



Skelett eines Tyrannosaurus rex

# Größenwahn im Dino-Reich

Sie hatten Vogellungen, hohle Knochen und heißes Blut: Über 150 Millionen Jahre beherrschten die Dinosaurier die Welt. Nun wollen Forscher das Geheimnis ihrer Größe entschlüsseln – mit Laserscanner, Elektronenmikroskop und Knochenbohrer startet eine neue Vermessung der Giganten.

**W**äre das Ungetüm noch am Leben, es hätte den Dinosaurierexperten der kanadischen Firma Research Casting International (RCI) locker von außen in ihre Werkstatt im vierten Stock gucken können. Stattdessen liegen die rund 200 Knochen des *Brachiosaurus brancai* wie ein riesiges Puzzlespiel auf dem Boden der lichtdurchfluteten Fabriketage in Berlin-Moabit verstreut.

Oberschenkelknochen wie Säulen, rund 300 Kilogramm schwer, ruhen auf gepolsterten Sperrholzpaletten. In Holzkisten lagern in Plastikfolie eingeschlagene Rippen, Wirbelfragmente und Zehenknochen. Ein maßangefertigter Metallrahmen hält die mächtigen Beckenschaukeln zusammen, deren feine Maserung an die Oberfläche dunklen Marmors erinnert.

„Die Knochen wirken auf den ersten Blick steinhart“, sagt RCI-Projekt Koordinatorin Carla Mackie und streicht vorsichtig mit der Hand über das Gebein. „Dabei sind sie ausgesprochen zerbrechlich.“

Kein Wunder: Die Skeletteile sind rund 150 Millionen Jahre alt. Der weltberühmte *Brachiosaurus* des Berliner Museums für Naturkunde starb in der erdgeschichtlichen Periode des Jura. Wissenschaftler bargen seine Überreste zwischen 1909 und 1913 aus ostafrikanischem Gestein. Im Sauriersaal des Prachtbaus an der Invalidenstraße hatte das Skelett des Tieres seit 1937 seinen Platz, zusammen mit weiteren Dinosauriern aus den Tendaguru-Fundschichten im heutigen Tansania.

Doch seit Mai vergangenen Jahres – der Sauriersaal wird derzeit renoviert, die Saurier wurden abgebaut – mühen sich die RCI-Experten um die in ihre Einzelknochen zerlegten paläontologischen Kostbarkeiten. „Wenn wir fertig sind, wird der *Brachiosaurus* das größte Saurierskelett der Welt sein“, schwärmt Mackie, während sie vorsichtig die Risse seines Saurierknochens mit Gips und Epoxidharz verfüllt.

Auf der anderen Seite des Raums faucht das Schweißgerät von Kevin Krudwig. Der Schmied fertigt für die Saurier ein Stützkorsett aus Metall an. Zusammengesetzt sollen die Metallskelette den Urzeitechsen wieder auf die Beine und sogar zu einer neuen Körperhaltung helfen. Denn nicht nur um die Restaurierung der fossilen Gebeine geht es den Experten. „Wir haben die einmalige Chance, die Saurier nach neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen aufzustellen“, sagt David Unwin, Kustos für Saurier am Museum für Naturkunde Berlin. Für den *Brachiosaurus* heißt das: Die O-Beine werden durchgedrückt, der Hals gestreckt, der Schwanz einige Meter vom Boden angehoben.

„Das Original sah traurig und schlapp aus“, sagt Unwin. „Als es in den dreißiger Jahren aufgestellt wurde, hielt man Dinosaurier noch für kaltblütige, träge Reptilien, die ihre Beine ähnlich wie Krokodile seitlich vom Körper abspreizten und ihren



**Brachiosaurus-Animation\*:** „Wie haben die Tiere die Grenzen des Wachstums überschritten?“

Schwanz hinter sich herschleiften.“ Inzwischen jedoch habe sich das Bild fundamental gewandelt: „Heute ist klar, dass der *Brachiosaurus* seinen Schwanz in der Luft trug und sehr dynamisch wirkte.“

Das Berliner Publikum wird beeindruckt sein: Die neuen Erkenntnisse lassen den Spree-Dino um einen Meter auf eine Höhe von 12,72 Metern anwachsen. Das dann zweitgrößte Dino-Skelett der Welt steht in Chicago und bringt es nur auf 12,20 Meter.

Der Wiederaufbau des Berliner *Brachiosaurus* steht exemplarisch für die Fortschritte der Dino-Forschung. Weltweit entwerfen Forscher ein neues Bild der Urzeitechsen, die den Planeten vom Ende der erdgeschichtlichen Periode Trias bis zum Ende der Kreidezeit für mehr als 150 Millionen Jahre beherrschten (siehe Grafik Seite 216). Die Giganten trotzten Überschwemmungen und Phasen verstärkten Vulkanismus. Sie überstanden Methaneruptionen im Meer und Klimakatastrophen. Selbst das Auseinanderbrechen des Urkontinents Pangäa konnte sie nicht auslöschen.

Lebewesen mit dem Gewicht ganzer Dieselloks schleppten sich über bewaldete Ebenen. Monströse Raubsaurier mit Stummelarmchen rissen Echsen mit Hammerköpfen und gezackten Hornpanzern in Stücke. Gigantische Flugsaurier beherrschten den Luftraum. Im Meer jagten Fische-saurier mit merkwürdig verlängerten Kiefern und andere zahnstarrende Meeresreptilien, die größer waren als Sattelschlepper. Erst eine globale Katastrophe unvorstellbaren Ausmaßes, der Einschlag eines etwa zehn Kilometer messenden Asteroiden, vernichtete vor 65 Millionen Jahren die Lebenswelt der Saurier.

Die verschütteten Knochen der Behemoths und Leviathans des Mesozoikums bergen Paläontologen nun seit mehr als

180 Jahren aus dem Gestein. Was die Experten aus den Fossilien herauslasen, war lange Zeit kaum mehr als eine Art Steckbrief des Ungeheuerlichen, Eckdaten zu den atemberaubend fremdartigen Ikonen einer längst verlorenen Welt.

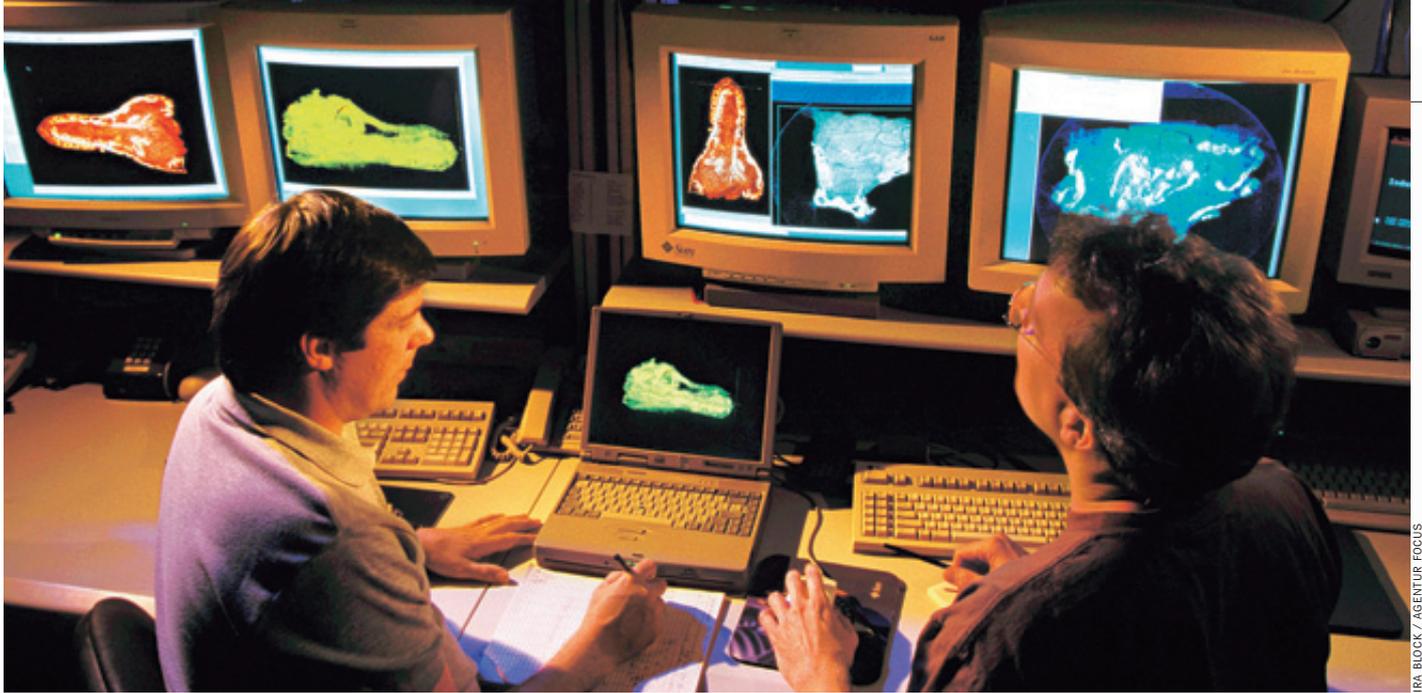
Nun aber macht sich eine neue Forschungsgeneration auf, den Sauriern gleichsam wieder Leben einzuhauchen. Die Experten begnügen sich nicht mehr damit, Sandstein von klobigen Saurierrippen zu meißeln. Neben Paläontologen beackern Biomechaniker, Zoologen, Physiker und Physiologen das prestigeträchtige Feld. Laserscanner und Säurebad, Spezialsoftware und Massenspektrometer, Röntgengerät und Elektronenmikroskop heißen ihre Hightech-Werkzeuge.

