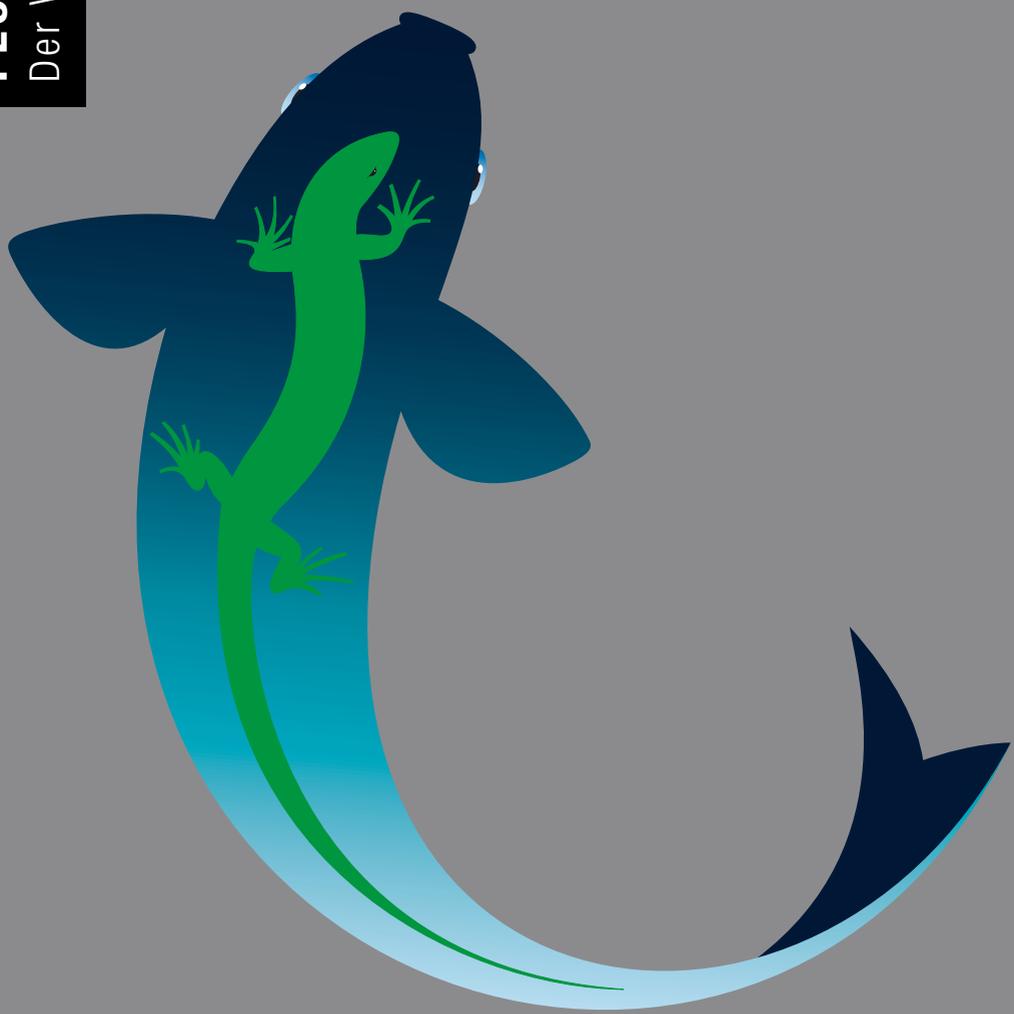


# FLOSSEN FÜSSE FLÜGEL

Der Werdegang der Wirbeltiere





# **Flossen · Füße · Flügel** Der Werdegang der Wirbeltiere

5. Auflage  
Erstausgabe 2009

© Naturhistorisches Museum Bern 2021

Wissenschaftliche Leitung: Ursula Menkveld-Gfeller  
Konzept: Dora Strahm, Ursula Menkveld-Gfeller  
Text: Dora Strahm  
Gestaltung: Thea Sonderegger  
Bildrecherche: Lisa Schäublin

Umschlag: nach dem Ausstellungsplakat von Claude Kuhn  
Druck: Tanner Druck AG  
Auflage: 5'000 Ex.  
ISBN: 978-3-907088-22-7

## Inhaltsverzeichnis

4	Flossen · Füsse · Flügel Der Werdegang der Wirbeltiere
6	Fossilien erzählen die Geschichte des Lebens
8	Fossilien sind keine Steine
10	Erste Wirbeltiere
12	Der Kiefer
14	Panzerfische, Flossenstachler
16	Knorpelfische
18	Erste Knochenfische
20	Moderne Knochenfische
22	Erste Hinweise auf Lungen und Beine
24	Ein Fisch auf vier Beinen
26	Amphibien
28	Zwischen Amphib und Reptil
30	Landtaugliche Eier
32	Ursprüngliche Schädelmerkmale
34	Reptilien
36	Erste Vögel
38	Von Schuppen zu Federn
40	Verwandtschaft Vögel – Reptilien
42	Zwischen Reptil und Säugetier
44	Säugetiere
47	Bildnachweis



## **Flossen · Füße · Flügel**

### Der Werdegang der Wirbeltiere

Die Ausstellung vermittelt dem Publikum mit ihren Objekten, Inszenierungen und leicht verständlichen Texten einen guten Einblick in die Evolution der Wirbeltiere. Wer noch mehr wissen möchte, erhält mit der Broschüre zur Ausstellung vertiefte Informationen zu jedem Thema. Die Broschüre ist eine handliche Übersicht im Taschenformat – geeignet, um in Ruhe zu Hause der ganzen Geschichte noch einmal auf den Grund zu gehen.

In der Ausstellung werden Versteinerungen lebendig: Aus dem Gestein präparierte Fossilien erzählen zusammen mit Inszenierungen, Zeichnungen, Modellen und Computeranimationen eine faszinierende Geschichte: die Entstehung der Wirbeltiere.

Aus einfachen Wasserwesen werden Fische, erst schwer gepanzert, dann perfekte Schwimmer. Amphibien entsteigen dem Wasser und erleben eine lange Blütezeit – aus ihnen entstehen Reptilien, die das Land erobern. Von diesen Vierfüßern stammen die Vögel ab, die letzten Überlebenden der Dinosaurier. Unter den ersten Reptilien sind auch die Vorfahren einer neuen, revolutionären Gruppe, die heute die Welt beherrscht – Säugetiere, zu denen auch der Mensch gehört.

