]. Das Fossil dieses Tiers zeigte faserartige Abdrücke entlang seines Schwanzes, am Kiefer und an anderen Körperteilen, woraus die Wissenschaftler den Schluss zogen, dass es einst ebenfalls mit »Dinofuzz« bedeckt war, einem Überzug aus fedrigem Flaum. Auch der riesige *Y. huali* aus China hatte ein Gefieder. Allerdings entsprachen die Federn dieser Tyrannosaurier nicht denen heutiger Vögel, es handelte sich um recht einfache Vorläufer. Deswegen geht Xu davon aus, dass die frühen gefiederten Dinosaurier mit ihrem Federkleid visuelle Signale aussendeten, während sich Nachfahren, die vollständig in einen Flaum gehüllt waren, mit den Federn womöglich auch warm hielten. Und weil die Tyrannosaurier im Stammbaum so eng beieinander standen, geht Xu davon aus, dass »auch *T. rex* in irgendeiner Form mit Protofedern bedeckt war.« Ganz ähnlich äußern sich andere Forscher: Es werde zunehmend schwer, die These von einem flaumlosen

Tyrannosaurus zu vertreten »und sich dabei das Grinsen zu verkneifen«, sagt beispielsweise auch Holtz. Was nicht heißt, das *T. rex* wie ein kreidezeitliches Hühnchen aussah. Vermutlich hatte er ein unspektakuläres Kleid haarartiger Federn wie viele andere gefiederte Dinosaurier auch, meint Brusatte.

Bislang allerdings wurden noch keine *T. rex*-Fossilien mit Hautabdrücken gefunden, weshalb sich nicht mit Sicherheit sagen lässt, wie sie beschaffen war. Einige Wissenschaftler sind aus diesem Grund nicht bereit, die konventionelle Vorstellung eines schuppenbedeckten *T. rex* aufzugeben. [Thomas Carr, Paläontologe vom Carthage College](#) in Kenosha, US-Bundesstaat Wisconsin, weist zum Beispiel darauf hin, dass noch unveröffentlichte Fossilfunde mit Hautabdrücken von engen Verwandten des *T. rex* auf ein schuppiges Äußeres deuteten. So hätten zwar einige frühe Tyrannosauroidea tatsächlich Federn gehabt, die Untergruppe der Tyrannosauridae allerdings – zu der auch *T. rex* zählt – scheine jedoch eine evolutionäre Kehrtwendung vollzogen und wieder Schuppen ausgebildet zu haben. »Es gibt keinen empirischen Beleg dafür, dass Tyrannosau-

---

»Die Lösung liegt darin, auf mehr Fossilien zu hoffen«

[Lawrence Witmer]

---

ridae Federn hatten«, erklärt Carr, »und so lange kein Tyrannosauride mit Federn gefunden wurde, täten die Illustratoren sehr gut daran, das auch dementsprechend darzustellen.« Die Debatte geht über die reine Rekonstruktion hinaus, denn ob *T. rex* Federn hatte oder nicht, wirkt sich auch auf die mutmaßliche Lebensweise des Dinosauriers aus – die offenen Punkte reichen von seiner Partnerwerbung bis hin zur Frage, wie er seine Körpertemperatur regulierte.

### Warum waren ihre Arme so kurz?

Eines der größten Mysterien über *T. rex* fuchst die Paläontologen nun seit gut einem Jahrhundert: Welche Verwendung könnte der Riese für zwei derart winzige Arme gehabt haben, mit denen er sich nicht einmal ans Maul fassen konnte? Anfangs hatte man noch spekuliert, die zweifingrigen Ärmchen könnten ihm dabei geholfen haben, sich bei der Paarung an den Partner zu klammern oder aus dem Liegen aufzustehen. Doch das gilt mittlerweile als unwahrscheinlich. Später hieß es, die Arme seien ein verkümmertes evolutionäres Überbleibsel – zur Freude von Comiczeichnern, die nun kaum eine Gelegenheit auslassen, sich über seine Stummelärmchen lustig zu machen. Unfair fin-

det das die Paläobiologin Sara Burch, ebenfalls von der Ohio University. Ihre Studien an der Muskulatur von Krokodilen und den einzigen noch lebenden Angehörigen der Dinosaurierlinie, den Vögeln, zeigen, dass verkümmerte Arme nicht mehr die typischen Muskelmarken zeigen dürften. Die Stellen also, an denen einst die Muskeln ansetzten. Die Fossilien wiesen aber immer noch »Anzeichen einer nennenswerten Muskulatur« auf, sagt sie.

Doch die Tatsache, dass *T. rex* seine Arme benutzte, verrät noch lange nicht, wofür. Carr glaubt, sie seien Teil seines »Arsenals« gewesen. »Die Tyrannosauridae nutzten ihre Arme wie alle Theropoden: um Objekte zu greifen und zu stabilisieren« – in der Regel dürfe es sich dabei um Beutestücke gehandelt haben. Holtz tippt auf eine weniger fest umrissene Rolle der Vordergliedmaßen. Abschätzungen der Muskelstärke hätten gezeigt, dass die Arme eher schwach waren. Und weil viele Tyrannosaurier verheilte Brüche im Bereich der oberen Extremitäten aufwiesen, »dürfte der Einsatz der Arme im Alltag keine entscheidende Rolle gespielt haben«. Denkbar sei, dass sie vorrangig der Zurschaustellung dienten, etwa bei der Partnersuche oder bei Revierkämp-

fen. Diese Interpretation wäre noch plausibler, sollten eines Tages Federn an den Armen gefunden werden.

Die Paläontologen eint der Wunsch, noch tiefer in die Geheimnisse dieses Superstars der Tierwelt einzudringen – dem vielleicht charismatischsten »Botschafter der Vergangenheit« in der Wissenschaft. »Viele Fragen rund um *T. rex* sind immer noch offen, besonders was seine Lebensweise und seine Körperfunktionen angeht«, sagt Holtz. Doch das muss nicht so bleiben: »Mit neuen Untersuchungsverfahren werden wir uns neue Zugänge zu ihrer Biologie erschließen.« Und schon jetzt ist sicher, dass auf dem Weg dahin ihr Bild vom »König der Tyrannen« noch einige Evolutionsstufen durchlaufen wird. <

Dieser Artikel erschien unter dem Titel »The Truth about *T. rex*« in Nature 505, S. 424-426, 2013.

(Spektrum.de, 25. Oktober 2013)

- [1] Proc. Natl. Acad. Sci. USA 10.1073/pnas.1216534110, 2013
- [2] Proc. R. Soc. B 277, S. 183π190, 2010
- [3] Nature 484, S. 92π95, 2012
- [4] Zootaxa 2334, S. 1π46, 2010
- [5] Kirtlandia 57, S. 61π81, 2010
- [6] Nature 431, S. 680π684, 2004

# Die *T.-rex*-Familie

Einige Fossilienfunde haben den Stammbaum der Tyrannosaurus-Familie in den letzten Jahren rasch anwachsen lassen. Offensichtlich waren die Tyrannosauriden eine erstaunlich bunt gemischte Sippe. Trotzdem brauchten sie lange, um die riesigen Proportionen zu entwickeln, die wir heute mit *Tyrannosaurus rex* in Verbindung bringen.

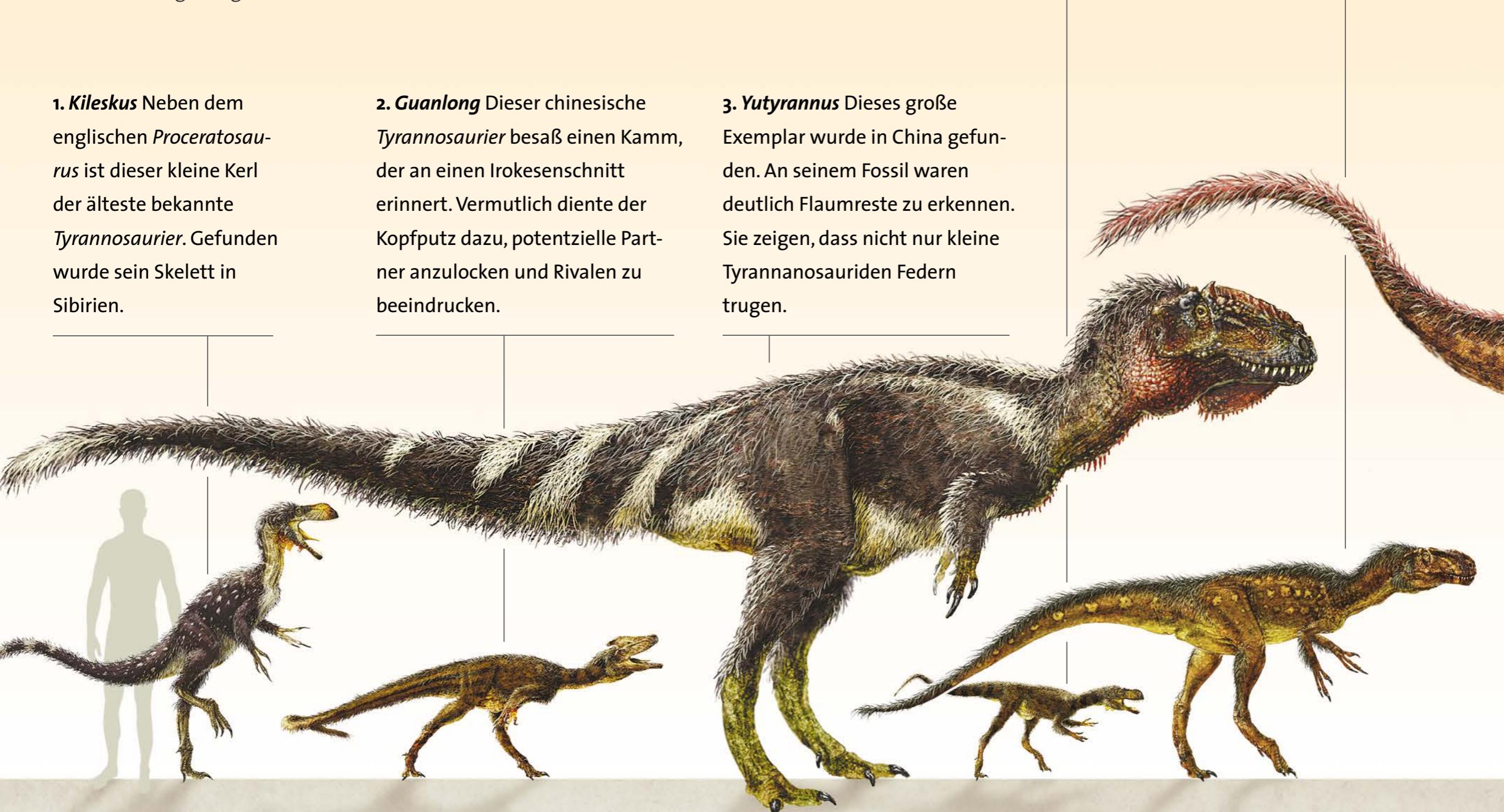
**1. *Kileskus*** Neben dem englischen *Proceratosaurus* ist dieser kleine Kerl der älteste bekannte *Tyrannosaurier*. Gefunden wurde sein Skelett in Sibirien.

**2. *Guanlong*** Dieser chinesische Tyrannosaurier besaß einen Kamm, der an einen Irokesenschnitt erinnert. Vermutlich diente der Kopfputz dazu, potentielle Partner anzulocken und Rivalen zu beeindrucken.

**3. *Yutyrannus*** Dieses große Exemplar wurde in China gefunden. An seinem Fossil waren deutlich Flaumreste zu erkennen. Sie zeigen, dass nicht nur kleine Tyrannosauriden Federn trugen.

4. **Dilong** Der Körper des kleinsten *Tyrannosaurus* war eindeutig auf Schnelligkeit ausgelegt.

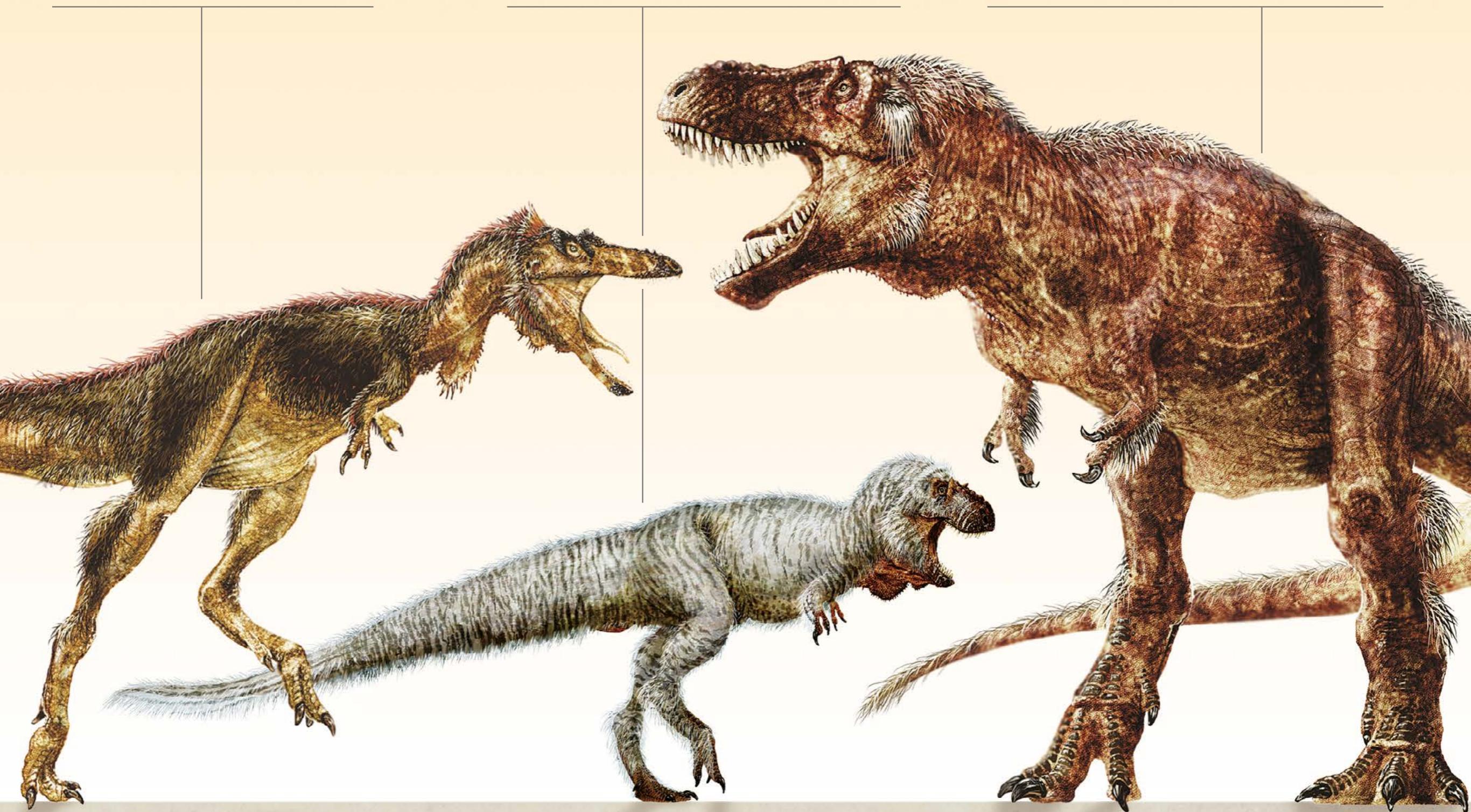
**5. *Eotyrannus*** Die Fossilien dieses Langfingers stammen von der Isle of Wight an der Südküste Englands.



**6. *Qianzhousaurus*** Dank seiner ungewöhnlich langen Schnauze erhielt dieser *Tyrannosaurier* den Spitznamen »Pinocchio rex«.

**7. *Nanuqsaurus*** Vermutlich entwickelte dieser *Tyrannosaurier* seine kleinere Körperstatur, um sich an die wenigen Ressourcen in seinem Lebensraum, der Arktis, anzupassen.

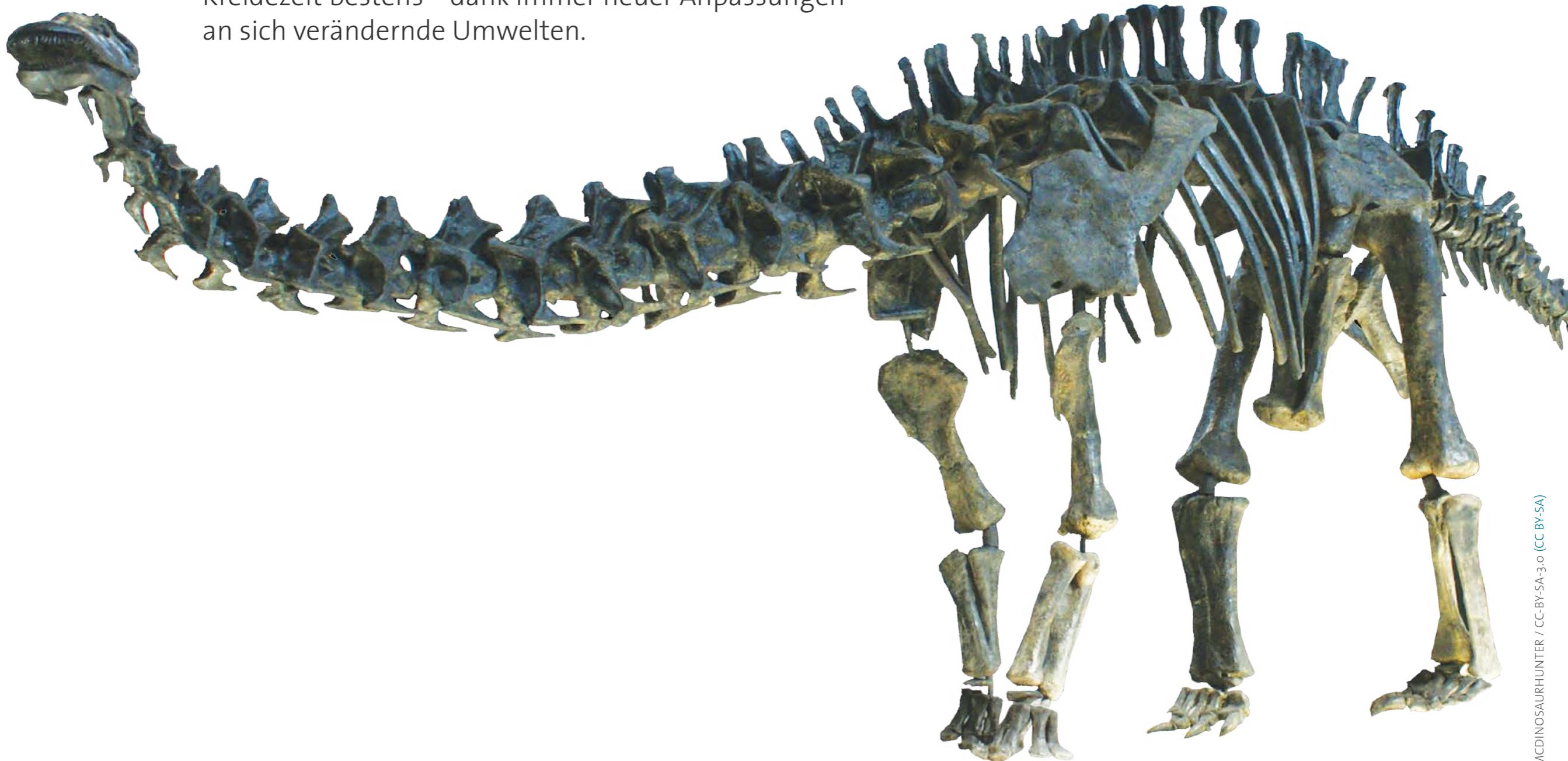
**8. *Tyrannosaurus rex*** Der Tyrannen-König war einer der größten Räuber die je das Land bevölkerten. Ihm ebenbürtig waren nur wenige, entfernt verwandte Dinosaurier.



# Verkannte Giganten

von Kristina A. Curry Rogers und Michael D. D'Emic

Sie waren die größten und schwersten Landtiere aller Zeiten – und entgegen einer weit verbreiteten Ansicht evolutionär sehr wendig. Die Sauropoden behaupteten sich bis zum Untergang der Dinosaurier am Ende der Kreidezeit bestens – dank immer neuer Anpassungen an sich verändernde Umwelten.



**A**n den langhalsigen Giganten mit dem viel zu kleinen Kopf rätseln Naturforscher herum, seit sie deren überdimensionale Knochenfossilien zu Gesicht bekommen. Spätestens in den 1820er und 1830er Jahren tauchten in England die ersten solchen Zeugnisse auf. Als der britische Zoologe und Paläontologe Richard Owen (1804–1892) den Dinosauriern Anfang der 1840er Jahre ihren Namen gab und sie als eine eigene Gruppe abgrenzte, schloss er diese Riesentiere nicht mit ein. Denn er hielt sie für im Meer lebende Krokodile und hatte für sie die Gattungsbezeichnung *Cetiosaurus* geprägt, was so viel heißt wie »Meeresmonster-echse« oder »Walechse«. Letztlich sollten noch fast 30 Jahre verstreichen, bis der britische Biologe Thomas H. Huxley (1825–1895) die Kolosse den Dinosauriern zuordnete. Damals wurde in Südostengland endlich ein einigermaßen brauchbares *Cetiosaurus*-Skelett entdeckt. Der Oxford Geologe John Phillips (1800–1874) erkannte, dass dieses Ungetüm auf jeden Fall zumindest teilweise auf dem Land unterwegs gewesen

### Auf einen Blick

## Wahre Herrscher der Saurierzeit

- 1 Noch lange nach der Entdeckung ihrer Fossilien im frühen 19. Jahrhundert galten die Sauropoden oder Elefantenfußsaurier als sehr altertümliche, schlecht angepasste Dinosaurier, die sich weder für das Leben im Wasser noch auf dem Land wirklich eigneten und deswegen angeblich bald wieder ausstarben.
- 2 Erst Funde der letzten Jahrzehnte zeigten, dass die riesigen Pflanzenfresser fast 150 Millionen Jahre lang sehr erfolgreich und anpassungsfähig waren. Noch bis zum Ende der Dinosaurier vor rund 65 Millionen Jahren brachten sie zahlreiche neue Arten hervor, die sich auch mit der damals aufkommenden Vielfalt der Blütenpflanzen bestens arrangierten.
- 3 Ihren Erfolg verdankten sie einer Kombination von Reptilien- und Säugetiereigenschaften sowie Anlehnungen an Merkmale von Vögeln. Zudem verstanden sie es, sich wandelnden Umweltbedingungen rasch zu begegnen.

sein musste und beileibe nicht zu den Krokodilen gehörte. Das Wort *Sauropode* – Echsenfuß – schließlich prägte 1878 der amerikanische Paläontologe Othniel Charles Marsh (1831–1899).

Aber noch viele Jahrzehnte lang vermochten sich Biologen nicht zu erklären,

wie derart massive Tiere ihr Gewicht tragen konnten. Und weil die Sauropoden zu keinem Lebensraum so recht zu passen schienen – weder zum Meer noch zum Land –, bekamen sie den Ruf schlecht angepasster, weil viel zu groß geratener, Pflanzen fressender Ungetüme: zu schwerfällig,

um sich längere Zeit in der Erdgeschichte zu behaupten, und darum von vornherein einem baldigen Untergang geweiht. Zumindest, glaubten Paläontologen, handelte es sich um archaische Dinosaurier, die bald von moderneren Vertretern der Gruppe überflügelt und an den Rand gedrängt worden waren. Noch 1991 hieß es, an der höchsten Blüte dieser Reptilien hätten sie keinen Anteil gehabt und wären nur so lange erfolgreich gewesen, bis spezialisiertere, mit größeren Gehirnen ausgestattete Pflanzenfresser erschienen. Lediglich in der Periode des Juras, der Phase vor etwa 145 bis 200 Millionen Jahren, konnten die Sauropoden demnach bestehen. Doch in der Kreidezeit – also vor 65,5 bis 145 Millionen Jahren, mit der die Dinosaurierzeit zu Ende ging – gewannen angeblich Gruppen wie die Hadrosaurier (Entenschnabeldinosaurier) und die Ceratopsier (Horndinosaurier) die Oberhand. Damals hielten sich, wie es schien, nur auf der Südhalbkugel letzte Sauropoden.