Präziser als je zuvor blicken die Forscher hinein in die steinernen Überreste. Der Treibstoff der Bewegung sind aktuelle Funde aus China, Argentinien, den USA – und sogar Deutschland: Mit Computertomografen vermessen Paläoneurologen die Schädelhöhlen der Echsen und ziehen Rückschlüsse auf Hirngröße und -funktionen. Biologen durchleuchten Sauriereier und fertigen Feinschnitte versteinerten Knochen an. Unter dem Mikroskop lesen sie Wachstumsraten aus den Gebeinen und berechnen auf deren Grundlage Todesalter und Körpertemperatur der Riesen. Selbst Eiweißfragmente, zellähnliche Strukturen und Reste von Blutgefäßen fanden die Wissenschaftler inzwischen in den Fossilien.

Denn nicht mehr allein um den Körperbau der Tiere geht es den Experten, sondern auch um deren Physiologie, Bewegung und sogar Sozialverhalten. Wie lebten, wie starben die Urzeittiere, und wie wurden sie geboren? Wovon ernährten sie sich? Wie schnell wuchsen sie, wie alt wurden sie, und versorgten sie ihre Jungen?

Vor allem aber hoffen die Forscher, mit den neuen Analysemethoden endlich ein

\* In der BBC-Serie „Walking with Dinosaurs“ (1999).



IRA BLOCK / AGENTUR FOCUS

**Analyse von Tyrannosaurus-Knochen\***: „Der James Dean unter den Dinos lebte schnell und starb früh“

Urrätsel der Dino-Forschung zu lösen: Wie nur war es möglich, dass die Tiere ihre enorme Körpergröße erreichten?

Lebewesen wie der Berliner Brachiosaurus überragten alles Getier, was vor und nach ihnen auf der Erde lebte. Das Erstaunliche: Der Pflanzenfresser ist unter seinesgleichen noch nicht einmal etwas Besonderes. Mehrfach hat die Evolution zu gigantischen Sauriern geführt. Seismosaurus oder Argentinosaurus lauten ihre Namen, Letzterer mit geschätzten 73 Tonnen Lebendgewicht und etwa 40 Meter Länge vermutlich das größte Landlebewesen aller Zeiten. Ein Elefant hätte gegen den Koloss wie ein Schoßhündchen gewirkt.

Sauropoden oder Elefantenfußdinosaurier nennen die Forscher die Gruppe dieser prähistorischen Pflanzenfresser mit ihrem charakteristischen Schlangenhals, meterlangem Schwanz und absurd kleinem Kopf. „Survival of the Fattest“ haben die Experten das Phänomen in Anlehnung an die berühmte Evolutionsformel „Survival of the Fittest“ getauft.

„Wir reden über Organismen, die wahrscheinlich deutlich mehr als 50 Tonnen wogen“, sagt Hanns-Christian Gunga vom Institut für Physiologie der Charité in Berlin. „Was für einen Stoffwechsel müssen diese Tiere gehabt haben? Was für Herzen konnten die notwendige Blutmenge durch den Körper pumpen?“

„Man kommt schnell an den Punkt, dass Tiere dieser Größe gar nicht hätten leben dürfen“, sagt Martin Sander, Paläontologe an der Universität Bonn und Koordinator eines multidisziplinären Projekts mit dem Titel „Biologie der Sauropoden: Die Evolution des Gigantismus“. „Warum haben wir keine 100 Tonnen schweren Elefanten“, fragt Sander. „Wie haben es die Sauropo-

den geschafft, diese Grenzen des Wachstums zu überschreiten?“

Sogar ausgesprochen erfolgreich war das Konzept des Gigantismus. „Die Tiere waren für mindestens 90 Millionen Jahre die dominanten Pflanzenfresser auf dem Land“, sagt Sander. In ihrem Gefolge lebten monströse Raubsaurier, etwa der Dreitonner Allosaurus, der die „Kühe des Erdmittelalters“ vermutlich im Rudel jagte. Die wandelnden Fleischberge vor der Nase, entwickelten sich Räuber wie Spinosaurus aegyptiacus: Mit 17 Meter Länge und bis zu 9 Tonnen Gewicht übertrumpfte er lässig den berühmten Tyrannosaurus rex. Sander: „Wir hoffen, dass wir nun endlich die Werkzeuge haben, um die Geheimnisse dieser Riesen zu entschlüsseln.“

Das Rätsel der ungeheuren Größe vieler Dinosaurier fasziniert die Forscher, seit die ersten Riesen aus dem Fels gemeißelt wurden. Anfang des 19. Jahrhunderts begründeten Hobbyforscher und Exzentriker vor allem in Großbritannien die moderne Saurierforschung. Einer der bedeutendsten Dino-Forscher war der Landarzt Gideon Mantell. Tagsüber kurierte er seine Patienten, nachts klopfte er sich mit Leidenschaft durch Versteinerungen. Als Mantell um 1820 auf Zähne stieß, die denen eines Leguans glichen, aber viel größer waren, hielt er etwas Unvorstellbares in der Hand: Vegetarische Riesenreptilien kamen in den Zoologie-Lehrbüchern genauso wenig vor wie die echsenartigen Oberschenkelfragmente von über 60 Zentimeter Umfang, die Mantell ebenfalls entdeckte.

## Titanen des Erdmittelalters

Bauplan und Körperfunktionen von Sauropoden am Beispiel des Brachiosaurus brancai

**Verdauung** Um ihre Körper mit Energie zu versorgen, mussten die Sauropoden vermutlich ständig fressen. Magen und Darm glichen einer gewaltigen Gärkammer, in der, ähnlich wie heute bei Rindern, Mikroben das Pflanzenmaterial verwertbar machten. Tiere wie der Brachiosaurus mussten täglich etwa 300 bis 400 Kilo fressen.

**Schwanz** Er schleifte nicht, wie lange angenommen, auf dem Boden, sondern half den Tieren, das Gleichgewicht zu halten, und konnte vermutlich auch als Waffe eingesetzt werden.

**Fortpflanzung** Sauropoden legten viele relativ kleine Eier. Aus ihnen schlüpften Jungtiere, die ausgesprochen rasch an Gewicht gewannen und schon mit wenigen Jahren einige Tonnen auf die Waage brachten. Brutpflege betrieben die Tiere vermutlich nicht.

\* Dreidimensionale Computertomografenscans des Schädels von Tyrannosaurus rex Sue am Chicagoer Field Museum.

„Wie Frankenstein war ich erschrocken von dem riesigen Ungeheuer, das meine Untersuchungen zum Leben erweckt hatten“, schrieb Mantell. Tatsächlich konnte zunächst niemand den Ursprung der gigantischen Knochen erklären, die wie Hieroglyphen aus einer unbekanntem Welt auftauchten: Gehörten sie zu Elefanten, auf denen die Römer einst nach Britannien ritten? Waren sie Überreste sündiger Riesenbiester, die während der biblischen Sintflut keine Zuflucht in der Arche Noah gefunden hatten?

Mantell erkannte früh, dass seine Funde von reptilienartigen Wesen stammen mussten. Zu ähnlich waren die Knochen und Zähne denen heutiger Echsen. Ruhm war dem Landarzt dennoch nicht vergönnt. Vor allem der ehrgeizige Londoner Paläontologe Richard Owen, später ein Gegenspieler Charles Darwins, versuchte Profit aus den Versteinerungen zu schlagen. Er war es auch, der im April 1842 den aus dem Griechischen hergeleiteten Begriff „Dinosauria“ – „furchteinflößende Echsen“ – für die neuentdeckten Lebewesen prägte. 1853 beaufsichtigte der Forscher die ersten lebensnahen Rekonstruktionen von Sauriern für eine dauerhaf-

te Ausstellung im „Crystal Palace“-Park in Sydenham südlich von London. Mit großem Tamtam zelebrierte Owen in der Silvesternacht den Höhepunkt seiner Karriere: Inmitten halb vollendeter Saurier-ske-