Die Besucherin, der Besucher verfolgt in der Ausstellung von Station zu Station die eigene, seit Jahrmillionen andauernde Entstehungsgeschichte. Vom kieferlosen

Urahn bis zum Erscheinen des Menschen ist zu sehen, wie die Kräfte der Evolution beharrlich Lebewesen formen, weiterentwickeln oder wieder verschwinden lassen.

## Fossilien erzählen die Geschichte des Lebens

**Dank Fossilien versteinertes Lebewesen oder deren Spuren lässt sich die Entwicklung des Lebens verfolgen.**

Stück für Stück ergibt sich aus den Versteinerungen ein immer genaueres Bild der Vergangenheit. Natürlich gibt es dabei auch Lücken: Nicht jeder Entwicklungsschritt lässt sich anhand eines Fossils zeigen. Die Geschichte des Lebens wird deshalb laufend umgeschrieben; jeder neue Fossilfund kann heutige Erkenntnisse über den Haufen werfen.

## Fossilien sichtbar machen

**Einem fossilen Fundstück sieht man oft nicht auf den ersten Blick an, welches Lebewesen im Stein verborgen ist.**

Spezialisten entfernen zuerst mit Hammer und Meissel, dann mit Präparierstichel und Sandstrahler das umliegende Gestein. Mit der Präzision von Uhrmachern legen sie Millimeter für Millimeter der urzeitlichen Schätze frei. Es braucht viel Erfahrung, um aus den Fossilien schliesslich ein Skelett zusammenzubauen oder das ganze Lebewesen als Modell nachzubilden.





Das Fossil vor der Präparation: Fischsaurier *Stenopterygius* sp. Holzmaden D, 183 Mio Jahre, Lias.



Unpräparierte Stelle des Fischsauriers.



Nach der Präparation sind auch feinste Details sichtbar.

Fossilien öffnen ein Fenster in die Vergangenheit: Die versteinerten Überreste von Tieren und Pflanzen zeigen die Entwicklungsgeschichte von Lebewesen, die im Lauf der Jahrtausende entstanden oder wieder verschwunden sind. Die Gesamtheit der Fossilfunde, der Fossilbericht, bildet ein solides Grundgerüst zum Verständnis der Evolution – die grundsätzlichen Entwicklungsschritte des Lebens sind heute gut dokumentiert. Neue Fossilfunde bringen aber immer wieder neue Erkenntnisse ans Licht und verbessern die vorangehenden Aussagen.

Ein vollständiges Bild der Vergangenheit

können Fossilien nicht liefern: Versteinerungen entstehen nur unter ganz speziellen Umweltbedingungen – es gibt deshalb Zeiträume, in denen Lebewesen keine fossilen Spuren hinterlassen haben. Zudem bleiben oft nur Knochen oder Schalen erhalten, weiche Materialien wie Organe oder Häute werden meistens schon vor dem komplizierten Prozess des Versteinerns zerstört.

Damit beim Freilegen eines Fossils nicht noch einmal Informationen verloren gehen, arbeiten wissenschaftliche und technische Fachleute eng zusammen – die kostbaren Zeitzeugen sollen bei der Präparation nicht beschädigt werden.

## Fossilien sind keine Steine

**Ob Körper, Frassspur oder Abdruck zarter Federn: Seit Urzeiten werden Spuren des Lebens im Gestein festgehalten.**

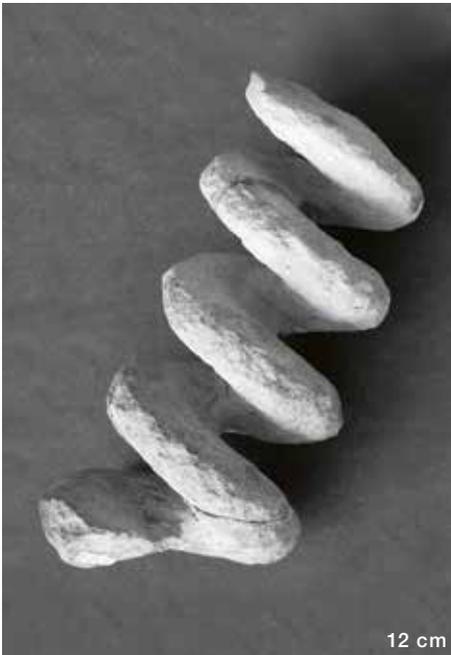
Für ungeübte Augen ist es oft schwierig, in Versteinerungen die Überreste lebendiger Wesen zu erkennen. So bleiben für manchen Betrachter Fossilien zwar hübsch geformte, aber leblose Steine. Modelle, Zeichnungen oder Computeranimationen erwecken deshalb diese «Steine» wieder zum Leben und zeigen, wie die Tiere oder Pflanzen ausgesehen haben könnten.

## Ein Fisch aus der Vergangenheit

**Der Quastenflosser *Latimeria* ist ein «lebendes Fossil»: Er sieht noch gleich aus wie sein Ahne vor 390 Millionen Jahren.**

Seine Entdeckung 1938 im Fang eines Fischdampfers in Südafrika war eine zoologische Sensation des 20. Jahrhunderts: Bis dahin waren solche Fische nur aus Fossilfunden bekannt; man glaubte, dass sie seit Jahrmillionen ausgestorben waren. Das Aufsehen, das *Latimeria* erregte, ist etwa vergleichbar mit dem Rummel, den ein lebender Dinosaurier heute auslösen würde.





Kein Lebewesen, nur eine versteinerte Spur, wahrscheinlich der schraubenförmig gegrabene Gang eines Krebses.



Eine versteinerte Feder von *Archaeopteryx*.

Um fossile Pflanzen oder Tiere aus ihrem Dornröschenschlaf zu wecken, um Körperbau, Lebensweise und Umweltbedingungen zu rekonstruieren, ist die Zusammenarbeit vieler Fachleute notwendig. Technische, handwerkliche, geologische, biologische, anatomische, ökologische, chemische und physikalische Kenntnisse sind notwendig, damit Fossilien schließlich richtig interpretiert werden können. Dabei gehen die Meinungen oft auseinander – Fossilfunde lassen nicht immer eindeutige Schlüsse zu.