Heute wissen Paläontologen: Dieses Szenario war grundfalsch. In den letzten Jahrzehnten haben sie auf der ganzen Welt Sauropodenfossilien entdeckt, die eine völlig andere Geschichte erzählen. Allein seit

Beginn des 21. Jahrhunderts kamen über 60 neue Arten zu Tage. Anscheinend konnten sich diese gigantischen Tiere über weite Abschnitte des Erdmittelalters, somit rund 150 Millionen Jahre lang, bestens durchsetzen. Viele von ihnen waren wahre Kolosse mit einer Körpermasse an den Grenzen des biologisch Machbaren.

Die Forscher sind nun dabei, die offenen Fragen über die phänomenalen Riesen zu klären. Dank spektakulärer Funde und neuer Analysemöglichkeiten gewannen sie bereits Einblicke in Wachstum, Fortpflanzung, Ernährung und das Anpassungsvermögen gegenüber dramatischen Umweltveränderungen – was die alten Vorstellungen über die Elefantenfußdinosaurier in fast jeder Hinsicht auf den Kopf stellt.

### Unerforschte Fossilien in den Lagern von Museen

Wie so viele sind auch wir beide einem solchen Monstrum das erste Mal als Schulkinder im Museum begegnet. Ehrfürchtig staunend haben wir zu dem kleinen Kopf am schier endlos langen Hals hochgeschaut, der alles im Saal weit überragte, sogar die anderen ausgestellten Dinosaurier. Dass solch ein Riesentier einmal auf der

Erde gelebt hatte, konnten wir uns kaum vorstellen. Die ersten aufgerichteten Skelette von »klassischen« Sauropoden – alleamt aus dem Jura – tauchten in Museen Ende des 19. Jahrhunderts auf, und um die Jahrhundertwende strebte jedes größere Naturkundemuseum den Besitz eines *Diplodocus*, *Camarasaurus*, *Brachiosaurus* oder *Brontosaurus* an. Das größte aufgerichtete Skelett steht im Berliner Museum für Naturkunde. In jenen Jahren landeten in diesen Forschungsstätten dermaßen viele Sauropodenfossilien, dass mancherorts noch heute eingegipste Stücke in den Katakomben oder Regalen der Untersuchung harren.

Jene »klassischen« Sauropoden repräsentieren allerdings, wie wir erst jetzt erkennen, nur einen kleinen Ausschnitt der gesamten, vielfältigen Gruppe. Die ersten riesenhaften Arten traten vor rund 210 Millionen Jahren auf, in der späten oder Obertrias. Damals ereignete sich ein Massensterben, dem etliche Reptiliengruppen zum Opfer fielen. Deren Verschwinden öffnete den Dinosauriern den Weg zu ihrem Erfolg. Zwar hatte es sie vorher schon gegeben: Ihre frühesten Fossilien kennen Paläontologen aus rund 230 Millionen Jahre al-

ten Ablagerungen der Südhalbkugel. Aber jene Frühformen bewegten sich auf den Hinterbeinen und waren noch ziemlich klein. Aus ihnen gingen dann später so bekannte Gruppen hervor wie die Fleischfressenden Theropoden – zu denen *Tyrannosaurus rex* gehört – und eben auch die Elefantenfußdinosaurier.

Als bisher älteste Zeugnisse von echten Sauropoden gelten 225 Millionen Jahre alte Fußspuren in Argentinien und Nordamerika. Deren Verursacher liefen offenbar schon auf vier stämmigen »Elefanten«-Beinen. Nur wenig jünger sind die frühesten bekannten fossilen Skeletteile, die bereits den typischen Körperbau zeigen: der lange, sich verjüngende Hals und Schwanz, der auffallend kleine Schädel und die säulenförmigen Beine, die ein gewaltiges Gewicht zu tragen vermochten. Zu diesen Funden zählen *Isanosaurus* aus Thailand, *Gongxianosaurus* aus China oder *Vulcanodon* aus Simbabwe. Viele Sauropoden besaßen über 100 Wirbel, und schon damals waren sie quasi wandelnde Wirbelsäulen.

Auch wenn dieser Grundbauplan zeit ihres Daseins erhalten blieb, wurde er später in vielem noch ausgefeilter. Zudem förderte das Auseinanderbrechen der Erdplat-

ten die Aufspaltung der Sauropoden in zahlreiche Linien und immer neue Gattungen und Arten. Bis zu ihrem Ende erlebte die Gruppe wiederholt Aufschwünge und Einbrüche. Es gab nicht nur die eine Blütezeit im Jura, sondern auch später noch weitere mit ebenfalls sehr großen Arten. Beispielsweise traten in der Kreidezeit so bedeutende Gruppen auf wie die stämmigen, teils über 30 Meter messenden Titanosaurier oder die etwas kleineren, 20 Meter langen Rebbachisauriden mit ihrer schaufelförmigen Schnauze. Die neueren Entdeckungen beweisen den Erfolg der Sauropoden in vieler Hinsicht. Sie waren nicht nur sehr weit verbreitet und vielfältig, manche Evolutionslinien existierten auch auffallend lange. Wie mag ihnen das gelungen sein? Wie konnten solche Kolosse überhaupt leben und in der Welt zureckkommen? Anscheinend trafen bei ihnen in einzigartiger Weise Reptilieneigenschaften mit Merkmalen zusammen, die eigentlich Säugetieren zugeschrieben werden. Owen irrte zwar, als er diese Kreaturen den Echsen zugesellte, doch in gewisser Weise trifft seine Bezeichnung »Walechsen« den Kern. Die Sauropoden legten Eier, wie die meisten Reptilien und alle Dinosaurier. 1997

---

»Es gab nicht nur die eine Blütezeit im Jura, sondern später noch weitere«

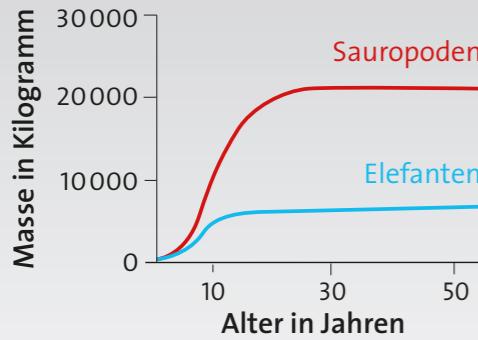
---

entdeckten der Paläontologe Luis Chiappe vom Natural History Museum of Los Angeles County und sein Team bei Auca Mahuevo in Argentinien in fast 80 Millionen Jahre alten Sedimenten einen Eiablageplatz von Titanosauriern mit tausenden kugelförmigen versteinerten Eiern. In manchen davon fanden sich Embryonen, die ersten von Sauropoden überhaupt. Teilweise sind sogar Haut und Eihüllen fossil erhalten.

Das war der erste konkrete Hinweis auf die Fortpflanzungsgewohnheiten dieser

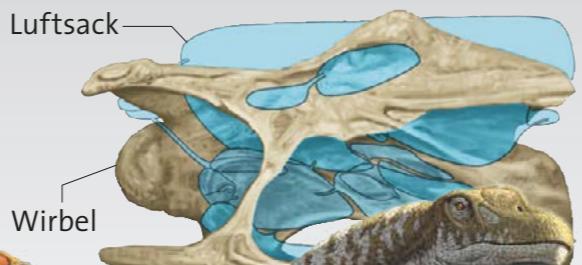
## RASANTES WACHSTUM

Sauropoden wuchsen eher säugetierähnlich, viel schneller als Reptilien sonst. Schon nach wenigen Jahrzehnten erreichten sie ihre volle Größe.



## EFFEKTIVE ATMUNG

Hohle Wirbel machten die Tiere leichter. Womöglich bildeten die Lungen in sie hinein Luftsäcke ähnlich wie bei Vögeln – was die Sauerstoffversorgung der Giganten verbessert haben könnte.



## KALZIUMRESERVEN

Manche Sauropoden trugen in der Haut dicke Knochenplatten, die in Notzeiten die Mineralversorgung sichergestellt haben mögen. Denn bei älteren Tieren sind diese Knochen hohl.

Hautknochen eines Titanosauriers im Anschnitt



## ERFOLGREICHE SERIE

Die Sauropoden führten nach dem Ende des Juras keineswegs ein Schattendasein wie lange angenommen. Vielmehr herrschten sie nochmals 80 Millionen Jahre – bis zum Ende der Kreide, als die Dinosaurier untergingen. Neue Sauropodenarten konkurrierten sehr erfolgreich mit »moderner« Pflanzenfressern wie den Horn- und Entenschnabelsauriern.



ILLUSTRATIONEN: RAÜL MARTÍN; WIRBELDETAIL (OBEN MITTE) NACH: DANIELA SCHWARZWINGS; MUSEUM FÜR NATURKUNDE, BERLIN; GRAFIKEN IN CHRISTIANSEN: ZEITSKALEN; WACHSTUMSKURVEN (OBEN LINKS) NACH: KRISTINA A. CURRY & ROBERT D. MICHAEL D. DEMIC

• *Antetonitrus*

• *Camarasaurus*

• *Giraffatitan*

• *Nigersaurus*

• *Argentinosaurus*

• *Rapetosaurus*

Tiere. Die Eier waren nur 13 bis 15 Zentimeter groß und wurden zu 20 bis 40 Stück in gegrabene flache Mulden gelegt. Die große Anzahl an Nestern am selben Ort lässt vermuten, dass Titanosaurier große Gruppen bildeten. Mindestens sechsmal scheinen sie besagtes Gebiet zur Eiablage gewählt zu haben. Überzeugende Hinweise auf eine Brutpflege gibt es allerdings nicht. Eher spricht die Dichte der Gelege dafür, dass sie Eier und Nachwuchs sich selbst überließen. Während große Säuger wie Elefanten oder Wale auf ein einzelnes Junges setzen, das sie intensiv umsorgen, folgten die Sauropoden offenbar dem typischen Reptilienmuster, viel Nachwuchs zu erzeugen, sich dann aber nicht weiter darum zu scheren. Gar nicht reptilienmäßig war nach heutiger Kenntnis hingegen das Wachstumschema der Sauropoden. Kein anderes Tier musste oder muss von der Geburt bis zum Erwachsenensein jemals so viel wachsen. Die Jungen maßen anfangs keinen halben Meter und wogen zunächst unter zehn Kilogramm, während die Erwachsenen der größten Arten 30 Meter Länge hatten und 25 bis über 40 Tonnen gewogen haben mögen. Dagegen wiegen neugeborene Kälber von Afrikanischen Elefanten, deren Bullen

sechs Tonnen und mehr auf die Waage bringen, nicht selten schon 120 Kilogramm. Die meisten frühen Dinosaurierforscher übertrugen einfach die Wachstumsraten anderer Reptilien auf die Sauropoden. Schon die kleineren ihrer Arten hätten dann etwa 60 Jahre gebraucht, bis ihre Größenzunahme sich abflachte und sie endlich fortpflanzungsfähig wurden. Erst mit über 100 Jahren hätten sie volle Erwachsenengröße erreicht. Aber wer sich mit dem Wachsen so viel Zeit lässt, bleibt auch für Fressfeinde über lange Jahre hin angreifbar.

### **Wachstumsspuren in den Knochen**

Das Bild begann sich in den 1960er Jahren entschieden zu wandeln. Damals machte sich der französische Paläontologe Armand de Ricqlès vom Collège de France in Paris daran, die innere Mikrostruktur fossiler Knochen unter anderem von Dinosauriern zu untersuchen. Er wollte damit Hinweise auf Wachstumsmuster und somit die Lebensgeschichte der Tiere finden. Denn solche Fossilien lassen oft noch die einstige Verteilung der Knochenmineralien und Hohlräume für Blutgefäße erkennen sowie Spuren, die ein Knochenumbau beim Wachstum oder mit der Geschlechtsreife

hinterließ. Wie es demnach aussieht, wuchsen die Sauropoden in einem geradezu rasanten Tempo. Zumindest beeilten sie sich wesentlich mehr als heutige Reptilien. Sie kamen darin wohl eher modernen großen Säugern gleich, von denen viele kein Jahrzehnt bis zur Geschlechtsreife benötigen.

Ein so schnelles Wachstum muss mit einem besonders hohen Nahrungsbedarf einhergegangen sein. Wie es ihnen gelang, ihren enormen Appetit zu stillen, gehört allerdings noch zu den offenen Fragen. Sie fraßen Pflanzen, und die verschiedenen Arten taten das jeweils auf ihre eigene Weise. Manche bissen in derbe, harte Vegetation, andere wählten zartes, weicheres Futter, das sie vermutlich abbissen oder abstreiften. Solche Unterschiede erschlossen Forscher schon früher aus der Form der Zähne und winzigsten Abriebsspuren daran, Rekonstruktionen der Kiefermuskulatur und Analysen der Biomechanik beim Öffnen und Schließen der Kiefer.

Die Sauropoden kauten ihre Nahrung kaum – darin sind sich die Forscher ziemlich einig. Somit wurde das Futter wohl erst im Magen-Darm-Trakt gründlich zerkleinert. Eine Zeit lang dominierte die Ansicht, dass die Tiere Magensteine – Gastrolithen –

besaßen, die die Nahrung zermahlten, ähnlich wie bei Vögeln. Im Westen Nordamerikas finden sich oftmals glatt polierte Steine in Formationen mit ihren Fossilien. Dieser These widersprachen jedoch vor einigen Jahren Oliver Wings, heute am Museum für Naturkunde Berlin, und Martin Sander von der Universität Bonn. Die beiden Paläontologen hatten untersucht, wie sich Steine in Vogelmägen verändern und abbauen. Sie stellten fest, dass die vermeintlichen Sauropodengastrolithen nicht die charakteristische rauе, unregelmäßige Oberfläche der Vogelmahlsteine aufweisen. Gegen die These spricht außerdem die Seltenheit solcher glatten Steine im Bauchraum der Skelette und die oft fragwürdige Zuordnung. Wings und Sander schlossen daraus, Sauropoden hätten die Nahrung mit Hilfe bakterieller Gärung aufgeschlossen, so wie heutzutage etwa Nashörner. Sie besaßen ja einen sehr langen Verdauungstrakt.

Und welche Bedeutung hatte ihr Markenzeichen, der lang gestreckte Hals, beim Fressen? Früher hieß es, damit hätten sie hoch in die Baumwipfel gereicht und sich so Ressourcen erschlossen, die für kleinere Tiere nicht erreichbar waren. Verschiedene

Forschungen zeigen nun, dass diese Vorstellung zu pauschal ist. John Whitlock von der University of British Columbia in Vancouver hat Ernährungsstrategien von Diplodociden rekonstruiert. Diese lebten vom Spätjura bis zur Spätkreide, und zu ihnen zählen Giganten wie *Apatosaurus* und *Diplodocus*. Für seine Untersuchungen verglich er die Schnauzenformen und Abriebspuren an den Zähnen. Hiernach waren manche Arten Generalisten, die alle möglichen Sorten von Futter fraßen. Andere hatten sich auf bestimmte Pflanzen spezialisiert. Manche ästen niedrige Gewächse, andere bedienten sich an Bäumen. Den Studien anderer Forscher zufolge variierte bei den Sauropoden die Beweglichkeit des Halses. Nur einige von ihnen konnten hoch in die Bäume gelangen, andere dafür den Hals besonders gut weit nach unten biegen. All das dürfte erklären helfen, wieso sich die verschiedenen Arten in den gleichen Ökosystemen offenbar wenig Konkurrenz machten.

Gleichzeitig mit dem Aufstieg der Blütenpflanzen in der Kreidezeit entstanden bei den Sauropoden zahlreiche Anpassungen an diese neuartige Nahrung. Das passt nicht zu der alten Ansicht, dass sie in dieser

Phase nur noch ein Schattendasein führten. Ihnen seien, glaubte man, nun andere Pflanzenfresser überlegen gewesen, die mit den frisch aufgetauchten Gewächsen angeblich viel besser zuretkamen, etwa Entenschnabel- und Horndinosaurier. Diese waren mit immerfort nachwachsenden Zahnbatterien ausgestattet, die wie ein einziger mächtiger Zahn funktionierten. Was konnten ungeschlachte Viecher mit Riesenleibern, kleinen Köpfen und schwachen Gebissen dem schon entgegensezten?

Nach neuerer Erkenntnis traten die Sauropoden jedoch in der Kreide vielfältiger auf als je zuvor, was diesen Evolutionsabschnitt für die Forschung besonders interessant macht. Die Gruppe entwickelte sich jetzt in sehr verschiedene Richtungen mit- samt neuen körperlichen Erscheinungen. Sie fand auch diverse Wege, eine breite Palette von Pflanzen zu erschließen. *Nigersaurus* beispielsweise, der vor 115 Millionen Jahren lebte, gehörte zu den schon erwähnten Rebbachisauriden. Paul Sereno von der University of Chicago und seine Kollegen entdeckten die Fossilien in den späten 1990er Jahren im Niger. Das Tier besaß ein breites, kastenförmiges Gebiss mit vorn quer zum Kiefer stehenden Zahnbatterien,

die sich monatlich erneuerten – bis zu doppelt so schnell wie bei Horn- und Entenschnabelsauriern. Es benötigte wohl stets frische, scharfe Zähne, um unten am Boden Pflanzen abzubeißen. Denn nach der Ausrichtung des Gleichgewichtsorgans im Innenohr zu urteilen, richtete es seine Schnauze gewöhnlich nach unten. Andere Sauropoden hielten den Kopf meist eher waagerecht.

Inwiefern die Zunahme von Blütenpflanzen während der Kreidezeit den Speiseplan dieser Saurier bereicherte, zeigen mikroskopische Studien an Koproolithen – fossilen Kotballen. Silikathaltige so genannte Phytolithen darin stammen von gefressenen Pflanzen. In Kotfossilien von Titanosauriern entdeckten Vandana Prasad vom Birbal-Sahni-Institut für Paläobotanik in Lucknow in Nordindien und ihre Kollegen Spuren von mindestens fünf Grasarten, aber auch welche etwa von Magnolien, Nadelhölzern und Palmen, wie sie 2005 berichteten. Das bedeutet nicht nur, dass manche Sauropoden eine Vielzahl von Pflanzen vertilgten, sondern auch, dass es moderne Gräser 30 Millionen Jahre früher gab als bisher gedacht. Wie für alle Pflanzenfresser, die schnell wachsen müssen,

lohnte es sich auch für diese, nicht wählerisch zu sein. Sie stürzten sich also geradezu auf die neuartige Vegetation, und viele von ihnen stopften in sich hinein, was immer sie fanden oder erreichen konnten.

### **Hohle Knochen – auch im Dienst der Atmung**

Die Atmung der Sauropoden funktionierte wahrscheinlich weder wie bei Reptilien noch wie bei Säugetieren. Die Forscher vermuten, dass sie vielmehr ähnlich wie Vögel atmeten. Bei Säugetieren vermischt sich die frische eingeatmete Luft mit der verbrauchten in der Lunge. Vögel aber haben von der Lunge abzweigende Luftsäcke, die es erlauben, dass stets frische Luft wie auf Einbahnstraßen nachfließt und von der Lunge besser ausgenutzt wird. Die Luftsäcke dringen auch in Hohlräume von Knochen vor, etwa von Wirbeln.

Ganz ähnlich wie diese sehen innere und äußere Höhlungen und verstifende Strukturen in Sauropodenwirbeln aus. Die stärksten Aussparungen finden sich in den Wirbeln von Hals und oberem Rumpf. Manche Arten wiesen aber auch welche an den Hüft- und sogar an den Schwanzwirbeln auf. Sicherlich war die Hauptfunkti-

on davon eine beträchtliche Gewichtseinsparung, die ja auch bei Vögeln eine Rolle spielt. Die riesigen Halswirbel des nordamerikanischen Kolosses *Sauroposeidon* etwa waren zu über drei Viertel luftgefüllt. Zugleich könnten die Hohlstrukturen aber einem Luftsacksystem gedient haben, dank dessen die Sauropoden effektiver atmeten. Womöglich verhalf ihnen das zu einem gleichmäßigen erhöhten Stoffwechsel und zu mehr Aktivität, was dem raschen, starken Wachstum zugutegekommen sein mag.

Tiere dieser Größe hatten von Raubfeinden wohl nichts mehr zu befürchten, nicht einmal vom zwölf Meter langen *Allosaurus*. Schon halbwüchsig hätten viele Sauropoden auf ausgewachsene Elefanten herabgeblickt. Die Kehrseite war aber, dass so ein Riese Zeiten von Nahrungs- oder Wasserknappheit umso empfindlicher zu spüren bekam. Es könnte jedoch sein, dass sogar in diesem Fall spezielle Anpassungen gegen Engpässe halfen. Ein paar Titanosauriern wuchsen in der Haut bizarre Knochenplatten, so genannte Osteoderme. Ähnliches gibt es auch heute, man denke nur an die Knochenpanzer von Krokodilen oder Gürteltieren. Bei den Dinosauriern

kam dergleichen gar nicht selten vor. *Stegosaurus* beispielweise beeindruckt wegen der riesigen, breiten »Dornen«, die seinen hochgekrümmten Rücken verzierten. Doch wo genau die Hautknochen bei Sauropoden saßen und was sie bedeuteten, war bisher ein Rätsel.

Wir selbst haben kürzlich zwei große Knochenplatten untersucht, die auf Madagaskar bei zwei Titanosaurierskeletten gefunden worden waren, einem jugendlichen und einem erwachsenen *Rapetosaurus*. Die vom großen Tier ist 57 Zentimeter lang, gut 27 Zentimeter dick und hat ein Volumen von fast zehn Litern – der massivste bisher aufgetauchte Osteoderme eines Wirbeltiers. Analysen von Computertomogrammen und Bohrkernen dieser Fossilien ergaben, dass die innere Knochensubstanz im Lauf des Lebens zu einem beträchtlichen Teil verschwand. Vermutlich wurde sie durch Weichgewebe ersetzt. Bei dem großen Exemplar machte das fünf Liter aus, über die Hälfte des ursprünglichen Knochengewebes.

Schutzschilder können das kaum gewesen sein – sie wären bei einem starken Aufprall oder kräftigen Biss zerbrochen. Außerdem besaß ein *Rapetosaurus*, wohl

ebenfalls wie einige andere Titanosaurier, nur wenige solche Knochenplatten. Auch zur Wärmeregulation, wie für manche Fälle diskutiert – etwa *Stegosaurus* –, konnten sie nicht gedient haben, denn dazu passen weder das geringe Oberflächen-Volumen-Verhältnis noch die spärliche Anzahl. Wir glauben vielmehr, dass sie Mineralspeicher darstellten. Dank ihrer konnten Titanosaurier selbst in unwirtlichen Zeiten weiterwachsen und Eier legen. Ähnliches gewähren Osteoderme bei einigen heutigen Tieren. Bei allen Wirbeltieren werden bei Bedarf Knochenmineralien eingesetzt, um den Blutkalziumspiegel aufrechtzuerhalten. In manchen Zeiten kann der Abbau steigen, etwa zur Eiablage oder bei Nahrungsmangel. Er nimmt auch mit dem Lebensalter zu, was beim Menschen zu Osteoporose führen kann. Weil Hautknochenplatten stark durchblutet sind, eignen sie sich gut dazu, Mineralnachschub zu liefern. Für die Titanosaurier Madagaskars in der Spätkreide, aber auch andernorts, wäre diese Funktion sehr gut vorstellbar. Die Insel erlebte damals wiederholt heftige Dürrephasen. Raubsaurier wie der sieben Meter lange *Majungasaurus* wurden zu Kannibalen, und unzählige Tierarten gingen

unter – darunter Frösche, Vögel und sogar einige Sauropoden.