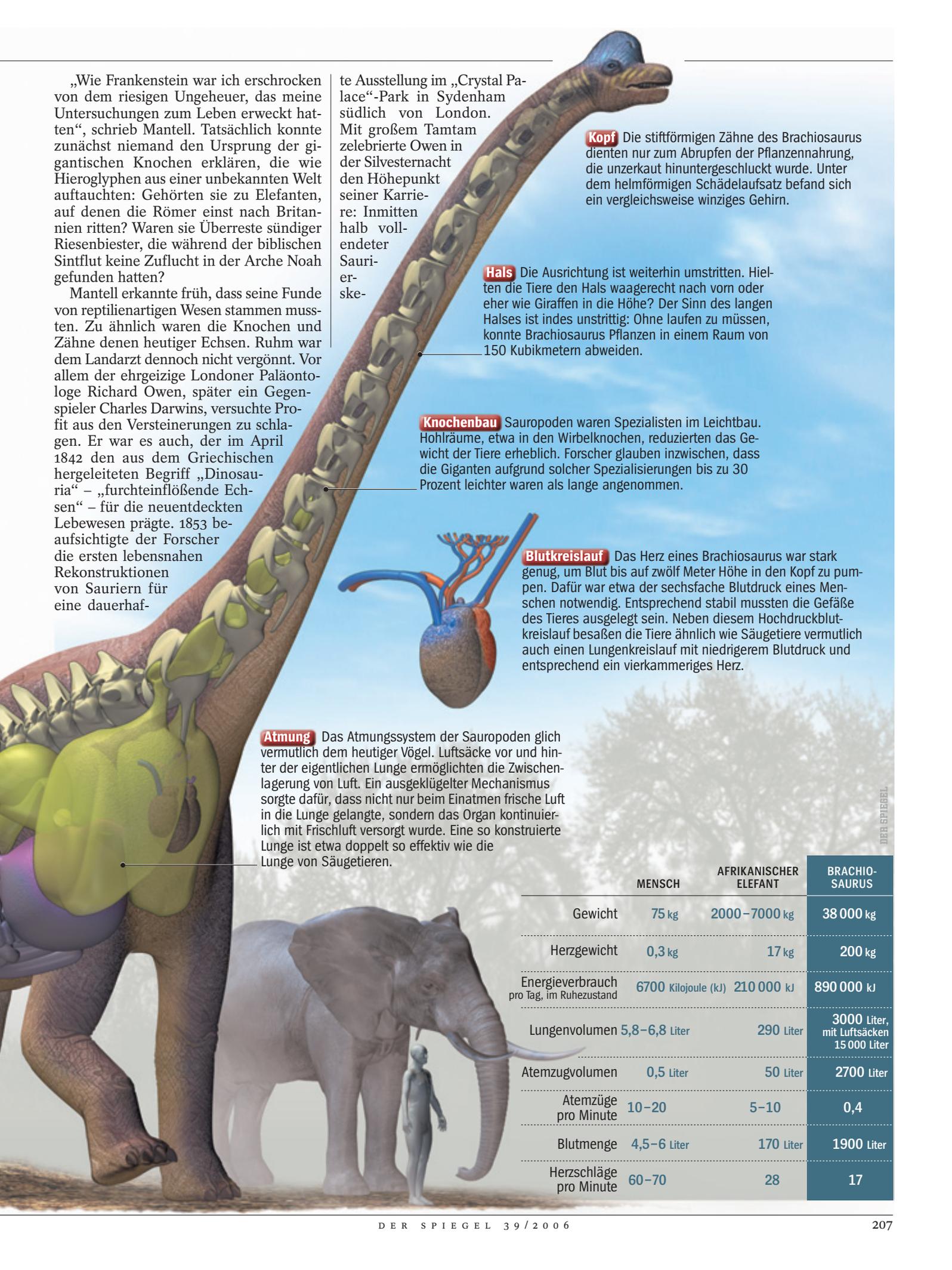
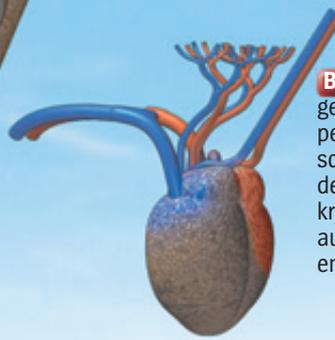
**Kopf** Die stiftförmigen Zähne des Brachiosaurus dienten nur zum Abrupfen der Pflanzennahrung, die unzerkaut hinuntergeschluckt wurde. Unter dem helmförmigen Schädelauflatz befand sich ein vergleichsweise winziges Gehirn.

**Hals** Die Ausrichtung ist weiterhin umstritten. Hielten die Tiere den Hals waagrecht nach vorn oder eher wie Giraffen in die Höhe? Der Sinn des langen Halses ist indes unstrittig: Ohne laufen zu müssen, konnte Brachiosaurus Pflanzen in einem Raum von 150 Kubikmetern abweiden.

**Knochenbau** Sauropoden waren Spezialisten im Leichtbau. Hohlräume, etwa in den Wirbelknochen, reduzierten das Gewicht der Tiere erheblich. Forscher glauben inzwischen, dass die Giganten aufgrund solcher Spezialisierungen bis zu 30 Prozent leichter waren als lange angenommen.

**Blutkreislauf** Das Herz eines Brachiosaurus war stark genug, um Blut bis auf zwölf Meter Höhe in den Kopf zu pumpen. Dafür war etwa der sechsfache Blutdruck eines Menschen notwendig. Entsprechend stabil mussten die Gefäße des Tieres ausgelegt sein. Neben diesem Hochdruckblutkreislauf besaßen die Tiere ähnlich wie Säugetiere vermutlich auch einen Lungenkreislauf mit niedrigerem Blutdruck und entsprechend ein vierkammeriges Herz.

**Atmung** Das Atmungssystem der Sauropoden glich vermutlich dem heutiger Vögel. Luftsäcke vor und hinter der eigentlichen Lunge ermöglichten die Zwischenlagerung von Luft. Ein ausgeklügelter Mechanismus sorgte dafür, dass nicht nur beim Einatmen frische Luft in die Lunge gelangte, sondern das Organ kontinuierlich mit Frischluft versorgt wurde. Eine so konstruierte Lunge ist etwa doppelt so effektiv wie die Lunge von Säugetieren.



	MENSCH	AFRIKANISCHER ELEFANT	BRACHIOSAURUS
Gewicht	75 kg	2000–7000 kg	38 000 kg
Herzgewicht	0,3 kg	17 kg	200 kg
Energieverbrauch pro Tag, im Ruhezustand	6700 Kilojoule (kJ)	210 000 kJ	890 000 kJ
Lungenvolumen	5,8–6,8 Liter	290 Liter	3000 Liter, mit Luftsäcken 15 000 Liter
Atemzugvolumen	0,5 Liter	50 Liter	2700 Liter
Atemzüge pro Minute	10–20	5–10	0,4
Blutmenge	4,5–6 Liter	170 Liter	1900 Liter
Herzschläge pro Minute	60–70	28	17



Restaurierung von Brachiosaurus-Knochen\*: „Sehen Sie nur, der Bursche ist schon viel schlanker geworden“

lette, die von Flaschenzügen und Seilen gehalten wurden, empfing er die viktorianische Gelehrtschickeria im Bauch eines Dinos an weißen Damastdecken zum Mitternachtsdinner.

Aus den furchteinflößenden Echsen waren erstmals Kultfiguren geworden – eine Entwicklung, die schließlich zur Dinomania à la „Jurassic Park“ führen sollte. Die Fragen indes blieben. Vor allem die Titanen des Erdmittelalters, die Sauropoden, entzogen sich weithin den Deutungsversuchen der Paläontologen.

Die Kernfrage der Dino-Forschung damals wie heute: Wie groß kann Leben auf der Erde eigentlich werden? Wo liegen die Grenzen des Wachstums? Und was erlaubte es ausgerechnet Dinosauriern, bis zu fünfmal schwerer zu werden als alle Landtiere vor und nach ihnen?

Am Institut für Physiologie der Berliner Charité in Berlin-Dahlem versucht Hanns-Christian Gunga Antworten auf diese Fragen zu finden. Wer Gunga besucht, hat zunächst das Gefühl, eine Art Zeitreise in eine Epoche zu unternehmen, in der Mediziner noch Universalgelehrte waren. Im Büro des Forschers riecht es nach alten Holzmöbeln und Hunderten Büchern, die sich an den Wänden stapeln. Anatomische Studien und Skelette des menschlichen

Körpers stehen im Raum herum. Erst das Modell eines Spaceshuttles befördert den Besucher in die Jetztzeit zurück.

Gunga ist Professor für Weltraummedizin. Mangels hiesiger Astronauten beschäftigt er sich auch mit Dinosauriern. Die Erkenntnisse der Raumflüge helfen ihm bei der Enträtselung der Urzeitechsen: Genau jene Muskelgruppen und Knochenstrukturen, die bei Astronauten in der Schwerelosigkeit verkümmerten, seien bei den Sauriern besonders kräftig ausgebildet, erläutert der Gravitationsphysiologe:

### ELEFANTEN, NASHÖRNER ODER GIRAFFEN DIENEN ALS VORLAGE.

„Astronauten müssen mit Schwerelosigkeit zurechtkommen – Dinosaurier dagegen kämpfen mit der Schwerkraft, von der sie wegen ihrer enormen Körpermasse besonders betroffen sind.“

Dann deutet Gunga auf seinen Laptop: „Sehen Sie nur, der Bursche ist schon viel schlanker geworden.“ Das 3-D-Modell eines Brachiosaurus erscheint auf dem Bildschirm. Die verschiedenen Körperpartien des Tiers leuchten in Rot, Gelb, Lila, Grün und Blau. „Das ist unsere neueste Modellierung, bei der wir so viel abgespeckt haben wie nur irgend möglich“, sagt Gunga. „Vorher waren wir bei 74 Kubikmeter Körpervolumen – jetzt sind es nur noch 48!“

Gunga erschafft Dinosaurier im Computer. Zusammen mit Forschern der Technischen Universität Berlin packt er dem Brachiosaurus virtuelles Fleisch auf die Knochen, berechnet den Sauerstoffverbrauch des Zwölftonnners Diplodocus (766 Liter pro Stunde) oder das Herzgewicht des relativ kleinen Prosauropoden Plateosaurus engelhardti, auch „Schwäbischer Lindwurm“ genannt (3,4 Kilogramm). „Körpergröße und Körpergewicht bestimmen maßgeblich die Funktionsweise eines Tieres“, sagt Gunga. „Ist die Körpermasse bekannt, lässt sich relativ einfach die Größe von Organsystemen abschätzen.“

Allometrie heißt das Phänomen, das Gunga für seine Analysen nutzt. Mit mathematischen Formeln schätzt der Forscher auf Grundlage heutiger Tiere die Körperfunktionen der Saurier ab. Die Basis der Berechnungen sind erhaltene Saurierskelette, die mit Laserscannern millimetergenau vermessen werden. „Wir versuchen, weltweit die interessantesten Sauropodenskelette in den Museen aufzuspüren“, sagt Tim Suthau von der TU Berlin, der die technische Seite des Projekts betreut. Etwa 20 Saurierskelette haben der Ingenieur und seine Kollegen bereits eingescannt.

Im vergangenen Jahr gelang es den Forschern sogar, die chinesischen Behörden vom Sinn ihres Projekts zu überzeugen.

\* Mitarbeiter der Firma Research Casting International mit Skeletteilen in einer Fabriketage in Berlin-Moabit.



NORBERT MICHALKE

Museumskurator Unwin\*: „Das Original sah traurig und schlapp aus“

Suthau und seine Kollegen konnten Saurierskelette in den Naturkundemuseen von Peking und Zigong vermessen. Wesen wie Mamenchisaurus sind darunter, eine bis zu 25 Meter lange Kreatur, deren halbe Körperlänge der Hals ausmacht.