Die Rekonstruktion fossiler Lebewesen braucht auch künstlerische Fähigkeiten:

Aus allen Erkenntnissen muss ein wissenschaftlich korrektes Bild entstehen, das gleichzeitig überzeugend lebendig wirkt. In diesem Bereich gibt es gestalterische Freiheit – Details wie Farben oder Hautbeschaffenheit geben Fossilien in den allermeisten Fällen nicht preis. Deshalb dienen Felle, Häute, Federkleider oder Schuppen heutiger Lebewesen als Vorbild und Inspiration, um Nachbildungen möglichst lebensecht zu gestalten.



### Die Urahnen

**Fischähnlich, unscheinbar, ohne Hand und Fuss: Solch schlichte Lebewesen waren auch unsere Urahnen.**

Ob Beine, Zähne oder Haare: In den Anfängen aller Vierfüsser, zu denen auch wir gehören, gab es von all dem noch nichts. Doch erste fischähnliche Kreaturen waren der Beginn einer atemberaubenden Entwicklung: Im Lauf unvorstellbarer Zeiträume sind alle heutigen Wirbeltiere, also Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugtiere aus solchen Formen hervorgegangen.

### Erste Wirbeltiere

**Diese urzeitlichen Wasserwesen waren keine Fische, sondern Kieferlose: Sie hatten noch kein «Maul» zum Zubeissen.**

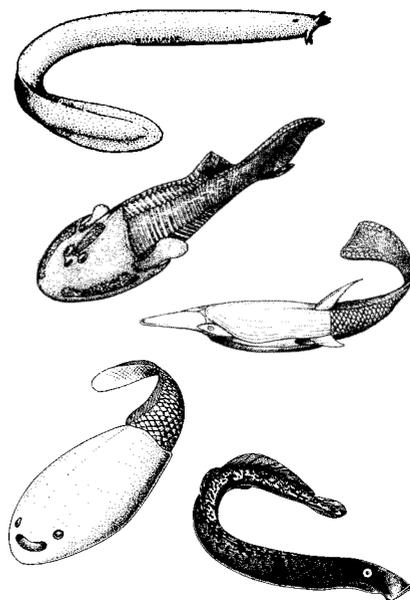
Sie besaßen keinen Kiefer und saugten ihre Nahrung in sich hinein oder filterten sie aus dem Wasser. Die allermeisten trugen starre, knöcherne Kopfpanzer. Manche schwammen in offenem Wasser, andere waren Bodenbewohner mit abgeflachtem Körper. Einige dieser Kieferlosen gibt es noch heute: Neunaugen und Schleimaale, nackte, aalartige Wesen mit Raspelzähnnchen.



Das mit hornigen Raspelzähnnchen besetzte Maul eines heutigen Kieferlosen, eines Meerneunauges *Petromyzon marinus*.



Neunaugen tragen nicht neun Augen, sondern beidseitig neben Nase und Auge sieben Kiemenöffnungen. Bachneunauge *Lampetra planeri*.



Fischähnliche Wasserwesen, aber keine Fische: die Kieferlosen.

Lange Zeit bevölkerten neben den Fischen eine grosse Vielfalt fischähnlicher Wasserbewohner die Meere: Die Kieferlosen – ein Sammelbegriff für Wirbeltiere, die keinen Kiefer ausgebildet haben. Etwa 3000 Arten sind bis heute bekannt. Sie besaßen einen gut entwickelten Hautpanzer, waren im Kopfbereich stark gepanzert oder trugen ein knöchernes Schuppenkleid. Den allermeisten Arten fehlten Brust- oder Bauchflossen, frei beweglich war nur der mit kleinen Schuppen bedeckte Schwanz: Kieferlose waren deshalb im Vergleich zu Fischen schlechte Schwimmer.

Zwei Gruppen aalartiger Kieferloser mit Mäu-

lern voller horniger Raspelzähnnchen gibt es heute noch: Die weltweit in den Meeren verbreiteten Schleimaale oder Inger leben als Schlammwühler und Aasvertilger; sie überwältigen aber auch lebende, wehrlose Beute wie in Grundnetzen gefangene Fische.

Neunaugen leben vor allem in Küstennähe und im Süßwasser. Meer- und Flussneunaugen sind Parasiten und raspeln Fleischstücke aus lebenden Fischen. Das Bachneunauge, unsere letzte einheimische Art, ist dagegen harmlos: Es filtriert 6-7 Jahre lang als Larve Schwebeteilchen aus dem Wasser. Einmal erwachsen, nimmt das Tier keine Nahrung mehr auf.

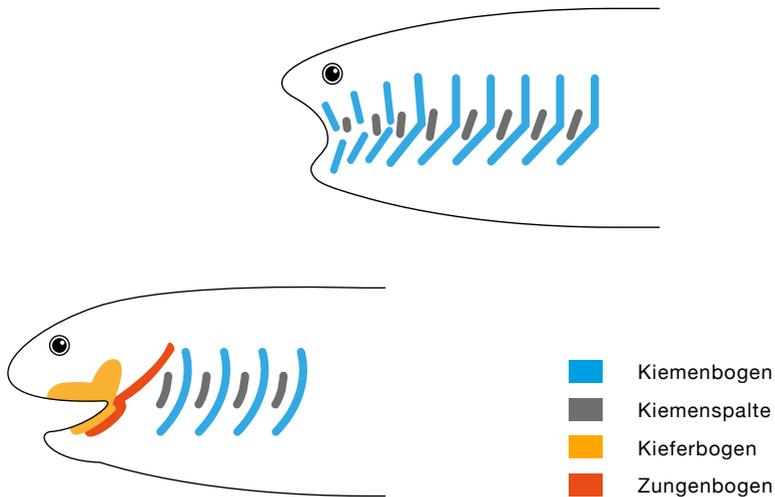
## KIEFERMÄULER SEIT 444 MIO JAHREN

### Packen, beißen, kauen

**Mit der Entwicklung des Kiefers begann ein ganz neues Zeitalter. Es wurde möglich, Beute zu packen und zu zerkleinern.**

Die ersten Lebewesen mit einem Kiefer waren Fische. Dann folgte eine rasante Weiterentwicklung dieses variantenreichen Werkzeugs: In unterschiedlichsten Formen, von der Schnauze mit Zähnen bis zur feinen Pinzette eines Vogelschnabels, ermöglichte der Kiefer den Zugang zu zahllosen Nahrungsquellen und damit die Entwicklung vielfältiger neuer Lebensweisen.





Der Kiefer hat sich vermutlich aus einem der vorderen Kiemebögen entwickelt.