Mit ihrer Größe und ihrer Wachstums geschwindigkeit stießen die Elefantenfußdinosaurier offenbar an die Grenze des biologisch Möglichen. Aber sie landeten mit all ihrer Extravaganz nicht etwa in einer evolutionären Sackgasse, sondern blieben 150 Millionen Jahre lang äußerst erfolgreich. <

(Spektrum der Wissenschaft, November 2012)

Curry Rogers, K. A., Wilson, J. A.: The Sauropods: Evolution and Paleobiology. University of California Press, Berkeley 2005

Curry Rogers, K. A. et al.: Sauropod Dinosaur Osteoderms from the Late Cretaceous of Madagascar. In: Nature Communications 2, 564, 2011

Sander, P. M. et al.: Biology of the Sauropod Dinosaurs: the Evolution of Gigantism. In: Biological Reviews 86, S. 117 – 155, 2011

Whitlock, J. A.: Inferences of Diplodocoid (Sauropoda: Dinosauria) Feeding Behavior from Snout Shape and Microwear Analyses. In: PLoS One 6, e18304, 2011

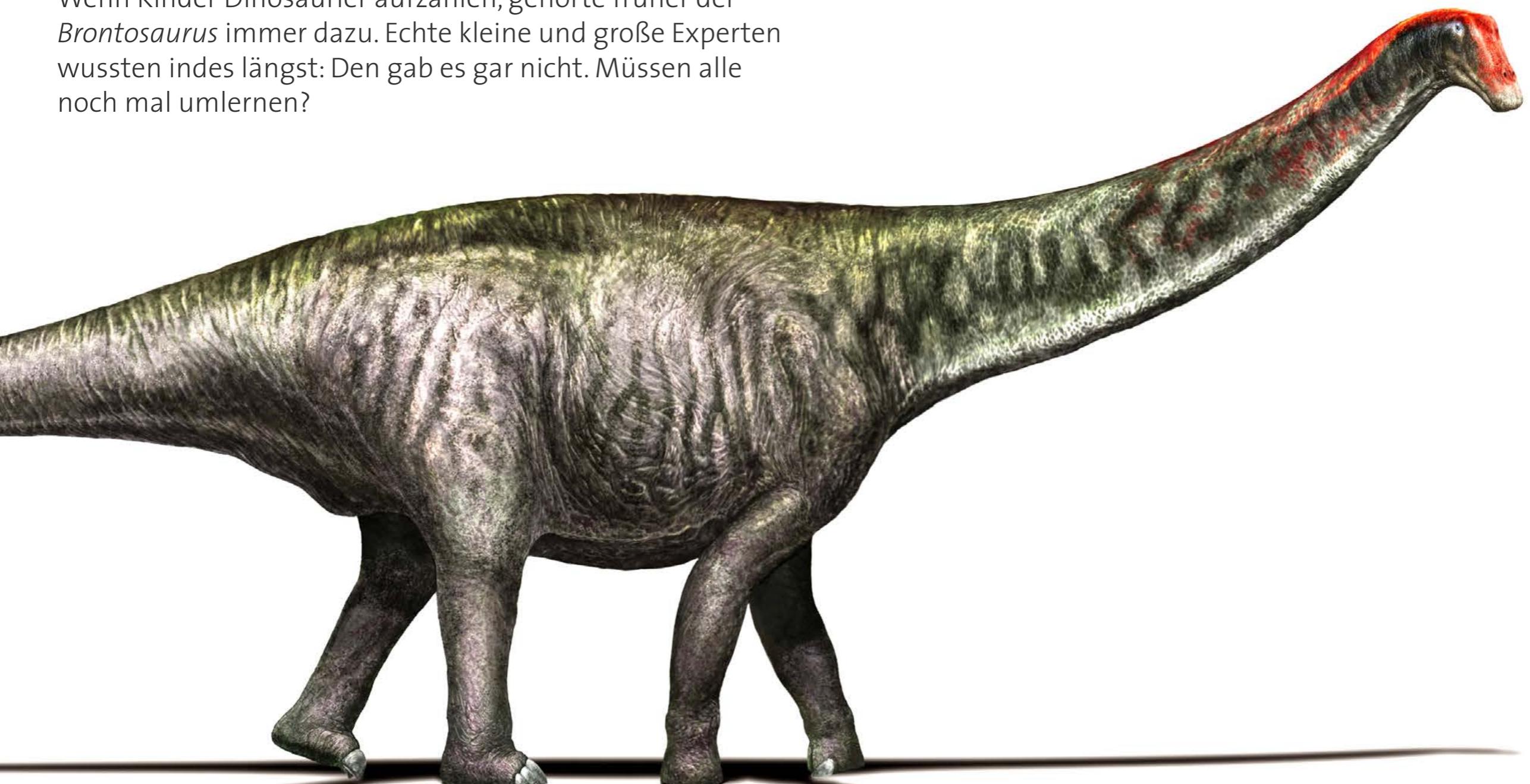
Wings, O., Sander, P. M.: No Gastric Mill in Sauropod Dinosaurs: New Evidence From Analysis of Gastrolith Mass and Function in Ostriches. In: Proceedings of the Royal Society of London B 274, S. 635 – 640, 2007

SAURIER MIT IDENTITÄTSPROBLEM

# *Brontosaurus* soll wieder *Brontosaurus* heißen dürfen

von Jan Osterkamp

Wenn Kinder Dinosaurier aufzählen, gehörte früher der *Brontosaurus* immer dazu. Echte kleine und große Experten wussten indes längst: Den gab es gar nicht. Müssen alle noch mal umlernen?



u den selbst Laien bekannten Dinosauriern gehörte viele Jahrzehnte lang der Brontosaurier – bis Experten, Kenner und Kleinigkeitskrämer den Laien immer deutlicher erklärten, dass Brontosaurier nie so hätten heißen dürfen. Der Grund dafür war eine kurzzeitige Verwechslung durch den amerikanischen Paläontologen Othniel Marsh, der die ersten Fossilien der Art entdeckt hatte: Er nannte sie 1877 *Apatosaurus ajax* und fand dann, zwei Jahre später, Knochen des verdächtig ähnlichen, ungeachtet dessen aber *Brontosaurus excelsus* getauften Exemplars. Dieses entpuppte sich dann 1903 aber – nach Ansicht einer Expertenkommission – ebenfalls als Vertreter der Gattung *Apatosaurus*. Die populäre Gattungsbezeichnung »Bron-

tosaurus« war und blieb nun aber in der Welt, obwohl die Prioritätsregel des International Code of Zoological Nomenclature (ICZN) vorschreibt, stets die zeitlich erste Bezeichnung zu verwenden. Jetzt bekommt die alte Geschichte aber wieder eine neue Wendung: Der vom Paläontologen Emanuel Tschopp und seinen Kollegen **mit modernen Methoden nun nochmals neu gezeichnete Stammbaum** der **Saurierfamilie Diplodocidae** legt nahe, dass die Bezeichnung *Brontosaurus* vielleicht doch ihre Berechtigung hatte.

Tschopp und seine Kollegen haben fast 500 anatomische Merkmale der Knochenreste von Dutzenden Exemplaren der rund 20 unterschiedlichen Spezies dieser Saurierfamilie analysiert, verglichen und bewertet. Nach fünf Jahren Arbeit und vielen

Reisen in allerlei Museen der Welt kommen sie nun zu dem Schluss: *Apatosaurus* und *Brontosaurus* waren unterschiedlich genug, um in verschiedene Gattungen zu gehören. So unterscheidet sich etwa der Halsbereich beider Formen relativ deutlich: »Zwar sind beide recht robuste und massive Tiere, der *Apatosaurus* aber noch mehr«, so Tschopp zu »Nature News«. Er sieht seinen Antrag, den *Brontosaurus* als Gattung wieder auferstehen zu lassen, allerdings nicht als letztes Wort: »Da steht ziemlich sicher noch eine lebhafte Expertendiskussion an. Hoffentlich, denn so funktioniert Wissenschaft!«

(Spektrum.de, 7. April 2015)



**SPEKTRUM SPEZIAL**  
**Archäologie · Geschichte · Kultur**  
4x im Jahr aktuelle und umfassende Einblicke für nur € 7,40/Ausgabe

ABONNIEREN SIE DIE ROTE REIHE:

HIER BESTELLEN!



MASSENGRAB

# Tödliche Falle für Dinosaurier

von Paul C. Sereno

Ein spektakulärer Fossilfund in der Wüste Gobi zeugt von einem prähistorischen Unglück – und erlaubt Paläontologen ungeahnte Einblicke in das Zusammenleben junger Dinosaurier.

**E**in Fundort wie dieser war mir in vielen Jahren als Dinosaurierfeldforscher noch nicht begegnet. Erst 15 Tage waren wir mitten in der Wüste Gobi in der Inneren Mongolei auf Fossilsuche. Und nun waren wir anscheinend dabei, gleich einen ganzen Friedhof mit ziemlich intakten Dinosaurierüberresten auszugraben. Ein paar Wochen später hatten wir an dieser Stelle Knochen von reichlich einem Dutzend Tieren frei gelegt. Dazu benutzten wir neben dem üblichen Werkzeug wie Haken, Pickel und Grabstichel zeitweise auch schweres Gerät, nämlich Bulldozer, die den Boden über den vielen Fossilien schichtweise abtrugen. Wunderbarerweise gehörten alle hier lagernden Skelette zu ein und derselben Saurierart, einem äußerlich an Strauße erinnernden Reptil, das inzwischen – auch dank dieses Massengrabs – zu den bekanntesten Dinosauriern zählt: *Sinornithomimus dongi*.

Begeistert sind wir von der Stätte inzwischen noch aus anderen Gründen: Die Fossilien und Umgebungsspuren lassen erkennen, wie die Tiere vor 90 Millionen Jahren vermutlich verendeten. Ja, sie erlauben sogar Schlüsse auf ihr soziales Verhalten

Auf einen Blick

## Jugendhorde in der Falle

- 1 In der Wüste Gobi in der chinesischen Inneren Mongolei entdeckten Forscher ein 90 Millionen Jahre altes Massengrab mit den hervorragend erhaltenen fossilen Skeletten von mehr als zwei Dutzend straßenähnlichen Dinosauriern der Art *Sinornithomimus dongi*.
- 2 Die Tiere müssen alle gleichzeitig umgekommen sein. Offenbar blieben sie im weichen Grund am Ufer eines Sees stecken und konnten sich nicht wieder befreien. Dann machten sich Raubtiere über sie her.
- 3 Alle Skelette gehörten zu Jungtieren verschiedenen Alters. Möglicherweise zogen diese Saurier in eigenen Gruppen umher, bis sie erwachsen wurden.

und Gruppenleben. Bis heute durfte ich nie wieder einen so reichen Fund einer einzelnen Dinosaurierspezies miterleben.

Frühe Dinosaurierentdeckungen in der Wüste Gobi sind mit zwei großen Forschern verbunden. Amerikaner denken sofort an den Paläontologen Roy Chapman Andrews (1884–1960), den unerschrockenen Expeditionsleiter und späteren Direktor des American Museum of Natural History in New York. In den 1920er Jahren bereiste er

die Wüstengebiete Innerasiens, auch Teile der heutigen Mongolei. Er fand dort, in der Äußeren Mongolei, erstmals Dinosaurier – damals als Sensation gefeiert. Zur Ausbeute dieser Fahrten gehörte auch der am Hinterfuß sickelkrallenbewehrte, zweibeinige *Velociraptor*, heute vielen aus dem Film »Jurassic Park« bekannt. Europäern ist eher der Name des Topografen und Geografen Sven Hedin (1865–1952) vertraut. Der schwedische Entdeckungsreisende

und Asienforscher erkundete die Gobi und andere Gebiete Chinas zwischen 1927 und 1935 auf der internationalen chinesisch-schwedischen Expedition, die er leitete. Aus der heute chinesischen südlichen Gobi – die zu der autonomen chinesischen Inneren Mongolei gehört – brachte er einzigartige Fossilien von Dinosauriern mit.

### Sauriersuche an der Seidenstraße

In späteren Jahren entdeckten Paläontologen zwar auch in China auf Hedins Spuren versteinerte Dinosauriernester mitsamt Eiern und brütenden Elterntieren sowie Raptorenfossilien – und beides von ebenso hervorragender Qualität, wie man sie mittlerweile aus der Mongolei kennt. Die meiste Aufmerksamkeit gilt jedoch inzwischen dem Norden dieser Region. Denn seit sich der Staat Mongolei vor einem guten Jahrzehnt westlichen Besuchern öffnete, haben wissenschaftliche Expeditionen aus aller Welt seine abgelegenen Gebiete durchkämmt. Die südliche Gobi haben Paläontologen dagegen lange Zeit kaum besucht.

Ich selbst lernte die abgelegenen Landstriche Chinas 1984 auf einer Weltrundreise kennen. Es war das erste Jahr, in dem ausländische Touristen im Land unbeauf-

sichtigt herumfahren durften. Damals war ich 27 Jahre alt und Doktorand der Geologie. Eine kohlebetriebene Eisenbahn brachte mich nach Hohhot, in die Hauptstadt der Inneren Mongolei. Damals wirkte der Ort mit seinen niedrigen Gebäuden noch wie eine Kleinstadt. Immerhin gab es dort ein naturkundliches Museum. Eigentlich lockten mich aber die fossilhaltigen Felsformationen aus der Dinosaurierzeit, die sich von hier hunderte Kilometer nach Westen ziehen. Sie flankieren die ehemalige Seidenstraße, die einst die mongolische Steppe mit dem Herzen Zentralasiens verband.

Als ich nach Peking zurückkam, besuchte ich den renommierten Dinosaurierkenner und Feldforscher Zhao Xijin. Er ist Professor am dortigen Institut für Wirbeltierpaläontologie und Paläoanthropologie, gilt als einer der führenden Experten auf seinem Feld und hatte damals bereits über ein Dutzend neue Dinosaurierarten entdeckt. Wir kamen schnell überein, dass wir einmal gemeinsam eine Expedition in die Innere Mongolei unternehmen würden. Allerdings sollten 16 Jahre verstreichen, bis wir diesen Wunsch 2001 endlich verwirklichen konnten.

Um die Unternehmung vorzubereiten, fuhr ich 2000 wieder nach Hohhot, diesmal zusammen mit Zhao. Am Bahnhof empfing uns der Direktor des dortigen Long-Hao-Instituts für Stratigrafische Paläontologie, der damals 60-jährige Geologe Tan Lin. In seiner energiegeladenen Art unterbreitete er uns, welche Maßnahmen für eine Expedition in die Gobi im kommenden Frühjahr zu treffen seien und wie die benötigte Ausrüstung besorgt werden könnte. Das Städtchen hatte sich in der Zwischenzeit zu einer pulsierenden Metropole gemausert, so dass es nicht weiter schwierig sein würde, vieles, vor allem die Fahrzeuge, direkt in Hohhot aufzutreiben.

Etwas länger dauerte es, bis wir uns auf das genaue Ziel dieser Fahrt einigten. Tan Lin versprach sich viel davon, die alten Stellen nochmals zu erkunden, wo schon Hedins Experten und später andere Forscher bedeutende Fossilien geborgen hatten. Mit Sicherheit gäbe es dort noch eine Menge zu finden. Doch ich wollte lieber ein paläontologisch unberührtes Terrain aufsuchen. Nach einem Hin und Her siegte die Verlockung des Unbekannten. Also beschlossen wir, im Frühjahr auf der Seidenstraße in die entlegenen westlichen Gebiete der

Gobi vorzustoßen. Mitte April 2001 war unsere 16-köpfige Mannschaft in Hohhot versammelt – ein Team aus Amerikanern, Franzosen, Chinesen und Mongolen. Wir verteilten uns auf vier Geländewagen und ein Lastfahrzeug, das die Vorräte und die etliche Tonnen schwere Ausrüstung transportierte. 700 Kilometer weit wollten wir entlang des gelben Flusses und dann weiter in die Wüste fahren.

Am Ziel schlugen wir unweit des kleinen militärischen Außenpostens Suhongtu unser erstes Basislager auf. Täglich zogen wir nun zur Fossiliensuche los. Zu Fuß streiften wir so manchen Kilometer durch das unwegsame, unebene Gelände, immer mit konzentriertem Blick auf den Boden und die nächste Umgebung, ob nicht irgendwo ein Stück von einem Fossil im Gestein zu sehen war. Natürlich gehört bei so einer Unternehmung auch Finderglück dazu, aber manche Leute besitzen einfach den richtigen Spürsinn. Den ersten bedeutenden Fund machte Dave Varricchio von der



#### ***SINORNITHOMIMUS DONGI***

**Der Gesteinsblock enthält acht vollständige  
Skelette von *Sinornithomimus dongi*.**

YOSHITSUGU KOBAYASHI AND JUN-CHANG LÜ / CC-BY-2.0 (CC BY)

Montana State University in Bozeman. Der Paläontologe entdeckte auf der Unterseite einer Felsplatte den Abdruck eines Fußes mit drei Zehen, einem langen mittleren und zwei kurzen seitlichen. Dieser Fuß war größer gewesen als eine Menschenhand, doch für einen Dinosaurier eher klein. Nach unserer ersten Einschätzung handelte es sich um die Spur eines Ornithomimiden (»Vogelnachahmers«). Jene Echsen, die in der Anmutung Straußenvögeln ähnelten, gehörten zu den Theropoden und dort in die Gruppe der Ornithomimosaurier.

## Neues Tal mit reicher Ausbeute

Laut einer schon damals 25 Jahre alten chinesischen geologischen Karte sind die Gesteine im Umkreis unseres Camps rund 90 Millionen Jahre alt. Sie stammen somit aus der späten Kreidezeit, also genau passend für Dinosaurier. Trotzdem entdeckten wir in der Umgebung des Lagers außer dem Fußabdruck lediglich Knochen kleiner Arten, die man von der Gobi bereits kannte – alles keine sonderlich aufregenden Fossilien.

Deswegen fuhren wir schließlich zu einem nahe gelegenen weiten Tal, das reichere Ausbeute versprach. Und wirklich steckten unsere Leute schon bald über verschie-

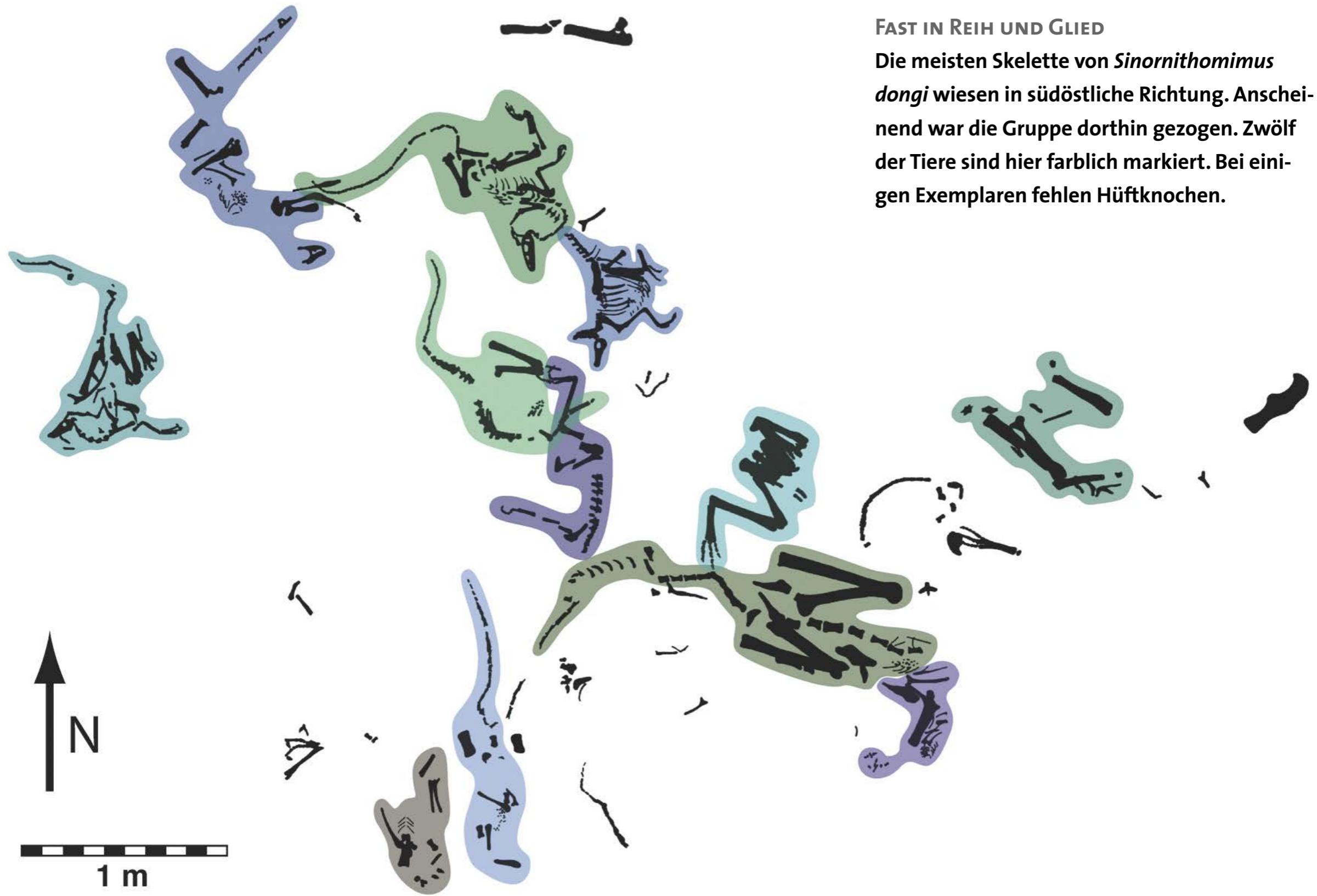
denen Versteinerungen die Köpfe zusammen. An einer Stelle etwa schien der Schädel eines mutmaßlichen primitiven Entenschnabelsauriers hervorlugen. Ein weiteres Fossil gehörte wohl zu einem kleinen Sauropoden, einem jener vierbeinigen, langhalsigen Pflanzenfresser, von denen manche Arten gigantische Ausmaße erreichten. Am interessantesten erschien jedoch eine Felswand aus Lagen roten und blauen Gesteins, die wie gesprenkelt mit Beinknochen von eher kleinen Dinosauriern wirkte.

Nur war das offensichtlich kein natürlich entstandener Abhang. Vor uns schienen hier schon andere nach Fossilien ge graben und dabei den Fels abgetragen zu haben. Von wegen unberührtes Gelände! Tan erzählte uns, dass ein Geologe und Studienkollege die Stelle 1978 beim Kartieren der Gegend entdeckt hatte. Tatsächlich zeigte die Karte dort ein winziges Knochen symbol. Tan selbst hatte dann 1997 eine chinesisch-japanisch-mongolische Expedition hierher geführt. Es gelang der Gruppe auch, ein gutes Dutzend Skelette eines kleinen, bis dahin unbekannten Dinosauriers zu bergen, doch schließlich musste man die Unternehmung abbrechen, ohne

alle Fossilien ausgegraben zu haben, weil die Zeit nicht reichte und die Materialien ausgingen.

