

Spezialausstellung

SAURIERMUSEUM Aathal

GEFIEDERTE DINOSAURIER

Der neue Look im Federkleid

Angela Milner

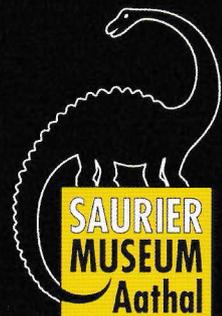


SAURIERMUSEUM Aathal
im Zürcher Oberland
www.sauriermuseum.ch

Öffnungszeiten:
Dienstag bis Samstag
von 10.00 bis 17.00 Uhr
Sonntag und Feiertage
von 10.00 bis 18.00 Uhr

Sie finden uns per Bahn:
S 14 ab HB Zürich
bis Station Aathal

oder per Auto: 1 km nach
Autobahn-Ende Uster





GEFIEDERTE DINOSAURIER

Der neue Look im Federkleid

Begleitbroschüre zur Spezialausstellung 2005

Autorin: Angela Milner, The Natural History Museum London

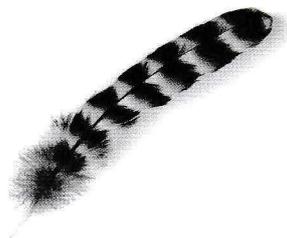
Übersetzung: Katy Waite, Universität Basel

Gestaltung: Urs Möckli, Sauriermuseum Aathal

Herausgeber: Hans Jakob Siber, Sauriermuseum Aathal
Mit freundlicher Genehmigung vom
Natural History Museum London
Trudy Brannan, Editorial Manager

© SAURIERMUSEUM Aathal 2005

Druck: Lindauer Druckerei, Eschbaumer & Co, Lindau



Liefen die Dinosaurier nackt herum? Dies ist eine der einfachen Fragen im Kinderlehrpfad des Sauriermuseums. Die Antwort, die wir seit über zehn Jahren lang geben lautet «eine schuppige, ledrige Haut». Aber diese ist heute nicht mehr gültig! Neue Funde und neue Forschungen stellten dies mindestens für einen Teil der Dinosaurier ernsthaft in Frage.

Das Aussehen der Dinosaurier ist naturgemäss ein schwieriges Kapitel, sind doch meistens nur die Knochen fossil erhalten. Generationen von Paläontologen mussten sich deshalb mit Spekulationen zufrieden geben und stellten sich die Dinosaurier teils mit Reptilienhaut vor, teils mit Säugetierhaut oder eine Kombination von beiden. Doch jetzt müssen wir umdenken. Neuerdings sind Funde von ausserordentlicher Erhaltung von China aufgetaucht. Sie zeigen Dinosaurier mit Federn! Mit Begeisterung stürzten sich die Wissenschaftler auf die neuen Funde, die sowohl Eigenschaften von Vögeln, als auch solche von Dinosauriern kombinieren und dies in den verschiedensten Varianten, so viele, dass es heute möglich ist den Übergang von den Dinosauriern zu den Vögeln fast lückenlos zu belegen. Das Vogel-Dino-Thema wurde zum Hauptthema der Dinosaurierwissenschaft der letzten Jahre. Fragen wie: «Stammen Vögel von den Dinosauriern ab?» und «Sind Vögel eigentlich Dinosaurier?» und «Wie und wann ist der Vogelflug entstanden?» beschäftigte zahlreiche Wissenschaftler in Vorträgen, Konferenzen und wissenschaftlichen Publikationen.

Dieses aktuelle Thema liegt nun bereits einige Jahre in der Luft. Das Sauriermuseum Aathal wünschte sich deshalb eine Sonderschau zu diesem Thema. Doch es fehlten die geeigneten Objekte! Das änderte sich schlagartig im letzten Jahr. Erst lernte H.J.Siber, der Direktor des Sauriermuseums Aathal, den amerikanischen Dinosaurierkünstler Dennis Wilson kennen, der lebensgrosse Modelle mit echten Federn herstellt. Bei den rund zehntausend verwendeten Federn pro Tier erfordert diese Arbeit eine wahre Engelsgeduld. Bei Wilson bestellte das Sauriermuseum fünf Modelle.

Dann eröffnete sich im Herbst 2004 eine weitere Chance. Dem Sauriermuseum wurde ein *Microraptor*-Fossil angeboten. *Microraptor* ist ein Vogeldino, einer der in seinem Skelettbau sowohl Eigenschaften von Vögeln als auch solche von Dinosauriern aufweist. Dieses *Microraptor*-Exemplar zeigt diese Merkmale auf besonders schöne und illustrative Art und ist deshalb ein eigentliches Vorzeigexemplar für die Evolutionsgeschichte zum Übergang der Reptilien (Dinosauriern) zu den Vögeln. *Microraptor* ist ein naher Verwandter des berühmten *Archäopteryx*. Sein Alter (128 Millionen Jahre) ist nur etwa 10% jünger als das seines berühmten Veters. Das *Microraptor*-Fossil ist eine der bedeutendsten Anschaffungen des Sauriermuseums Aathal und ergänzt in idealer Weise die schon bestehende Sammlung.

Das Vogeldino Thema ist ein faszinierendes Grundthema der Dinosaurierwissenschaft. Die neue Sicht lässt die Urwelttiere in neuem Licht erscheinen. Es ist heute noch nicht abzuschätzen, wie weit sich das Bild aller Dinosaurier dadurch verändert. Was sicher ist: Würde der Film «Jurassic Park» heute gedreht, müsste *Velociraptor* ganz anders aussehen, nicht nackt, sondern mit Federn bedeckt!

Ihr Sauriermuseums-Team, Direktor: Hans Jakob Siber



Ein ganz anderer Velociraptor als man sich das vom Film «Jurassic Parc» und vielen anderen Illustrationen gewohnt ist.

Vom Dinosaurier zum Vogel



Was haben *Tyrannosaurus rex* und *Carduelis chloris* (der europäische Grünfink) gemeinsam? Viel mehr als Sie vielleicht denken; der Grünfink in Ihrem Garten ist ein moderner Dinosaurier, wenn auch ein kleiner, der aber vielleicht ebenso aggressiv ist wie sein riesiger und weit entfernter Verwandter. Wie ist es möglich, dass ein so kleiner, zierlicher Vogel von einem so schwerfälligen, fleischfressenden Giganten abstammt? Vögel und Dinosaurier scheinen so unterschiedlich, dass Vögel bisher separat als gefiederte und (meist) fliegende Tiere klassifiziert wurden.

Sind also die Vögel tatsächlich Nachkommen der fleischfressenden Dinosaurier? Ja, in der Tat sind sie das. In einer Detektivgeschichte, die vor 140 Jahren begann, wurden 1996 die letzten Beweise, spektakuläre, gefiederte Fossilien aus der Provinz Liaoning im östlichen China, gefunden. Sie erfüllen Vorhersagen, die von vielen Paläontologen gemacht wurden; wenn Vögel die Nachkommen der fleischfressenden Dinosaurier (im Fachjargon Theropoden genannt) sind, dann müssten auch diese Dinosaurier Federn gehabt haben. Die chinesischen Fossilien beweisen zweifelsfrei, dass Dinosaurier tatsächlich

Tyrannosaurus rex, der gefürchtetste Räuber, der je auf Erden gelebt hat, soll ein naher Verwandter unserer heute lebender Vögel sein? Finden Sie heraus, warum die Wissenschaftler dies tatsächlich für richtig halten.



Zwei europäische **Grünfinken** im Streit.
Sind Vögel eigentlich Dinosaurier?

Urzeitlicher Flügel

Zwei Urvögel (aus heutiger Sicht: zwei gefiederte Dinosaurier!) tummeln sich vor 150 Millionen Jahren am Rande des Jurameeres.

Illustration: Raúl Martín



Die Diskussion über den Ursprung der Vögel reicht zur Entdeckung des ersten Exemplars des frühesten Vogels, *Archäopteryx*, in den Solnhofener Plattenkalken in Bayern im Jahr 1861 zurück. Dieser ist einer der wichtigsten Schätze des Naturhistorischen Museums in London und eines der berühmtesten Fossilien der Welt. Es besteht aus dem Skelett eines Tieres von der Grösse einer Elster, das auf zwei Kalksteinplatten aufgeteilt ist wie auf zwei gegenüberliegenden Seiten eines Buches. Aber mehr noch, das ausserordentlich feinkörnige Gestein zeigt klar und deutlich wunderbar detaillierte Abdrücke von Federn, die um die beiden Vorderextremitäten und entlang beider Seiten des Schwanzes angeordnet sind.

Dieser *Archäopteryx*-Grabstein wurde vor 147 Millionen Jahren (am Ende der Jurazeit) gebildet, als sehr feiner, plastischer Schlamm am Grund einer ruhigen und seichten Lagune abgelagert wurde. Die Solnhofener Plattenkalke in Bayern sind berühmt für die Erhaltung zahlreicher Fossilien. Die Sedimente sind sehr feinkörnig und kompakt und ha-

ben die Abdrücke der Flugfedern des *Archäopteryx* erhalten – Federn wie diejenigen moderner fliegender Vögel. Die Federn gehörten einem Tier, das ansonsten typische Kennzeichen eines Raubdinosauriers besass: einen Kiefer mit Zähnen, drei Finger, die in scharfen Krallen endeten und einen langen, knöchigen Schwanz.

Das Skelett zeigt aber auch andere Charakteristiken, die man bei Vögeln findet, zum Beispiel einen nach hinten gerichteten Zeh an den Hinterfüssen (um sich auf einer Sitzstange festzuhalten) und ein zusammengewachsenes Schlüsselbein (im Fachbegriff Furcula). Dieses wird durch Zusammenschluss der beiden separaten Schlüsselbeine (Claviclae) gebildet, welche den Brustkorb in der Mitte überspannen. Das Schlüsselbein des *Archäopteryx* hat eine einfache Boomerang-Form im Vergleich zum langen, elastischen, V-förmigen Schlüsselbein eines Huhns.