Kiefer entwickelten sich durch Veränderungen der Kiemens-Anatomie von Kieferlosen: Bei diesen Tieren stützt ein elastisches, knorpeliges Kiemensbogenskelett den Kiemensapparat. Man geht davon aus, dass der Kiefer aus einem der vorderen Kiemebögen hervorgegangen ist.

Neue Forschungen zeigen, dass die «evolutionäre Erfindung» des Kiefers mit dem Ausschalten eines Gens einherging, das an der embryonalen Entwicklung beteiligt ist. Doch wie viele Gene und Bildungsschritte schliesslich zu einer kompletten Kieferentwicklung führen, ist noch nicht geklärt.

Ausser Neunaugen und Schleimaalen besit-

zen alle heutigen Wirbeltiere – Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere – einen Kiefer: Diese Konstruktion hat sich offensichtlich gegenüber den kieferlosen Bauplänen durchgesetzt. Mit Raspelzähnen und Saugmund lässt sich Nahrung nur einsaugen, filtern oder knabbern – erst Kiefer machten aus zahnlosen Schlammwühlern Jäger, die grössere Tiere packen und zerteilen konnten.

FLOSSENSTACHLER 444 – 270 MIO JAHRE  
 PANZERFISCHE 416 – 360 MIO JAHRE

### Das erste Grossmaul

**Fast 10 Meter lang, schwer gepanzert, mit messerscharfen Knochenplatten im Maul: der Panzerfisch Dunkleosteus.**

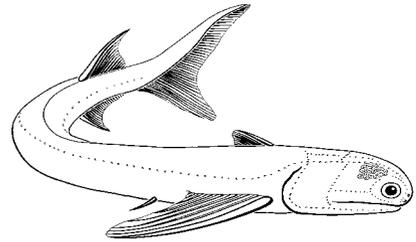
Diese Kreatur war der grösste aller Panzerfische und der erste tierische Riese auf unserer Erde. Dank einem speziellen Gelenk am Nackenpanzer konnte er den Kopf anheben und so das Maul besonders weit aufreissen. Mit dem gewaltigen Gebiss zerquetschte und knackte er seine gepanzerte Beute, der er wohl vor allem am Meeresboden auflauerte.

### Schuppen und Stacheln gegen gierige Mäuler

**Ein Zeitgenosse des Panzerfisches besass ein ganz besonderes Merkmal: Seine Flossen trugen kräftige Knochenstacheln.**

Flossenstachler waren auch sonst gut geschützte Fische; Körper und Flossen waren mit harten Schuppen bedeckt. Es gab Jäger mit kräftigen Zähnen, doch die Mehrzahl filtrierte die Nahrung aus dem Wasser. Wie die Panzerfische endeten auch die Flossenstachler in einer Sackgasse: Es gibt keine Nachkommen dieser Fischgruppen mehr.





Langschwanz-Panzerfisch *Coccoosteus cuspidatus* Süßwasserfisch Schottland, 395 Mio Jahre, Devon.



Flossenstachler *Acanthodes bronni* Pfalz D, 285 Mio Jahre, Perm.

Flossenstachler sind die ersten Fische mit einem Kiefer, die man bis heute gefunden hat. Ihr Umriss erinnert an Haie, deshalb heissen sie auch «Stachelhaie». Flossenstachler trugen ihre wehrhaften Stachelpaare nicht nur an den Flossen, sondern auch auf der Bauchseite – sie lebten wohl eher an der Wasseroberfläche und mussten sich vor Angriffen aus der Tiefe schützen. Einige erreichten eine Länge von 2 m, doch die meisten wurden nicht grösser als 50 cm.

Ihre Zeitgenossen, die Panzerfische, die zu Beginn noch kleinen, gepanzerten Kieferlosen ähnelten, entwickelten sich zu den

ersten grossen Wirbeltieren, die als Jäger die Meere unsicher machten. Kopf, Brust und Nacken waren mit schweren Knochenplatten gepanzert, statt Zähnen trugen sie scharfe Knochenplatten im Maul. Ihre schwere «Rüstung» war zwar starr, doch die paarigen Flossen und den Schwanz konnten sie frei bewegen, was sie zu geschickten Schwimmern machte. Viele waren mit ihrer abgeflachten Körperform für die Jagd am Meeresboden ausgerüstet – dem bevorzugten Lebensraum der Kieferlosen.

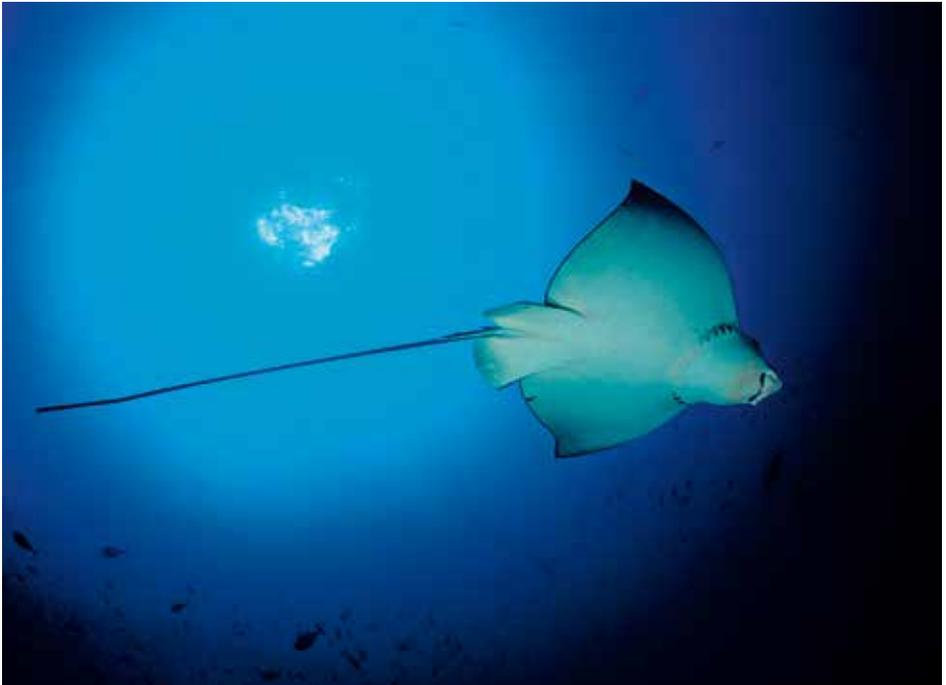
Flossenstachler und Panzerfische sind ausgestorben und haben keine Nachfahren hinterlassen.