In meinem Rucksack hatte ich eine wissenschaftliche Arbeit von 1999 über einen neuen Ornithomimiden aus der Gobi. Autor war der japanische Paläontologe Yositsugu Kobayashi, der damals an der Southern Methodist University in Dallas (Texas) promovierte. Jetzt erst wurde mir klar, dass die von Kobayashi beschriebenen Fossilien von genau dieser Felswand stammten. In der Arbeit erwähnen er und seine Mitautoren sowohl die Mengen an versteinerten Knochen als auch deren exzellenten Zustand. Bei manchen Skeletten fanden die Forscher sogar noch Magensteine, denn wie heutige Alligatoren, Robben und viele Vögel verschluckten einige Dinosaurier wohl kleine Steine, die im Magen vermutlich halfen, die Nahrung zu zermahlen. Kobayashi nannte die neue Art 2003 *Sinornithomimus dongi*.

Warum aber gab es gerade an dieser einen Stelle dicht beieinander dermaßen viele Fossilien von derselben Saurierart? Wir fragten uns, ob diese Tiere wohl alle gleichzeitig umgekommen waren. In den folgenden Wochen fuhren wir jeden Tag zu dem



fossilienreichen Tal. Wir wollten unbedingt herausfinden, warum in der aufgebrochenen Wand so viele Ornithomimiden steckten. Als wir uns weiter in den Fels vorarbeiteten, fanden wir nur immer mehr Skelette. Währenddessen erforschten einige Teammitglieder die Stirnseite der Erhebung und nahmen von dort Gesteinsproben, um die geologische Situation dieses Massengrabs zu analysieren.

Wollen wir herausfinden, unter welchen Umständen die Tiere zu Tode kamen, deren Fossilien wir aufspüren, müssen wir bei den Grabungen höchst umsichtig vorgehen. Auf keinen Fall darf man einfach nur die Knochen oder Skelette herausholen. Vielmehr sollte man die gesamte Fundsituation genauestens mit erfassen. Umso mehr gilt das bei dem Verdacht, dass mehrere Vertreter derselben Art gleichzeitig starben und vielleicht sogar eine Gruppe bildeten. Denn natürlich können solche Skelettansammlungen auch einfach daher röhren, dass immer wieder einzelne Tiere am selben Gewässer versanken oder dass eine Überschwemmung die Kadaver nur zusammentrug. Falls es sich dagegen tatsächlich um eine Herde handelte, die hier starb, lassen sich dafür mit etwas Glück

und dem richtigen Spürsinn durchaus auch heute noch Indizien finden. Aufschlussreich für die Todesursache könnte die Position und Anordnung der Tiere und ihre Ausrichtung zueinander sein. Ebenso mögen Spuren von Raubtierzähnen oder gesplitterte Knochen von den näheren Umständen erzählen. Paläontologen bewerten und vergleichen auch die Beschaffenheit der Sedimente, die sich vorher, im Zeitraum des Todes und später ablagerten.

Schon bald waren wir uns ziemlich sicher, dass das Schicksal all diese straßenähnlichen Dinosaurier gleichzeitig ereilt hatte. Denn fast alle Skelette lagen ziemlich in die gleichen Richtung orientiert – und nicht wild verstreut –, als wären die Tiere zusammen irgendwohin unterwegs gewesen. Natürlich kann so ein Muster auch zu Stande kommen, wenn eine Überflutung ihre Opfer mit sich fortreißt. Doch hier sprach nichts dafür, dass die Kadaver nachträglich vom Ort des Sterbens wegbewegt worden wären. Auch die Skelette wirkten dafür zu intakt.

Nach den geologischen Analysen lag hier einst ein See, dessen Größe sich immer wieder veränderte, wenn das Klima trockener oder feuchter wurde. Die dünnen Schich-

ten roten und blauen Gesteins besagen, dass das Gebiet damals von feinkörnigem Schlamm und Schluff bedeckt war. Außerdem fanden wir sedimentgefüllte Trockenrisse – ein Anzeichen dafür, dass breitere Uferstreifen manchmal länger trockenfielen. Einige der Saurierskelette waren von den flachen Schalen winziger Süßwasserkrebse bedeckt: von für eine solche Umwelt charakteristischen so genannten Muschelschalern (Conchostraca). Demnach lagen manche der Tiere wohl eine Zeit lang im Uferbereich des Sees.

Zudem wirkten die Schlammablagerungen nahe bei den Skeletten unberührt von grabendem Kleingetier oder dort wachsenden Pflanzen, denn sie enthielten weder Wurmbohrlöcher noch Wurzelgänge. Jene Zone wurde vermutlich regelmäßig überspült. Offenbar diente dieser See in einer sonst trockenen Gegend als Oase. Eine Ansammlung von Skeletten einer einzigen Dinosaurierart wie an dem Ort ist bis heute einmalig. Natürlich spekulierten wir schon während der Ausgrabungen viel darüber, was hier zu Urzeiten wohl geschehen sein mochte. Hatte sich in der Nähe ein Vulkanausbruch ereignet? Oder vielleicht eine Flutkatastrophe?

## Trittspuren vom Kampf um die Freiheit

Zum Grabungsteam gehörte auch die Pädagogin Gabrielle Lyon. Während sie mit einer Nadel die zusammengekrallten Zehen eines der Fossilien frei präparierte, meinte sie: »Vielleicht sind die ja nur im Schlamm versackt.« Das hielt ich für zu weit hergeholt. Gabrielle hatte zwar einige Grabungserfahrung, war aber weder Paläontologin noch Geologin. Große Tiere pflegen nicht so ohne Weiteres im Morast zu verenden. Einem einzelnen Rind kann es wohl schon einmal widerfahren, dass es bis über die Knie einsinkt und sich nicht mehr zu befreien vermag. Aber gleich einer ganzen Herde? So etwas geschieht sicherlich äußerst selten. Immerhin wusste Dave Varrichio, unser Experte für Fossilisation, dass Wildpferde manchmal auf solche Weise umkamen.

Bald gab die Fundstelle mehr aufschlussreiche Zeichen preis. Dicht bei der Schicht mit den Skeletten bemerkte Dave auf der frei gelegten Fläche v-förmige Muster, die mit der Spitze nach unten zeigten, als ob dort etwas Dünnes den Schlamm in die Tiefe gedrückt hätte. Stammten die Spuren etwa doch von den Zehen von Tieren, die im tiefen Morast um ihr Leben gestram-

pelt hatten? Leider sah es inzwischen so aus, als könnten wir nicht mehr viel weiter in den Hang vorstoßen, denn der fossilhaltige Horizont senkte sich unter dem Hügel immer mehr in die Tiefe, was die Grabungen mit jedem Tag schwieriger und heikler machte. Für einen vollständigen Aufschluss dieses Fundkomplexes würden wir mit dem vorhandenen Gerät Monate, wenn nicht Jahre benötigen. Doch dann kam uns der Zufall zu Hilfe.

### **Neue Grabungsmethode: Grob, aber effektiv**

Die Soldaten des erwähnten Militärpostens hatten uns zu einem Basketballmatch aufgefordert, und an einem freien Tag folgten wir der Einladung. Die älteren Herren Tan und Zhao schauten dem Spiel zu. Dabei bemerkten sie in der Nähe abgestellte schwere Baumaschinen. Am selben Abend schon sprachen wir darüber mit den verantwortlichen Offizieren. Etliche Runden Baijiu taten das Ihre – eines scharfen Getränks, das übersetzt harmlos »Weißwein« heißt. Und tatsächlich erschien ein paar Tage später ein riesiger Bulldozer am Grabungsort. Nun ging es rasch voran. Die große Maschine trug von der Hügelkuppe we-

nige Zentimeter dicke Schichten ab, und wir marschierten jedes Mal wachen Auges hinterher. Auch oberhalb des Fundhorizonts, der uns augenblicklich am meisten interessierte, aber erst zwei Meter tiefer lag, konnten ja Fossilschätze auftauchen. »Stopp!«, schrie plötzlich der Paläontologe Jeff Wilson von der University of Michigan in Ann Arbor. Die Schaufel des Fahrzeugs hatte einen Felsblock aufgerichtet, und Wilson erspähte Zähne und Kiefer. Eifrig durchsuchten wir das rechts und links von der Fahrspur aufgeworfene Material und fanden wirklich auch noch die restlichen Stücke des 45 Zentimeter langen Schädels eines noch unbekannten Raubsauriers.

Schon am vierten Tag hatte die Maschine den Hügel bis knapp über dem angezielten Massengrab unseres Ornithomimiden abgetragen. Nun konnten wir wieder allein arbeiten. Am Ende hatten wir insgesamt 13 Skelette von dem straßenähnlichen Dinosaurier geborgen. Das bedeutete: Zusammen mit den früheren Skeletten waren hier Knochen von gut zwei Dutzend der Urzeitechsen fossilisiert. Anders, als man es sonst meist antrifft, lagen die Überreste der einzelnen von uns geborgenen Tiere aber nicht jeweils innerhalb einer we-

nige Zentimeter dünnen Schicht – die darüber abgelagerten Sedimente hatten sie also nicht komplett flach gepresst. Vielmehr ragten die Hinterbeine mancher Echsen viel tiefer in den damals schlammigen Untergrund. Und auffälligerweise fehlten bei ein paar sonst ziemlich vollständigen Skeletten ausgerechnet die Hüftknochen, als hätte jemand diese Tiere von oben und hinten angefallen.

Das alles zusammen mit der Orientierung der Saurier in dieselbe Richtung erweckt durchaus den Eindruck, als ob hier eine Herde unterwegs war, die im Morast des Seeufers einsank und sich nicht wieder befreien konnte – ein gefundenes Fressen für Räuber und Aasjäger. An den zusammengekrampften Füßen hat Gabrielle Lyon wohl die Todesangst der Tiere abgelesen.

Wie fantastisch diese Skelette erhalten sind, erkannten wir in vollem Umfang erst nach meiner Rückkehr nach Chicago, als Mitarbeiter von mir sie eines nach dem anderen unter dem Mikroskop sorgsam herauspräparierten und säuberten. Nicht nur dass noch Magensteine vorhanden waren – sie lagen auch so, dass man die Form der muskulösen Mägen zu erkennen meinte. Zudem entdeckten wir einen dünnen Koh-

lefilm, der die mutmaßlichen Mägen auskleidete: offensichtlich Überreste der letzten Mahlzeit.

### Selbstständige Jugendverbände

Schon bei der Ausgrabung hatten wir uns darüber gewundert, dass alle Skelette von recht jungen Tieren zu stammen schienen und offenbar keine erwachsenen – in dem Fall mutmaßlich geschlechtsreifen – Individuen darunter waren. Das erkannten wir an den Wirbeln, denn daran lässt sich im Feld das ungefähre Alter eines Dinosauriers am besten beurteilen. Solch ein Wirbel besteht aus zwei Teilen: dem kompakten, spulenförmigen Wirbelkörper und dem daran angelagerten Wirbelbogen, durch den das Rückenmark zieht. Die beiden Strukturen waren bei jungen Tieren noch nicht miteinander verwachsen – und sie waren es auch bei unseren Skeletten nicht. Die beiden Teile verbanden sich erst fest, wenn die Größe des Tiers praktisch nicht mehr zunahm und es also wohl voll erwachsen war. Wie man heute weiß, wuchsen Dinosaurier, im Gegensatz zu anderen Reptilien, hauptsächlich in der Jugend.

In Chicago untersuchten wir das Alter der Skelette genauer. Dazu sägten wir von

einigen Langknochen der Extremitäten und von den Rippen dünne Scheiben ab und zählten die jährlichen »Wachstumsringe«, die Reptilien ausbilden. Demnach waren diese Tiere zwischen einem und sieben Jahre alt gewesen – die meisten von ihnen zählten ein oder zwei Jahre. Wir schlossen aus den Befunden zum einen, dass *Sinornithomimus* erst mit ungefähr zehn Jahren erwachsen wurde. Noch aufregender fanden wir aber, dass wir anscheinend tatsächlich eine Horde Jugendlicher gefunden hatten.

Denn neben den Todesumständen kannten wir jetzt auch ein wichtiges Detail aus dem Leben von *Sinornithomimus*. Seit Längerem machen sich Paläontologen über das Sozialverhalten halbwüchsiger Dinosaurier Gedanken. Die Skelette aus der Wüste Gobi bestärken nun die Vermutung, dass die älteren Jungen gern in eigenen kleinen Verbänden herumstreiften, bis sie nach etlichen Jahren erwachsen wurden. Manches spricht dafür, dass die Eltern ihren Nachwuchs bald mehr oder weniger sich selbst überließen. Schon in der nächsten Fortpflanzungsphase hatten die geschlechtsreifen Tiere genug anderes zu tun – etwa Partner zu umwerben, Nester

anzulegen und zu verteidigen, zu brüten und sich um die neuen Jungen zu kümmern. Die älteren Sprösslinge mussten sich selbstständig durchschlagen, auch wenn sie noch sehr jung und deswegen besonders gefährdet waren. Anscheinend fanden sich dann die Jugendlichen zumindest bei dieser Art zu Gruppen zusammen, schon weil ihnen das mehr Schutz bot.

Unsere Herde hatte allerdings Pech gehabt. Die Stelle, an der den Trupp vor 90 Millionen Jahren das Ende ereilte, mag beim Vorbeiziehen ausgesehen haben wie viele andere harmlose Uferzonen, wo man nur mit den Füßen etwas einsank. Zwei Skelette in der Mitte dieses Fossillagers zeigen das Drama besonders deutlich. Die Oberkörper der beiden Tiere sind übereinandergefallen und zur Seite gesunken. Sie müssen damals aus dem Schlamm geragt haben, denn sie lagen in derselben Schicht. Aber die Beine steckten offenbar tief im Untergrund fest. Beide Skelette sind in einem bemerkenswert kompletten Zustand. Nur die Hüftknochen fehlen – wahrscheinlich bediente sich da ein Raubtier. Zu dieser Deutung passt ein zertretener Beckenknochen, der einzeln lag. Als später der Spiegel des Sees wieder anstieg, deckte neuer

Schlamm den Ort zu und konservierte ihn – bis heute. <

(Spektrum der Wissenschaft, Januar 2012)

Kobayashi, Y. et al.: Herbivorous Diet in an Ornithomimid Dinosaur. In: *Nature* 402, S. 480-481, 1999

Kobayashi, Y., Lü, J.-C.: A New Ornithomimid Dinosaur with Gregarious Habits from the Late Cretaceous of China. In: *Acta Palaeontologica Polonica* 48, S. 235-259, 2003

Varricchio, D. J. et al.: Mud-Trapped Herd Captures Evidence of Distinctive Dinosaur Sociality. In: *Acta Palaeontologica Polonica* 53, S. 567-578, 2008

Alles, was Sie wissen müssen.  
Auf Ihrem Bildschirm



DAS SPEKTRUM  
DER WISSENSCHAFT  
**DIGITALABO**

Wissenschaftler berichten über die aktuellen Erkenntnisse ihrer Fachgebiete.  
Jahrespreis (12 x im Jahr) € 60,–; ermäßigt (auf Nachweis) € 48,–

**HIER ABONNIEREN**

# Kein Weltenbrand nach Chicxulub-Einschlag?

von Daniel Lingenhöhl

Was rottete die Dinosaurier aus? Der Asteroideneinschlag von Chicxulub gilt als Hauptverdächtiger. Von ihm ausgelöste weltweite Feuer gab es aber wohl nicht.

**V**or 65 Millionen Jahren schlug ein gewaltiger Asteroid auf der Erde ein und schuf den Chicxulub-Krater vor der mexikanischen Küste: Das Geschoss gilt als hauptverantwortlich für das folgende Massenaussterben der Dinosaurier an der Grenze vom Erdzeitalter der Kreide zum Tertiär. Was genau die Urzeitriesen hinweggraffte, ist jedoch noch ungeklärt – ein weltweiter Feuersturm scheint es aber nicht gewesen zu sein, meinen Geologen um Claire Belcher von der University of Exeter. Sie hatten den thermischen Impuls, der vom Impakt ausging, im Labor simuliert und versucht, verschiede-

nes Pflanzenmaterial damit zu entzünden – und wurden vom Ergebnis überrascht.

Denn gerade in relativer Nähe zum heute 200 Kilometer messenden Einschlagkrater war die entstandene Hitze zwar intensiv, doch raste diese Hitzewelle auch rasch über die Region hinweg. Nach einer Minute war sie schon wieder verflogen. Das allerdings reichte nach Meinung der Forscher nicht aus, um lebende Pflanzen zu entflammen – selbst Kieferzweige widerstanden, solange sie im Saft standen. In ganz Nordamerika kam es daher nur vereinzelt zu Vegetationsfeuern, Flächenbrände blieben hier weit gehend aus. In größerer Distanz sah die Situation dagegen ganz anders aus:

auf den neuseeländischen Inseln etwa hat sich der Hitzeschwall bereits etwas abgekühlt, dafür bewegte sich der Impuls langsamer über das Gebiet hinweg. Die heiße Luft wirkte hier mindestens sieben Minuten auf die Pflanzenwelt ein, berechneten die Forscher – genug, um sie zu entzünden. **Nicht ausgeschlossen sei aber, dass die Hitzewelle auch ohne anschließende Feuer so viele Tiere direkt tötete, dass sich die Bestände anschließend nicht mehr erholen konnten**, zumal durch den Einschlag auch ein nachfolgender »kosmischer Winter« wahrscheinlich ist. <

(Spektrum.de, 23. Januar 2015)



EXTINKTION

# Dinosaurier auf falschem Fuß erwischt

von Alexandra Witze

Dinosaurier würden vielleicht heute noch leben – wenn der tödliche Asteroid ein paar Millionen Jahre früher oder später niedergegangen wäre.

## TRICERATOPS GEGEN T. REX

Dieses Duell könnte am Ende der Zeiten aller Dinosaurier schon selten geworden sein: Ein großer Fleischfresser trifft auf ein *Triceratops*-Weibchen mit Nachwuchs. Womöglich waren die großen Pflanzenfresser des nordamerikanischen Kontinents durch Klimaveränderung und Pflanzenmangel selten geworden.

Innen Todesstoß erhielten die Dinosaurier vor 66 Millionen Jahren durch einen Asteroiden, der auf die Erde stürzte. Womöglich wären sie aber gar nicht völlig ausgelöscht worden, wenn dieser Treffer sich nicht zufällig in einem sehr speziellen Zeitfenster ereignet hätte – einer Epoche, in der ungünstige Klimaereignisse den großen Dinos ohnehin schon das Leben schwer machten. Denn tatsächlich hatten weltweit sinkende Durchschnittstemperaturen in den Jahrhunderttausenden vor dem Asteroidenabsturz die Vielfalt der großen Pflanzenfresser drastischer reduziert als zuvor vermutet, wie eine neue Studie nun unterstreicht. Damit war das Ökosystem, an dessen Spitze Fleisch fressende Riesenechsen standen, ohnehin anfällig für einen dramatischen Populationskollaps, erklärt Stephen Brusatte: »Wäre der Asteroid ein paar Millionen Jahre früher oder später niedergegangen, so wären Dinosaurier gegen die Begleiterscheinungen womöglich besser gewappnet gewesen«, meint der Paläontologe von der University of Edinburgh.

Schon fast traditionell diskutieren Dinosaurierforscher über die Bedeutung des Asteroidentreffers für die Dinosaurier – umstritten ist dabei vor allem, wie sehr die Population schon im Niedergang begriffen war, als die Katastrophe sich ereignete. Ebendas haben nun Brusatte und Kollegen neuerlich untersucht. Sie werteten dazu die wachsende Datenbank zur Artenvielfalt der Dinosaurier aus – allein im letzten Jahrzehnt konnten darin Hunderte neue Fossilien aufgenommen werden [1]. Ziel der Übung war herauszubekommen, wann genau wo welche Arten häufiger oder seltener geworden sind. Die reinen Zahlen müssen dabei sorgfältig analysiert werden: Falsche Schlüsse drohen beispielsweise, wenn unberücksichtigt bliebe, dass einige Fossilfundstellen viel häufiger und gründlicher untersucht wurden als andere.

### Lokales Wachstum

Die Analyse ergab nun zunächst, dass die meisten Dinosaurierarten zum Zeitpunkt des Einschlags sogar eher in einer Boomphase waren: »Global betrachtet finden wir

jedenfalls keinerlei Beleg für einen langfristigen Trend hin zu abnehmenden Artenzahlen«, erklärt Teammitglied Richard Butler, Paläontologe an der University of Birmingham. »Keinesfalls drohte den Dinosauriern insgesamt ein nahes Ende, das von dem Asteroiden dann nur beschleunigt wurde.«

Aber: In Nordamerika waren – acht bis zehn Millionen Jahre vor dem Einschlag – zwei große Gruppen von Pflanzenfressern doch allmählich immer weiter geschrumpft: die [Entenschnabeldinosaurier](#) und die *Triceratops*-Verwandtschaft. Teilweise existiert offenbar nur noch eine einzige Spezies in diesen einst artenreichen Gruppen. Ein solcher lang andauernder Rückgang ist beispiellos: Andere Spezies litten an anderen Orten und Zeiten zwar gelegentlich, konnten sich dann aber immer wieder erholen.

Modellrechnungen aus dem Jahr 2012 zeigen, was sich im Fall der Entenschnabel- und *Triceratops*-Arten abgespielt haben könnte: Offenbar hatten sinkende Temperaturen lokal für ein deutlich gebremstes

Pflanzenwachstum gesorgt; die Vegetation konnte daraufhin die großen Pflanzenfresser vor Ort nicht mehr ernähren – und diese wurden dann so rar, dass die Fleischfresser ebenfalls Probleme bekamen; ein klassischer Fall zusammenbrechender Nahrungsnetze [2]. Mit der Situation kam die Dinofauna wohl noch klar – sie steckte aber eben gerade in einem fordernden Transformationsprozess, der die Reserven des Gesamtsystems angriff. Und genau nun schlug das Geschoss aus dem All ein und überlastete das System: Die Dinosaurier starben aus (mit Ausnahme einiger Spezialisten: der Vögel).

Ziemlich genau so dürfte es gewesen sein, kommentiert auch der Paläontologe David Archibald von der San Diego State University in California, der an der neuen Studie selbst nicht beteiligt war: »Am Ende hat dann jedenfalls der Asteroid den Dinosauriern den Rest gegeben.« Allerdings unterstreicht er auch noch einmal, wie schnell man falschliegen kann, wenn man die einzelnen, unterschiedlich gut erforschten Fundstellen nicht korrekt einordnet: So seien nach seiner Einschätzung – anders als das Brusatte und Kollegen errechnet haben – in Nordamerika auch bestimmte klei-

ne zweibeinige Theropoden-Fleischfresser im Niedergang begriffen gewesen [3]. Aber man habe ja auch erst seit kurzer Zeit überhaupt genug Informationen, um die Entwicklungen einigermaßen nuanciert beschreiben zu können, gibt Archibald zu bedenken.

<

Dieser Artikel erschien in einer ausführlicheren Version in »Nature«. (Spektrum.de, 28. Juli 2014)

[1] Biol. Rev. 10.1111/brv.12128, 2014.

[2] Proc. Natl. Acad. Sci. USA 109, S. 18857–18861, 2012.

[3] Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 10.1130/2014.2505(10), 2014.