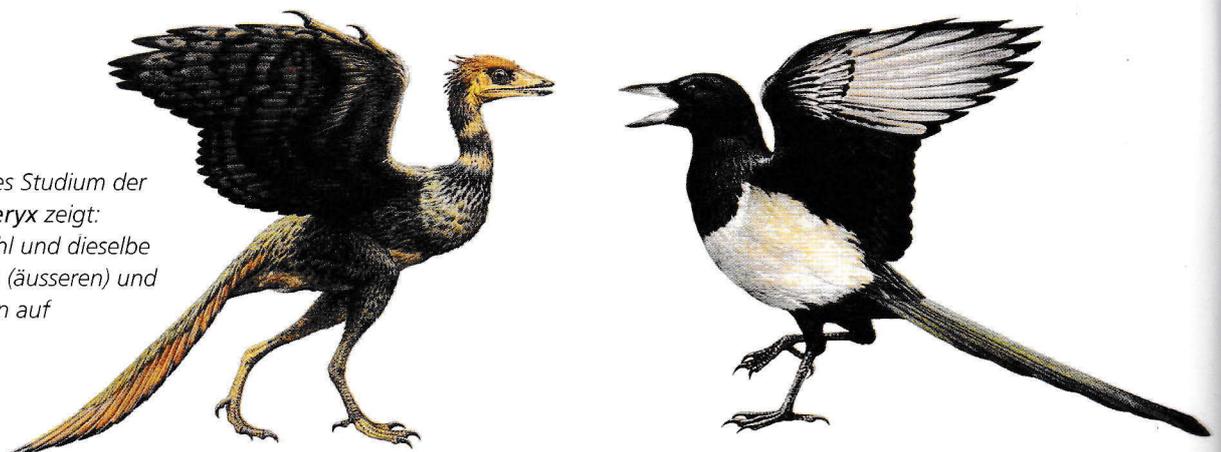
Das Londoner Exemplar von *Archäopteryx lithographica*, 1861 bei Solnhofen in Bayern entdeckt, wurde schon bald zum berühmtesten Fossil der Welt. Als sog. «Missing Link» (Bindeglied zwischen Reptilien und Vögeln) passte es perfekt zur Abstammungstheorie von Charles Darwin.



Das Exemplar wurde im Jahr 1861 von Arbeitern gefunden, die im Steinbruch Solnhofener Kalksteinplatte abbauten, die als lithographische Druckplatten benutzt wurden. Es wurde im selben Jahr von Hermann von Meyer, einem führenden deutschen Paläontologen, *Archäopteryx lithographica* genannt. Das Exemplar gehörte Dr. Carl Häberlein, einem bayerischen Arzt aus der Region. Carl Häberlein akzeptierte Fossilien aus den Solnhofener Kalken von den Arbeitern im Steinbruch als eine Art Bezahlung für seine medizinischen Dienste und trug so eine riesige Sammlung von Solnhofener Fossilien zusammen, den *Archäopteryx* eingeschlossen. Er bot die Sammlung von fast 2000 Fossilien im Jahre 1862 zum Verkauf an, um die Mitgift für die Hochzeit seiner Tochter aufzubringen. Richard Owen bezahlte £750 (ca. 1500 US\$), um die gesamte Sammlung für das Naturhistorische Museum in London zu sichern. Er verschwendete keine Zeit, damit den *Archäopteryx* im Detail zu beschreiben, benannte ihn als primitiven Vogel mit einem langen Schwanz und belies es einfach dabei.

Der *Archäopteryx* stellt einen Schnappschuss dar, in dem die Evolution «auf frischer Tat ertappt» wurde. Der *Archäopteryx* war ein Dinosaurier, hatte aber Flügel und konnte fliegen. Er war ein urzeitlicher Vogel ungefähr von der Grösse einer modernen Elster. *Archäopteryx* wurde schon immer als wichtiges Fossil betrachtet. Richard Owen, der erste Direktor des Naturhistorischen Museums in London, scheute keine Mühe, um es 1862 von Deutschland zu erwerben.

Erstaunlich: Ein genaues Studium der Federn von *Archäopteryx* zeigt: er weist dieselbe Anzahl und dieselbe Anordnung der langen (äusseren) und kurzen (inneren) Federn auf wie die heutige Elster.





Das *Archäopteryx*-Modell des Sauriermuseums (Vorder- und Rückseite).
Das Modell wurde vom Künstler Dennis Wilson mit echten Federn hergestellt
und nach den exakten Körperproportionen des Berliner Exemplars ausgeführt.

Es war Thomas Henry Huxley, der grosse Unterstützer Charles Darwins, der erstmals die Verbindung mit den Dinosauriern vorschlug. Er beobachtete viele Ähnlichkeiten zwischen den Knochen der Hinterbeine des *Megalosaurus*, einer der wenigen fleischfressenden Dinosaurier, die damals bekannt waren, und jener des Vogel Strauss. Er erkannte auch eine ganze Serie von Merkmalen in den Knochen von *Archäopteryx*, die auch ein kleiner Raubdinosaurier namens *Compsognathus*, der 1859 in den Solnhofener Plattenkalken gefunden wurde, besass. Huxleys Argumente fanden aber wenig Beachtung, weil Beweise fehlten und weil in den 1860er Jahren nicht viel über Dinosaurier bekannt war. Heute weiss man, dass *Compsognathus* zu einer Gruppe gehört, die Coelurosaurier genannt werden. Der Name bezeichnet meist kleine, leicht gebaute Raubdinosaurier. Er bezeichnet aber auch eine vielfältige Gruppe von Raubdinosauriern, zu der auch der *Tyrannosaurus* gehört, die Merkmale besitzen, welche eine nähere Verwandtschaft zu den Vögeln implizieren, als das bei anderen Fleischfressern wie zum Beispiel *Allosaurus* der Fall ist. Solche Merkmale sind zum Beispiel die Verlängerung der Knochenfortsätze, welche die Halswirbel verbinden und ein kurzes Ischium (der rückwärtsgerichtete untere Hüftknochen).

Ein zweites noch besser erhaltenes Exemplar von *Archäopteryx* kam 1877 in die Hände von Ernst, dem Sohn von Dr. Häberlein. Angaben darüber, wieviel er für das Exemplar bezahlt hat, schwanken zwischen 140 und 2000 Reichsmark. Ernst Häberlein bot es für mehr als das Zehnfache der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie zum Kauf an. Diese konnte den verlangten Preis jedoch nicht aufbringen. Während intensiven Präparationsarbeiten wurde deutlich wie vollständig das Exemplar tatsächlich erhalten ist. Häberlein bot es angeblich, zusammen mit seiner übrigen Sammlung, der Yale Universität für 36'000 Reichsmark an. Der grosse Professor O.C.Marsh in Yale weigerte sich jedoch diese Summe zu bezahlen. Schlussendlich legte der Industrielle Werner von Siemens den Betrag von 20'000 Mark aus, um sicherzustellen, dass das Stück in Deutschland blieb. Heute ist es der Stolz des Naturhistorischen Museums in Berlin. Am Berliner Exemplar sind deutlich die Kiefer mit den Dinosaurierzähnen und die langen Hände mit den Krallen zu sehen. Der Aufbau der Flügel mit der Unterteilung in primäre und sekundäre Flugfedern ist vergleichbar mit demjenigen der heutigen Vögel. Auch die asymmetrische Struktur der einzelnen Federn mit ungleich langen Haken



Darstellung des *Archäopteryx* im Flug. War er ein Aktivflieger oder ein Passivflieger, das ist hier die Frage?
Illustration von Virginia Schomp

(die Strukturen, welche die Fahne der Feder aufbauen) auf beiden Seiten des Schafts entspricht modernen Formen. Es scheint, dass *Archäopteryx* moderne Flügel hatte, die an einem kleinen, fleischfressenden Dinosaurier befestigt waren. Er muss flugfähig gewesen sein, aber es wird heute noch heftig darüber diskutiert wie gut er wohl fliegen konnte. Weitere fünf Skelette von *Archäopteryx* wurden in den letzten 130 Jahren in den Steinbrüchen im Solnhofener Plattenkalk gefunden, das Letzte im Jahr

1993. Nicht alle sind vollständig erhalten, aber bei allen sind Federabdrücke zu erkennen. Interessanterweise wurden einige Skelette anfänglich gar nicht als *Archäopteryx* erkannt. Ein Bruchstück, das im Jahr 1858 gefunden wurde und das Abdrücke von Federn, Krallen und ein Kniegelenk zeigt, wurde als fliegendes Reptil (Pterosaurier) identifiziert und als solches im Teyler Museum in Holland ausgestellt. John Ostrom, ein amerikanischer Paläontologe, sah 1970 bei einem Besuch im Museum die Federabdrücke, die die wahre Identität des Stücks verrieten. Zwei weitere Exemplare mit weniger deutlichen Federabdrücken wurden anfänglich mit dem Coelurosaurier *Compsognathus* verwechselt. Die Ähnlichkeit mit dieser Gruppe hatte ja schon Huxley beobachtet!

Der Nächste der sich mit der Herkunft der Vögel beschäftigte, war Gerhard Heilmann, ein dänischer Maler und Illustrator. Er schrieb 1916 ein Buch, das im Jahr 1926 ins Englische übersetzt wurde. Auch er beobachtete, dass kleine fleischfressende Dinosaurier wie zum Beispiel *Compsognathus*



Das Berliner Exemplar von *Archäopteryx lithographica*, das im Jahre 1837 vom Industriellen Werner von Siemens für 20'000 Reichsmark gekauft und anschließend ans Naturhistorische Museum in Berlin geschenkt wurde, ist wohl das schönste der acht bis heute bekannten *Archäopteryx*-Exemplare.

Eine frühe Darstellung von *Archäopteryx* im Feder- und Schuppenkleid, 1916 von Gerhard Heilmann gezeichnet für sein Buch «Der Ursprung der Vögel».



viele Gemeinsamkeiten mit *Archäopteryx* hatten. Sie wären ideale Vorfahren für die Vögel, ausser dass ein wichtiges Bindeglied noch fehlte. *Compsognathus* besass anscheinend überhaupt keine Schlüsselbeine - weder zusammengewachsene wie bei *Archäopteryx* noch separate. Heilmann folgerte, dass die Dinosaurier nicht die direkten Vorfahren der Vögel sein könnten, da sie dieses wesentliche Merkmal verloren hatten. Er konnte sich nicht vorstellen, dass verlorene Knochen im Laufe der Evolution wieder

Das Eichstätter Exemplar von *Archäopteryx lithographica* erhalten in Platte und Gegenplatte jedoch ohne Abdrücke von Federn.



Lebensbild von *Compsognathus*. War er wirklich nackt wie hier dargestellt? Oder schützten ihn Federn, die sich fossil nicht erhalten haben, vor Kälte und Hitze?



erworben werden können und war der Meinung, dass die Vögel von viel früheren Reptilien abstammen mussten, die noch keine Schlüsselbeine besaßen. Er schlug vor, dass es eine hypothetische Form von Vorfahr gab, die er «Proavis» nannte. Von dem Zeitpunkt an stagnierte die Diskussion über die Herkunft der Vögel bis 1969 John Ostrom von der Yale Universität einen erstaunlichen neuen Dinosaurier beschrieb, den er *Deinonychus* nannte.



Auftritt der «Raptoren»

Der neue und der alte *Deinonychus*! Noch vor wenigen Jahren erschien der *Deinonychus* im National Geographic Magazin als nackter Räuber. Jetzt springt ein teils behaarter, teils gefiederter *Deinonychus* auf seine Beute los.