Suthau und Gunga versuchen mit ihren Studien, das Leben derlei extravaganter Biester mit den Naturgesetzen in Einklang zu bringen. Elefanten, Nashörner oder Giraffen dienen ihnen als Vorlage, wenn sie Muskeln auf die Saurierskelette modellieren und virtuelle Organe in deren gewaltige Bauchhöhle platzieren.

Die Ergebnisse der Berechnungen lassen Physiologen den Atem stocken. Das Gewicht des Brachiosaurus etwa hat Gunga inzwischen durch geschickte Modellierung auf etwa 40 Tonnen gedrückt – weniger, als Forscher früher vermutet hatten. Die Vitalfunktionen bleiben dennoch gewaltig. Fast 1900 Liter Blut musste das 200 Kilo schwere Herz des Behemoths mit etwa 17 Schlägen pro Minute vorwärtstreiben. Extremer Blutdruck von bis zu einer Atmosphäre – über sechsmal so viel wie beim Menschen – sei nötig gewesen, um den Lebenssaft in den Kopf in zwölf Meter Höhe zu pumpen. Die Versorgung des Gehirns mit Sauerstoff stellten dünnste Kapillaren sicher, die so hohen Druck normalerweise gar nicht aushalten. Gunga: „Warum nur hat der keinen Hirnschlag bekommen?“

Besonders fasziniert ist der Forscher vom notwendigen Stoffwechsel des Riesen. Einen Grundumsatz von 890.000 Kilojoule täglich hat er errechnet – Menschen bringen es gerade einmal auf etwa 6700 Kilojoule pro Tag (siehe Grafik Seite 206/207).

„Diese Tiere können eigentlich nichts anderes gemacht haben als zu fressen“, sagt Gunga. Auf 300 bis 400 Kilo Pflanzenkost pro Tag schätzt der Forscher den Nahrungsbedarf. „Wo hat das Tier diese Mengen an Pflanzenmaterial gefunden,

\* Im Vordergrund: Schädel des Berliner Brachiosaurus.

## Die Welt der Saurier

Verteilung von Land und Meer im Erdmittelalter



**Vor 220 Millionen Jahren** Der Superkontinent Pangäa, die Vereinigung aller Landmassen der Erde, beginnt im Bereich des Urmittelmeeres Tethys zu zerbrechen.



**Vor 155 Millionen Jahren** Pangäa ist in zwei große Landmassen zerfallen: Laurasia (Nordamerika, Eurasien) und Gondwana (Südamerika, Afrika, Indien, Antarktis, Australien).



**Vor 95 Millionen Jahren** Zwischen Nord- und Südamerika sowie Afrika und Eurasien ist der Atlantik entstanden. Wegen des sehr hohen Meeresspiegels kennzeichnen Kleinkontinente und Inseln die Erde.

und wie hat es sie verdaut?“ Und noch weitere Fragen stellt sich der Physiologe: Wie passen die Organe der notwendigen Größenordnung überhaupt in den Körper des Sauriers? Was für Lungen konnten den gewaltigen Sauerstoffbedarf decken?

„Ich finde es ganz außergewöhnlich, über welchen Zeitraum diese Tiere erfolgreich an Land gelebt haben“, wundert sich Gunga. „Einige der Körperfunktionen der Sauropoden müssen denen der Säugetiere deutlich überlegen gewesen sein – anders hätten diese Dinosaurier überhaupt nicht existieren können.“

Das Kopfzerbrechen über die Existenz der „Vita maxima“ (Gunga) ist so alt wie die Dino-Forschung selbst. Lange konnten sich Paläontologen die Riesen nur als aquatische Tiere vorstellen. Die gängige Theorie: Während Wasserwesen wie die bis zu 190 Tonnen schweren Blauwale ihr Gewicht nicht tragen müssen, ächzen Tiere an Land schnell unter der Last ihrer Pfunde. Die Schwerkraft, so die Annahme, begrenzt die Größe von Leben.

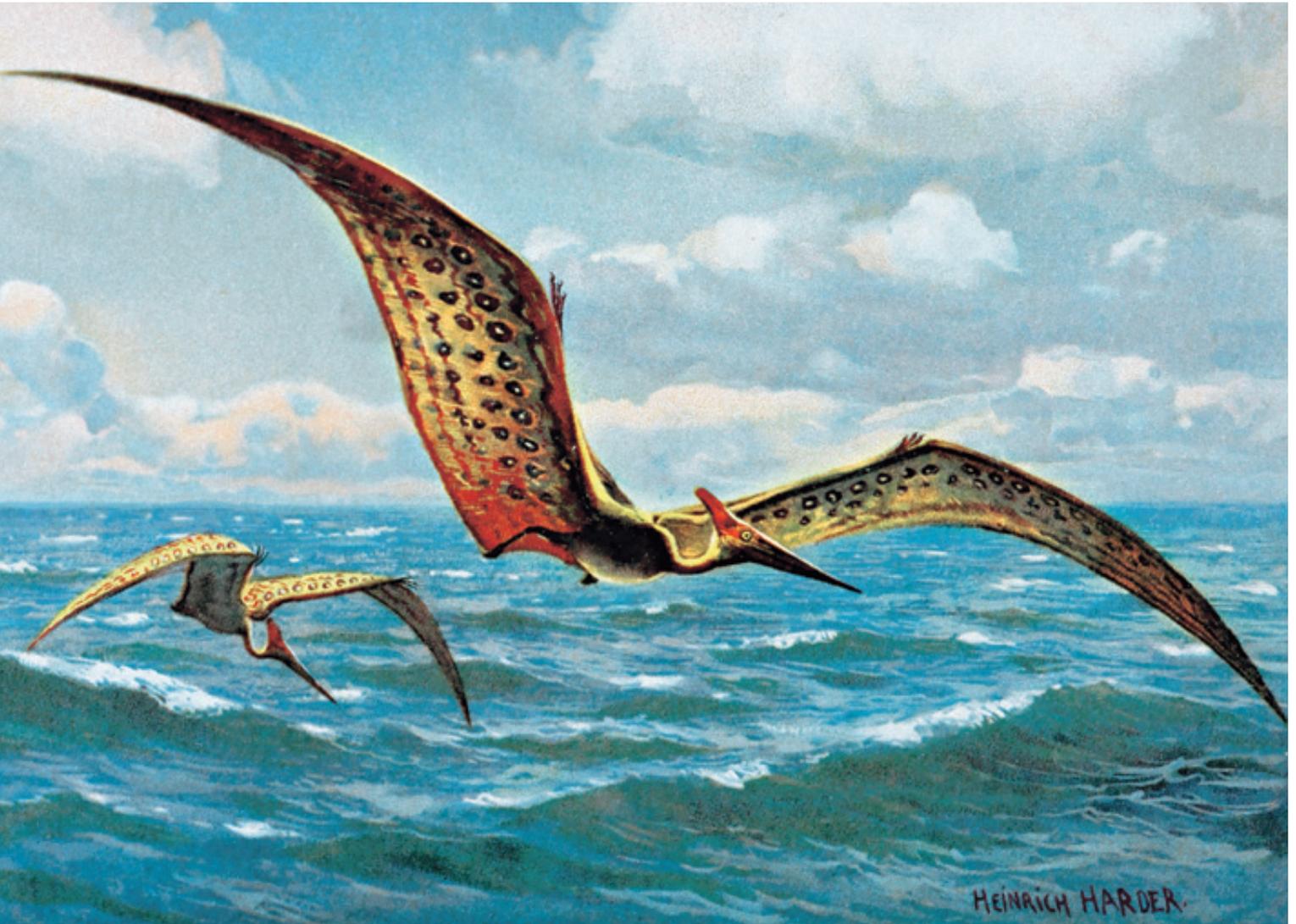
Doch ganz so einfach ist es offenbar nicht: „Landtiere mit einem Gewicht von mehr als hundert Tonnen sollten in jedem Fall in der Natur möglich sein“, konstatierte bereits 1985 der finnische Forscher Jyrki Hokkanen von der Universität Helsinki. Der Physiker analysierte die theoretische Stabilität von Knochen und Muskeln sowie die Mechanik der Fortbewegung. Sein Fazit: Selbst Lebewesen mit 1000 Tonnen Gewicht könnten aus rein physikalischer Sicht auf der Erde existieren.

Muss also die Frage eher lauten, warum Tiere nicht noch größer geworden sind als die Dinosaurier? Tatsächlich gehen viele Biologen inzwischen davon aus, dass es in der Evolution einen natürlichen Trend zur Größe gibt. Bereits Ende des 19. Jahrhunderts notierte der US-Forscher Edward Drinker Cope die Beobachtung, dass Tierlinien mit der Zeit immer größer werden. Er illustrierte seine heute als Copesches Gesetz bekannte Theorie mit der Evolution des Pferdes, dessen Stammesgeschichte vom hündchengroßen Urpferd zum heutigen Wildpferd, Stockmaß 1,40 Meter, führt.

„Größe bringt eine Menge Vorteile mit sich“, erklärt Martin Sander. „Je größer ein Tier ist, desto weniger Feinde hat es auch.“ Eine längere Lebenszeit, mehr Chancen beim anderen Geschlecht, selbst höhere Intelligenz nennt Sander als weitere Vorzüge von Größe: „Wer größer ist, hat auch ein größeres Gehirn und damit mehr Neuronen.“

„Wenn nur genug Zeit verstreicht, werden in der Evolution alle Größen ausprobiert, die man erreichen kann“, bestätigt Matthew Carrano, Kurator der Dinosauriersammlung des Smithsonian-Museums

DER SPIEGEL



**Flugsaurier Pteranodon\*:** *Unter günstigen Bedingungen wuchsen die Learjets der Kreidezeit bis zur Größe von Sportflugzeugen*

für Naturgeschichte in Washington. Beispiele für Riesenwuchs gab es dabei auch außerhalb der Gruppe der Dinosaurier. Nicht nur an Land reüssierten Riesenechsen. Auch in der Luft toppten sie im Erdmittelalter alles, was vor und nach ihnen den Himmel bevölkerte.