**SCHÄDEL EINES  
*TRICERATOPS***  
**Der Schädel eines *Triceratops*-Dinosauriers. Gerade diese Verwandtschaftsgruppe hatte zunehmend an Diversität verloren, als die Dinosaurier ihren finalen Todestöß durch einen einschlagenden Asteroiden erhielten.**



CHICXULUB

# Killerasteroid brachte Kälte und Finsternis

von Lars Fischer

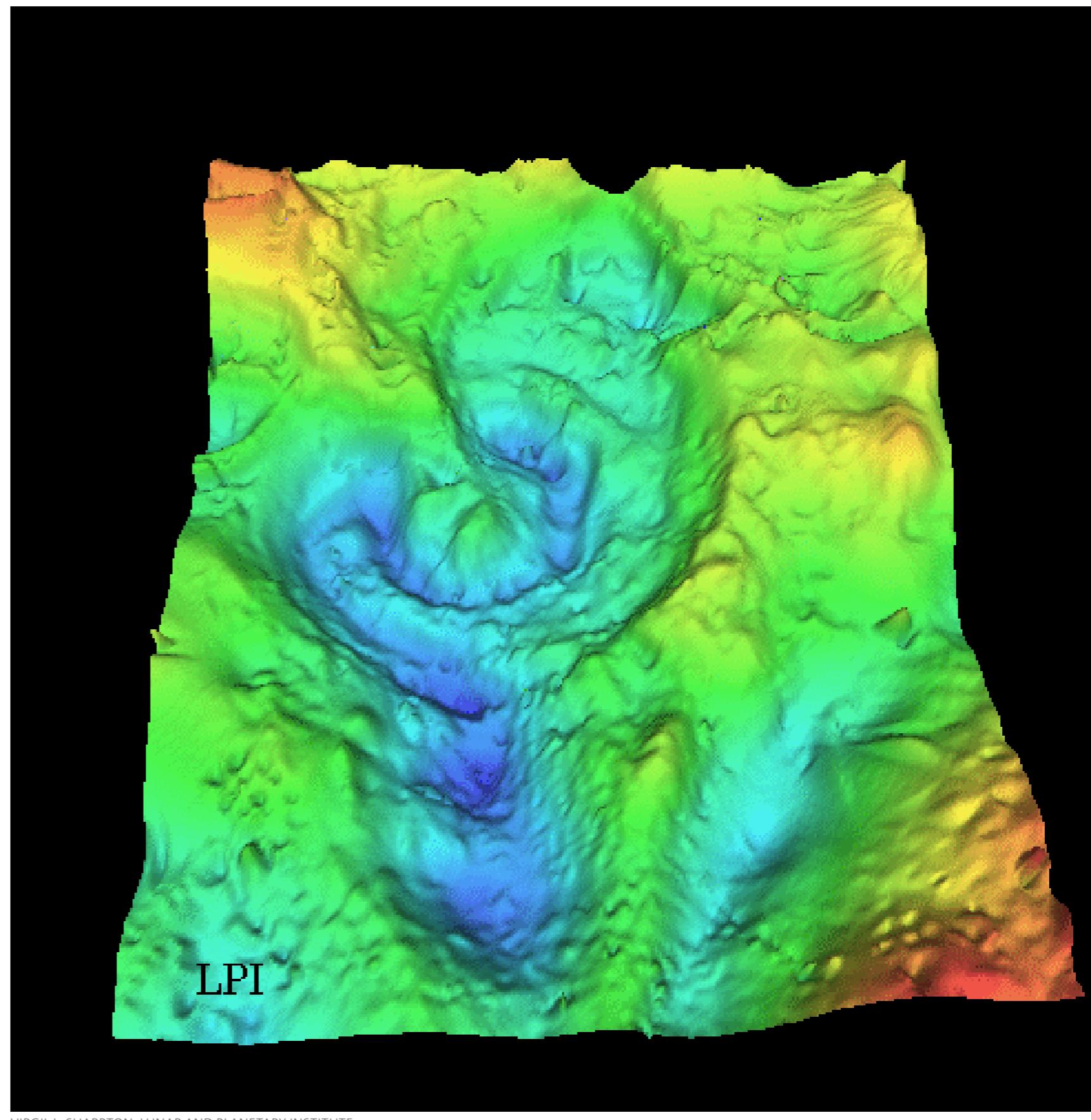
Erstmals finden Forscher handfeste Belege für die Vermutung, dass der Asteroideneinschlag am Ende der Kreidezeit riesige Mengen Aerosole in die Stratosphäre schleuderte, die die Erde über Jahrzehnte in eine Art nuklearen Winter stürzten.



**E**in gigantischer Feuerball, hunderte Meter hohe Tsunamis, Regen aus geschmolzenem Gestein und globale Waldbrände zerstörten vor etwa 65 Millionen Jahren die Welt der Dinosaurier. Den eigentlichen Todesstoß aber, so vermuten Forscher seit Langem, versetzte den Ökosystemen des Erdmittelalters eine andere Folge des Asteroideneinschlags von Chicxulub: ein Jahrzehntelanger globaler Winter, ausgelöst durch Ruß und Aerosole, die bei dem Ereignis in die obere Atmosphäre geschleudert wurden und dort das Sonnenlicht blockten. In der Forschung ist dieses Szenario weithin akzeptiert. Allerdings: Bisher gab es keinen greifbaren Beleg für den langen Einschlagwinter. Nun ist sich ein Team niederländischer Forscher sicher, einen solchen Beleg gefunden zu haben. In Texas untersuchten Johan Vellekoop von

#### CHICXULUB-KRATER

**Der untermeerische Chicxulub-Krater zeugt noch heute von einem gewaltigen Einschlag, der sich vor 65 Millionen Jahren vor der Küste der Halbinsel Yucatán ereignete. Vermutlich löschte dieses Ereignis die Dinosaurier aus.**



VIRGIL L. SHARPTON, LUNAR AND PLANETARY INSTITUTE

der Universität Utrecht und seine Kollegen eine Gesteinsformation, die den Zeitraum rund um die Katastrophe besonders deutlich offenbart. Direkt nach dem Einschlag lagerte ein enormer Tsunami dicke Sand schichten ab, doch wirklich interessant sind die darauf folgenden Schichten: In diesen Tonschiefern findet sich die [Iridium](#)-Anomalie – der Beweis, dass diese Steine aus der Zeit stammen, als der Staub des Impakts zur Erde rieselte.

Die Schiefer kommen aus etwa 100 bis 200 Meter tiefem Wasser am Südrand des Nordamerikanischen Kontinents. Seit Jahren versuchen Forscher herauszufinden, wie warm dieser Ozean in der Folge des Einschlags war. Allerdings ließ die Katastrophe viele jener Kalkalgen aussterben, die Forscher normalerweise nutzen, um die Temperatur der oberen Wasserschichten zu erschließen.

Stattdessen griffen Vellekoop und sein Team auf subtile chemische Spuren zurück: eine Gruppe von Fettmolekülen aus der Zellmembran spezieller [Archaeabakterien](#), deren genaue Mengenanteile ein recht präzises Thermometer für die Meerestemperatur sind. Wie sich zeigte, lässt sich mit Hilfe dieses Parameters die Zeit des Über

gangs in drei grobe Abschnitte unterteilen. Der erste Abschnitt umfasst das Ende der Kreidezeit direkt vor dem Einschlag. Die Fettmoleküle hier deuten auf eine Wassertemperatur von etwa 30 Grad Celsius, das entspricht den Werten, die Forscher aus anderen Indizien sowie Klimasimulationen ableiten. Im dritten Abschnitt, der oberhalb der Schichten aus der Zeit der Katastrophe liegt, ist das Wasser konstant etwa 2 Grad wärmer.

Am interessantesten jedoch waren die Tonschiefer der Jahrzehnte nach dem Einschlag. In ihnen fanden die Forscher das gesuchte Zeichen für die globale Abkühlung: Im Schnitt war es zwei Grad kälter, einzelne Proben zeigen sogar Temperatur rückgänge von bis zu sieben Grad Celsius an. Wahrscheinlich war es sogar noch kälter, vermuten die Forscher. Das Temperatursignal ist gleichsam mit Material wär

**TYRANNOSAURUS REX IM MUSEUM  
VON MANCHESTER**  
**Die Tyrannosaurier lebten in den letzten  
Abschnitten der Kreidezeit und sind das  
wohl prominenteste Opfer des Chicxulub-  
Einschlags.**



BILLION / CC-BY-SA 3.0 (CC BY-SA)

merer Schichten verdünnt. Dafür wiederum ist eine weitere dramatische Folge der globalen Abkühlung zu jener Zeit verantwortlich: Der Temperaturunterschied zwischen kalter Luft und warmem Ozean trieb mächtige Stürme an, die das Meer bis zum damaligen Meeresgrund aufwühlten. Altes und neues Sediment gerieten so durcheinander, dass die Forscher mit ihren Daten kaum mehr sagen können, als dass es ein ganzes Stück kälter wurde.

Das allerdings zeigt schon, dass es den postulierten Aerosolvorhang in der Stratosphäre wohl tatsächlich gab – das Leichentuch des Mesozoikums. Bis zu 80 Prozent der Sonneneinstrahlung, vermuten Forscher, blockte die Wolke ab. Es wurde nicht nur kalt, sondern auch dunkel. Pflanzen und Plankton reichte das Dämmerlicht nicht mehr zur Fotosynthese, und mit ihnen starben ganze Nahrungsnetze, die von ihnen abhängig waren. Erst Jahre oder Jahrzehnte später legte sich der tödliche Dunst – zu spät für viele Lebewesen, darunter fast alle Dinosaurier. <

The image shows the front cover of a German magazine, "Spektrum der Wissenschaft KOMPAKT". The cover features a close-up, high-contrast photograph of a Neanderthal's face, with dark hair and a textured, reddish-brown skin tone. The magazine's title "Spektrum der Wissenschaft KOMPAKT" is printed in white at the top left. A red circular badge in the lower-left corner contains the text "FÜR NUR € 4,99". The main title "DIE URSPRÜNGE DES MENSCHEN" is prominently displayed in large yellow letters across the center. Below it, the subtitle "Gene schreiben Menschheitsgeschichte" is written in smaller white text. A dark rectangular button at the bottom right contains the white text "HIER DOWNLOADEN".

Spektrum  
der Wissenschaft  
**KOMPAKT**

FÜR NUR  
€ 4,99

**DIE URSPRÜNGE  
DES MENSCHEN**

Gene schreiben Menschheitsgeschichte

HIER DOWNLOADEN

(Spektrum.de, 12. Mai 2014)

Proceedings of the National Academy of Sciences of  
the U.S.A. 10.1073/pnas.1319253111, 2014



VOGELEVOLUTION

# Zeitgenossen der Dinosaurier

von Gareth Dyke

Moderne Vögel entstanden erst nach dem Untergang der Dinosaurier – so dachten Biologen lange. Neue Funde zeigen jedoch, dass sie schon in der Kreidezeit den Himmel bevölkerten. Nur: Wie überlebten ausgerechnet sie das Massensterben vor 65 Millionen Jahren?

## MODERNE VÖGEL

**Moderne Vögel gab es bereits zu Zeiten der Dinosaurier. Ähnlich wie in dieser Illustration mag *Vegavis* ausgesehen haben, ein früher moderner Vogel, der vor 67 Millionen Jahren auf der antarktischen Halbinsel lebte.**

**D**ezember 2001 – ein eisiger Tag in Moskau, es herrschen unter 15 Grad minus. Mehrere Stunden lang habe ich heute im paläontologischen Museum Fossilien aus der Mongolei in Augenschein genommen. Jetzt sitze ich zusammen mit meinem Kollegen Evgeny N. Kurochkin von der Russischen Akademie der Wissenschaften in einer kleinen Bar. Die Heizung hat den Geist aufgegeben, und ich trinke in Wintermantel und Handschuhen einen Wodka gegen die Kälte.

Kurochkin und ich haben uns vorgenommen, sämtliche im Museum aufbewahrten Vogelfossilien von sowjetisch-mongolischen Expeditionen zu begutachten. Heute untersuchten wir insbesondere die Reste eines kleinen Flügels aus der Wüste Gobi, den Paläontologen schon 1987 bargen. Das zarte Fossil mit seinen verschobenen und zerdrückten Knochen wirkt neben den Dinosaurierskeletten des Museums geradezu mickrig. Trotzdem hat es für die Wissenschaft eine große Bedeutung, widerlegt es doch die herkömmliche Auffassung von der Vogelevolution.

Von allen Landwirbeltieren bilden die heute lebenden Vögel mit Abstand die viel-

Auf einen Blick

## Überleben nach der Katastrophe – die Herkunft der modernen Vögel

- 1 Alle Vögel stammen von kleinen, Fleisch fressenden Dinosauriern ab, den Theropoden. Nach herkömmlicher Auffassung entstanden die modernen Gruppen aber erst nach Ende der Kreidezeit.
- 2 DNA-Vergleiche und neue Fossilfunde zeigen jedoch, dass die modernen Vögel viel älteren Ursprungs sind.
- 3 Noch wissen Forscher nicht, warum vor 65 Millionen Jahren alle anderen Vogellinien mit den Dinosauriern untergingen, die Vorfahren der heutigen Vögel sich aber behaupten konnten. Möglicherweise bescherte ihnen eine vielseitige Ernährungsweise einen Überlebensvorteil.

seitigste Klasse. Manche der über 10 000 Arten leben die meiste Zeit des Jahres auf offener See, andere in der Wüste, wieder andere hausen hoch in Schneegebirgen. Noch vor wenigen Jahren glaubten Evolutionsbiologen, die Vögel, wie wir sie heute kennen, seien erst nach dem Ende der Dinosaurier aufgetreten und konnten sich dann richtig entfalten – also nach dem mutmaßlichen Asteroideneinschlag vor rund 65 Millionen Jahren, in dessen Folge

am Ende der Kreidezeit außer den Riesensaurier auch viele andere Landwirbeltiere ausstarben. Zwar waren schon Vogelfossilien aus der Zeit vor diesem Massensterben bekannt – aber nur solche von Urvögeln wie *Archaeopteryx* und verschiedenen anderen eher urtümlichen Gruppen. Arten mit modernem Körperbau, die zum Beispiel aussahen wie Enten, Kuckucke oder Kolibris, waren nach den damals existierenden Fossilfunden durchweg jünger. All

die verschiedenen Linien der modernen oder »neuen« Vögel – wissenschaftlich Neornithinen – schienen somit erst nach der Dinosaurierkatastrophe aufgetreten zu sein, als viele ökologische Nischen plötzlich leer wurden. Denn damals verschwanden nicht nur die Flugsaurier, sondern auch die bekannten archaischen Vogellinien – bis auf eine, aus der nach dieser Auffassung später die modernen Vögel hervorgingen. Diese Linie hätte, so lernten Generationen von Biologiestudenten, nun plötzlich Platz gehabt, um sich auszubreiten und weiterzuentwickeln.

## Aufspaltung in verschiedene Linien

Doch seit Anfang 2000 änderte sich das Bild. Hierzu trugen Fossilien wie jene kleine zerdrückte Schwinge aus der Mongolei bei, aber auch Analysen der DNA heute lebender Vögel. Demnach haben sich die Neornithinen schon vor dem Untergang der Dinosaurier längst in verschiedene Linien aufgespalten. Ihre Nachfahren stellen die heutigen Vögel dar.

Der Ursprung der Vögel war unter Paläontologen auch noch in anderer Hinsicht lange ein Streitpunkt. Denn unklar blieb zunächst, von welcher Reptiliengruppe sie

wohl abstammten. Ein Teil der Forscher behauptete, dass sie aus kleinen Theropoden, zweibeinigen Raubsauriern, hervorgegangen waren – und somit der Gruppe, der auch die Tyrannosaurier angehörten. Andere Paläontologen meinten dagegen, die Vögel hätten sich schon früher von einer älteren Reptiliengruppe abgespalten. Nachdem aber in den letzten 20 Jahren eine Reihe Fossilien von vogelähnlichen Theropoden aufgetaucht sind, von denen viele sogar Daunenfedern trugen, vertreten die meisten Forscher heute die erste These.

Die Beziehung dieser urtümlichen Tiere zu den modernen Vögeln blieb allerdings weiterhin unklar. Der älteste bekannte Vogel ist *Archaeopteryx*. Er lebte vor 145 Millionen Jahren. Einschließlich der ersten Fossilfunde dieses Urvogels aus der Mitte des 19. Jahrhunderts sind den Paläontologen heute zehn Exemplare bekannt, alle aus Süddeutschland. *Archaeopteryx* gilt als das früheste Lebewesen, das eindeutig Flügel mit asymmetrischen Schwungfedern besaß – die Voraussetzung, um beim Fliegen Auftrieb zu erzeugen, und ein Charakteristikum der Vögel. Modernen Vögeln glich *Archaeopteryx* allerdings noch wenig. Eher

ähnelte er manchen kleineren Dinosauriern, wie *Velociraptor*, *Deinonychus*, *Anchisornis* und *Troodon*. Inzwischen kennen wir mehr frühe Vögel: *Jeholornis* etwa wurde in China entdeckt, *Rahonavis* auf Madagaskar. Sie alle hatten unter anderem noch eine lange Schwanzwirbelsäule – wie die genannten Dinosaurier. Einige Urvögel trugen auch noch scharfe Zähne.

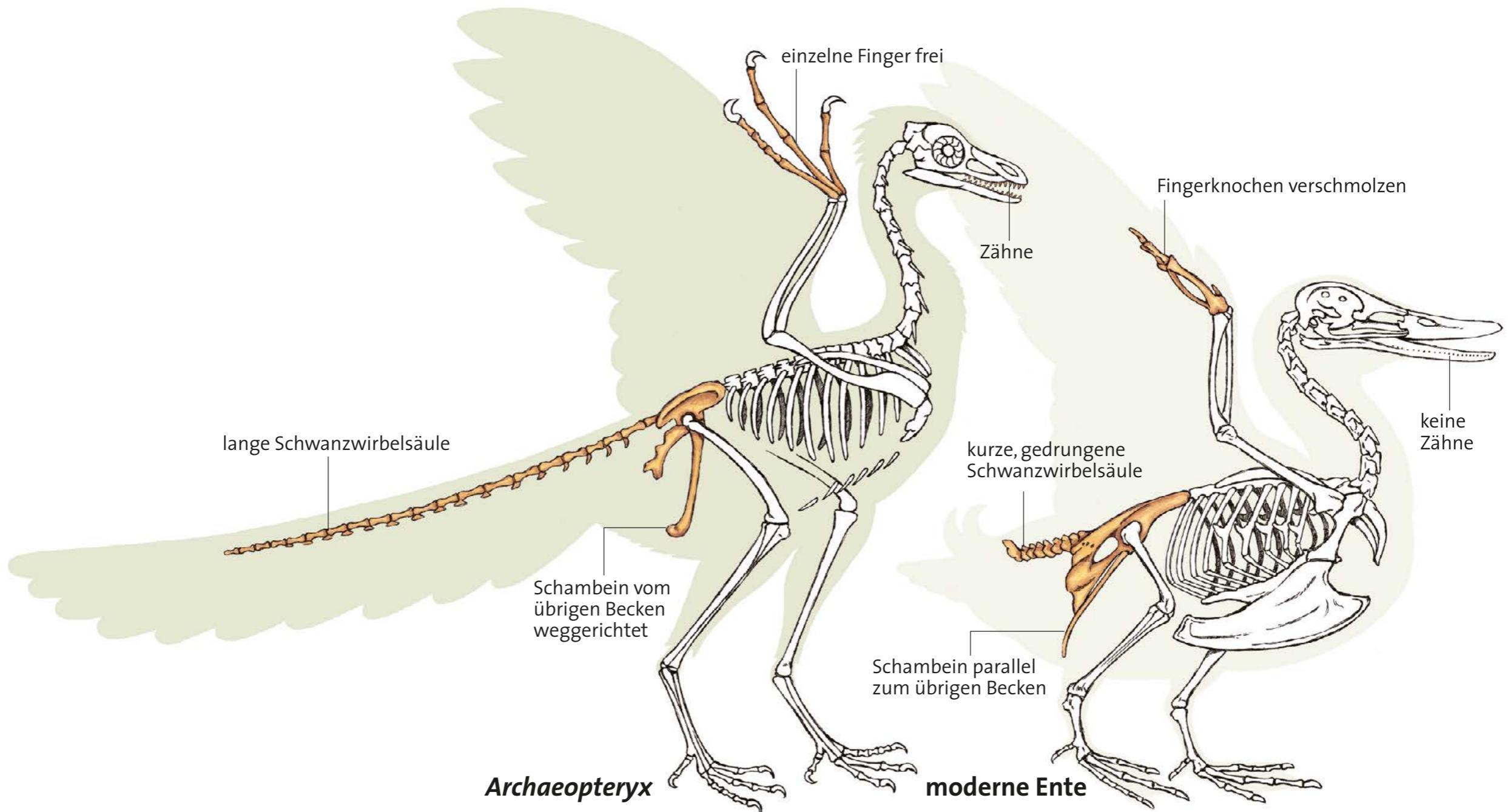
All das kommt bei modernen Vögeln nicht mehr vor. Ihr Skelett hat sich ans Fliegen angepasst und ist deswegen besonders leicht gebaut. Die Schwanzwirbelsäule hat sich stark verkürzt, und die Handknochen sind verschmolzen. Finger fehlen ihnen, doch Arme und Handgelenke wurden besonders beweglich. Auch fällt das große Brustbein auf, an dem der Flugmuskel ansetzt. Zu gern hätten die Ornithologen gewusst, wann – und auch wie – diese modernen Merkmale entstanden sind. Doch uns fehlten dazu die Fossilfunde.

## Artenreichtum in der frühen Kreidezeit

Vogelfossilien für die fragliche Zeitspanne gab es zwar genug – nur eben nicht die richtigen. Dank solcher Überreste wussten wir aber zumindest, dass die Vögel bereits vor über 100 Millionen Jahren, also in der frü-

## ARCHEOPTERYX UND MODERNE ENTE

**Vögel stammen von kleinen Raubsauriern ab. Urvögel wie *Archaeopteryx*, der vor 145 Millionen Jahren lebte, ähnelten in vielem noch diesen Theropoden. Etliche ihrer Merkmale haben die Vögel später abgewandelt, oder sie verschwanden ganz.**



hen Kreidezeit, eine breite Palette von Fluganpassungen und ökologischen Spezialisierungen ausgebildet hatten. Manche Arten verfügten über große, breite Schwingen, manche über lange, schmale Flügel. Einige waren Waldbewohner und ernährten sich von Insekten und Früchten. Andere lebten an Seeufern oder auf dem Wasser und fraßen Fische.

Die damalige Vielfalt erstaunt – und sie währte bis in die letzten Stadien der Kreidezeit, die vor 65 Millionen Jahren endete und vom Tertiär abgelöst wurde. Zusammen mit niederländischen Kollegen vom Naturhistorischen Museum in Maastricht untersuchte ich Vögel mit Zähnen, die ganz am Ende dieser Periode lebten. Ihre Fossilien stammen aus einer Schicht unmittelbar unter jenem geologischen Horizont, der das große Aussterben am Ende der Kreidezeit markiert.