Deinonychus wurde in Gesteinen aus der Kreidezeit (ca. 110 Millionen Jahre alt) in Montana in den USA gefunden. Er war ein Räuber von 3 Meter Länge, der sehr leicht gebaut und schnell war. *Deinonychus* gehört zur Familie der höheren Raubdinosaurier, die Dromäosaurier oder «die Raptoren» genannt werden und zu denen zum Beispiel auch der *Velociraptor* aus der Wüste Gobi in der Mongolei gehört. Die Dromäosaurier hatten eine rückziehbare, sichelförmige Reissklaue an jedem Hinterfuss, die wahrscheinlich gebraucht wurde, um Beutetiere anzugreifen. *Deinonychus* und wahrscheinlich auch andere Dromäosaurier haben im Rudel gejagt und ihre Reisskrallen, sowie die Greifhände mit den scharfen Krallen und den Kiefer voller Reisszähne gebraucht, um Beute zu schlagen, die viel grösser war als sie selbst. Moderne Äquivalente sind zum Beispiel die Hyänen oder die afrikanischen Jagdhunde, die in der Gruppe jagen, um grosse Pflanzenfresser wie Antilopen oder Büffel zu reissen.

Dinosaurier waren so intelligent wie einige der heutigen Vögel und ihr Lebensstil deutet darauf hin, dass sie eine konstant hohe Körpertemperatur gehabt haben müssen. John Ostrom fand viele Merkmale in den Skeletten von Dromäosauriern, die auch bei *Archäopteryx* zu finden sind. Zu diesen gehören die langen Vorderarme und die sehr langen Hände mit den drei Fingern, die in gebogenen Krallen enden.

Das Schlüsselmerkmal war das Vorhandensein von Halbmond-förmigen Knochen in den Handgelenken («semi-lunates» Carpalgelenk). Dank diesen konnte das Handgelenk nicht nur auf und ab, sondern auch zur Seite gedreht werden. Dromäosaurier konnten ihre langen Hände falten, fast so wie moderne Vögel ihre Flügel. Ein weiterer Vorteil war, dass die Hände gedreht und schnell nach vorne

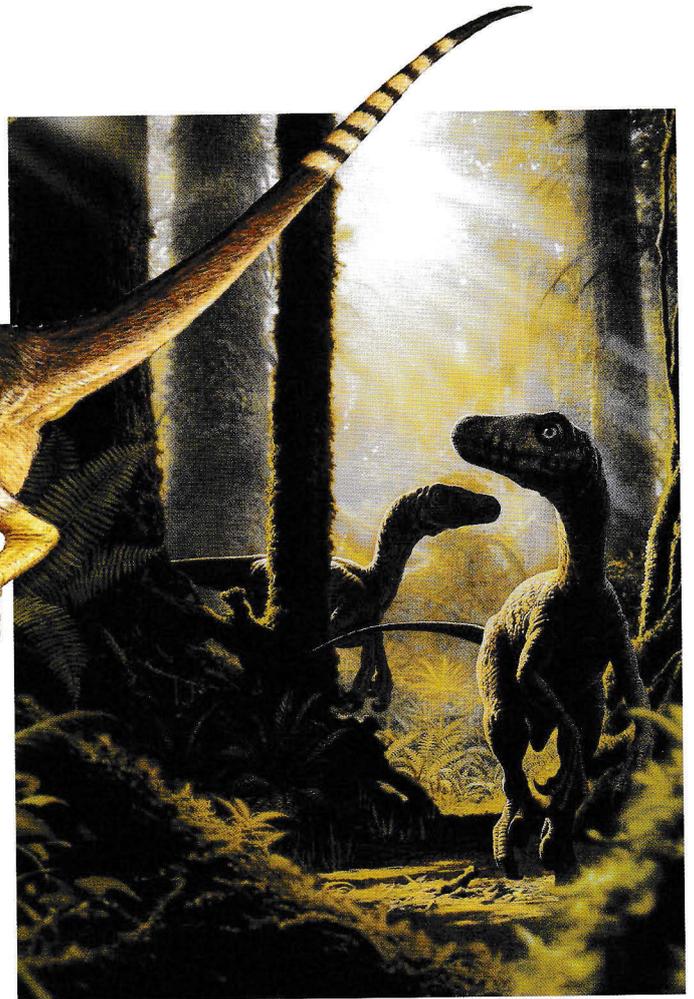
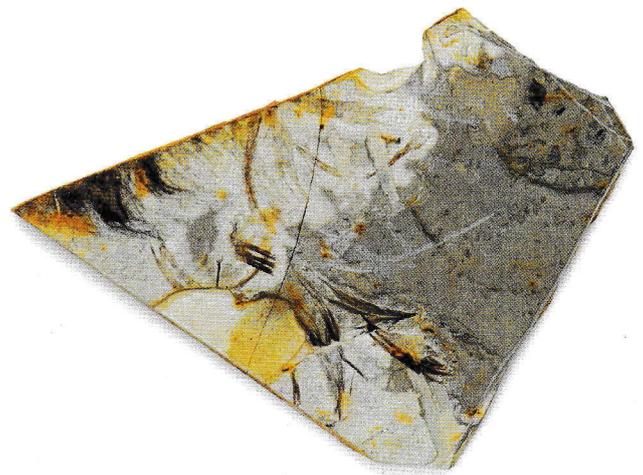


Illustration: Raúl Martin

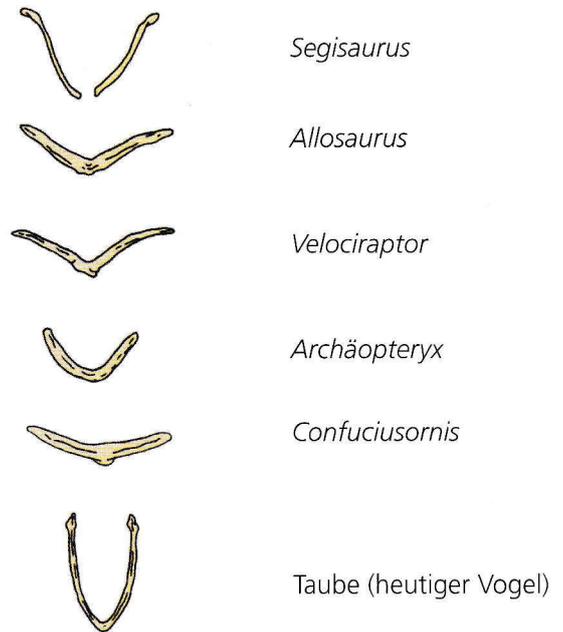
gestreckt werden konnten, um Beute zu greifen. Es ist kein Zufall, dass diese Bewegung ähnlich dem Flügelschlag eines Vogels war. Auch andere kleine höhere Raubdinosaurier, wie zum Beispiel die Oviraptoriden oder die Troodonten, konnten ihre Handgelenke drehen. Alle drei Familien von Raubdinosauriern mit langen Händen werden unter dem Begriff Maniraptoren zusammengefasst.



Fossil erhaltene Vogelfedern von Liaoning in China mit einem Alter von 125 Millionen Jahren. Sammlung: Sauriermuseum Aathal

Die Arbeit von John Ostrom in den 1970er Jahren fachte nicht nur die Diskussion über die Abstammung der Vögel von den Dinosauriern wieder an, sondern auch diejenige darüber ob Dinosaurier warmblütig waren. Diese Debatte läuft seither ständig weiter. Fast alle Paläontologen waren überzeugt, dass Huxley und später auch John Ostrom recht hatten mit ihren Theorien zur Abstammung der Vögel. Der einzige fehlende Beweis war ein Raubdinosaurier mit entweder Federn oder einem zusammengewachsenen Schlüsselbein. Inzwischen haben wir beides. Raubdinosaurier hatten tatsächlich zusammengewachsene Schlüsselbeine, einige der frühesten Formen hatten noch separate. Ein Schlüsselbein von einem Raubdinosaurier war eigentlich schon seit 1924 vorhanden, wurde aber fälschlicherweise als V-förmige Bauch-Rippe gedeutet (alle fleischfressenden Dinosaurier haben ein Korsett aus sogenannten Bauch-Rippen, die den Unterleib stützen). In modernen Studien wurde das Schlüsselbein in vielen Raubdinosauriern nachgewiesen, die mit den Vögeln verwandt sind. Heilmanns Einwand gegen Raubdinosaurier als Vorfahren der Vögel war damit überwunden; es war einfach Pech, dass gerade bei *Compsognathus* das zusammengewachsene Schlüsselbein (die Furcula) fehlte.

Faszinierende Entdeckungen über Dinosauriereier und Nester haben noch mehr Beweise zur Unterstützung der These gebracht. Von fossilen Dinosauriern können wir viel mehr ableiten als nur, wie sie miteinander verwandt waren. Dinosaurier legten hartschalige Eier; das ist schon seit mehr als einem Jahrhundert bekannt. Ausserdem legten die Dinosaurier ihre Eier in Nester, die sorgfältig gebaut und in denen die Eier ordentlich und in geeignetem Abstand



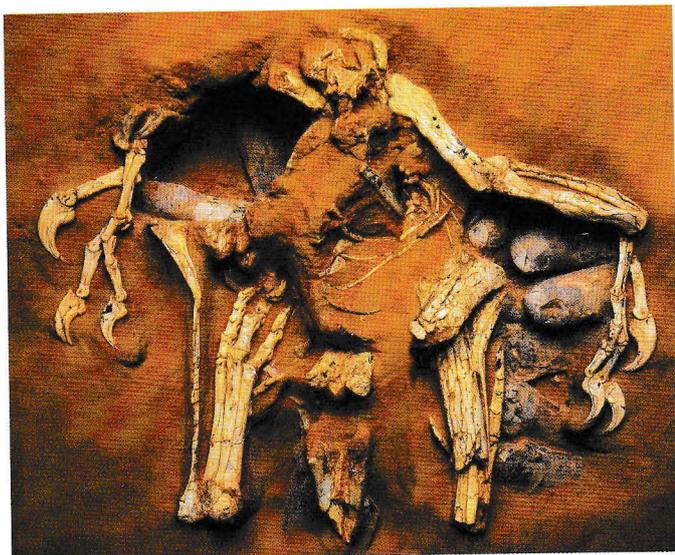
Eine evolutionsgeschichtliche Reihe: Die verschmelzenden Schlüsselbeine der Dinosaurier werden umgeformt zur Furcula der Vögel.

plaziert wurden. Einige nisteten in Kolonien und benutzten in jeder Saison dieselben Brutplätze. Im Jahr 1993 wurde auf einer Expedition des in New York ansässigen Naturhistorischen Museums von Amerika in der Mongolei ein Exemplar eines Dinosauriers entdeckt, das Brutpflege ‚in Aktion‘ zeigt. Ein *Oviraptor*, ein kleiner 1.60 Meter langer Raubdinosaurier mit einem bizarr geformten Kopf und einem zahnlosen Schnabel, wurde entdeckt, der auf einem Nest voller Eier kauerte. Das erwachsene Tier sass auf seinem Nest, hatte die Beine angewinkelt und die Arme über das Gelege ausgestreckt, als es unter einer zusammensackenden Sanddüne begraben wurde.