Pterosaurier, Flugechsen, heißen die Learjets der Kreidezeit. Ihre besondere Eigenart: Unter guten Bedingungen wuchsen sie, ähnlich wie heutige Krokodile, einfach immer weiter. „Bei guter Nahrungsversorgung und gutem Wetter erreichten manche Arten die Größe von Sportflugzeugen“, berichtet David Unwin vom Berliner Naturkundemuseum, der jüngst ein Buch über die Tiere veröffentlicht hat\*\*. „Vögel und Fledermäuse werden normalerweise erst flugfähig, wenn sie fast ausgewachsen sind, und wachsen kaum noch weiter, sobald sie die Geschlechtsreife erreicht haben“, sagt Unwin. Pterosaurier dagegen seien bereits

voll funktionsfähig aus ihren Eiern geschlüpft, dann in Rekordzeit immer größer geworden.

Pteranodon longiceps heißt einer der Giganten. Fossilien belegen eine Spannweite von bis zu 7,50 Metern. Oder Quetzalcoatlus: Am Ende der Kreidezeit lebte das Tier in Nordamerika. Bei ihm halten Experten sogar 15 bis 20 Meter Spannweite für möglich.

Zwischen Vorder- und Hinterextremitäten aufgespannte Flughäute erlaubten Quetzalcoatlus die Jagd aus der Luft. Einem Segelflugzeug gleich glitt das Tier vermutlich langsam über prähistorische Gewässer und fing Fische aus dem Flug heraus. Der Orientierungssinn und das Sehvermögen des Flugsauriers konnten dabei wahrscheinlich mit jenem heutiger Vögel mithalten.

Paläontologen um Lawrence Witmer von der Ohio University in Athens haben Schädelossilien zweier Pterosaurier-Arten mit Hilfe eines Computertomografen untersucht und anschließend virtuelle Abgüsse ihrer Gehirne angefertigt. Exakt jene Hirnareale, die für das Sehen und die Lage

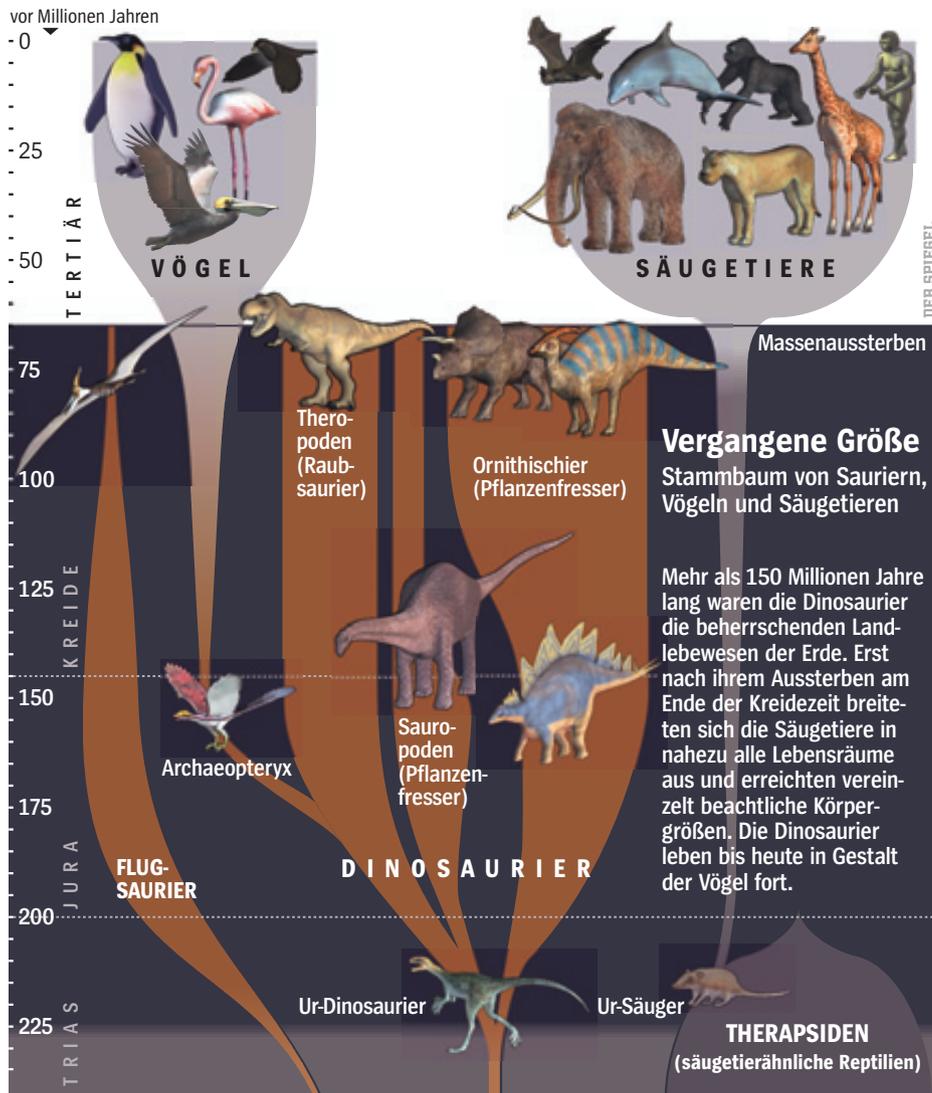
des Körpers im Raum bedeutsam sind, waren sehr stark ausgeprägt. Besonders wichtig zudem: Die Flugkünstler waren Experten im Leichtbau. Nur so konnten selbst die größten unter ihnen aus eigener Kraft vom Boden abheben.

Forscher um Eric Buffetaut vom französischen Nationalen Forschungszentrum CNRS in Paris entdeckten 2001 in einer alten rumänischen Fossilienammlung Überreste des gigantischen Hatzegopteryx thambema. Mindestens zwölf Meter maß die Spannweite des Flugreptils; sein Gewicht schätzen die Forscher indes auf gerade mal etwa einhundert Kilogramm. Hohle oder nur mit dünnen Lamellen verstärkte Knochen ermöglichten den Leichtbau.

Es sind derlei Tricks, mit denen die größten unter den Sauriern die Naturgesetze zu überlisten schienen. Im Fall der Sauropoden trieb es die Natur auf die Spitze. Sie erreichten vermutlich fast jenes theoretische Gewicht von 150 Tonnen, das die meisten Forscher inzwischen als Obergrenze von Landlebewesen ansehen. „Werden Tiere noch schwerer, müssen ihre Bei-

\* Gemälde von Heinrich Harder (1916).

\*\* David M. Unwin: „The Pterosaurs from deep time“. Pi Press, New York; 348 Seiten; 39,95 Dollar.



ne so massiv sein, dass sie in der Mitte aneinanderstoßen und das Laufen unmöglich machen“, erläutert Sander. Drei Ansätze verfolgen die Gelehrten, um das wunderbare Größenwachstum zu erklären:

- ▶ Die Dinos hatten vermutlich raffinierte Energiespartricks. Fortbewegung, Atmung und Verdauung waren effektiver organisiert als bei heutigen Tieren.
- ▶ Die Riesen bekamen mit weniger Aufwand weit mehr Nachkommen als etwa heutige Großsäuger. Die Folge: Ihre Populationen waren stabiler. Im Fall von Nahrungsknappheit starben sie nicht so leicht aus.
- ▶ Andere Umweltbedingungen als heute könnten den Gigantismus ermöglicht haben. Die Forscher diskutieren höhere Pflanzenproduktivität, nährstoffreichere Nahrung oder einen höheren Sauerstoffgehalt der Luft.

Tatsächlich gibt es Beispiele, die zeigen, wie sehr etwa die Zusammensetzung der Luft die Baupläne von Tieren beeinflussen kann. „Denken Sie nur an die Riesenlibellen des Paläozoikums“, sagt Sander. Bis zu 75 Zentimeter Flügelspannweite konnten die Insekten errei-

chen. Aus heutiger Sicht erscheinen sie wie Fabelwesen.

Durch verzweigte Einstülpungen der Körperhülle, sogenannte Tracheen, führen Insekten Sauerstoff zu den Geweben ihres Körpers. Das System ist den Lungen der Wirbeltiere weit unterlegen – deshalb sind die heutigen Insekten auch so klein. Inzwischen vermuten die Biologen: Nur weil zu Lebzeiten der Riesenlibellen vor 300

## IM SCHNITT ZWEI TONNEN PRO JAHR LEGTEN DIE RIESENECHSEN ZU.

Millionen Jahren der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre bei bis zu 35 Prozent lag (heute sind es nur etwa 21 Prozent), konnten die räuberischen Urlibellen ihre ungeheure Größe erreichen.

Gilt Ähnliches für die Sauropoden? Sie lebten gut 150 Millionen Jahre später als die Riesenlibellen. Sander ist skeptisch: „Die Begründung, die Luft hätte damals mehr Sauerstoff als heute enthalten, ist ad acta gelegt“, sagt der Forscher, „dann wären alle damaligen Tiere größer gewesen als ihre heutigen Pendant.“ Eine vergan-

genes Jahr im Fachmagazin „Science“ veröffentlichte Studie kommt sogar zu dem Schluss, dass zur Dino-Zeit eher weniger Sauerstoff in der Luft war als heute.