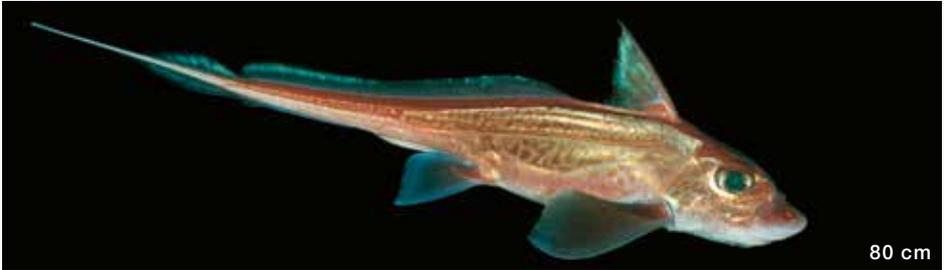
## KNORPELFISCHE SEIT 416 MIO JAHREN

**Knorpelfische: Haie, Rochen und Seekatzen**

**Diese Tiere spielen in der weiteren Entwicklung der Wirbeltiere keine Rolle. Es sind perfekte Meeresbewohner geblieben.**

Knorpelfische sind selten: Nur etwa 2% aller Fische gehören dazu. Sie besitzen eine von kleinen Zähnchen bedeckte Haut und ein Skelett, das aus Knorpel statt Knochen besteht. Viele Haie haben messerscharfe Gebisse; Rochen hingegen zermahlen ihre Beute mit Kauplatten, wie die Seekatzen oder Chimären, entfernte Verwandte von Hai und Rochen.





Eine Seekatze oder Chimäre, ein in der Tiefsee lebender Knorpelfisch.



Einhornhai *Orthacanthus senckenbergianus*  
Niederkirchen D, 285 Mio Jahre, Perm.

Heutige Haie leben im offenen Meer, Rochen in Küstennähe am Meeresboden. Die Seekatzen sind Tiefseefische, wie möglicherweise ihre Vorfahren: Elektrische Sinnesorgane zum Aufspüren von Beutetieren und die innere Befruchtung mancher Arten lassen vermuten, dass sich Knorpelfische in der Tiefsee entwickelt haben.

Schon früh in der Stammesgeschichte müssen die Vorfahren der Knorpelfische den schweren Hautpanzer abgelegt haben – die ältesten Funde bestehen nur aus Zähnen und Hautzähnnchen, Skelette blieben selten erhalten. Ausser bei Seekatzen ist auch die Haut heutiger Haie und Rochen mit win-

zigen, gerillten Zähnchen bedeckt. Diese bilden eine widerstandsfähige, leichte Hülle mit optimalen Strömungseigenschaften. Weiter verringert ein leichtes, mit Kalkplättchen verstärktes Knorpelskelett und eine grosse, ölhaltige Leber das spezifische Gewicht der Tiere.

Diese Anpassungen machen Knorpelfische zu perfekten, hochentwickelten Schwimmern. Ihre optimalen strömungsdynamischen Eigenschaften helfen heute, den Energieverbrauch von Flugzeugen und Schiffen zu senken: «Haihaut-Technologie» verkleinert den Reibungswiderstand und schützt Schiffsrümpfe vor Muschelbelägen.

## KNOCHENFISCHE SEIT 416 MIO JAHREN

**Die Vorfahren der heutigen Fische**

**Dicke, harte Schuppen, eine asymmetrische Schwanzflosse, Wirbel aus Knorpel statt Knochen: die «Urversion» der modernen Fische.**

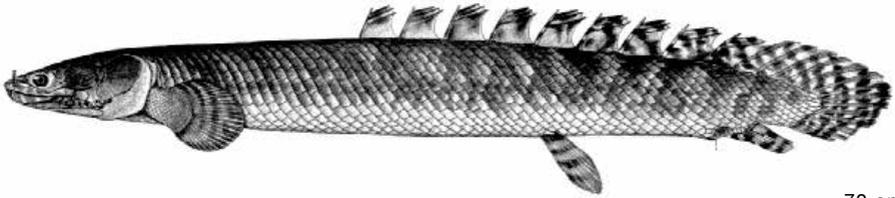
Ihr altmodisches Schuppenkleid bestand aus viereckigen Knochenplatten, die wie Pflastersteine angeordnet und mit einer Art Zahnschmelz überzogen waren. Ein weiteres urtümliches Merkmal war die nach oben gezogene, asymmetrische Schwanzflosse. Ihre Flossen waren dicht von feinen Knochen, den «Knochenstrahlen» durchzogen, deshalb der Name «Strahlenflosser.»

**Fische: immer leichter, beweglicher, schneller**

**Dünnere Schuppen, die Wirbel vollständig aus Knochen, eine symmetrische Schwanzflosse: modernere Formen kamen auf.**

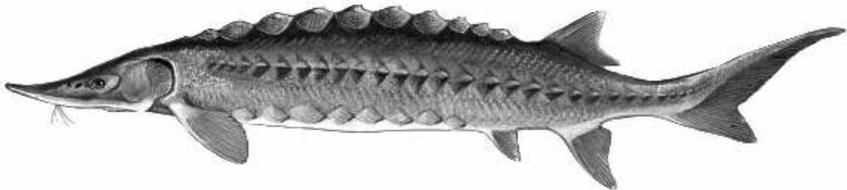
Der Belag aus «Zahnschmelz» auf den dünner werdenden Schuppen verschwand nach und nach. Die Tiere wurden leichter, die von wenigen Knochenstrahlen gestützten Flossen liessen sie agiler werden; sie entwickelten sich zu immer besseren Schwimmemern. Mit solchen Eigenschaften traten die Fische einen Siegeszug an, der mit den heutigen modernen Knochenfischen weiter geht.





70 cm

Flösselhechte besitzen harte, von einer Schmelzschicht überzogene Schuppen.



100 cm

Urtümliche Eigenschaften auch bei Stören: seitliche Knochenplatten und eine asymmetrische Schwanzflosse.

Fische kennen wir heute als flinke, stromlinienförmige Schwimmer. Ihre Vorfahren hingegen trugen schwere «Kettenhemden», miteinander verbundene, mit harter Schmelzsubstanz überzogene, dicke Knochen-schuppen. Ihr Körperbau erlaubte keine grosse Geschwindigkeit oder pfeilschnelle Manöver.