Ein Oviraptor brütet auf dem Nest. Der Gestalter verleiht dem Dinosaurier einen behaarten Rücken. Wahrscheinlicher ist jedoch, dass Oviraptor Federn an Armen und Beinen trug.

Federn aus China



Vor 75 Millionen Jahren wurde ein *Oviraptor* beim Brüten von einer Sandlawine überrascht. Mark Norell vom American Museum in New York entdeckte ein versteinertes Skelett in der Wüste Gobi, und dies in brütender Position auf einem Nest mit versteinerten Eiern!

So wurde ein Beispiel für das Brutverhalten von Dinosauriern «eingefroren» und erhalten. Vor 75 Millionen Jahren hat der Dinosaurier dasselbe getan, was die meisten modernen Vögel heute noch tun.

Dies ist ein eindrücklicher Beweis dafür, dass die Vögel ihr Brutverhalten von ihren Vorfahren, den Dinosauriern, geerbt haben. Diese Verhaltensweisen sind wahrscheinlich sogar noch älter als der *Oviraptor*. Bis heute gibt es noch keine Hinweise zum Brutverhalten des *Tyrannosaurus*. Fossile Nester von grossen, pflanzenfressenden Dinosauriern mit einem Entenschnabel, den «Hadrosauriern», zeigen jedoch eine alternative Methode auf, um die Eier warm zu halten - sie wurden mit Sediment und Vegetation zugedeckt, um die Temperatur zu kontrollieren. Krokodile bauen ebenfalls Nesthügel, um ihre Eier warm zu halten und einige Vögel, sogenannte Megapoden, tun es auch. Dies zeigt nur eine der Verbindungen zwischen Vögeln und Krokodilen. Vögel und Krokodile haben viele anatomische Merkmale gemeinsam, die in anderen modernen Tieren nicht auftreten. Die fossilen Belege der Dinosaurier zeigen alle evolutionären Veränderungen auf, die zwischen Krokodilen und Vögeln stattgefunden haben.

Sinosauropteryx ist ein zweibeiniger, kleiner Raubdinosaurier aus Liaoning in China. Seine federartigen Fasern, sog. «Proto-Federn», stellen eine Frühphase der Entstehung und der Entwicklung der Feder dar.

Seit dem Jahr 1996 haben chinesische Paläontologen eine Serie von bemerkenswerten und aufregenden Entdeckungen präsentiert. Durch diese Funde konnte bestätigt werden, dass die Dinosaurier fast alle Merkmale auch hatten, die heute die Vögel von allen anderen Tieren unterscheiden - und zwar lange bevor sich die Vögel entwickelt hatten. Der erste dieser Funde war ein kleiner, juveniler Raubdinosaurier, ähnlich dem *Compsognathus*, der aber eine feine, faserartige Bedeckung hatte und den die Chinesen *Sinosauropteryx* nannten. Er kam von einer Lokalität namens Sihetun, nahe der Stadt Beipiao in der Provinz Liaoning im Nordosten Chinas. Hier war das erste Anzeichen für einen Raubdinosaurier, der einen federartigen Pelz aus einfachen, hohlen Fasern besass, der von der Nase bis zum Schwanz reichte.



Sinosauropteryx aus Liaoning, China

Es war eine Sensation. Endlich war das gefunden worden, worauf die Paläontologen gewartet hatten; die Suche nach gefiederten Dinosauriern war erfolgreich und das letzte Puzzlestück konnte in das Rätsel um die Abstammung der Vögel eingesetzt werden.



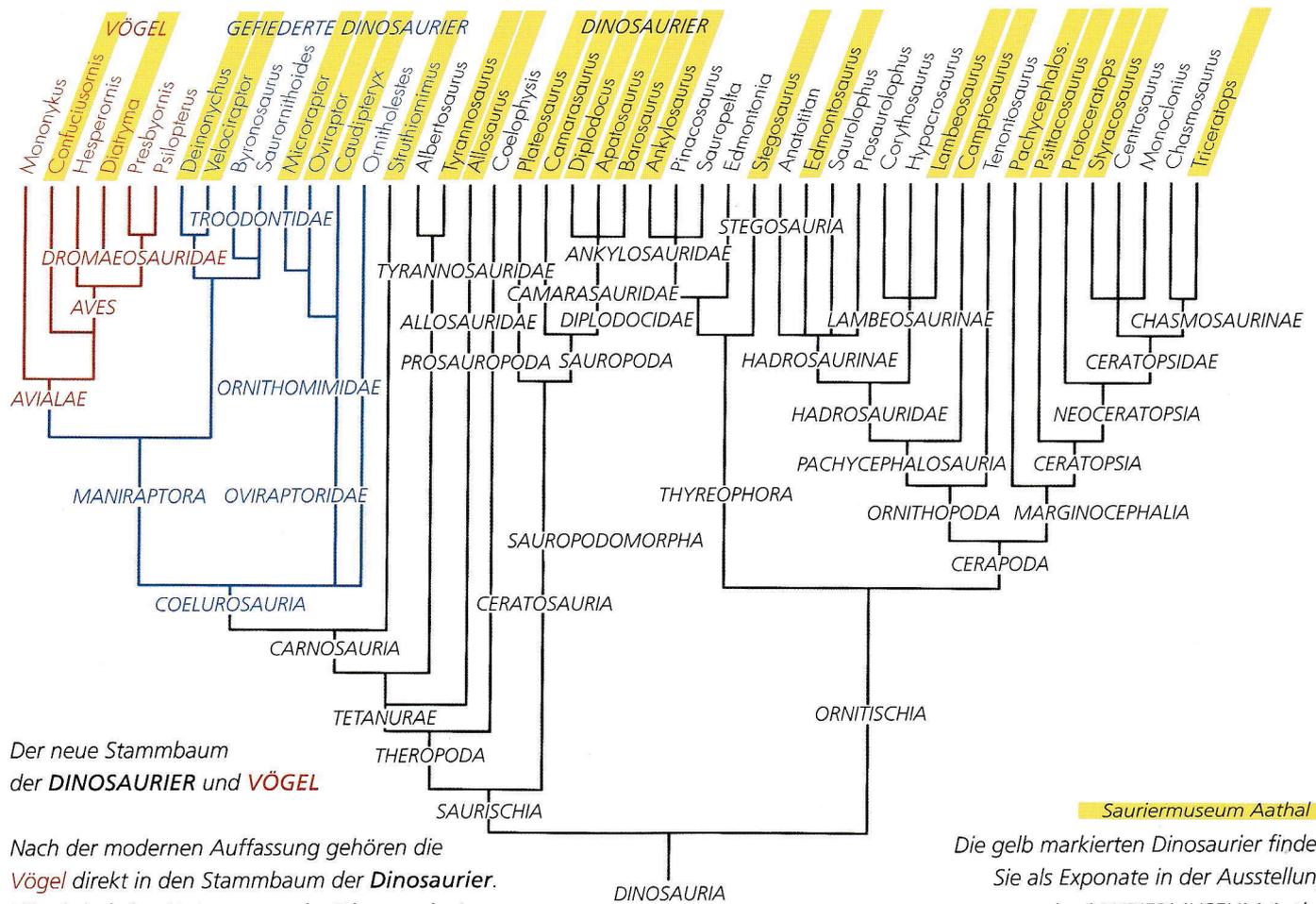
Das Einzigartige an den Fundstellen in Liaoning ist, dass sogar Weichteile erhalten wurden. Die Fossilien sind in feinkörnigen Sedimenten konserviert, welche Details ausgezeichnet erhalten. Vor ungefähr 125 Millionen Jahren war das Gebiet eine bewaldete Seenlandschaft mit vielen aktiven Vulkanen. Bei Vulkanausbrüchen traten regelmässig giftige Gase aus und die Flora und Fauna im Gebiet wurde immer wieder unter Asche begraben und so fast perfekt erhalten. Millionen von Pflanzen, Insekten, Mollusken, Krustentieren, Fischen, Fröschen, Salamandern, Schildkröten, Eidechsen und Säugetieren erstickten und endeten am Grund des Sees. Sie vermitteln uns ein eindruckliches Bild der reichen Vielfalt des Lebens, die in diesem Teil Asiens während der Kreidezeit vorhanden war.

Sinosauropteryx war ein kleiner, zweibeiniger Räuber. Er hatte Kiefer mit abgeplatteten, gezackten Zähnen, wie sie für fleischfressende Dinosaurier typisch sind. Seine vorderen Gliedmassen waren kurz und endeten in Fingern mit

Krallen. Die hinteren Gliedmassen, die besonders vom Knie abwärts sehr lang waren, waren typisch für schnelle Läufer. Neben dem juvenilen *Sinosauropteryx*, der von der Nase bis zum Schwanz 55 cm misst, zeigen adulte Exemplare, dass die Tiere mindestens bis zu 150 cm lang wurden. An einem der Skelette eines erwachsenen Tieres ist ausserdem zu sehen, was das Tier als letzte Mahlzeit gefressen hatte: die Unterkiefer eines Säugetiers befinden sich noch immer im unteren Teil des Darms. *Sinosauropteryx* schnappte sich wahrscheinlich alle Eidechsen und Säugetiere, die klein genug waren. Die äussere Bedeckung des *Sinosauropteryx* sieht nicht aus wie die verästelten Federn heutiger Vögel. Sie scheint aus einzelnen, hohlen, federartigen Fasern zu bestehen, die eine frühe Phase in der Entstehung und Entwicklung der Federn darstellen könnten. Ein zweiter Coelurosaurier aus Liaoning, der Therizinosaurier *Beipiaosaurus*, hat eine ähnliche Bedeckung aus etwas längeren faserigen Strukturen.

Diese Entdeckungen erlauben Aussagen darüber, wie früh die federartigen Bedeckungen im Stammbaum der Dinosaurier auftraten. Wenn Coelurosaurier Federn hatten, dann müssten auch alle Gruppen, die sich nach ihnen entwickelt haben, auch Tyrannosaurier, Oviraptoriden und Dromäosaurier, Federn gehabt haben.