Das Treibhausgas Kohlendioxid ist der nächste Kandidat: Je mehr die Atmosphäre davon enthält, desto besser wachsen Pflanzen. „In der Kreidezeit war die CO<sub>2</sub>-Konzentration bis zu zehnmal höher als heute“, berichtet der US-Forscher Brian Maurer von der Michigan State University. Aus diesem Grund sei es damals auch viel wärmer gewesen. Sein Fazit: „Die verfügbare Pflanzenmenge war viel größer als heute.“ Dieses erhöhte Angebot an Biomasse habe es den Dinosauriern erlaubt, zu Giganten heranzuwachsen.

Maurer versucht mit seiner These einen Widerspruch aufzulösen. Denn eigentlich hätten die Giganten niemals satt werden dürfen: Dafür war ihr Lebensraum viel zu klein. 2001 veröffentlichte ein Team um Gary Burness und Jared Diamond von der University of California School of Medicine in Los Angeles eine Studie, die einen Zusammenhang zwischen der Größe von Kontinenten und der Größe ihrer Bewohner herstellt. Nur wenn eine Landfläche groß genug sei, so die Behauptung, könnten dort auch große Tiere auf Dauer überleben.

Die Begründung: „Mit der Größe einer Art nimmt die Zahl der Individuen ab, die auf einer begrenzten Landmasse Nahrung finden können“, erläutert Sander. „Wird die Population aber zu klein, wächst die Gefahr, dass sie plötzlich ausstirbt.“ Eine zufällige Störung, etwa ein trockenes Jahr mit Nahrungsmangel, könne dann bereits das Ende einer Spezies bedeuten.

Für die Tierarten der letzten 65 000 Jahre passt das Modell einwandfrei. Das Problem: Bei den Sauriern versagt die Korrelation. Tatsächlich waren die Kontinente zumindest zum Ende der Dino-Ära hin sogar kleiner als heute (siehe Grafik Seite 210).

Widersprüche dieser Art bringen Sander zu dem Schluss, dass externe Faktoren die Größe der Sauropoden nicht erklären können: „Dagegen spricht bereits, dass der Gigantismus der Tiere über einen so langen Zeitraum auftrat.“ Das von ihm koordinierte und von der Deutschen

Forschungsgemeinschaft geförderte Gigantismusprojekt konzentriert sich daher auf Physiologie und Körperfunktionen der Saurier. „Die Atmung beispielsweise spielt eine wesentliche Rolle für die Leistungsfähigkeit von Tieren“, sagt Steven Perry von der Universität Bonn. Zusammen mit Jonathan Codd von der University of Manchester versucht Perry, die Lungen der Riesenechsen zu rekonstruieren.

Seine Hypothese: Ihre Atmungsorgane waren doppelt so leistungsfähig wie jene der Säugetiere – sie ähnelten dem Lungensystem heutiger Vögel.

Anders als bei Säugern lagern Vögel die eingeatmete Luft in lungennahen Luft-



LOUIS PSHOVOS / AGENTUR FOCUS

**Sauropodenskelett\***: „Warum nur hat der keinen Hirnschlag bekommen?“

säcken zwischen. Folglich werden Vogelungen ununterbrochen mit frischer Luft versorgt – egal ob die Tiere gerade ein- oder ausatmen. Dieses Dudelsackprinzip ermöglicht höchste Effizienz. „Vögel können viel mehr Sauerstoff aus der Luft holen als Säuger“, erläutert Perry. Teil des Systems sind Luftkammern in den Vogelknochen. Das Faszinierende: Ähnliche Höhlungen finden sich auch in den Wirbeln von Sauropoden und ihren fleischfressenden Vettern, den Raubosauriern. Sie gelten als direkte Vorfahren der Vögel.

„Die Wirbelsäule dieser Dinosauriergruppen war eine Art poröser Leichtbau“, sagt Perry. „Die luftgefüllten Räume in den Wirbeln standen wahrscheinlich mit den Lungen in Verbindung.“ Daneben habe es vermutlich weitere Luftsäcke gegeben. Das System könnte insgesamt bis zu ein Drittel des Körpers ausgefüllt haben.

Die Vorteile einer solchen Konstruktion sind überwältigend. Die Leichtbauweise der Wirbel und die großen luftgefüllten Räume im Körper sparten den Dinos vermutlich 25 bis 30 Prozent Gewicht. Über die enorme Oberfläche des Lungensystems, eine Art interne Kühlungsfläche, konnten die Riesen überschüssige Körperwärme gleichsam als heißen Atem abge-

ben. Die hohe Effizienz der Lungen ersparte ihnen zudem anstrengendes Luftholen. „Ein Tier mit so einer Lunge muss nur halb so viel atmen“, sagt Perry, „das spart wiederum Energie.“ Nur einmal alle zwei Minuten sog der Brachiosaurus vermutlich die gewaltige Menge von 2700 Liter Luft in sein Atmungssystem, das mit 15 000 Litern das Volumen eines großen Heizöltanks besaß.

Ähnlich effizient war wohl auch die Verdauung der Sauropoden. Wie heutige Rinder oder Pferde konnten die Tiere die Pflanzenkost nur mit Hilfe symbiontischer Mikroben verdauen. Der Bonner Forscher



NORBERT MICHALKE

**Mediziner Gunga: Gigant mit 200-Kilo-Herz**

Jürgen Hummel und der Physiologe Marcus Clauss von der Universität Zürich haben in einer Fermentationskammer untersucht, wie nahrhaft die prähistorische Kost aus Ginkgos, Araukarien oder Schachtelhalmen war.

Als wahre Powerriegel des Mesozoikums entpuppten sich dabei die Schachtelhalme. „Sie liefern mehr Energie als die meisten heutigen Futterpflanzen“, sagt Clauss. „Die Nadeln der Araukarien dagegen sind zwar auch gut verdaulich. Sie mussten aber relativ lange im Verdauungstrakt bleiben.“ Für die Sauropoden kein Problem: In ihrem Magen, vermutlich ein Fermentationsbottich in Whirlpool-Größe, verweilte der Nahrungsbrei mehrere Tage.

Doch reichte die so gewonnene Energie tatsächlich aus, um Tonnen von Muskelfleisch heranwachsen zu lassen? „Für mich bleibt es nach wie vor ein großes Rätsel, wie die Tiere so schnell so viel Protein bilden konnten“, sagt der Mediziner Gunga. Denn die Sauropoden wuchsen in rasantem Tempo: Im Schnitt zwei Tonnen pro Jahr legten sie zu, schätzt Martin Sander.

Der Forscher interessiert sich besonders dafür, wie das Wachstum der Tiere verlief. Steinerner Zeugen der Dino-Entwicklung hebt Sander in einer Schublade im hauseigenen Museum des Bonner Instituts für Paläontologie auf. Es sind Eier. Und sie sind Millionen Jahre alt.

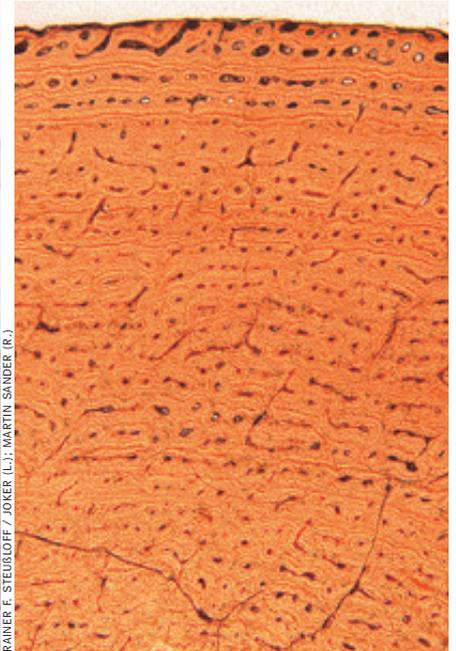
„Hier, schauen Sie, bei einigen sieht man sogar, wo die Schalen gebrochen und die Dinosaurier ausgeschlüpft sind“, sagt Sander und deutet auf einige kantige Bereiche auf der Oberfläche der Versteinerungen. Dann nimmt er eines der Eier vorsichtig in die Hände: „Die Sauropodeneier waren oft nicht viel größer als Straußeneier“, wundert sich Sander, „was aus ihnen entstand, war dagegen gigantisch.“

Ein spektakulärer Fund brachte die Wissenschaft 1998 dem Geheimnis der Sauropodenentwicklung näher. Forscher um Luis Chiappe vom New Yorker Naturkundemuseum entdeckten in der argentinischen Pampa umfangreiche Dino-Gelege. „Tausende Eier“, berichteten die Autoren damals im Fachblatt „Nature“, seien dort „auf einer Fläche von mehr als einem Quadratkilometer verteilt“.

Auca Mahuevo taufte sie die Fundstätte. „Wir sind auf die Knie gefallen mit ungläubigem Blick“, berichtet Expeditionsleiter Chiappe. Das Besondere an dem Fund: Erstmals konnten die Forscher gleichsam in das Innere von Sauropodeneiern schauen.

Über ein Dutzend der Kalkbälle waren mit winzigen versteinerten Schenkelknochen, Gewebe und Zähnen gefüllt. Unter dem Mikroskop erkannten die Forscher

\* Apatosaurus im Carnegie Museum of Natural History, Pittsburgh; darunter: der Saurierexperte Jack McIntosh.



RAINER E. STEUSSLER / JOKER (L.); MARTIN SANDER (R.)

**Paläontologe Sander\*, Knochenquerschnitt mit Wachstumsringen:** Die Experten lesen in den Dino-Knochen wie in offenen Büchern

ganze Dino-Embryonen, die sie der Familie der Titanosaurier zuordneten. Beim Schlüpfen waren die Tiere etwa 40 Zentimeter groß. Später erreichten sie eine Körperlänge von 10 oder gar 30 Metern. Selbst versteinerte Hautfetzen fanden sich noch an Bruchstücken der Paläo-Eierschalen.