Im Lauf der Entwicklung der Strahlenflosser verknöcherte das Skelett. Eine verkürzte Wirbelsäule liess den Körper steifer und damit strömungstauglicher werden. Die Wirbelsäule zog sich aus dem oberen Lappen der Schwanzflosse zurück, der frei bewegliche Schwanz brachte kraftvollen Antrieb.

Das Panzerkleid aus Knochen-schuppen wurde leichter, die feinen Knochenstrahlen in den Flossen weniger: Schwerfälliger, knöcherner Schutz wich Beweglichkeit und Schnelligkeit.

Eigenschaften urtümlicher Fische sind heute noch sichtbar: Flösselhechte und Störe tragen von einer Schmelzschicht überzogene Knochen-schuppen oder -platten; Störe besitzen zudem eine asymmetrische Schwanzflosse.

## KNOCHENFISCHE SEIT 416 MIO JAHREN

**Moderne Fische: eine Erfolgsgeschichte**    **Fische in unseren Gewässern**

**Weit mehr als Lachsbrötchen oder Thon-salat: Heutige Fische sind ein wahrer Höhepunkt der Entwicklung des Lebens.**

**Viele Fischarten der Schweiz drohen un-bemerkt zu verschwinden, weil sich ihre Lebensbedingungen verschlechtern.**

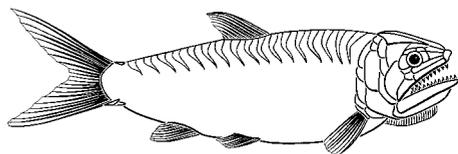
Über die Hälfte aller bekannten Wirbel-tierarten sind weder Amphibien, Reptilien, Vögel oder Säuger, sondern Fische. Eine Gruppe ist besonders erfolgreich: Über 95% aller Fische sind moderne Knochen-fische oder Teleosteer. Sie besiedeln vom Bergbach bis zur Tiefsee fast alle Lebens-räume, die Meere und Süßwasser zu bie-ten haben.

Es gibt bei uns 70 Fischarten, 15 davon sind eingeführt oder eingeschleppt. Gefördert werden Arten, die für die Hobby-fischerei wichtig sind: Zum Beispiel setzt man jedes Jahr massenhaft junge Forellen aus. Diese gefräßigen Raubfische sind eine Gefahr für viele Kleinfischarten; doch auch zubetonierte oder verschmutzte Ge-wässer machen Fischen das Leben schwer.





Viele Thunfisch-Arten werden massiv überfischt und sind vom Aussterben bedroht.



Schnellfisch *Caturus pachyurus* Solnhofen D, 148 Mio Jahre, Malm.

Die modernen Knochenfische haben Beweglichkeit, Schnelligkeit und Anpassungsfähigkeit perfektioniert. Nur noch die dünnen Knochenplättchen, die Schuppen, erinnern an die mächtigen Hautpanzer ihrer Vorfahren. Sie sind die grösste und formenreichste Fischgruppe; etwa 50'000 Arten sind bis heute bekannt. Ob in der Hochsee jagende Thunfische oder grasende Karpfen im Teich, Fische nutzen die unterschiedlichsten Lebensräume und Nahrungsquellen.

Trotz aller Anpassungsfähigkeit: Heute schrumpfen die Fischbestände der Meere dramatisch. Zu viele Fischer fangen zu viele Fische, die Fangmethoden werden immer

effizienter. Doch die Überfischung ist nicht der einzige Grund für den Rückgang der Bestände. Schadstoffe, Überdüngung oder die langsame Erwärmung des Klimas verändern das komplexe Wechselspiel aus Nahrungsangebot, Wassertemperatur, Lichteinfall, Salzgehalt und Meeresströmungen im Ökosystem Meer.

Welchen Einfluss die verschiedenen Faktoren auf die Entwicklung der Meeresbewohner haben wird heute erforscht. Was sicher ist: Die artenreichste Wirbeltiergruppe unseres Planeten kann mit der rasanten menschengemachten Veränderung ihres Lebensraums nicht mithalten.

### Erste Atemzüge

**Mit Lungen Luft atmen war eine bahnbrechende Neuentwicklung der Lebewesen auf dem Weg vom Wasser ans Land.**

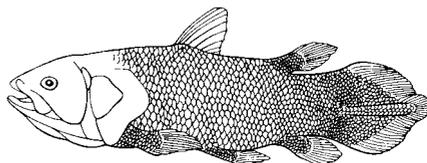
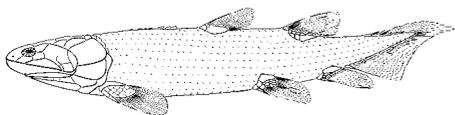
Zunächst war die Lunge nur eine einfache Ausstülpung der Speiseröhre urzeitlicher Fische. Mit diesem Organ konnten sie Luft holen, wo die Atmung mit Kiemen nicht mehr genügte: in warmem, sauerstoffarmem Wasser nahe am Ufer. Anhand heutiger Lungenfische und urtümlicher Fische wie dem Knochenhecht können wir uns ein Bild solch «früher Lungen» machen.

### Frühe Hinweise auf Lungen und Beine

**Quastenflosser nahmen einen anderen Weg als moderne Fische: Ihr Skelett ähnelte schon ein wenig demjenigen früher Amphibien.**

Eine Gruppe von Quastenflossern, die Rhipidistier, entwickelten ein besonders wichtiges Merkmal: Ein «inneres Nasenloch», durch das sie Luft einsaugen konnten, eine direkte Verbindung zwischen Nasenöffnung und Mundhöhle. Damit wurde die Lungenatmung möglich. Wegen dieser Eigenschaft sind die Rhipidistier die direkten Vorfahren aller landbewohnenden Vierfüßler.





Ein Vertreter der Rhipidistier: Der Quastenflosser *Osteolepis macrolepidotus*. Orkney Islands, Schottland, 390 Mio Jahre, Devon.

Quastenflosser *Undina penicillata* Solnhofen D, 148 Mio Jahre, Malm.

Die eine Gruppe von Knochenfischen hat als moderne Knochenfische die Gewässer erobert, in der anderen, den Fleischflossern, beginnt die Entwicklung der vierfüßigen Landwirbeltiere. Quastenflosser und ursprüngliche Lungenfische besitzen vier gestielte, fleischige Paddel – der Beginn der Entwicklung von Flossen zu Füßen. Bei einem heutigen Quastenflosser ist ein typisches Merkmal späterer Vierfüßer gut sichtbar: Die kreuzweise versetzte Bewegung der Flossen entspricht bereits dem Gang von Salamandern oder Echsen.