Leider gehörten bis vor Kurzem alle für eine Zuordnung ausreichend erhaltenen kreidezeitlichen Vogelfossilien zu damals ausgestorbenen Evolutionslinien. Auch hatten alle diese Linien einen älteren Ursprung als die Gruppe der modernen Vögel. Da wundert es nicht, dass Paläontologen lange annahmen, die modernen Vögel

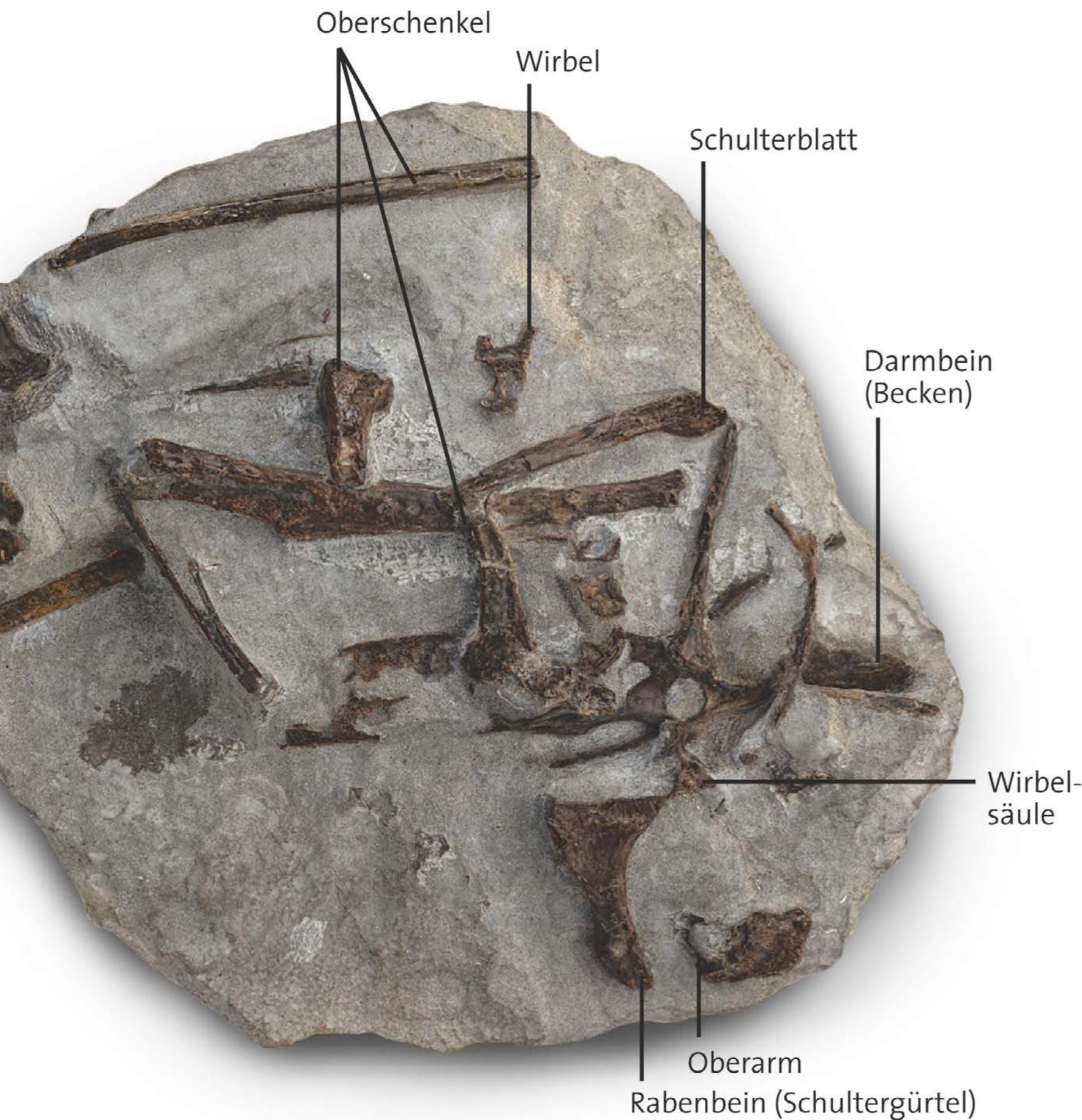
seien überhaupt erst nach dem Untergang der Dinosaurier aufgetreten und hätten sich erst später vielfältig aufgezweigt. Schließlich war das die plausibelste und einfachste Deutung der vorliegenden Befunde.

Zweifel an dieser Vorstellung kamen zunächst von ganz anderer Seite: der Molekulargenetik. In den 1990er Jahren begannen Forscher zunehmend, genetische Sequenzen (DNA-Abschnitte) heute lebender Organismen zu vergleichen, um anhand dessen die Abstammungsverhältnisse zu rekonstruieren – und auch das Alter von einzelnen Gruppen zu berechnen. In manchen Bereichen des Erbguts häufen sich über lange Zeiträume Mutationen mit einer zeitlich recht gleichmäßigen Rate an. Forscher sprechen sogar von einer molekularen Uhr, die relativ konstant tickt. An der Anzahl von Unterschieden in solchen DNA-Abschnitten zweier Organismen schätzen sie somit ab, seit wann deren Entwicklungslinien getrennt verliefen.

Schon früher hatten Molekularbiologen das klassische Bild von der Vogelevolution in Frage gestellt, schließlich gab es auf ihrem Gebiet einige nicht stimmige Befunde. So war es nur folgerichtig, das Al-

ter der Hauptgruppen der modernen Vögel mit Hilfe der molekularen Uhr zu ermitteln. Die Wissenschaftler untersuchten zum Beispiel, wann sich die Vorfahren der Urkieervögel (Palaeognathae) und der Hühner und Gänsevögel (Galloanserae) voneinander getrennt hatten. Beide Gruppen gelten als besonders ursprünglich. Zur ersten gehören große, meist flugunfähige Arten wie Strauß und Emu, zur zweiten unter anderem Hühner, Enten, Gänse und Schwäne. Das Ergebnis: Die zwei Vogellinien scheinen bereits in der Kreidezeit entstanden zu sein, also lange vor dem großen Aussterben. Ähnlich frühe Abstammungsdaten erhielten die Forscher auch für andere Vogelgruppen. Demnach hätten moderne Vögel schon zeitgleich mit Dinosauriern gelebt.

Anfangs begegneten die Paläontologen diesen Analysen, wie überhaupt dem ganzen molekularen Ansatz, höchst skeptisch – widersprachen sie doch allem, was sie bisher wussten. Doch die Befunde waren so überzeugend, dass auch die Fossilforscher sich schließlich an befreudliche Vorstellungen gewöhnten: dass etwa ein Rotkehlchen auf einem *Velociraptor* ritt oder eine Ente neben einem *Spinosaurus*



schwamm. Ganz zufrieden waren wir aber noch nicht – denn wir wollten den Zusammenhang anhand von Fossilien gern selbst untermauern.

Die ersten Chancen dazu ergaben sich bald nach der Jahrtausendwende. Es fing mit dem kleinen Vogelflügel aus der Mongolei an, den Evgeny Kurochkin und ich damals in Moskau untersuchten. Evgeny war dieses Fossil schon 1987 aufgefallen, und er hatte mir damals gleich mitgeteilt, bei ihm erwecke dieses Tier den Eindruck, als handle es sich um ein Mitglied der Presbyornithiden – einer ausgestorbenen Gruppe entenähnlicher Vögel aus der Verwandtschaft von modernen Enten und Gänsen. Doch das schien uns allen in der Phase völlig unmöglich, weil dieses Fossil 70 Millionen Jahre alt war und somit aus der Kreidezeit stammte. Damals konnte es jene Gruppe überhaupt noch nicht gegeben haben,

#### FOSSIL VON DER VEGA-INSEL

Dieses Fossil von der antarktischen Vega-Insel gehört zu den wichtigsten Beweisstücken für die frühe Existenz moderner Vögel. Auf der hier abgebildeten Seite des Fossils sieht man rechts von der Mitte Teile der Wirbelsäule.

so glaubten wir. In jenem kalten Dezember Ende 2001 in Moskau bewiesen wir das Gegen teil. Denn unsere Studien ergaben eindeutig: Dieser Flügel stammte tatsächlich schon von einem Presbyornithiden. Wir erkannten das an den verschmolzenen Knochen des Handskeletts und einigen anderen anatomischen Details, die beispielsweise auf den Aufbau des Muskel- und Sehnenapparats schließen lassen. Ganz klar hatten wir hier einen Flügel des bis dahin ältesten modernen Vogels vor uns – wissenschaftlich gesagt: den ältesten eindeutig bestimmten Repräsentanten der Neornithinen. Zu den Vorhersagen der Molekularbiologen passte das bestens. Als wir diesen Vogel im Jahr darauf beschrieben, gaben wir ihm den Gattungsnamen *Teviornis*. Die ersten beiden Silben wählten wir nach dem Finder des Skeletts, Victor Ter eschenko; griechisch *ornis* bedeutet Vogel.

### Eine weitere Gattung: *Vegavis*

Im Jahr 2005 erhielt *Teviornis* Gesell schaft. Das betreffende Fossil hatten Paläontologen schon in den 1990er Jahren auf der Vega-Insel im Weddell-Meer östlich der antarktischen Halbinsel entdeckt. Diese Insel ist für ihren Reichtum an Di-

nosaurierfossilien bekannt. Der Fund blieb wenig beachtet, bis Julia A. Clarke, heute an der University of Texas in Austin, und ihre Kollegen die Skelettreste eingehend untersuchten. Sie gaben dem Tier den Gattungsnamen *Vegavis* (lateinisch *avis*: Vogel).

Ihre Studien ergaben: Auch *Vegavis* war ein früher moderner Vogel der Kreidezeit. Er wies etliche Merkmale moderner Enten auf, insbesondere am Schultergürtel und Becken, an den Flügelknochen und Unterschenkeln. Dieses Tier lebte vor etwa 66 bis 68 Millionen Jahren, also etwas später als *Teviornis*, jedoch ebenfalls noch eindeutig vor dem Massensterben am Ende der Kreidezeit. Überdies ist das Skelett dieses frühen Vogels erfreulicherweise in großen Teilen erhalten, ganz anders als bei *Teviornis*.

Der Fund von *Vegavis* überzeugte die Paläontologen, dass moderne Vögel schon in der Kreidezeit vorkamen. Die neue Erkenntnis veranlasst nun viele Forscher, Fossilien aus der fraglichen Zeit nochmals genauer zu untersuchen. Schon jahrelang hatte die Ornithologin Sylvia Hope von der California Academy of Sciences in San Francisco behauptet, bestimmte versteinerte Knochen aus New Jersey und Wyoming ge

hörten zu modernen Vögeln. Diese Überreste sind zwischen 80 und 100 Millionen Jahre alt. Ihre Kollegen hielten das Material für zu dürf tig für dermaßen weit greifende Aussagen, weil es sich in den meisten Fällen nur um einzelne Knochen handelt. *Vegavis* und *Teviornis* lassen nun vermuten, dass Hope Recht haben könnte. Vergleiche dieser einzelnen Knochen mit vollständigeren fossilen Skeletten dürften in dieser Sache Klarheit bringen.

Zu wissen, dass die modernen Vögel schon aus der Kreidezeit stammen, wirft allerdings neue Fragen auf. Denn wieso hat ausgerechnet diese Gruppe die Verheerungen durch den Asteroideneinschlag überlebt? Die ursprünglicheren Vogellinien gingen in den dadurch ausgelösten ökologischen Umwälzungen unter, und auch die Flugsaurier starben aus. Vielleicht handelt es sich dabei um das letzte große Rätsel der Vogelevolution, dessen Lösung ich selbst aktuell einen Großteil meiner Zeit widme.

Die Hand voll Fossilien aus der Kreidezeit, die den modernen Vögeln bisher sicher zugeordnet werden können, liefern letztlich zu wenige Anhaltspunkte, um in diesem Punkt wirklich weiterzukommen. Wertvolle Einsichten hierzu bringen hingegen

gen Studien über die heutige Vogelwelt. So haben britische Kollegen und ich umfangreiche Datensammlungen von Vogelvermessungen moderner Populationen ausgewertet und mit den Maßen verschiedener fossiler Vögel verglichen. Dabei stellte sich beispielsweise heraus, dass die Flügelknochen von kreidezeitlichen modernen Vögeln dieselben Proportionen aufwiesen wie bei den urtümlicheren Enantiornithinen – einer Vogellinie, die am Ende der Kreidezeit ausstarb. Das gilt auch für *Teviornis* und *Vegavis*. Anhand der Daten von heutigen Vögeln konnten wir in etwa auf die Flügelform und somit das Flugvermögen schließen. Beides scheint sich zwischen den beiden Gruppen nicht unterschieden zu haben, wohingegen sich die noch theropodenähnlichen, viel älteren Urvögel wie *Archaeopteryx* in der Luft höchstwahrscheinlich schlechter bewegten. Was das Fliegen betraf, waren die frühen modernen Vögel ihren später ausgestorbenen Zeitgenossen also wohl nicht überlegen. Warum überlebten sie dann?

Vielleicht war die Ernährungsweise der entscheidende Faktor. In den letzten Jahren habe ich untersucht, in welcher Art von Umwelt Vögel vor 60 Millionen Jahren und

in der Zeit danach lebten, also kurz nach dem Massensterben vor 65 Millionen Jahren. Fast alle diese – nun ausschließlich modernen – Vögel bevorzugten offenbar Wassernähe und feuchte Lebensräume, zum Beispiel Küsten, Seen, Flussufer oder das offene Meer. Viele heutige Vögel, die solche Umwelten bewohnen, etwa Enten, gelten als so genannte Generalisten: Sie fressen die verschiedensten Sachen, ob Gras, Schnecken oder Käfer. Hatten die modernen Vögel der Kreidezeit etwa einen besonders vielseitigen Speiseplan, der ihnen über die Katastrophe hinweghalf? Immerhin ähnelten sie laut heutigem Wissensstand tatsächlich Enten.

Im Gegensatz dazu lebten die damals ausgestorbenen kreidezeitlichen Vogelarten anscheinend in ganz unterschiedlichen Umgebungen – manche ebenfalls am Meer, manche im Binnenland, andere in Wüsten oder in Wäldern. Das spricht dafür, dass diese Arten womöglich eher Nahrungsspezialisten waren. Vielleicht hatten sie sich jeweils auf eine bestimmte enge Nahrungsnische eingestellt. Dann wäre das Erfolgsgeheimnis der modernen Vögel schlicht ihre geringere Spezialisierung und damit höhere Flexibilität und Anpassungs-

fähigkeit gewesen. So einleuchtend das klingt – noch ist diese Erklärung nicht mehr als eine These. Um herauszufinden, was die Vogelevolution nach der Kreidezeit beflügelte, müssen wir nun vor allem eines leisten: mehr aussagekräftige Fossilien finden – gleichgültig ob im Freien oder in Museumsschubladen. <

(Spektrum der Wissenschaft, Januar 2011)

Anderson, J. S., Sues, H.-D. (Hg.): Major Transitions in Vertebrate Evolution. Indiana University Press, Indianapolis 2007

Clarke, J. A. et al.: Definitive Fossil Evidence for the Extant Avian Radiation in the Cretaceous. In: Nature 433, S. 305 – 308, 2005

Kaiser, G. W.: The Inner Bird: Anatomy and Evolution. University of British Columbia Press, Vancouver 2007

# Waren Vögel doch nie Dinosaurier?

von Jan Osterkamp

Wahrscheinlich startete ein kleines, längst ausgestorbenes Baumwesen per Gleitflug die Karriere aller Vögel. Damit wird eine alte, zwischendurch überholte Theorie wiederbelebt.

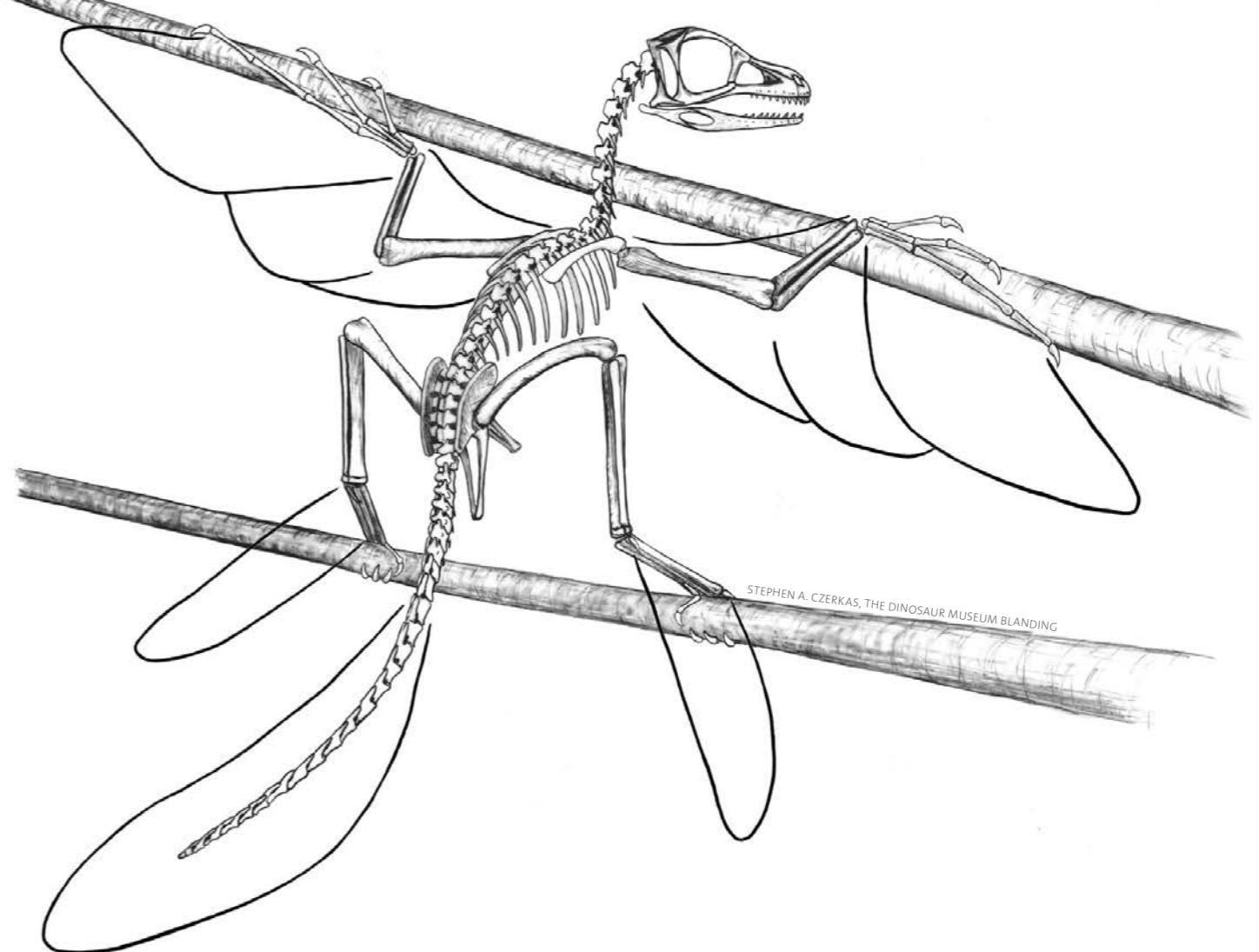
Die heutigen Vögel sind wohl doch eine ganz eigene Klasse von Tieren und nicht etwa hochspezialisierte Abkömmlinge von Dinosauriern, die irgendwann einmal vom Boden aus starteten und fliegen lernten. Das meinen zwei Forscher **nun nach einer neuen gründlichen Untersuchung** eines spatzengroßen Fossils aus China. Die anatomischen Indizien – nach Analysen mit 3-D-Mikroskopie, hochauflösender Fotografie und Flachwinkelbeleuchtungen –

sprechen dafür, dass alle modernen Vögel einer viel älteren Seitenlinie des Reptilstammbaums als den Dinosauriern entstammen: Einem kleinen, baumlebenden **Archosaurier**. Das Fossil eines **Scansoriopteryx** (»Kletternder Flügel«) war vor einigen Jahren in der Inneren Mongolei gefunden, mit modernster Technik aber bis heute nicht durchleuchtet worden. Man entdeckte nun typische Merkmale, die bei Dinosauriern nicht vorkommen, und zudem viele typische Kennzeichen der Vogelanatomie. Der Vogelvorfahr kletterte wohl

einst auf Bäume und besaß die Fähigkeit zum Gleitflug. Schon im 19. Jahrhundert hatte man baumbewohnende Archosaurier wie *Scansoriopteryx* als Vorfahren der Vögel vermutet, die allmählich den Gleitflug mit Federn perfektioniert hätten. Diese Sichtweise war dann nach und nach von einer konkurrierenden Hypothese abgelöst worden, nach der Vögel aus **theropoden** Landsauriern entstanden. <

(Spektrum.de, 9. Juli 2014)

Journal of Ornithology 10.1007/s10336-014-1098-9, 2014





ERSTAUNLICHER FUND

## Trugen alle Dinos Federn?

von Daniel Lingenhöhl

Womöglich wuchsen nicht nur den saurierartigen Vorfahren der Vögel Federn, sondern auch anderen Dinosauriern. Das legt ein Fund aus Sibirien nahe.

**K**ulindadromeus zabaikalicus war nur 1,5 Meter lang, lebte vor etwa 150 Millionen Jahren im Gebiet des heutigen Sibiriens – und wäre eigentlich kein besonderer Fund, wenn da nicht ein außergewöhnliches Merkmal erhalten geblieben wäre: Außergewöhnlich gut überstandene Hautüberreste des Tiers die Versteinerung, und sie zeigen neben Schuppen auch Federstrukturen, die Pascal Godefroit vom Königlichen Belgischen Institut für Naturwissenschaften in Brüssel und seine Kollegen überraschten. Denn diese neue Dinosaurierart ist nur sehr entfernt mit den Vorfahren der Vögel verwandt. Zu diesen Theropoden genannten Sauriern zählten beispielsweise *Tyrannosaurus rex* oder *Velociraptor*, die teilweise bereits erste Federn trugen.

Godefroit und Co entdeckten hunderte Exemplare von *Kulindadromeus zabaikalicus*, die während des Mittleren Juras wohl in einem See oder Sumpf ertrunken sind, was die sie umgebenden Sedimentgesteine nahelegen. Diese Bedingungen sorgten dafür, dass sich lange Filamente an den Ar-

men und Beinen der Fossilien erhalten hatten, die Daunenfedern ähneln. Womöglich wirkten sie isolierend und halfen die Körpertemperatur aufrechtzuerhalten, so Godefroit. Außerdem entdeckten er und sein Team auch noch komplexere Federstrukturen am Körper der Tiere, die wiederum der Zerde gedient haben könnten, der lange Schwanz hingegen war mit Schuppen bedeckt. Normalerweise verschwinden derartige, eher weiche Gewebebestandteile im Gegensatz zu den harten Knochen beim Versteinern, weswegen sie nur selten bei Dinosauriern oder fossilen Vögeln gefunden werden – die Bedingungen rund um den Fundort müssen also damals perfekt gewesen sein. Da es sich um eine eher primitive Dinosaurierart handelt, vermuten die Forscher deshalb, dass Federn wahrscheinlich viel weiter verbreitet waren, als bislang angenommen wurde. Das könnten aber nur weitere Funde klären, so Godefroit abschließend. <

(Spektrum.de, 25. Juli 2014)

Science 10.1126/science.1253351, 2014



FÜR NUR  
€ 4,99

## POLARGEBIETE

Leben im ewigen Eis

Schmelzriegel Arktis  
Das antarktische Paradox  
Der Gesang des Meeres

HIER DOWNLOADEN



## TAXONOMIE

# *Archaeopteryx* kehrt zu den Vögeln zurück

von Georg Neulinger

*Archaeopteryx* ist tatsächlich ein Vogel und nicht bloß ein gefiederter Dinosaurier. Der Rang des ursprünglichsten Vertreters der Vögel gebührt aber einer anderen Art.

H. RAAB / CC-BY-SA 3.0 (CC BY-SA)

## ARCHAEOPTERYX-FOSIL

***Archaeopteryx*-Exemplar im Museum für Naturkunde in Berlin. Dieses Bild zeigt das Original-Fossil, keinen Abguss.**

**A**rchaeopteryx ist tatsächlich ein Vogel und nicht »bloß« ein gefiederter Dinosaurier. Jedoch dürfte ihm eine neu entdeckte Art den Rang als »ursprünglichster« Vertreter der Vögel ablaufen.