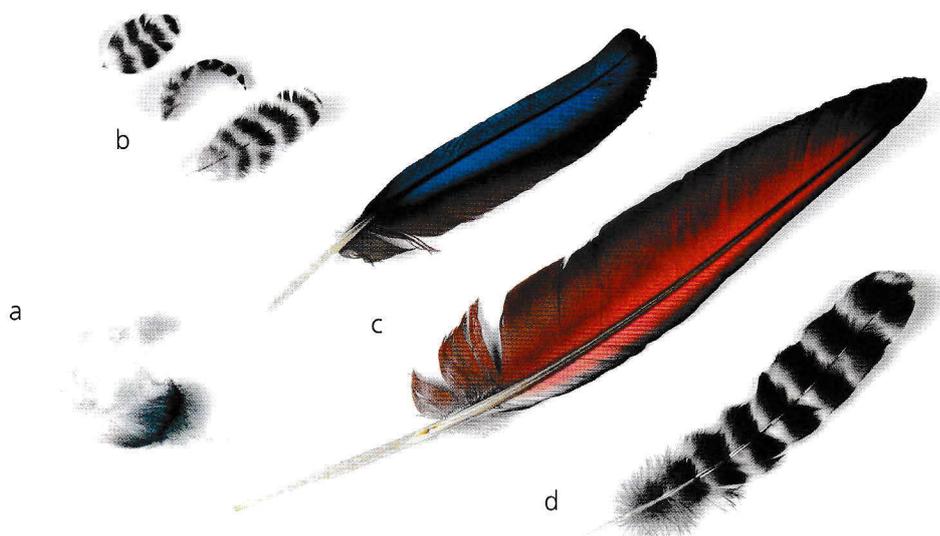
ten, dann müssten auch alle Gruppen, die sich nach ihnen entwickelt haben, auch Tyrannosaurier, Oviraptoriden und Dromäosaurier, Federn gehabt haben.

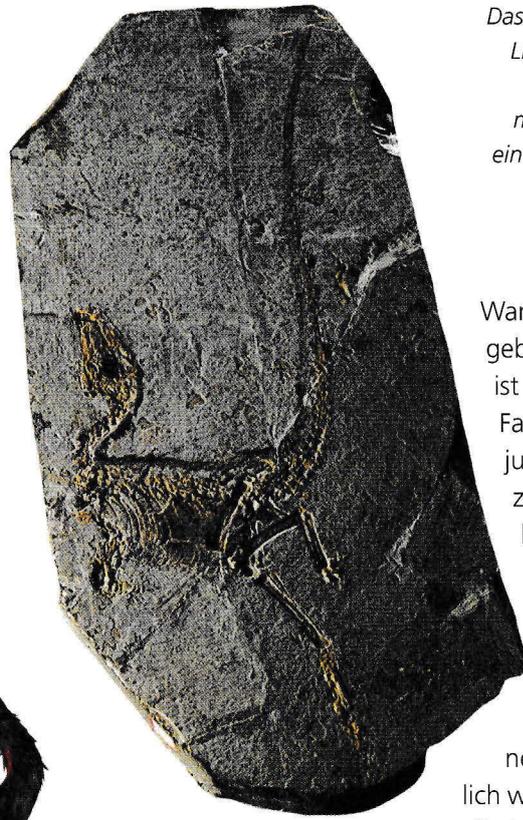


Moderne Vogelfedern bestehen aus dem Kiel, der in der Haut eingebettet ist und als Schaft herausschaut, aus dem die Äste spriessen. Flugfedern (c) haben einen starken, rigiden Schaft, die Haken an den Ästen greifen ineinander und bilden eine zusammenhängende Struktur. Die Äste sind entlang beider Seiten des Schafts asymmetrisch angeordnet.

So wird eine Tragflächenform mit Vorder- und Hinterflanken gebildet, um Auftrieb zu erzeugen. Daunenfedern (a), die den Körper bedecken sind symmetrisch und haben einen schmalen Schaft. Sie besitzen die zum Fliegen nötigen aerodynamischen Qualitäten nicht. Konturfedern (b,d) definieren die Körperform und haben symmetrische Fahnen. Sie sind im unteren Teil wie Daunenfedern aufgebaut.

- a - Daunenfedern
- b - Konturfedern
- c - Flugfedern
- d - Konturfedern



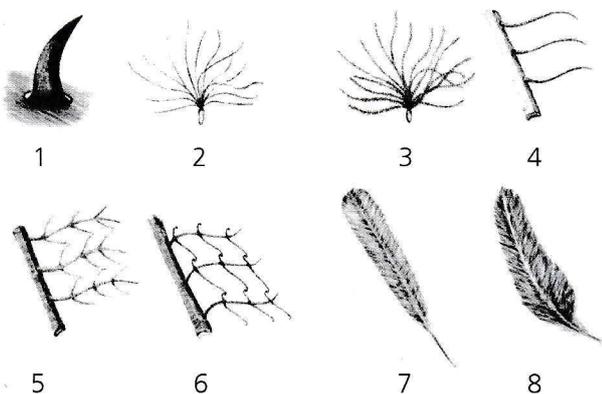


Das Fossil, das die chinesische Fundstelle in Liaoning weltweit bekannt gemacht hat: der komplette kleine *Sinosauropteryx* mit den «haarigen» Körperumrissen und eine Rekonstruktion hergestellt mit echten Federn des Künstlers Dennis Wilson. Sammlung: Sauriermuseum Aathal

Warum haben sich Federn überhaupt gebildet? Die glaubhafteste Erklärung ist die Isolierung. Ein «Pelz» aus hohlen Fasern wäre speziell bei kleinen und jungen Tieren nützlich, um Wärme zu speichern. Die einfache physikalische Relation zwischen Oberfläche und Volumen bedeutet, dass kleine Körper im Verhältnis zu ihrem Volumen mehr Oberfläche besitzen und deshalb Wärme schneller verlieren (oder gewinnen) als grosse Körper. Es mag ziemlich weit hergeholt erscheinen, sich einen gefiederten *Tyrannosaurus* vorzustellen.

Ein Tier von 6 Tonnen Gewicht hatte eine genügend grosse Masse, um Temperaturschwankungen auszugleichen. Seine Jungen aber, von denen bisher noch keine Exemplare gefunden wurden, könnten so flauschig gewesen sein wie Kücken. So hätten sie warm gehabt, während sie schnell aufwuchsen.

Richard Prum von der University of Kansas hat ein Modell vorgeschlagen, das zeigen soll, wie Federn entstanden sein könnten. Aus Federfollikeln wurden zuerst einfache Hohnadeln (1) gebildet, die mit der Zeit immer komplexer wurden und sich zu immer raffinierteren Federn entwickelten. Anfänglich waren die Federn wie Daunenfedern (2,3) aufgebaut, über verschiedene Wege entwickelten sich Federn mit parallelen Ästen (4-7) und schliesslich Federn mit asymmetrischen Fahnen (8).



Seit der ersten Entdeckung von gefiederten Dinosauriern in Liaoning wurden viele weitere Funde gemacht. Sie zeigen in fantastischem Detail, wie Federn im Lauf der Zeit komplexer wurden und für verschiedene Funktionen angepasst wurden.

Proarchäopteryx ist nur von einem einzigen Individuum bekannt das 1997 beschrieben wurde. Leider ist es nur teilweise erhalten. *Proarchäopteryx* war ein Raubdinosaurier mit langen Beinen, der schnell laufen konnte und keinen rückwärtsgerichteten Zeh hatte. Seine drehbaren Handgelenke waren geeignet, um Beute zu packen und er hatte sehr lange Arme und riesige Hände mit scharfen Krallen, fast so lange wie die von *Archäopteryx*. Er hatte einen kurzen Schwanz mit einem Büschel Federn an der Spitze. Dies sind echte Federn mit einem zentralen Schaft und symmetrisch angeordneten Ästen. Einige wenige verstreute Federn in der Nähe einer der vorderen Gliedmassen zeigen dieselbe Struktur. Es sind nicht Flugfedern wie die asymmetrischen, die *Archäopteryx* besass. *Proarchäopteryx* konnte also nicht fliegen. Die langen Arme mit den drehbaren Handgelenken hatten sich ursprünglich entwickelt, um Beute besser greifen zu können. Die Schwanzfedern könnten eine andere Funktion gehabt haben – etwa um beim Balzen aufzufallen?

Der chinesische *Caudipteryx* als Fossil und als lebensechtes Modell mit Federn (hier beim Verschlucken einer Fischbeute). Die Schwanzfedern dienten vor allem zum Auffallen während der Balz.



Caudipteryx, der ebenfalls 1997 benannt wurde, bietet ein eindrückliches Beispiel für Federn, die zum Auffallen bei der Balz dienten. Er hatte am Ende seines Schwanzes einen flotten Fächer aus Federn. Mehrere Individuen (wahrscheinlich adulte Tiere) wurden im Sihetun Gebiet gefunden. Alle haben etwa die Grösse eines Truthahns. *Caudipteryx* war ein langbeiniger Läufer mit kraftvollen Hinterläufen und ungewöhnlich kurzen Armen mit Krallen. Er hatte auch einen ziemlich kurzen Schädel, einen Schnabel und nur einige wenige kleine Zähne am Ende des Oberkiefers.

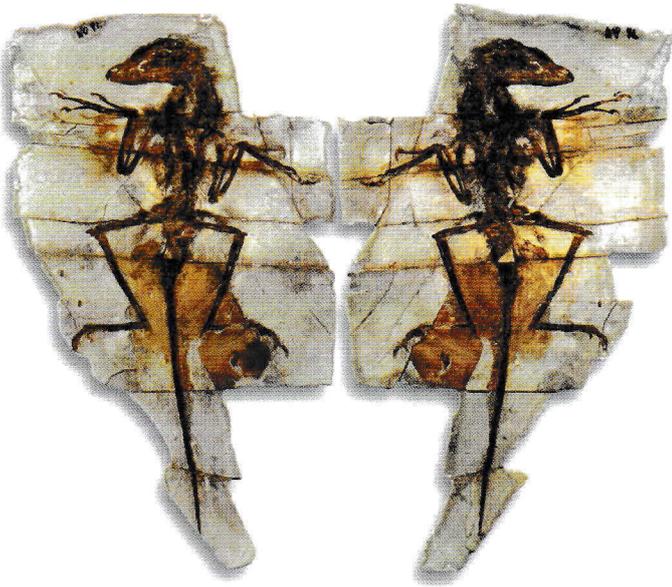
Ein Häufchen Magensteine (Gastrolithen) ist in den meisten Individuen erhalten geblieben. Zu Lebzeiten bildeten sie ein Mahlwerk im Magen, das mit Hilfe der muskulösen Magenwände dazu diente, hartes Fressen zu zerkleinern. Hühner auf Bauernhöfen picken feinen Kies auf, um dasselbe zu bewirken. Was für einen Lebensstil können wir also für *Caudipteryx* ableiten? Er scheint ein schneller Läufer gewesen zu sein, dessen Nahrung auch harte Bestandteile

enthielt und mit einem Schnabel aufgenommen wurde. Er könnte Früchte und Samen von der üppigen Vegetation in der Seenlandschaft gefressen haben oder sich von Muscheln und Krustentieren, die im seichten Wasser des Sees lebten, ernährt haben.