Bei den Rhipidistern, den direkten Vorfahren der Landwirbeltiere, gleichen Schädel

und Gliedmassen schon deutlich den späteren Amphibien. Zusätzlich findet man bei einigen Arten erstmals eine Verbindung zwischen Nasenöffnung und Mundhöhle. Die Entwicklung der inneren Nasenöffnung ist möglicherweise eine Anpassung an die damaligen Umweltbedingungen.

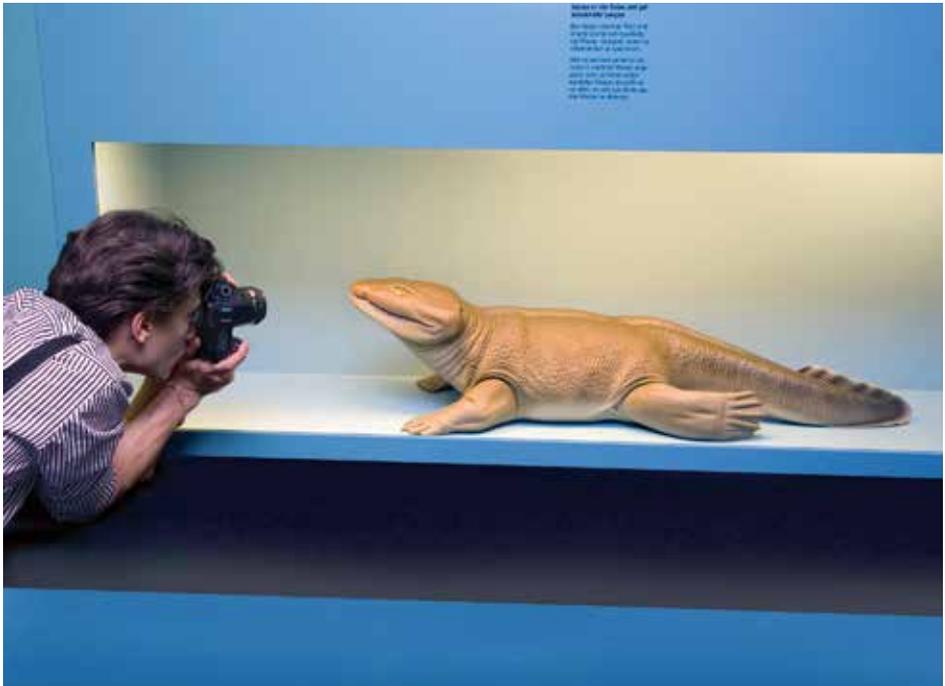
Rhipidistier lebten wahrscheinlich räuberisch in warmen, flachen Süßwasserbecken; Sauerstoff und Beutetiere konzentrierten sich dort an der Wasseroberfläche. Fische, die beim Jagen an der Wasseroberfläche ohne verräterische Bewegungen Luft durch die Nase holen konnten, waren vermutlich im Vorteil.

## VIERFÜSSER SEIT 375 MIO JAHREN

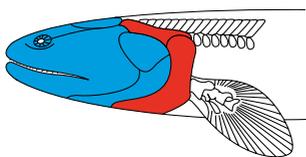
## Ein «Fisch auf vier Beinen»

Mit *Ichthyostega* kam das Landleben ein Stück näher: Trotz einem Fischschwanz besass er vier Beine und gut entwickelte Lungen.

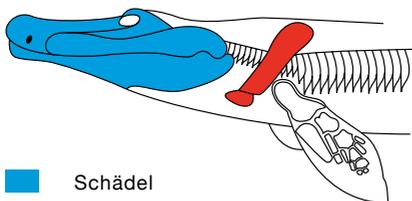
Das Wesen zwischen Fisch und Amphib konnte wohl kurzfristig das Wasser verlassen, indem es robbenähnlich an Land kroch. Aber es war noch perfekt an ein Leben in seichtem Wasser angepasst, seine zu Beinen umgewandelten Flossen brauchte es vor allem, um sich zum Atmen aus dem Wasser zu stemmen.



Quastenflosser

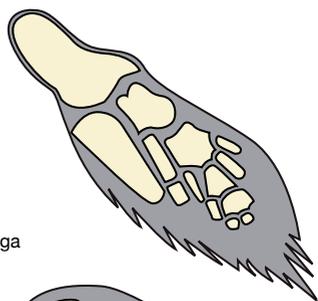


Tiktaalik

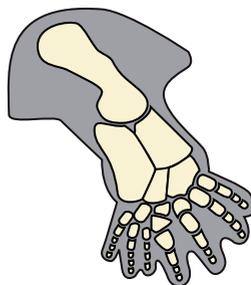


- Schädel
- Schultergürtel

Tiktaalik



Ichthyostega



Bei *Tiktaalik* ist der Kopf vom Schultergürtel getrennt, er kann im Gegensatz zu einem Quastenflosser den Kopf heben.

Aus Flossen wurden Füße: Brustflosse von *Tiktaalik*, Hinterfuss von *Ichthyostega*.

*Ichthyostega* besitzt bereits vier Beine, er ist echter Vierfüßler. Doch wo kamen die Beine her? Dies zeigt *Tiktaalik*, ein wichtiges Bindeglied zwischen Fisch und Vierfüßler, der etwa 10 Mio. Jahre vor *Ichthyostega* gelebt hat. Bei *Tiktaalik* ist der Kopf vom Schultergürtel getrennt, er hat einen Hals und konnte den Kopf heben; in seinen kräftigen Brustflossen sind bereits die Knochen von Handgelenken und Ellbogen vorhanden. Er besaß Kiemen, konnte aber wahrscheinlich auch schon Luft atmen. Obwohl mit Beinen und Lungen ausgestattet, lebten die ersten vierfüßigen Wesen wie *Ichthyostega* im flachen Wasser. Die

räuberischen Tiere waren flexibler als Fische – sie konnten bei Bedarf den Tümpel wechseln, im offenen Wasser oder im Uferbereich jagen. Doch Beine und Rumpf konnten ihr Körpergewicht nicht tragen, die Haut bot keinen Schutz vor dem Austrocknen – diese Tiere wagten sich nur kurz aus dem Wasser.