Der »Urvogel« *Archaeopteryx* zählt seit seiner Entdeckung 1861 im bayerischen Solnhofen zu den bekanntesten Fossilien weltweit. Mit Vogelfedern und Reptilienzähnen ausgestattet, galt er als Beleg dafür, dass Spatzen, Hühner und Co gefiederte Nachfahren der Dinosaurier sind. Doch in den letzten Jahren war dieses Bild zunehmend ins Wanken gekommen: So ordneten ihn Forscher um Xing Xu von der Chinese Academy of Sciences als **vogelähnlichen Dinosaurier** ein – genauer gesagt bei den Deinonychosauriern, zu denen auch die Furcht erregenden Velociraptoren aus »Jurassic Park« zählen.

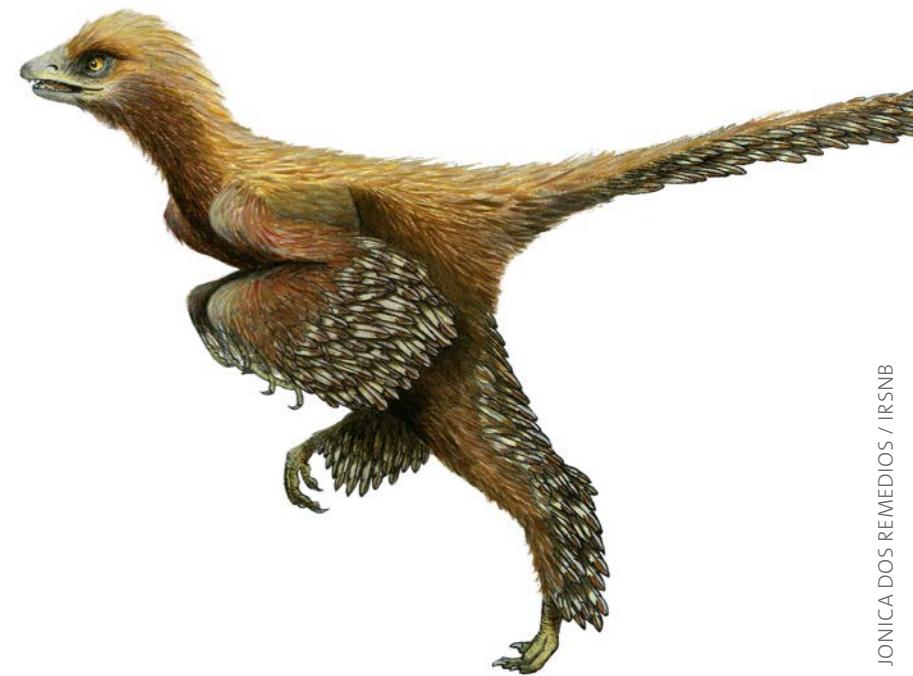
Ein Forscherteam um Pascal Godefroit vom Royal Belgian Institute of Natural Sciences stellt *Archaeopteryx* nun wieder zu den Vögeln. Zu diesem Ergebnis kamen die Forscher nach einer eingehenden statistischen Analyse der anatomischen Ähnlichkeiten von Arten innerhalb der Paraves, ei-

ner sowohl die Vögel als auch vogelähnliche Dinosaurier umfassenden Gruppe. Eine Schlüsselrolle spielte dabei eine jüngst in China entdeckte Art namens *Aurornis xui*. Godefroit zufolge kann schon das Aufnehmen einer einzigen neuen Art den gesamten Stammbaum ändern: »Da wir uns an der Wurzel der Trennung von Vögeln und Deinonychosauriern befinden, können bereits kleinste morphologische Unterschiede den Ausschlag für eine Einordnung in die eine oder andere Gruppe geben«, so der Forscher.

Den Titel des ursprünglichsten Vogels dürfte *Archaeopteryx* jedoch an *Aurornis xui* verlieren – zumindest bis auf Weiteres. Außerdem legen die Daten nahe, dass der aktive Flug mit Hilfe der vorderen Gliedmaßen einen einzigen Ursprung hat. »Eine Einordnung von *Archaeopteryx* in die Deinonychosaurier hätte bedeutet, dass sich der aktive Flug zweimal unabhängig voneinander entwickelt hat: einmal bei den Deinonychosauriern und einmal bei den ›echten Vögeln‹«, erklärt Godefroit. <

(Spektrum.de, 29. Mai 2013)

Nature 10.1038/nature12168, 2013



#### **AURORNIS XUI**

**(KÜNSTLERISCHE DARSTELLUNG)**

**Künstlerische Darstellung von *Aurornis xui*, einem Urvogel aus dem Jura, der in der Tiaojishan-Formation in China entdeckt wurde.**

URVOGEL

# Als die Federn fliegen lernten

von Christian Foth, Oliver Rauhut und Helmut Tischlinger

Ein neuer Fund des Urvogels *Archaeopteryx* mit besonders gut erhaltenen Abdrücken des Federkleids und ein Vergleich mit anderen gefiederten Raubdinosauriern lässt erahnen: Federn entstanden nicht zum Fliegen – und die ersten »Flügel« der Vogelvorfahren wahrscheinlich auch nicht!



Der Urvogel *Archaeopteryx* gilt als einer der anschaulichsten fossilen Belege für Darwins Evolutionstheorie: Als mutmaßliche Übergangsform zwischen den Reptilien und den Vögeln trug er Merkmale beider Tiergruppen. Seit seiner ersten Entdeckung im Jahr 1861 wurden insgesamt elf fossile, häufig mit Federresten erhaltene Skelettexemplare sowie eine einzelne Feder beschrieben. Alle Fossilien des Urvogels stammen aus den Plattenkalksteinbrüchen der Südlichen Frankenalb in Bayern aus der Gegend um Solnhofen, Eichstätt und Riedenburg. Geologisch werden deren Schichtenfolgen dem Oberen Jura zugeordnet. Somit lebte *Archaeopteryx* vor etwa 150 Millionen Jahren im Erdmittelalter (Mesozoikum), dem »Zeitalter der Dinosaurier«. Das neue, elfte *Archaeopteryx*-Exemplar stellte sein Besitzer dankenswerterweise für die wissenschaftliche Bearbeitung zur Verfügung, so dass wir sein besonders schön erhaltenes Gefieder detailliert studieren konnten.

Über 100 Jahre lang war *Archaeopteryx* der einzige fossile Beleg von den Anfängen der Vogelevolution. Daher spielte der Ur-

vogel stets eine Schlüsselrolle in den wissenschaftlichen Diskussionen über den Ursprung der Vögel und vor allem die Entstehung ihres Flugs. Doch seit Ende der 1990er Jahre erweitern zahlreiche Fossilfunde verschiedener Raubdinosaurier (Theropoden) vor allem aus dem nordöstlichen China unsere diesbezüglichen Kenntnisse. Die betreffenden Gesteinsschichten in China sind zwischen 160 und 120 Millionen Jahre alt. Jene Fossilien zeigen: *Archaeopteryx* war nur einer von vielen gefiederten, bereits vogelähnlichen Theropoden. Die modernen Vögel werden inzwischen als eine Gruppe der Raubdinosaurier angesehen. Sie sind folglich eine überlebende Linie der Dinosaurier.

Unser Wissen über das Gefieder von *Archaeopteryx* basierte bislang hauptsächlich auf Untersuchungen an nur drei seiner Fossilien – nach den Orten der Museen, wo sie sich befinden, als Londoner, Berliner und Thermopolis-Exemplar (nach einer Stadt im US-Bundesstaat Wyoming) bezeichnet. Von diesen dreien sind die Federn des Berliner Exemplars am besten erhalten. Doch leider wurden bei diesem Stück Partien vom Körper- und Beingefieder bei früheren Präparationsarbeiten beschädigt

## Auf einen Blick

### Die Evolution des Vogelflugs

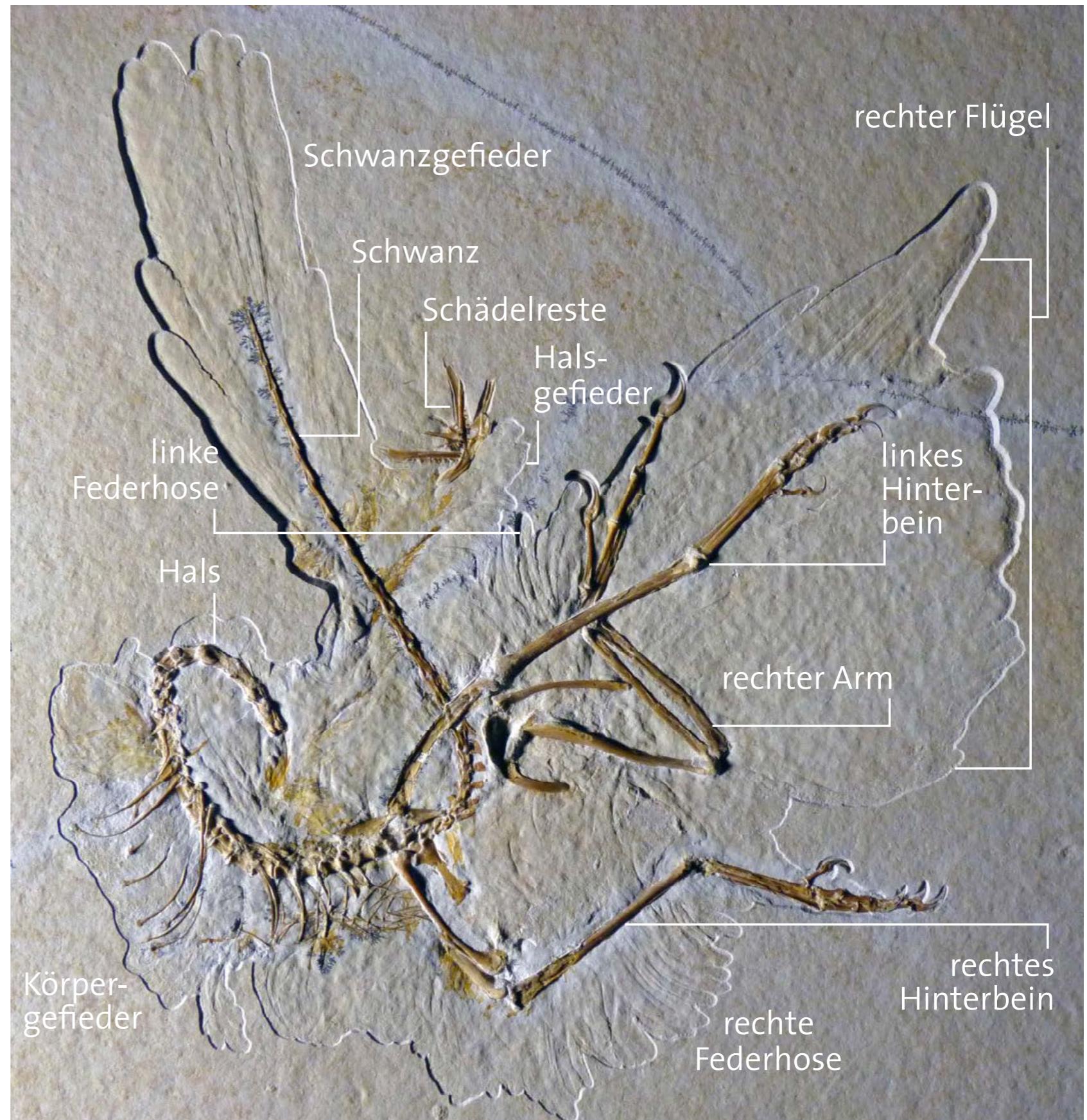
- 1 Über 100 Jahre nach seiner Entdeckung liefert *Archaeopteryx* erneut bahnbrechende Einblicke in die Frühzeit der Vögel.
- 2 Der Urvogel konnte besser fliegen als lange vermutet. Anscheinend half ihm auch sein langer Schwanz, vielleicht sogar die Federhosen an den Beinen, den Flug zu kontrollieren.
- 3 Neue Stammbaumanalysen der Raubdinosaurier (Theropoden) zeigen: Flügel mit asymmetrischen Schwungfedern entstanden im Verlauf der Evolution mehrmals.

und teilweise zerstört. Zudem weist keines der drei Fossilien eine vollständige Schwanzbefiederung auf.

Das von uns jetzt erstmals wissenschaftlich beschriebene elfte *Archaeopteryx*-Exemplar ist hingegen in so hervorragendem Zustand, dass wir das Federkleid des Urvogels neu rekonstruieren können. Zudem haben wir einen überarbeiteten Stammbaum berechnet und darauf aufbauend eigene Thesen zur Evolution der Federn und des Vogelflugs ableiten können. Nach diesen Analysen dienten den Raubdinosauriern lange Federn an Armen, Beinen und Schwanz zunächst vermutlich nicht zum Fliegen, sondern als Signalstruktur für die Kommunikation, also beispielsweise zum Imponieren. Wie sich außerdem abzeichnet, entstand Flugvermögen vermutlich mehrmals getrennt in verschiedenen Zweigen von gefiederten Raubdinosauriern.

#### ARCHAEOPTERYX-FOSIL

**Bis auf den abgetrennten Kopf und den fehlenden linken Flügel sind an dem Fossil alle wesentlichen Körperteile gut erhalten.**



## Was Federformen über das Fliegen verraten

Beim elften *Archaeopteryx*-Exemplar ist das Skelett fast vollständig erhalten. Nur der linke Flügel und der hintere Teil des Schädels fehlen. Der rechte Flügel hat sich vor der Einbettung vom Rumpf abgetrennt und driftete unter das linke Hinterbein. Vor allem aber sind das gesamte Gefieder und sogar Einzelheiten der Federn exzellent erkennbar – vorwiegend als Abdrücke im Gestein. So wissen wir nun: Hals und Körper von *Archaeopteryx* waren wie bei den meisten heutigen Vögeln völlig mit so genannten Konturfedern bedeckt, die am Körper mehr als doppelt so lang waren wie am Hals. Eine Konturfeder – für Laien die typische Feder – besteht aus einem langen, zentralen Schaft, von dem links und rechts jeweils eine flächige Fahne aus parallel stehenden, feinen Federästen ausgeht.

Besonders interessieren in unserem Fall die Konturfedern der Flügel, weil sie Aufschluss über das Flugvermögen des Tiers geben. Die Flügel von *Archaeopteryx* besaßen zwölf Handschwingen (Schwungfedern am Handteil des Arms) und ähnelten in vielem bereits denen von modernen Vögeln. Deren kräftige Schäfte sprechen da-



HELMUT TISCHLINGER

für, dass diese Federn recht stabil waren und erhöhten Luftwiderstand aushielten. Dabei fällt auf: Die äußersten Handschwingen waren asymmetrisch gebaut, mit schmaler Außen- und breiter Innenfahne, und erhielten dadurch eine aerodynamische Form. Mit solchen Flügeln konnte der Urvogel höchstwahrscheinlich fliegen, was frühere Annahmen bestätigt. Strittig war aber bisher, ob *Archaeopteryx* nur einen Gleitflug ausführen konnte oder tatsächlich schon mit den Flügeln schlug und so vom Boden startend zumindest kurze Stre-

### ARCHAEOPTERYX-BEIN

***Archaeopteryx* trug an den Beinen ausgeprägte Federhosen, die bis auf den Lauf reichten. Womöglich halfen die langen Federn, beim Landen zu bremsen. Mit ihren symmetrischen Fahnen eigneten sie sich vermutlich nicht zum Erzeugen von Auftrieb.**



HELMUT TISCHLINGER

### ARCHAEOPTERYX-HANDSCHWINGE

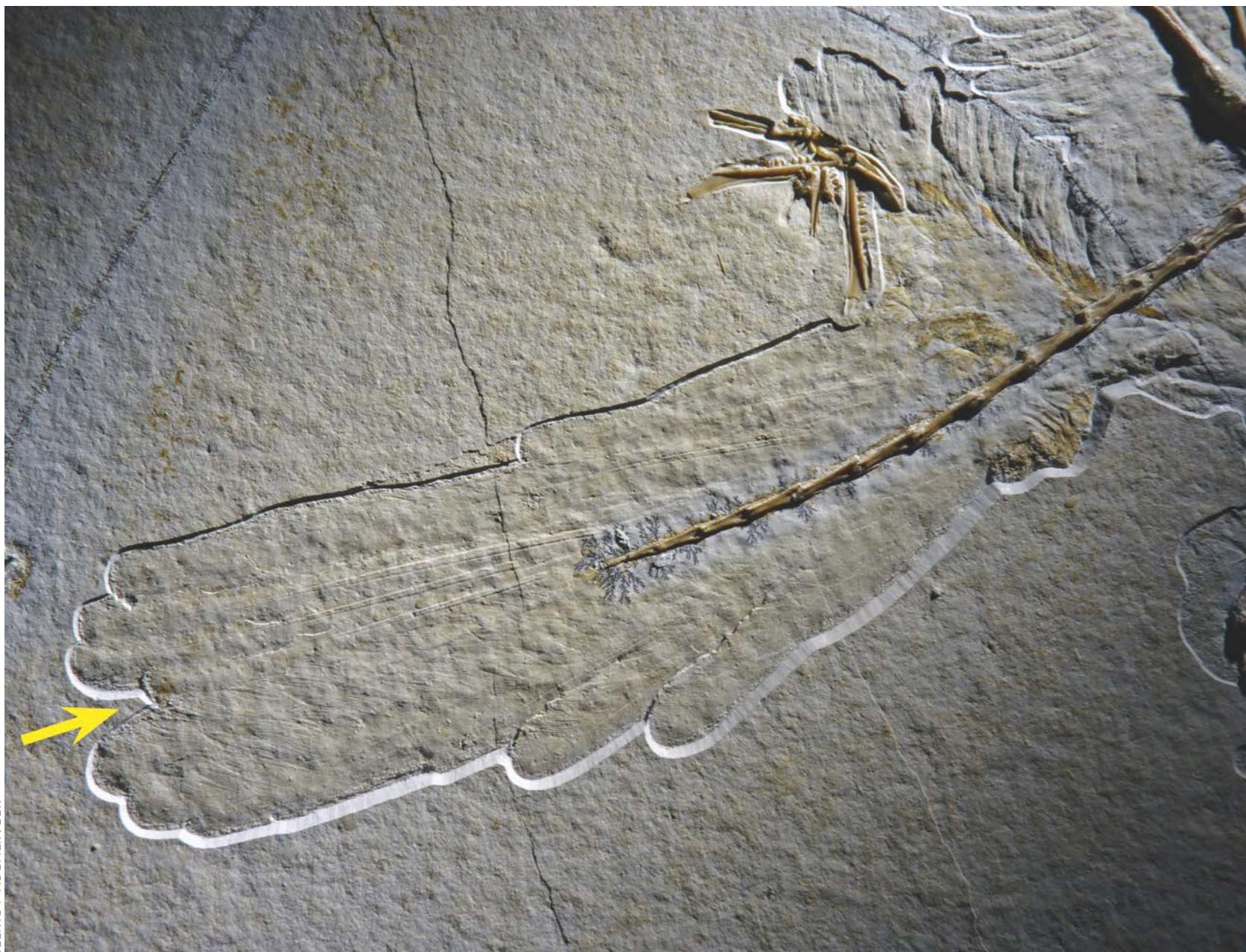
Die äußeren Handschwingen (Schwungfedern) des rechten Flügels hatten asymmetrische Fahnen (gelber Pfeil). Mit ihnen konnte der Urvogel Auftrieb erzeugen und wohl auch vom Boden auffliegen. Der Spalt im Flügel ist durch den daraufliegenden linken Fuß verursacht (roter Pfeil).

cken flatternd zurückzulegen vermochte. Allerdings besaß *Archaeopteryx* noch keinen Daumenfittich, jene beweglichen Daumenfedern, die moderne Vögel zum Steuern einsetzen. Deshalb ist anzunehmen, dass er noch kein besonders geschickter Flieger war.

Neben den Flügelfedern ist auch das Gefieder anderer Körperteile von großem Interesse. An den Ober- und Unterschenkeln sind lange Konturfedern erhalten. Sie bildeten Federhosen – wie man sie bei heutigen Raubvögeln kennt – und wurden zum Fußgelenk hin kürzer. Auf dem Lauf saßen

nur noch kurze Federn. Anders als die Handschwingen hatten alle Beinfedern symmetrische Fahnen. Als Auftrieb erzeugende Tragflächen eigneten sich diese Federhosen daher sicherlich nicht (anders als bei dem vierflügeligen, flugfähigen Dromaeosaurier *Microraptor*). Eher könnten sie wie bei modernen Raubvögeln als Luftbremse beim Landeanflug gedient haben.

Das Schwanzgefieder von *Archaeopteryx* war flächig verbreitert. Am Schwanzende befanden sich extrem lange, sehr kräftige, symmetrisch geformte Federn. Bei dem neuen Fossil liegt zwischen den hintersten beiden Schwanzfedern ein kleiner Spalt. Der Schwanz wirkt dadurch leicht gegabelt und nicht gerundet wie in früheren Rekonstruktionen dargestellt. Da bis-



#### ARCHAEOPTERYX-SCHWANZ

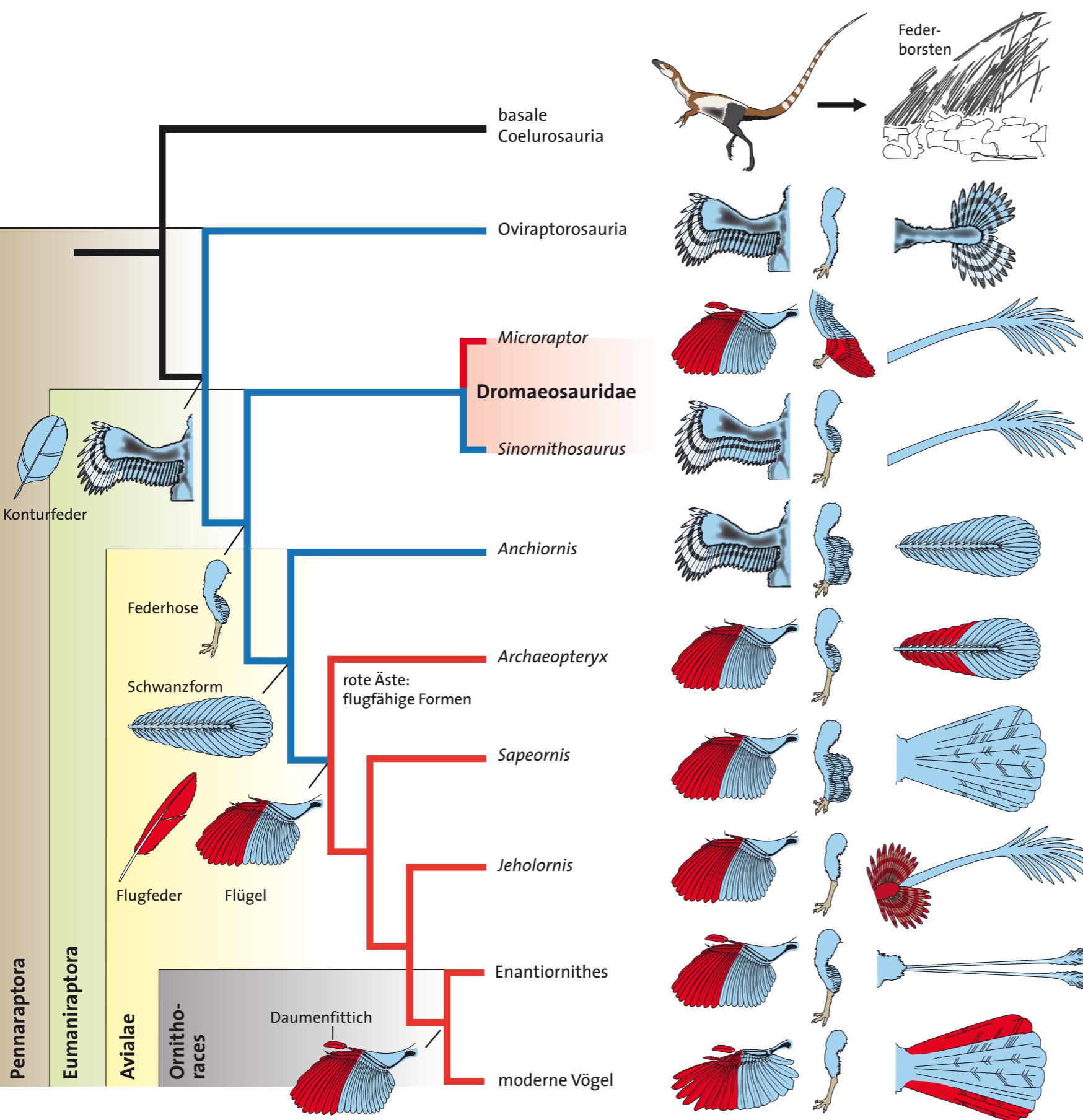
**Das neue Fossil zeigt den Schwanz von *Archaeopteryx* zum ersten Mal im Ganzen. Die besonders langen Federn am Schwanzende dienten vermutlich Schauzwecken, wie wahrscheinlich andere Teile des Gefieders auch. Ob der kleine Spalt am Ende (Pfeil) immer vorhanden war oder durch die Mauser entstand, ist nicht geklärt.**

her kein anderes *Archaeopteryx*-Exemplar eine vollständige Schwanzbefiederung zeigt, können wir aber nicht sagen, ob der Schwanz normalerweise so aussah oder ob sich das Tier gerade in der Mauser befand. Letzteres würde auf einen gestaffelten Federwechsel hindeuten, wie er auch bei modernen Vögeln vorkommt. Die seitlichen Schwanzfedern waren deutlich kürzer als die hinteren und trugen asymmetrische Fahnen. Es ist daher zu vermuten, dass der flächige Schwanz Flugmanöver unterstützte, zusätzlichen Auftrieb verlieh oder als zusätzliche Bremse beim Landeanflug diente. Wie ist *Archaeopteryx* aber nun geflogen? Früher hat man den Urvogel häufig als kletterndes Tier abgebildet, das von Bäumen aus hinabgleitet. Doch dürfte er sich in seinem Lebensraum, einer semiariden Buschlandschaft, wohl eher vorwiegend auf dem Boden aufgehalten haben. Wir stellen uns daher vor, dass er rennend, mit den Flügeln schlagend und in immer größeren Sprüngen vom Boden startete, obwohl diese Form des Abflugs deutlich energieaufwändiger ist als der Gleitflug von einer Erhöhung herab. Da sein Schulterbau im Wesentlichen dem von flugunfähigen Raubdinosauriern ähnelte, also noch

nicht so spezialisiert war wie bei modernen Vögeln, ist davon auszugehen, dass der Urvogel keine längeren Strecken fliegen konnte. Nichtsdestoweniger mag der Flug für ihn eine wichtige Rolle bei der Jagd nach Insekten oder bei der Flucht vor Fressfeinden gespielt haben.