Seit dem Fund von Auca Mahuevo weiß Sander, dass auch die Bonner Dino-Eier, einst in Südfrankreich geborgen, von Sauropoden stammen. „Die Weibchen legten vermutlich Hunderte dieser Eier“, sagt der Forscher. Brutpflege hätten sie mit großer Wahrscheinlichkeit nicht betrieben. „Dafür waren die Muttertiere einfach viel zu groß.“ Stattdessen vermutet der Forscher die Schildkröten-Methode: „Eier in den warmen Sand setzen, eingraben und aus dem Staub machen.“

Einmal geschlüpft, hätten die Tiere rasch an Gewicht gewonnen. „Im Alter von 11 bis 14 Jahren waren sie geschlechtsreif, mit 26 Jahren ausgewachsen“, referiert Sander seine Erkenntnisse im Fall des afrikanischen Titanosauriers Janenschia. Der Forscher hat versteinerte Gebeine des Dreißigtonners genauer unter die Lupe genommen. Mit Knochenbohrer und Säge machte er sich über die Paläopretiosen her. Hauchdünne Querschnitte des Knochengewebes analysierte Sander unter dem Mikroskop. Er fand, was er suchte: Dünne Wachstumsringe, ähnlich denen von Bäumen, zogen sich durch die äußeren Schichten der Röhrenknochen.

Die Ringe sind typisch für viele Tierknochen, etwa auch die von Säugern. Jahreszeitliche Schwankungen beispielsweise der Nahrungsverfügbarkeit lassen sie entstehen. Im Fall der Dinosaurier haben sie oftmals die Jahrtausende überdauert. Für

die Forscher sind sie von unschätzbarem Wert. Die Wachstumsgeschwindigkeit der Tiere, den Zeitpunkt der Geschlechtsreife und das erreichte Alter kann Sander aus der Breite und Anzahl der Ringe lesen. Aus zahlreichen Einzelproben berechnet er anschließend Wachstumskurven für die Tiere, die vom Sauropodenbaby zum erwachsenen Saurier reichten.

Paläohistologie heißt die Forschungsrichtung, die mikroskopische Untersuchung von fossilem Gewebe. Und sie hat den Wissenschaftlern schon märchenhafte Ergebnisse beschert.

Ein Forscherteam um Sander selbst etwa enthüllte erst im Juni eine veritable Sensation. Im Fachmagazin „Nature“ stellten

**„WENN WIR JEMALS DINO-DNA FINDEN, DANN IN PROBEN WIE DIESEN.“**

die Wissenschaftler Europasaurus holgeri vor, einen Sauropoden aus dem Harz. Die Überraschung: Verglichen mit anderen Elefantenfußsauriern, ist der Niedersachsen-Dino ein Zwerg. Selbst das größte der elf analysierten Individuen hat eine Körperlänge von nur 6,20 Metern.

Die ersten Zähne der Mini-Sauropoden barg ein Amateursammler vor acht Jahren in einem Steinbruch in der Nähe des Ortes Oker. Forscher um Nils Knötschke vom Dinosaurier-Freilichtmuseum Münchehagen präparierten seither die Knochen, darunter auch einen Schädel. Die Experten dachten zunächst, sie hätten es mit Jungtieren zu tun. Erst die Analyse des fossilen Knochengewebes enthüllte: Zumindest die größeren Individuen waren ausgewachsen.

„Wir glauben, dass es sich um eine verzweigte Art handelt, die aus größeren Vorfahren entstanden ist“, sagt Sander. Ein

Schelfmeer habe einst die Region bedeckt. Nur einige größere Inseln durchbrachen den Wasserspiegel: „Die Tiere haben vermutlich nur einen Meter gelebt.“ Nahrung dürfte rar gewesen sein – daher die Verzweigung. Parallelen in der Erdgeschichte gibt es viele. In Höhlen auf Sizilien und Malta etwa entdeckten Forscher Knochen eines elefantenartigen Säugetieres. Die Miniatur-Rüsseltiere waren vermutlich nur einen Meter groß. Sie lebten vor etwa 500 000 Jahren, zu einer Zeit, als Malta und Sizilien eine Insel bildeten.

Mit den neuen Techniken lesen die Experten in den Dino-Knochen wie in offenen Büchern. Im März 2004 etwa verblüffte die US-Paläontologin Mary Schweitzer die Fachwelt mit der Nachricht, sie habe Gewebe aus dem Oberschenkel eines vor 68 Millionen Jahren verstorbenen Tyrannosaurus

rex isoliert. Unmöglich galt zuvor, dass Weichteilgewebe eine so lange Zeit überdauert. Die Entdeckung gelang, nachdem Schweitzers Assistentin Jennifer Wittmeyer den Raubtierknochen in ein Säurebad getunkt hatte, um ihn für Feinschnitte vorzubereiten.

„Sie kam angerannt und rief: ‚Du wirst nicht glauben, was passiert ist‘“, erinnert sich Schweitzer. „Dann brachte sie den demineralisierten Knochen mit. Er war elastisch.“

Schweitzer identifizierte das Gewebe unter dem Elektronenmikroskop als Kollagen, den organischen Hauptbestandteil von Knochen. Warum das Material über die Jahrtausende erhalten blieb, ist auch ihr schleierhaft. Inzwischen hat sie die Substanz in anderen Knochen nachgewiesen und sogar Hinweise auf Blutgefäße und rote Blutkörperchen entdeckt. Selbst Ker-

\* Bei der Bohrkernentnahme aus einem Knochen.

ne scheinen manche der Blutzellen zu enthalten. „Wenn wir überhaupt jemals Dinosaurier-DNA finden, dann in Proben wie diesen“, sagt Schweitzer.

Rückt damit gar die Möglichkeit in greifbare Nähe, eines Tages einen der Giganten zu klonen und dadurch wieder zum Leben zu erwecken? Schweitzer selbst spottet über die Vision des Dinosaurierparks. Wenn überhaupt jemals jemand Saurierergut entdecke, werde es fragmentiert und unvollständig sein, sagt die Forscherin.

Die Phantasie der Gelehrten beleben die Funde der US-Paläontologin gleichwohl. Nun könnte es sich lohnen, die alten Knochen aus den Kabinetten und Kellergewölben hervorzukramen und sie einer neuen Analyse zu unterziehen.

Der Paläontologe Gregory Erickson von der Florida State University in Tallahassee etwa hob einen Schatz, als er beschloss, eine größere Anzahl bereits angestaubter Tyrannosaurus-rex-Knochen auf Wachstumsringe zu untersuchen. Zusammen mit seinen Kollegen bestimmte der Forscher das Alter von 20 Exemplaren des Raubosauriers – unter ihnen auch Dino-Dame Sue aus dem Chicagoer Field Museum, mit 13 Meter Länge das größte Tyrannosaurus-Skelett der Welt.

Das Ergebnis: Auch der Schrecken aller Hollywood-Dino-Schocker begann sein Leben als Bantamgewicht. Nur langsam wuchs er zum vergleichsweise niedlichen Eintonner heran. Dann jedoch, mit etwa 14 Jahren, begann ein rasanter Wachstumsschub: In knapp fünf Jahren vervielfachte das Tier sein Gewicht auf fünfeinhalb Tonnen.

Einen Zuwachs von bis zu 2,1 Kilogramm pro Tag hat Erickson errechnet. Am Ende brauchte der Räuber mit den Stummelärmchen nichts mehr zu fürchten außer sich selbst. Allerdings blieb ihm auch nicht mehr besonders viel Zeit. Geschlaucht vom rasanten Aufstieg in die Schwergewichtsklasse, lebte T. rex vermutlich nur noch eine weitere Dekade. Sue beispielsweise, nicht nur der größte, sondern auch der älteste bekannte Tyrannosaurus der Erde, starb bereits mit 28.

Das kolossale Lebewesen sei der „James Dean unter den Dinosauriern“ gewesen, kommentiert Erickson: „T. rex lebte schnell und starb jung.“

Ericksons Wachstumskurven beweisen: Dinosaurier wuchsen ganz anders als heutige Reptilien. Während Schildkröten, Schlangen oder Eidechsen meist über einen langen Zeitraum immer größer werden, legten die Dinos in kurzer Zeit viel Gewicht zu. Nach der Geschlechtsreife ließ das Wachstum dann rapide nach.

Auch Sanders Ergebnisse für die Sauropoden bestätigen dieses Muster. Es ähnelt dem Wachstumsmuster von Vögeln und



**Fußspuren eines Raubosauriers\***

*Hieroglyphen aus einer unbekanntem Welt*

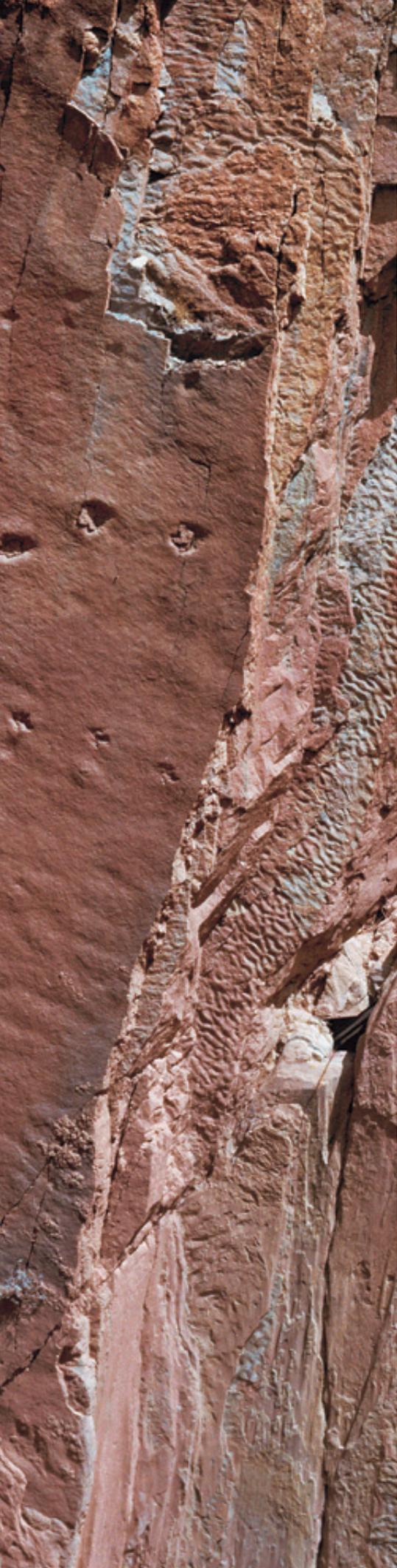


BILD- UND SCHRIFTGUTSAMMLUNG MUSEUM FÜR NATURKUNDE BERLIN

Dinosaurierfundstätte Tendaguru\*: Steckbrief des Ungeheuerlichen

Säugetieren. Die Experten sind sich daher fast sicher: Anders als die kaltblütigen Reptilien heutiger Tage hatten auch Dinosaurier vermutlich warmes Blut.