Caudipteryx hat wunderschön erhaltene lange, symmetrische Federn, welche an den kurzen Armen befestigt sind. Diese Arme waren so kurz, dass Fliegen nicht in Frage kam – wozu dienten die Federn also? Vielleicht wurden auch sie, zusammen mit den Schwanzfedern, verwendet um in der Paarungszeit auf sich aufmerksam zu machen. Einige Paläontologen halten *Caudipteryx* für einen Verwandten der Oviraptoriden, die ebenfalls einen Schnabel besaßen. Auch der mongolische *Oviraptor* hatte einen Schnabel und seine Arme könnten auch gefiedert gewesen sein. Diese Federn wären in den groben Wüstensanden jedoch nicht erhalten geblieben.

Federn und Flugbahnen

1998 wurde *Sinornithosaurus* entdeckt. Er war die Bestätigung, dass die Familie die am engsten mit *Archäopteryx* verwandt war, gefiedert war, genauso wie man das erwarten würde. Vielleicht der erstaunlichste Dino-Vogel von allen war ein juveniler Dromäosaurier, der im Jahr 2000 entdeckt wurde. Er war von Kopf bis Schwanz mit fein verzweigten Federn bedeckt und wird liebevoll «Dave the fuzzy raptor» (Dave der flauschige Raptor) genannt.



«Dave», der flauschige Raptor, gilt als der spektakulärste Fund eines mit Federn bedeckten, kleinen Dromäosauriers von Liaoning in China (in Platte und Gegenplatte erhalten). «Dave» wurde im Jahre 2000 entdeckt.

Fossilien-Steinbruch in der chinesischen Provinz Liaoning.



Die gefiederten Dinosaurier von Liaoning führten zum unausweichlichen Schluss, dass Dinosaurier tatsächlich Federn besaßen und dass sich diese ursprünglich zu anderen Zwecken als zum Fliegen entwickelt hatten. Möglicherweise entwickelte sich zuerst eine einfache Isolierung, die später modifiziert wurde, um bei der Balz aufzufallen, dann um Signalwirkung zu entfalten und schließlich zum Fliegen. Wie konnten die Dinosaurier denn abheben und fliegen lernen?

Seit der wegweisenden Studie von John Ostrom über den *Deinonychus* haben sich zwei rivalisierende Theorien darüber entwickelt, wie die Dinosaurier fliegen lernten. Beide haben energische Vertreter in der wissenschaftlichen Gemeinschaft. Die «ground up» (vom Boden hoch) Theorie besagt, dass am Boden lebende, langbeinige Maniraptoren beim Rennen eine geschwungene Bewegung ihrer Arme nutzten, um genügend Auftrieb zu erhalten und abheben zu können. Die «trees down» (von den Bäumen herab) Theorie schlägt vor, dass kleine Dinosaurier in den Bäumen lebten und von diesen sprangen, wobei sie ihre ‚proto-Flügel‘ benutzten um von Baum zu Baum oder vom Baum zur Erde zu gleiten.

1974 war John Ostrom der erste, der vorschlug, dass das Fliegen ein Nebenprodukt einer geschwungenen Armbewegung war, die Räuber entwickelt hatten, um Insekten zu fangen. Die klappende, drehende, packende Form der Bewegung war bereits vorhanden und die Tiere könnten Auftrieb erzeugt haben, indem sie mit ihren Armen eine Flügelschlag-ähnliche Bewegung machten, wobei die Hände nach vorne gedreht wurden. Dinosaurier, die schnell rannten, könnten aber auch ihre Arme zur Seite gestreckt haben, um das Gleichgewicht zu halten. Graham Taylor von der Oxford Universität schlug 2002 vor, dass Federn, selbst sehr einfache Formen, die noch nicht so konstruiert waren wie moderne Federn, Widerstand geboten haben könnten, um bei grossen Sprüngen in der Luft zu steuern. Dromäosaurier wie zum Beispiel *Sinornithosaurus* könnten in dieses Schema gepasst haben und dabei fast zufällig fliegen gelernt haben. Aber *Sinornithosaurus* wurde mindestens 150 cm lang und wog 20 bis 30 kg. *Deinonychus* wog wahrscheinlich 60 bis 75 kg. Solche Tiere müssten sehr, sehr schnell gerannt sein, um tatsächlich abzuheben und das eigene Körpergewicht und den Luftwiderstand, der durch den Schwanz verursacht wurde, zu überwinden. Sobald sie vom Boden weg gewesen wären, hätten sie sämtlichen Antrieb verloren und wären



wahrscheinlich einfach stehen geblieben. Aerodynamikexperten sind sehr skeptisch, ob sich das Fliegen wirklich so entwickelt hat. Könnte **Archäopteryx** mit seinen modernen Flugfedern und einem Körpergewicht von weniger als 0.5 kg tatsächlich aus dem Laufen abgehoben haben? Er konnte mit Sicherheit aktiv fliegen, aber ihm fehlten die anatomischen

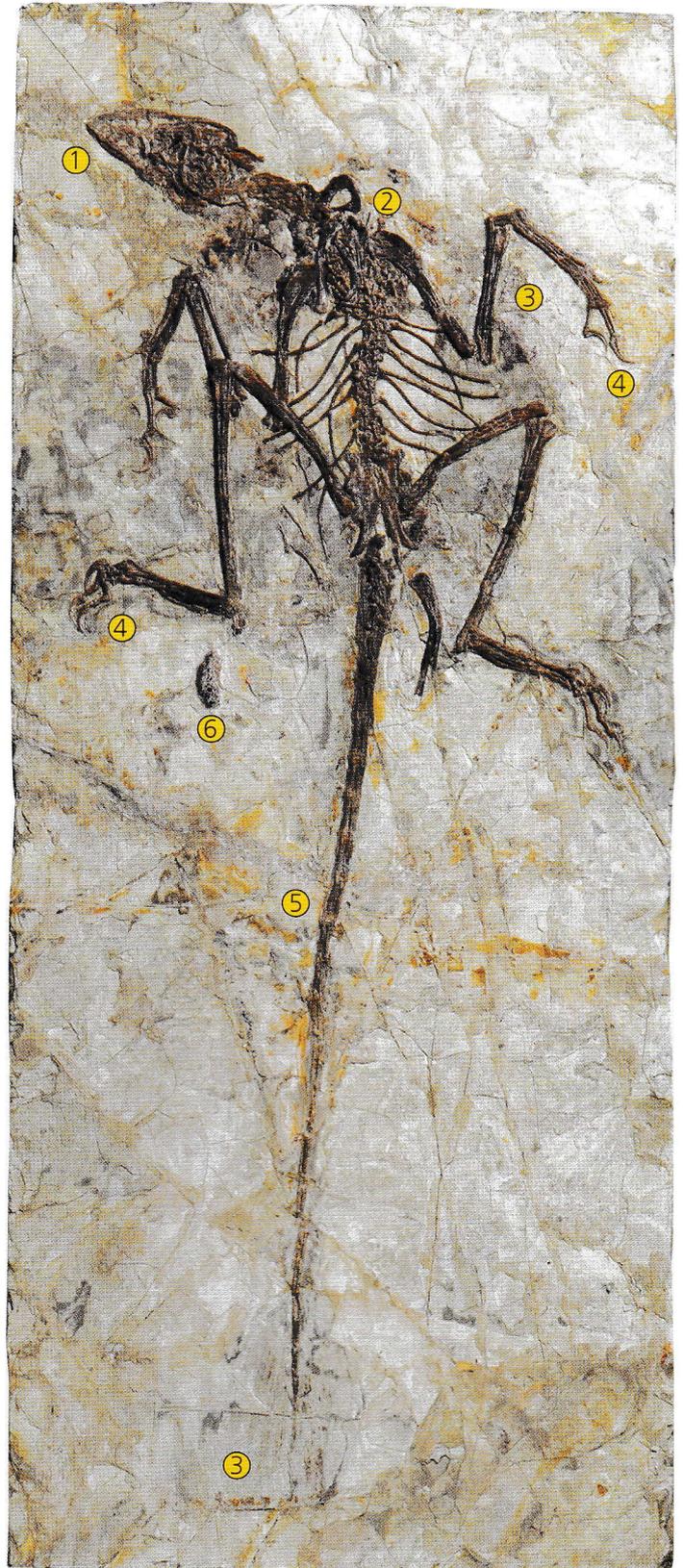
Entwicklungen und die Beweglichkeit moderner Vögel, die das Abheben, Landen, Steuern und langsame Fliegen ermöglichen. Die maximale Laufgeschwindigkeit des Berliner **Archäopteryx** war ca. 2 Meter pro Sekunde und seine Mindestauftriebsgeschwindigkeit lag bei ca. 6 Meter pro Sekunde. Das heisst, dass er entweder von einem Sitzplatz recht hoch über dem Boden gestartet sein könnte oder aber gegen den Wind gerannt sein könnte um abzuheben. Berechnungen von Ingenieuren deuten darauf hin, dass die Flügelfläche und die Muskelmasse des **Archäopteryx** verglichen mit seinem Körpergewicht und seiner Grösse wahrscheinlich nicht ausreichten, um vom Boden aus zu starten. Sich auf genügend Wind für einen Start und damit eine schnelle Flucht vor einem Räuber zu verlassen, scheint keine zuverlässige Lösung zu sein. Die Alternative, wegzurennen und dann ausser Reichweite zu klettern, wäre da eine weit bessere Überlebensstrategie. **Archäopteryx** lebte am Boden, konnte aber sicher auch klettern. Seine Krallen an Händen und Füssen sind von der Form her vielfach verwendbar; sie eignen sich zum Laufen, sind aber so gebogen, dass sie auch benutzt werden konnten, um sich anzuklammern oder um zu klettern. Die Ummantelung der Krallen war aus Horn und ist an den Zehen einiger Exemplare des **Archäopteryx** erhalten geblieben. Die Krallen sind sehr spitz und es gibt keine Anzeichen dafür, dass sie an den Spitzen abgenutzt oder stumpf waren. Der Besitzer solcher Krallen rannte vielleicht nicht sehr viel am Boden herum, denn sonst wären die Krallen wohl abgenutzt.