Um unsere neuen Erkenntnisse einordnen zu können, haben wir alle bekannten Daten über die Gefieder von verschiedenen Theropoden und frühen Vögeln aus dem Erdmittelalter zusammengetragen und unter Berücksichtigung ihrer Verwandtschaft zueinander analysiert. Dafür haben wir einen neuen Stammbaum berechnet. Nach unserer Analyse besaßen die frühen Raubdinosaurier noch einen einfachen Pelz aus haar- oder borstenartigen Federn. Dieser dürfte vor allem die Körpertemperatur reguliert haben, hatte daneben aber vermutlich auch Signalwirkung, vielleicht durch das Zurschaustellen von Farben oder aufgeplusterten Körperumrisse bei der Balz oder bei Drohgebärden. Die ersten richtigen Konturfedern sind für die Pennaraptora – wörtlich »gefiederte Räuber« – nachgewiesen. Diese fortschrittliche Raubdinosauriergruppe umfasst die Oviraptorosaurier, Dromaeosaurier, *Archaeo-*

*pteryx* und die heutigen Vögel. Deren »Stammart« besaß neben Körperkonturfedern schon verlängerte Konturfedern an Vorderextremitäten und Schwanz, jedoch noch mit symmetrischen Fahnen. Aus dem Bau der recht kurzen Arme schließen wir – auch wenn sie an Flügel erinnern mögen –, dass diese Stammart noch nicht fliegen konnte. Entgegen bisherigen Annahmen müssen die ersten Konturfedern und »Flügel« also einen anderen Zweck gehabt haben. Wir vermuten, dass sie anfangs unter anderem als Signalstrukturen dienten. Vielleicht bedeckten die Tiere damit auch ihre Gelege – vogelähnliches Brutverhalten ist für einige Pennaraptora nachgewiesen. Doch die kurzen »Flügel« mit ihren langen, verbreiterten Federn bildeten potenziell bereits kleine Tragflächen oder Steuerruder. Es ist daher auch möglich, dass die frühen Pennaraptora sie beim schnellen Laufen ausbreiteten und zum Balancehalten benutzten beziehungsweise mit ihnen flatternd beschleunigten, ähnlich wie heutige Hühnerküken. Hieraus könnte sich später in einigen Linien ein einfacher Flug entwickelt haben, was dann auch eine Verbesserung der aerodynamischen Eigenschaften der Flügel nach sich zog.



## Fliegende Raubdinosaurier – Vögel kein Einzelfall

Flügel mit asymmetrischen Handschwingen entwickelten sich erstmals bei dem Dromaeosaurier *Microraptor* und den frühen Vögeln einschließlich *Archaeopteryx*. Wir vermuten allerdings, dass derartige Handschwingen mehrmals getrennt entstanden sind, denn andere Dromaeosaurier (*Sinornithosaurus*) und frühe Vertreter der Vogellinie (*Anchiornis*) besaßen immer noch die ursprünglichen symmetrischen Konturfedern an den Armen. Auf Grund der besseren aerodynamischen Eigenschaften des asymmetrischen Federtyps lässt sich weiterhin annehmen, dass sich folglich auch die Flugfähigkeit innerhalb der Pennaraptora mehrfach, wenigstens

**STAMMBAUM ZEIGT DIE GEFIEDEREVOLUTION**  
**Der neue Stammbaum zeigt die Gefiederevolution der vogelähnlichen Raubdinosaurier (Pennaraptora) in verschiedenen Körperregionen. Rechts die jeweilige Form der Befiedierung der nebenstehenden Gattungen und Gruppen von Arm-, Bein- und Schwanzregion. Aerodynamisch geformte Federn sind rot, andere blau gezeichnet.**

zweimal, unabhängig entwickelte – eine wichtige neue Erkenntnis. Zu dieser These passt, dass der ebenfalls flugfähige *Microraptor* anders als *Archaeopteryx* bereits einen Daumenfittich besaß und eine solche Struktur erst wieder bei fortschrittlichen Vögeln der frühen Kreidezeit, den Ornithoraces, auftrat.

Prächtige Federhosen mit verlängerten Konturfedern sind erstmals für die Stammart der Eumaniraptora – wörtlich »echte Handräuber« – belegt. Diese Raubdinosauriergruppe umfasst die Dromaeosaurier, *Archaeopteryx* und die heutigen Vögel. Ursprünglich waren die auffallenden Beinkleider auf die Unterschenkel beschränkt und nicht aerodynamisch geformt. Manchmal reichten sie aber bis auf den Lauf, so bei *Microraptor*, *Anchiornis* und *Sapeornis*. Unsere Analyse zeigt allerdings, dass dieser Typ von Federhosen jeweils auf eigene, unabhängige Entwicklungen zurückging. Der wiederkehrende Wechsel von »kurzen« und »langen« Federhosen in verschiedenen Evolutionslinien der Eumaniraptora brachte folglich eine große Formenvielfalt mit sich. Entstanden sie anfangs auch zu Schauzwecken? Und dienten sie den frühen flugfähigen Vögeln wie *Ar-*

*chaeopteryx* und *Sapeornis* eventuell zusätzlich als Luftbremse beim Landen? Einzig *Microraptor* hatte Federhosen mit asymmetrischen Konturfedern, also mit wirklichen aerodynamischen Eigenschaften. Dieses Tier besaß daher an allen vier Gliedmaßen Tragflächen wahrscheinlich für den Gleitflug.

Mit Abstand am vielfältigsten sah das Schwanzgefieder der Pennaraptora aus. Schon das spricht dafür, dass die Tiere damit ebenfalls optisch Eindruck machen konnten. Wahrscheinlich war dies, genau wie bei den »Flügeln« und den Federhosen, zunächst dessen eigentliche Funktion. Ähnlich wie bei den anderen Körperpartien könnten sie sich in einigen Evolutionslinien sekundär am Flug beteiligt haben, zum Beispiel bei *Archaeopteryx* und *Jeholornis* sowie bei heutigen Vögeln.

Unseres Erachtens evolvierten die Konturfedern also zunächst nicht im Kontext des Fliegens. Vielmehr war zu Anfang wahrscheinlich die Schaufunktion die treibende Kraft. Denn durch ihren flächigen Aufbau konnten sie komplexe Farbmuster ausbilden und so Signalwirkungen verstärken – etwa wenn es darauf ankam, Artgenossen zu imponieren oder Fressfeinde einzuschüch-

tern. Gerade Konturfedern eigneten sich dafür anscheinend hervorragend, wofür die unterschiedlichsten Ausprägungen bei den fossilen Raubdinosauriern sprechen. Dass die Signalfunktion auch bei heutigen Vögeln immer noch eine beträchtliche Rolle spielt, zeigt ihre enorme Farben- und Formenvielfalt, man denke nur an Hühnervögel, Papageien oder Paradiesvögel. Erst später entwickelten sich aus symmetrischen Konturfedern solche mit asymmetrischen Fahnen und somit besseren aerodynamischen Eigenschaften. Erst mit diesem Schritt traten echte Flügel und Flugfähigkeit auf. Der neue *Archaeopteryx*-Fund und unsere Rekonstruktion der Gefiederevolution zeigen, dass der Ursprung der Vögel und ihres Flugs in vielerlei Hinsicht komplizierter war als bisher angenommen. <

(*Spektrum der Wissenschaft*, April 2015)

Foth, C., Tischlinger, H., Rauhut, O. W. M.: New Specimens of *Archaeopteryx* Provides Insights into the Evolution of Pennaceous Feathers. In: *Nature* 511, S. 79 – 82, 2014

Xu, X. et al.: An Integrative Approach to Understanding Bird Origins. In: *Science* 346, 1253293, 2014

# GEHIRN UND GEIST DIGITALPAKET: REIHE KINDESENTWICKLUNG

Unsere achtteilige Heftserie Kindesentwicklung begleitet Eltern mit Rat und Tat durch alle Phasen der Kindheit.

Mit dem Digitalpaket »Gehirn und Geist« Reihe Kindesentwicklung erhalten Sie alle Ausgaben der achtteiligen Serie im PDF-Format zum Download.



FÜR NUR  
€ 43,-



ZUM DOWNLOAD

A large, stylized sign for "JURASSIC PARK" is mounted on a dark, textured rock formation. The letters are red with a yellow outline. In the background, palm trees and a clear blue sky are visible. The entire image is framed by a large, dark, semi-transparent circle.

# JURASSIC PARK

PALÄONTOLOGIE

## Die 10 imposantesten Dinosaurier- Rekonstruktionen

von Judith Merkelt

Ob Raubsaurier mit Federflaum oder Dino mit Dackelblick: Rekonstruktionen der Urgiganten werden immer kunstvoller. Es ist an der Zeit, die zehn schönsten Exemplare zu küren.



**10. AUS DEM EI GEPELLT**  
Mit seinen 20 Zentimetern ist dieser Saurierembryo ein echter Winzling. Kein Wunder, denn er ist nie geschlüpft. Stattdessen versteinerten die Eier des *Massospondylus* und erlaubten eine Rekonstruktion des Dinosaurierbabys, wie es in seinem Ei lag. Deutlich zu sehen ist der für einen Sauropoden überproportional große Kopf. Offensichtlich entwickelten sich die langen Hälse und kleinen Köpfe erst im Laufe des Wachstums.



HEIDI RICHTER



## 9. RIESENECHSEN BEIM FISCHEN

*Spinosaurus* ist einer der größten Fleischfresser überhaupt. Neben anderen Sauriern stand wohl aber auch Fisch auf dem Speiseplan des 11-Tonnen-Kolosses. Forscher gehen davon aus, dass sich *Spinosaurus*, ähnlich wie Krokodile, gern im Wasser aufhielt und dort Nahrung jagte.



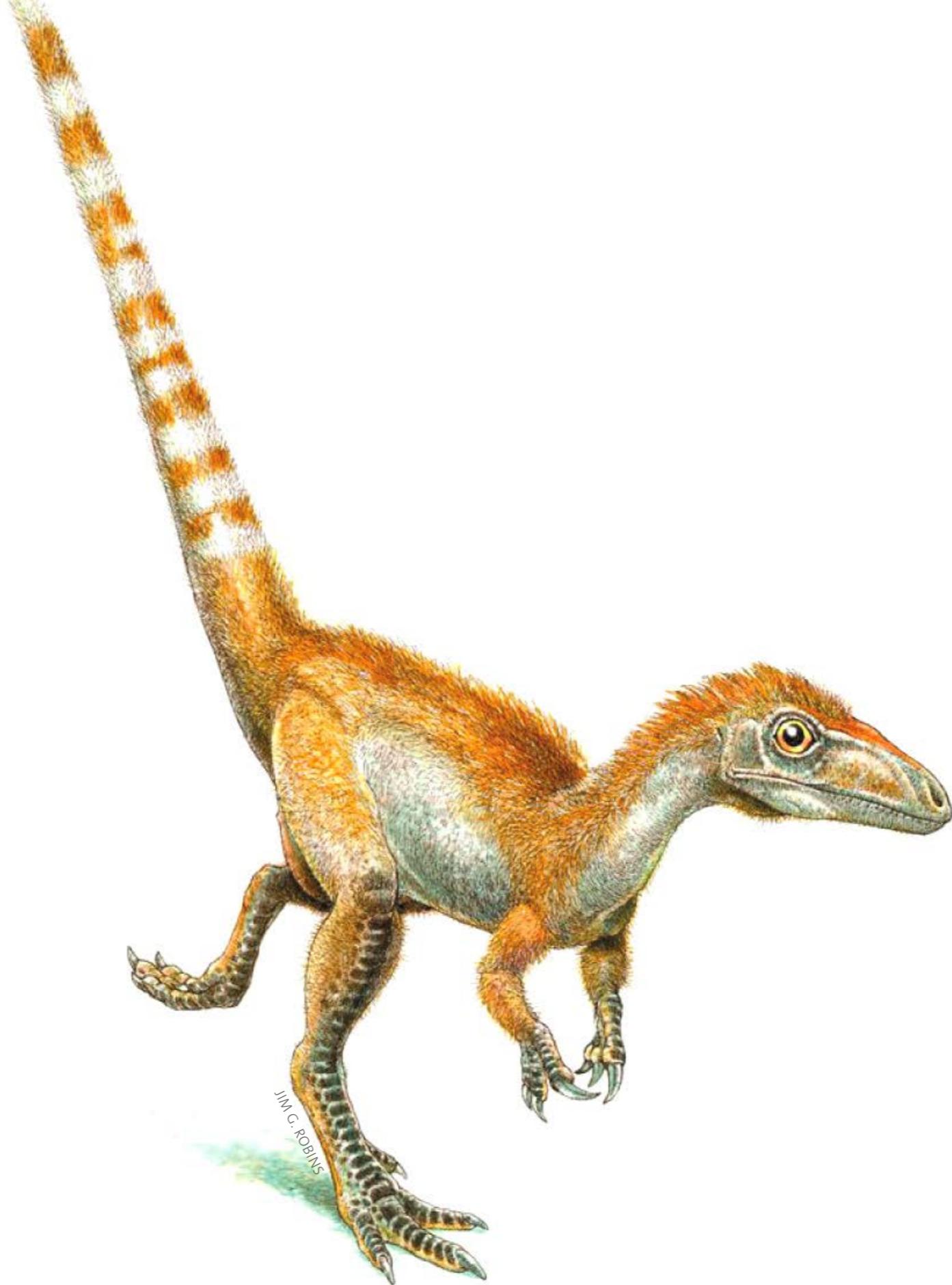
JENNIFER HALL

## 8. EIN SAURIER WIE EINE ELEFANTENHERDE

*Dreadnoughtus schrani* war nicht nur groß, er war gigantisch. Das 26 Meter lange Tier muss mehr gewogen haben als ein Dutzend afrikanischer Elefanten. Und vermutlich war das gefundene Exemplar nicht einmal ausgewachsen.

## 7. DINO MIT STREIFEN

Die Farbe der meisten Dinosaurier-Rekonstruktionen ist allein der Fantasie des Illustrators überlassen. Bei *Sinosauropelta* wissen wir es jedoch genauer. Forscher hatten winzige Pigmentreste an einem der Fossilien gefunden. Ihre Analyse zeigte jetzt: Der Federsaurier war braun/weiß gestreift.



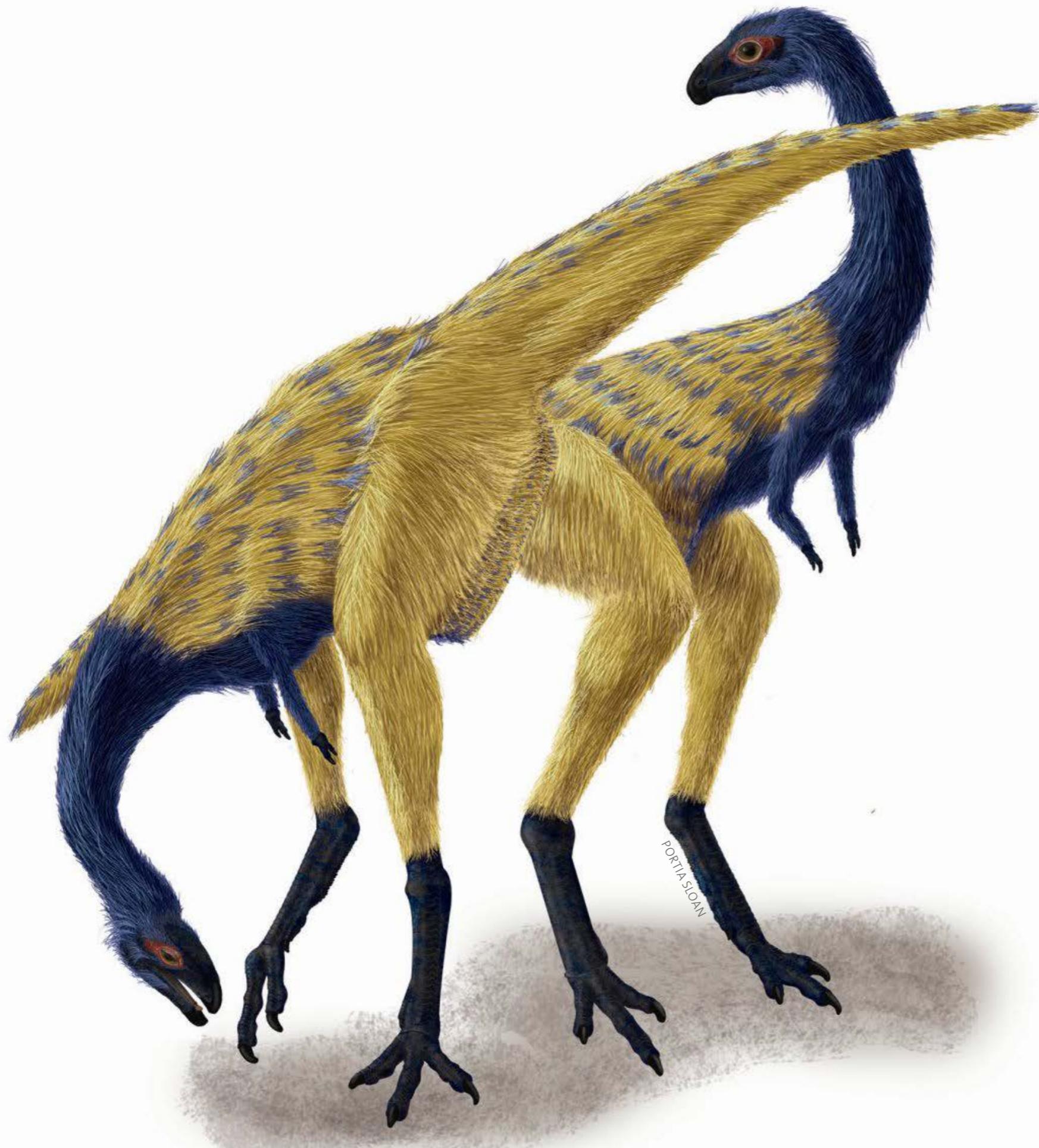


**6. FLUGSAURIER MIT SCHMUCKSCHILD**  
*Caiuajara dobruski* war ein Wüstenbewohner mit Hang zum dramatischen Auftritt. Der imposante Knochenschild auf dem Schädel der Tiere wuchs im Laufe der Jahre immer weiter an. Auch der Winkel des Schilds veränderte sich bis zum Erreichen des Erwachsenenalters immer wieder. Das Bild zeigt drei Entwicklungsstufen des Pterosauriers.



## 5. BOTSCHAFTER DES DINO-FUZZ

Er ist kein Vorfahre der modernen Vögel, und trotzdem trägt *Kulindadromeus zabaikalicus* auf dieser Zeichnung ein füssiges Federkleid. Diese Art der Protofedern wird im Englischen liebevoll »Dino-Fuzz« genannt. Der Fund der primitiven Dinosaurierart legt nahe, dass viel mehr Saurier Federn trugen, als man bisher angenommen hatte.



**4. SUMPFECHSE, DIE NICHT  
ENTKOMMEN KONNTE**  
Die Dinosaurierart *Limusaurus inextricabilis* erhielt ihren Namen durch die Todesursache der gefundenen Fossilien: Sie lagen übereinander gestapelt in einem ehemaligen Sumpfgebiet. Ihre Entdecker vermuten, dass die Tiere nacheinander in den Morast gestürzt sind und nicht wieder herauskamen.



LIDA XING, UNIVERSITY OF ALBERTA

### 3. EIN HALS WIE EIN BAUKRAN

Qijianglong – übersetzt der »Drache aus Qijiang« – hatte **einen Hals, der gut die Hälfte seines 15 Meter langen Körpers ausmachte**. Wenn er zur Seite schauen wollte, muss das ausgesehen haben, als schwenke man einen Baukran.



## 2. AASFRESSER MIT FEDERFLAUM

Der *Daspletosaurus*, ein naher Verwandter von *T. rex*, schlug anscheinend nicht nur beim Kampf gern seine Zähne in den Körper von Artgenossen. Bissspuren an den Knochen der Saurier enthüllen jetzt: Auch nach deren Tod rückten sie Artgenossen noch zu Leibe, vermutlich um sich den Bauch voll zu schlagen.



**1. DER CHIHUAHUA UNTER DEN DINOS**  
*Aquilops americanus* erfüllt mit seinen großen Augen nicht nur das Kindchenschema, er hätte noch dazu Platz in einer Handtasche gefunden. Forscher schätzen, dass er zu Lebzeiten etwa so groß war wie eine Krähe.

# DIE WOCHE

DAS WÖCHENTLICHE WISSENSCHAFTSMAGAZIN

## Das Kombipaket im Abo: App und PDF

Jeden Donnerstag neu! Mit News, Hintergründen, Kommentaren und Bildern aus der Forschung sowie exklusiven Artikeln aus »nature« in deutscher Übersetzung. Im Abonnement nur 0,92 € pro Ausgabe (monatlich kündbar), für Schüler, Studenten und Abonnenten unserer Magazine sogar nur 0,69 €.

JETZT ABOONNIEREN!