„Nur bei einem hohen Grundumsatz wie ihn gleichwarme Tiere haben, erscheint ein solch rasantes Größenwachstum überhaupt möglich“, sagt der Berliner Forscher Gunga. Dabei überstieg die Körpertemperatur der größten Dinos möglicherweise sogar deutlich die der heutigen Säuger: Ihre schiere Masse hatte zur Folge, dass sich die vom Körper erzeugte Wärme nur schwer abführen ließ.

Auf bis zu 48 Grad Celsius schätzen Forscher um James Gillooly von der University of Florida die Körpertemperatur der größten Dinosaurier. In einer Anfang Juli veröffentlichten Arbeit berechneten der

## LAG DIE KÖRPERTEMPÉRATUR DER DINOS BEI BIS ZU 48 GRAD CELSIUS?

Biologe und seine Kollegen die Temperatur der Tiere anhand neuester Wachstumsraten. „Die Körpertemperatur der Dinosaurier stieg mit der Körpermasse“, bilanzieren die Forscher.

Während kleine Dinos etwa so warm waren wie die Umgebung, hätten große Exemplare gleichsam unter Hitzestau gelitten. Bereits ein Riese von moderaten 13 Tonnen sei vermutlich nicht in der Lage gewesen, seinen Körper unter 41 Grad Celsius zu kühlen.

So fügt sich ein Stein des Saurierpuzzels an den nächsten. Ein neues Bild der Urviecher zeichnen die Forscher. Nicht wie Nilpferde plantschten die Sauropoden im Wasser. Biomechanische Studien und die Analyse von Fußabdrücken belegen, dass die Giganten vermutlich sogar kräftig genug waren, um Männchen zu machen.

\* Links: in den Anden, die Fundschicht ist fast in die Vertikale gefaltet worden; rechts: der Berliner Paläontologe Werner Janensch mit Helfer Salim Tombali bei einer Grabung in Tendaguru, heutiges Tansania (um 1910).

Meist indes wucherten sich die Pflanzenfresser behäbig durch die Vegetation – oder sie verzichteten gleich ganz auf die kräftezehrende Fortbewegung und fraßen über Stunden, ohne einen Schritt zu tun.

„Brachiosaurus konnte etwa 150 Kubikmeter Raum nur durch die Bewegung seines Halses erreichen“, sagt Gunga, der sich über die Gemütlichkeit des Riesen keine Illusionen macht: „Mit so einem Tier haben Sie natürlich einen Tanker im Gelände; rennen wie Godzilla konnten die sicher nicht – da wären die Knochen gebrochen.“

Die Grundfrage aber bleibt: Wie konnten die Tiere im wahrsten Sinn des Wortes alles in den Schatten stellen, was heute auf der Erde krecht und fleucht? Eine Theorie scheint sich derzeit durchzusetzen: In der Fortpflanzung könnte der Schlüssel zum Gigantismus der Sauropoden liegen.

„Hinter den unterschiedlichen Körpergrößen von Dinosauriern und Säugetieren stecken vermutlich eher unterschiedliche Überlebens- und Reproduktionsstrategien als Unterschiede im Körperbau“, vermuten die US-Forscher Christine Janis und Matthew Carrano. Bei Dinosauriern sei die Zahl der Jungen nicht vom Körpergewicht abhängig gewesen. Sie legten stets viele Eier. Säuger dagegen hätten mit zunehmender Masse immer weniger Nachwuchs.

Äußerst selten brachten vor allem die großen Pflanzenfresser unter den Säugtieren mehr als ein Junges pro Wurf zur Welt, vor allem deshalb, weil sie nicht genug Milch für mehr Nachwuchs produzieren könnten, argumentieren Janis und Carrano. Und auch andere Nachteile bringt die aufwendige Säugerfortpflanzung mit sich. Große Säugetiere werden in der Regel erst sehr spät geschlechtsreif und sind lange trächtig. Anders gesagt: Der Aufwand, genug Nachkommen aufzuziehen, steigt bei Säugetieren mit wachsender Körpergröße stark an. „Bauplan-

LOUIS PISHOTIOS / AGENTUR FOCUS



FRITZ STOCKMEIER / BILDFOLO

**Zwergdinosaurier-Modelle\*:** Erst dachten die Experten, sie hätten es mit Jungtieren zu tun

grenzen“ nennt Sander solche biologischen Hürden.

Sind deshalb Elefanten auch so viel kleiner als die gigantischen Urzeitechsen? Bis zu sieben Tonnen bringen afrikanische Rüsseltiere auf die Waage. Das schwerste Landsäugetier der Erdgeschichte, das vor etwa 25 Millionen Jahren ausgestorbene Indricotherium, soll bis zu 15 Tonnen gewogen haben. Mehr war nicht drin. Doch warum? Die Forscher vermuten: Noch mehr Größe würde den Säugern die Zukunft verhaseln.

„Säugetiere bekommen ab einer bestimmten Größe zu wenig Nachkommen, um auch schlechte Zeiten noch überleben zu können“, erläutert Sander. Beispielsweise im Fall von Ökokatastrophen sterben viele der Tiere. Die wenigen, die überleben, müssen eine neue Population gründen. „Wenn sie dann nur ein Junges alle paar Jahre bekommen, sind sie schnell von der Bildfläche verschwunden.“

Anders die Sauropoden: Hunderte Eier garantierten ihnen auch nach katastrophalen Ereignissen die schnelle Rückkehr zu alter Zahl. Sander: „Das Risiko, endgültig auszusterben, ist bei mehr Nachwuchs einfach viel geringer.“

Erklären am Ende also die Eier das Geheimnis des Größenwahns im Dino-Reich?

\* Sauropode *Europasaurus holgeri* im niedersächsischen Dinosaurier-Freilichtmuseum Münchehagen.

Die Spurensuche geht weiter. Bis 2010 hoffen die Experten um Sander ihr Gigantismus-Forschungsprojekt fortführen zu können. Gunga etwa will als Nächstes Sauropodenskelette in den Museen von Argentinien und Indien vermessen. In Bonn soll ein Modell eines *Brachiosaurus* im Maßstab 1:10 entstehen – komplett mit Lunge, Verdauungsapparat, Herz und Knochen.

Im Berliner Naturkundemuseum fiebern die Wissenschaftler derweil der Wieder-

## 250 TONNEN FOSSILIEN SCHLEPPTEN DIE FORSCHER NACH BERLIN.

eröffnung des Sauriersaals im kommenden Sommer entgegen. Sieben Saurierskeletten aus den Tendaguru-Schichten in Tansania wollen die kanadischen RCI-Experten bis dahin wieder auf die Beine helfen.

Neben dem *Brachiosaurus* hoffen die Experten den Raubsaurier *Allosaurus* aufzustellen. Der hornschnabelige Gazellen-saurier *Dysalotosaurus* soll im berühmten Lichthof des Naturkundemuseums genauso Platz finden wie der schnelle, räuberische *Elaphrosaurus*.

Glanzstück der Tendaguru-Funde ist der Schädel des *Brachiosaurus brancai*, der derzeit versteckt zwischen anderen Pre-tiosen wie dem weltberühmten *Archaeopteryx* in der Hauptsammlung Paläontologie

des Naturkundemuseums steht. Mit Laser-scannerhilfe hat der RCI-Computerexperte David Mackie eine millimetergenaue Kopie des Fossils angefertigt. „Das Original ist viel zu wertvoll und fragil, um es auf das Skelett zu montieren“, sagt Unwin. Tatsächlich wirken die fleckigen Schädelknochen ausgesprochen zerbrechlich. Eine dünne Knochenbrücke wölbt sich merkwürdig weit zwischen den riesigen Nasenhöhlen nach vorn. Die Zähne des Sauriers sind dunkel verfärbt und haben die Form von Wachsmalstiften.

„Tendaguru und seine Zeit“ lautet der Arbeitstitel der neuen Ausstellung. „Unsere Funde stammen

fast alle aus ein und derselben Gesteins-schicht, so dass wir ein ganzes Ökosystem abbilden können“, schwärmt Unwin. Rund 250 Tonnen Fossilien schleppten Forscher um den Paläontologen Werner Janensch Anfang des 20. Jahrhunderts aus Afrika nach Berlin. Das Faszinierende: Die Knochen liefern bis heute frische Informationen über die Lebenswelt der Dinos. „Paläontologen haben das große Glück, dieselben Fossilien während ihrer Karriere mindestens zweimal untersuchen zu können“, sagt Unwin. Neue Methoden der Saurierforschung erlaubten detailliertere Analysen der fossilisierten Titanen. Unwin: „Ich bin gespannt, was uns die Knochen in Zukunft noch alles erzählen werden.“

PHILIP BETHGE