*Microraptor zeigt gleichzeitig typische Vogelmerkmale und typische Dinosauriermerkmale.
Sammlung: Sauriermuseum Aathal*

Gefiederter Dinosaurier, **Microraptor zhaoianus**

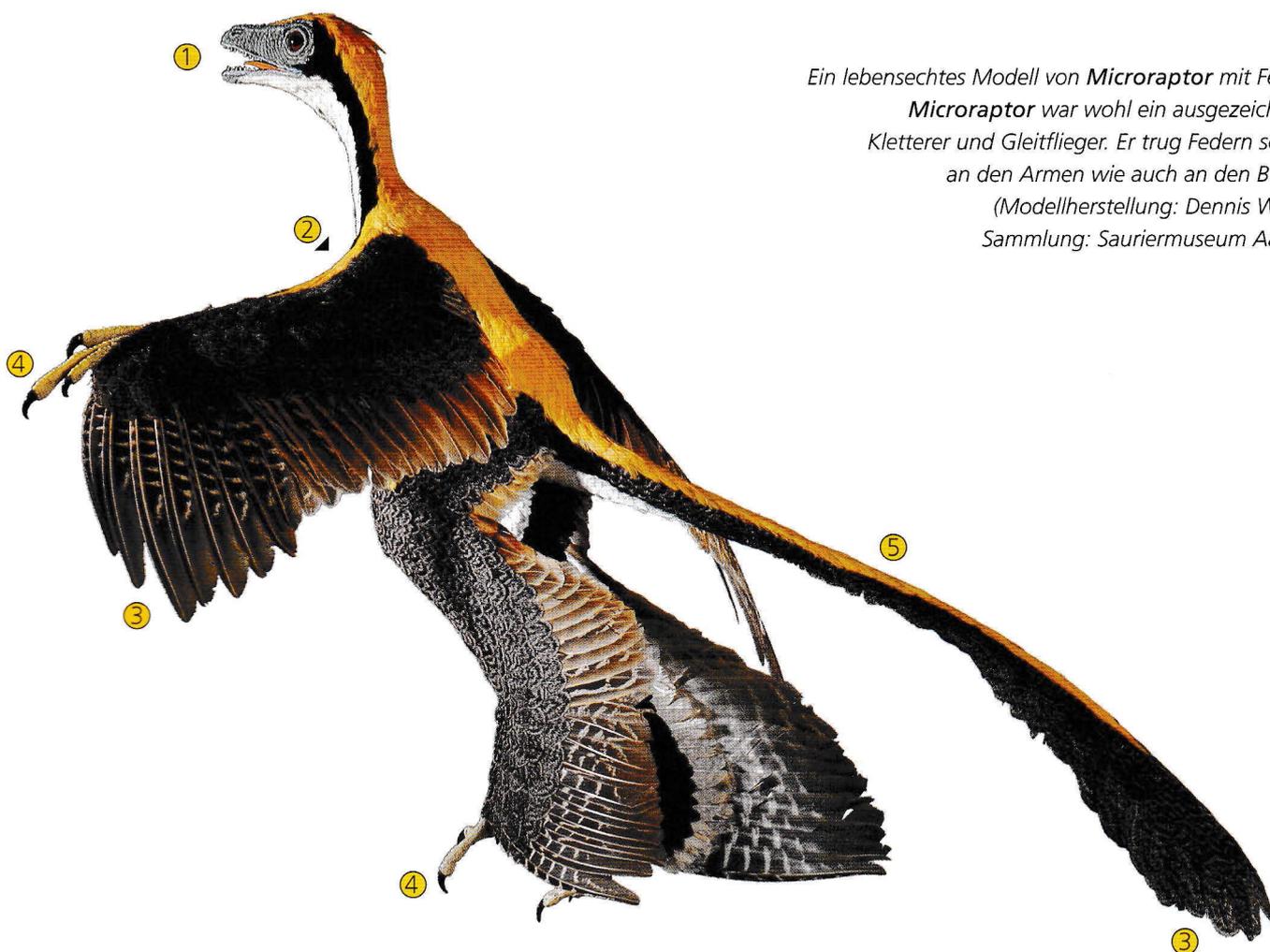
- Dinosaurier-Zähne ①
- Vogel-Furcula ②
- Vogel-Federn ③
- Dinosaurier-Krallen ④
- Dinosaurier-Schwanz ⑤
- Raubosaurier-Koprolith ⑥

Der kleinste Dromäosaurier von Liaoning, der **Microraptor**, ist ein Beispiel von einem Tier, dass auf das Leben auf Bäumen spezialisiert war. Mit einer Körperlänge von nur 47 mm ist der **Microraptor** das kleinste Exemplar eines adulten, nicht vogelartigen Dinosauriers, der je gefunden wurde.



Er war gefiedert, denn es sind Spuren von langen, verästelten Federn erhalten geblieben, die an den vorderen Gliedmassen und an den Hinterbeinen befestigt waren. Seine Zehen und auch die Finger waren mit stark gebogenen, schmalen Krallen ausgestattet. Der Grad der Krümmung der Krallen entspricht dem moderner Kletterer. Die chinesischen Wissenschaftler, die im Jahr 2000 den *Microaptor* beschrieben haben, gehen davon aus, dass es sich um einen Baumbewohner handelt, nicht um ein Tier, das am Boden lebte.

die das Auto auf der Strasse halten. Selbst Kücken mit un- tersetzten, flauschigen Flügeln können genügend abwärts gerichtete Kraft erzeugen, um eine fast senkrechte Fläche hoch zu rennen. Dial nennt dieses Verhalten «Flügel-un- terstütztes senkrechtes Rennen». Vielleicht könnte dieses Fluchtverhalten der Startpunkt für das Fliegen gewesen sein; die flauschigen Vorderbeine der kleinen Dinosaurier könnten dabei genauso effektiv gewesen sein wie die der Hühnervogel-Kücken.



Ein lebensechtes Modell von *Microaptor* mit Federn.

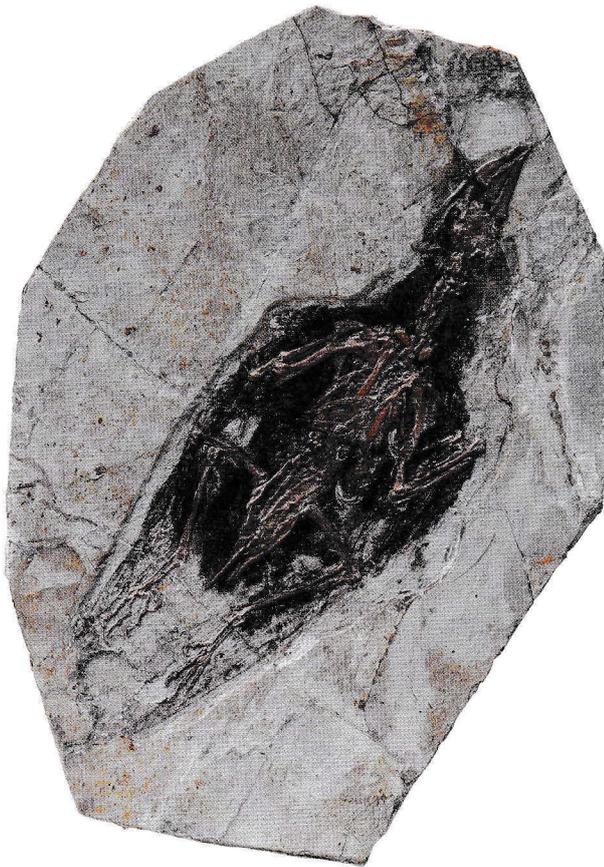
Microaptor war wohl ein ausgezeichneter Kletterer und Gleitflieger. Er trug Federn sowohl an den Armen wie auch an den Beinen.

(Modellherstellung: Dennis Wilson, Sammlung: Sauriermuseum Aathal).

Dr. Ken Dial von der Montana State Universität betreibt Forschung, die noch nicht abgeschlossen ist, die aber einige interessante Folgerungen zur Entwicklung des Fliegens zulässt. Er hat gezeigt, dass einige Hühnervögel, wie zum Beispiel Rebhühner und Fasane, die die meiste Zeit am Boden verbringen, ihre Flügel benutzen, um auf Bäume oder Büsche zu klettern, wenn Gefahr droht. Sie schlagen beim Klettern heftig mit den Flügeln. Diese Bewegung verursacht eine abwärtsgerichtete Kraft, die sie gegen die Oberfläche drückt, ähnlich wie die Spoiler an Rennwagen,

Frühe Vögel

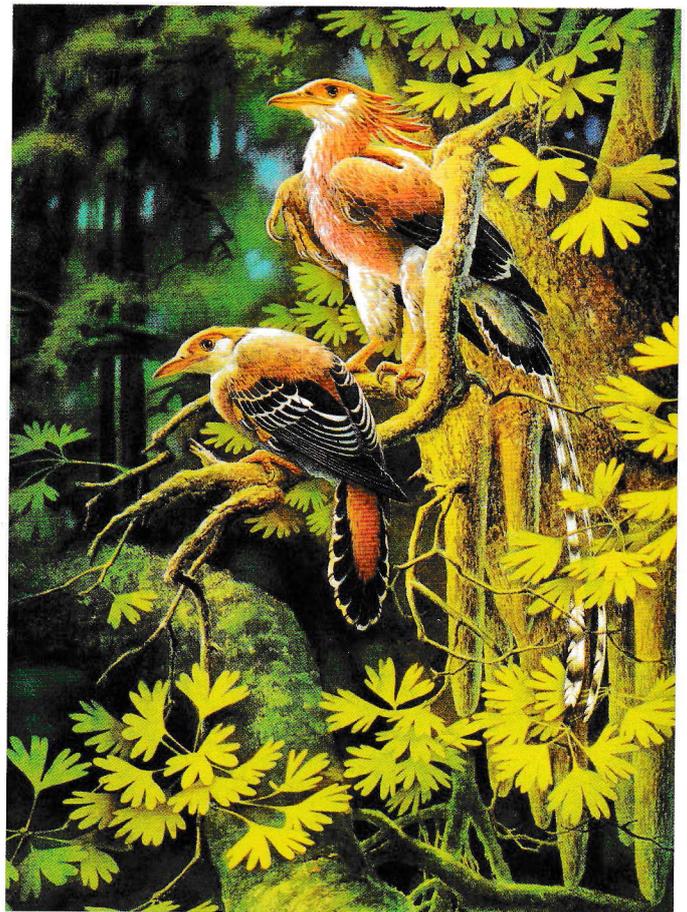
In den Ablagerungen von Liaoning sind viele Fossilien von flugfähigen Vögeln gefunden worden. Sie erlauben einen Einblick in die Entwicklung und Veränderung der Merkmale, die das Fliegen ermöglichten und immer effizienter machten. *Confuciusornis* und *Changchengornis*, die vor 124 bis 122 Millionen Jahren lebten, sind einige der ältesten bekannten Vögel nach *Archäopteryx*. Sie sind auch die ältesten bekannten Vögel die einen Schnabel besaßen. Beide hatten keine Zähne und ihre Kieferknochen zeigen, dass sie zu Lebzeiten mit einem Schnabel aus Horn überzogen gewesen sein müssen.



Confuciusornis sanctus, stammt aus Unterkreideschichten von Liaoning in China. Er lebte gleichzeitig mit den Vogeldinos. *Confuciusornis* trägt Krallen an den Flügeln, wie *Archäopteryx*, aber keinen Reptilienschwanz und wie alle heutigen Vögel einen Schnabel ohne Zähne!

Confuciusornis, der häufigere der beiden, hat ungefähr die Grösse einer Saatkrähe. Von dieser Art wurden hunderte von Individuen gefunden. Die Tatsache, dass so viele Tiere erhalten geblieben sind, weist darauf hin, dass sie gerne in grossen Kolonien um die bewaldeten Seeufer lebten. *Confuciusornis* glich noch mehr einem Vogel als *Archäopteryx* und hatte hochentwickelte Flügel. Trotzdem hatte er an allen Fingern ausser am Zeigefinger, der die Flugfedern stützte, noch funktionsfähige Krallen.

Die Flügel waren sehr gross und hatten ausserordentlich lange Flugfedern, länger als der Körper. Dies ist eine einmalige Anpassung, um mehr Auftrieb zu erreichen und es ist deshalb anzunehmen, dass diese Art einen Nebenast auf dem Stammbaum, der zur Entwicklung moderner Vögel führte, darstellt. Der Körper war kompakt und stromlinienförmig und das Brustbein war vergrössert, um als Stütze für die Flugmuskeln und die Knochen, welche Schulter und Brust verstreben, zu dienen. Der lange, schwerfällige, knochige Schwanz war um einiges reduziert und war auf bestem Weg dazu, zum dichten Knoten von Knochen,

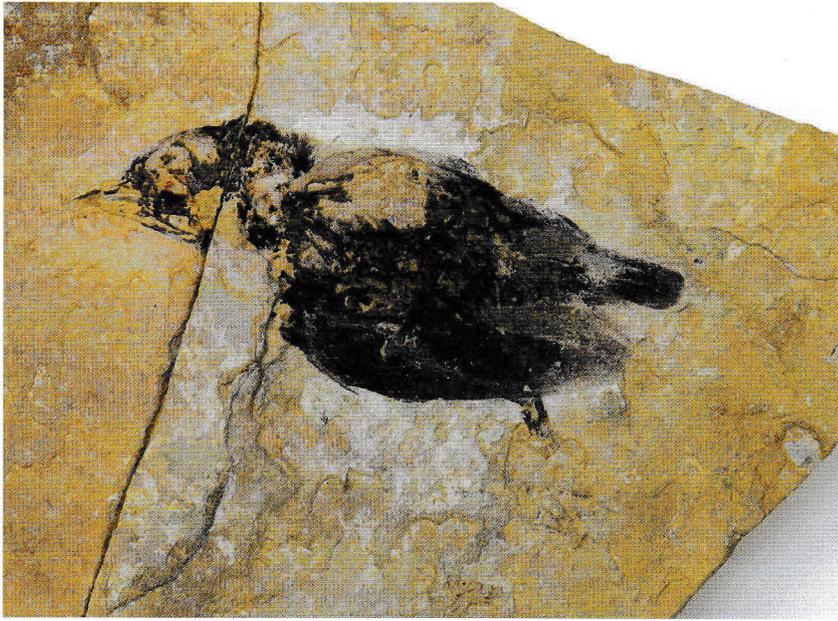


Lebensbild des Urvogels *Confuciusornis sanctus*
Illustration: Anderson Young

der den stumpfen Schwanz («Pygostyle») moderner Vögel bildet und die Schwanzfedern kontrolliert, zu werden. Geschlechtsunterschiede sind bei *Confuciusornis* deutlich sichtbar: Männchen sind etwas grösser als Weibchen und haben zwei ungewöhnlich lange Schwanzfedern.

Changchengornis, von dem bisher nur ein einziges Exemplar beschrieben wurde, hatte auch sehr lange Schwanzfedern. Er hatte am Fuss einen längeren Zeh zum

Ein kleiner Vogel so gross wie ein Spatz aus den eozänen Green River Schichten von Wyoming in USA. Dieser 50 Millionen Jahre alte Vogel ist mit dem Federkleid erhalten. Sammlung: Sauriermuseum Aathal



Hocken auf Sitzstangen und die Krallen sind stärker gebogen als die von *Confuciusornis*. Das deutet darauf hin, dass er etwas besser greifen konnte. Beide konnten vom Boden starten und auch wieder landen.

Liaoxiornis, der auch in den Ablagerungen von Liaoning gefunden wurde, ist etwa 2 Millionen Jahre jünger als *Confuciusornis* und *Changchengornis*. Er ist der kleinste Vogel, den man aus der frühen Kreidezeit kennt. Er ist nicht viel grösser als ein Zaunkönig und gibt uns einen Einblick in die Vielfalt verschiedener Vögel, die in den Wäldern der Seenlandschaft von Liaoning gelebt haben.

Vögel aus der frühen Kreidezeit sind ausser in China auch an anderen Orten auf der Welt gefunden worden. Viele von ihnen sind so klein wie Spatzen und auch sie dokumentieren den Verlauf der Entwicklung und Verbesserung der Flugfähigkeit. Die spanischen Vögel *Iberomesornis* und *Concornis* weisen eine weitere Verlängerung der vorderen Gliedmassen und kurze Schwänze auf. Die Schulter- und Brustknochen sind erweitert, um grössere, stärkere Muskeln für einen kraftvolleren Flügelschlag zu stützen. *Eoalulavis* besass die erste bekannte Alula, ein separates Bündel von Flugfedern, die am Daumen befestigt waren. Die Alula kann gehoben oder gesenkt werden, um im Flug bei niedriger Geschwindigkeit besser zu steuern, ähnlich wie die Landeklappen beim Flugzeug das Abreissen der Strömung beim Landeanflug verhindern. Eine Alula ist auch bei einigen der Vögel aus Liaoning bekannt.

All diese Veränderungen erlaubten das Fliegen bei niedrigen Geschwindigkeiten und erhöhten die Manövrierfähigkeit. Die Konstruktion, wie wir sie beim modernen Flügel beobachten, war vor ca. 125 Millionen Jahren schon weitgehend perfektioniert. Diese Entwicklung ging Veränderungen der Hüften und der Hinterläufe, wie wir sie bei modernen Vögeln sehen, voraus. Ein schwenkbarer Oberschenkelknochen ermöglichte den ausschreitenden Gang bei den Raubdinosauriern. Bei modernen Vögeln erlaubt ein Biegemechanismus im Knie die Bewegung der Beine nach vorne und hinten; Vögel laufen im Prinzip von den Knien an abwärts. Diese Änderung des Musters geht mit der Verkleinerung des Schwanzes einher, wobei die Schwanz-Hüft Muskulatur abgebaut wird und der Schwerpunkt nach vorne wandert. Bei modernen Vögeln sitzt der Schwerpunkt ungefähr in der Mitte des Rumpfs. Diese umfassende Umwandlung des hinteren Teils der Skelette und Muskeln der Vögel dauerte ungefähr weitere 50 Millionen Jahre; ganz moderne Vögel traten vor ungefähr 70 Millionen Jahren gegen Ende der Kreidezeit in Erscheinung.

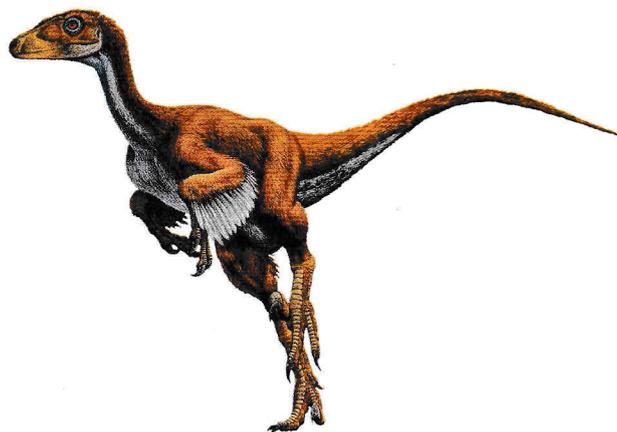
Schwerpunkt ungefähr in der Mitte des Rumpfs. Diese umfassende Umwandlung des hinteren Teils der Skelette und Muskeln der Vögel dauerte ungefähr weitere 50 Millionen Jahre; ganz moderne Vögel traten vor ungefähr 70 Millionen Jahren gegen Ende der Kreidezeit in Erscheinung.



Compsognatus

Archäopteryx

Heute lebender Vogel (Huhn)



GEFIEDERTE DINOSAURIER

Der neue Look im Federkleid

Während mehr als 140 Jahren haben Wissenschaftler behauptet, dass moderne Vögel mit den Dinosauriern verwandt sind. Im Jahr 2000 haben Bauern in Liaoning, im Nordosten Chinas, den endgültigen Beweis entdeckt: ein 124 Millionen Jahre alter, fleischfressender Dinosaurier, der von Federn bedeckt war und den man liebevoll den «fuzzy raptor» (flauschigen Raptor) genannt hat. Er hatte das Knochenskelett, das man bei einem fleischfressenden Dinosaurier erwarten würde, der nahe mit den Vögeln verwandt ist, war aber auch mit einem Federkleid ausgestattet. Dieser aufregende Fund hat eines der Rätsel der Natur gelöst – wie sich die Vögel aus den fleischfressenden Dinosauriern entwickelt haben.

In der vorliegenden Broschüre «Gefiederte Dinosaurier» (Dino-Vögel) hat die international renommierte Dinosaurierexpertin Dr. Angela Milner vom British Museum in London die Geschichte über die Verwandtschaft zwischen Dinosauriern und Vögeln enträtselt, von der erstaunlichen Entdeckung des Archäopteryx - dem ältesten bekannten Vogel - im Jahr 1861 bis hin zu den gefiederten Dinosauriern von China. Sie betrachtet die Leute, die in die Geschichte verwickelt waren und die Diskussionen, die entstanden. Sie deckt die Entwicklung von flauschigen Überzügen bis hin zu Flugfedern ab und vergleicht urzeitliche Vögel mit modernen Flugvögeln. Der Text war ursprünglich für die in London veranstaltete Sonderschau «Dinobirds» konzipiert. Die Übersetzung ins Deutsche besorgte die Baslerin Katy Waite.

Mit Sicherheit werden Sie Vögel in Zukunft in ganz anderer Weise betrachten.



SAURIERMUSEUM Aathal
Zürichstrasse 202
CH-8607 Aathal-Seegräben
Tel 044 932 14 18
sauriermuseum@bluewin.ch // www.sauriermuseum.ch