Erst später eroberten mit den Amphibien die ersten Vierfüßler das Land – vielleicht weil Trockenperioden ihren Lebensraum einengten oder neue Beute lockte: Im Schutz der Uferpflanzen und an Land lebten zahlreiche Wirbellose wie Eintagsfliegen, Libellen oder Skorpione.

## AMPHIBIEN SEIT 375 MIO JAHRE

**Raus aus dem Wasser**

**So schnell wie im Märchen ist aus einem Frosch kein Prinz geworden. Doch waren die Amphibien ein gelungener Anfang.**

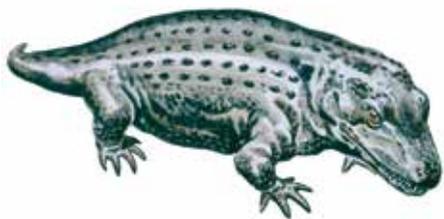
Sie waren Vorboten der Wirbeltiere, die später das Land bewohnen würden: Reptilien, Vögel und Säuger. Mit Lungen zum Atmen und auf vier landtauglichen Beinen konnten Amphibien oder Lurche das Wasser erstmals dauerhaft verlassen. Doch waren sie noch auf die Nähe von offenem Wasser angewiesen; nur dort konnten sich ihre Eier und Jungtiere entwickeln.

**Frühe Amphibien**

**Amphibien hatten vor Jahrmillionen ihre Blütezeit mit einer riesigen Formenvielfalt; der grösste Lurch wurde mehrere Meter lang.**

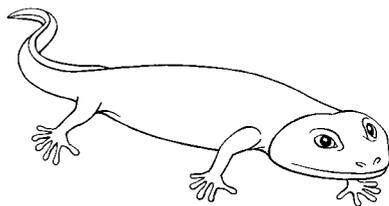
Die heutigen Amphibien wie Molche, Frösche oder Kröten stammen nicht von solchen Ungetümen ab: Ihre Vorfahren sind die molchähnlichen Branchiosaurier. Diese blieben zeitlebens im Wasser, was aber für Amphibien selten ist: Das Markenzeichen der allermeisten Amphibien ist die Metamorphose, die Umwandlung wasserlebender Larven mit Kiemen in vierbeinige Landbewohner.





400 cm

*Mastodonsaurus*, ein Fischjäger mit mächtigen Kiefern und hauerartigen Zähnen.



450 cm

*Cyclotosaurus*, ein krokodilähnlicher Riesenslurche.



9 cm

Ein Vorfahre der heutigen Amphibien, der molchartige Branchiosaurier *Apateon pedestris* Jeckenbach D, 290 Mio Jahre, Perm.

Die meisten kennen Amphibien heute als harmlose Tierchen – kein Vergleich zu den Kreaturen, die in einer riesigen Vielfalt an Formen und Lebensweisen als erste Vierfüßler das Land besiedelten. Trotz aller Verschiedenheit hatten sie eines gemeinsam: Diese Amphibien, aus dem griechischen Amphi («auf beiden Seiten») und Bios («Leben»), konnten zwar das Wasser dauerhaft verlassen, doch zur Fortpflanzung waren sie an offenes Wasser gebunden wie die meisten heutigen Amphibien.

Verschiedene Gruppen passten sich mit stämmigen Beinen und Hautpanzern dem Landleben an, andere jagten als Fleisch-

fresser an seichten Gewässern. Es gab schlangenähnliche Winzlinge und bis zu 9 m lange «Riesenslurche», die ähnliche Lebensräume besetzten wie heutige Krokodile.

Wenig Konkurrenz, das Klima feucht und warm – erst aufkommende Reptilien und Klimawechsel setzten der Blütezeit der Amphibien ein Ende.

Amphibien sind heute bedroht. Lebensraumzerstörung und andere, weitgehend unbekannte Faktoren lassen ihre Bestände weltweit schrumpfen.



### Schon fast am Trockenen

**Amphib oder Reptil? Vielleicht beides? Tatsächlich war dieses Tier eine Übergangsform mit Merkmalen beider Tiergruppen.**

Eigenschaften wie der Bau der Wirbelsäule oder eine Haut, die vor dem Austrocknen schützte, waren sehr reptilienähnlich. Sie machten *Seymouria* zum «richtigen» Landtier, das in trockenen Steppen leben konnte. Doch sie besass einen typischen Amphibienschädel und war zur Fortpflanzung auf Gewässer angewiesen.

### Das «Tambacher Liebespaar»

**Fossilien von *Seymouria* kannte man bis 1988 nur aus Texas, USA. Ihre Entdeckung 1997 in Deutschland war eine Sensation.**

*Seymouria* ist ein wichtiges «Mischwesen» zwischen Amphibien und Reptilien, doch der Fund hat noch eine weitere Bedeutung: Er liefert einen Beweis mehr, dass Europa und Amerika einst eine einzige riesige Landmasse waren: der Urkontinent Pangäa. Ob die beiden scheinbar aneinander gekuschelten Tiere wirklich ein Paar waren, kann heute niemand sagen.



Lebensgrosses Modell von *Seymouria sanjuanensis*.



Eine Übergangsform zwischen Amphibien und Reptilien: *Seymouria sanjuanensis* Abguss Bromacker b. Gotha D, 290 Mio Jahre, Perm.

*Seymouria* hat lange, muskulöse Beine und trägt den Körper höher als die meisten Vierfüsser, die man aus dieser Zeit kennt. Ihr Körperbau ist der eines wendigen Landbewohners – sie gleicht einem primitiven Reptil. Doch sie besitzt einen Amphibienschädel und braucht zur Entwicklung ihrer Jungen offenes Wasser – typische Merkmale der Amphibien. *Seymouria* gehört zu den Reptiliomorpha, den «reptilienförmigen» Vierfüssern, der Übergangsform zwischen Reptilien und Amphibien.

Das «Tambacher Liebespaar» lebte in einem steppenähnlichen, von kleinen Flüssen durchzogenen Hochland mit Trockenpe-

rioden und Regenzeiten. Dies zeigt seine Fundstelle Bromacker bei Tambach, eine reiche Ansammlungen erster landlebender Vierfüsser: In dieser Halbwüste wurden weder Fische noch Amphibien gefunden – ein weiterer Hinweis, dass *Seymouria* echte Trockengebiete ohne dauerhaft vorhandene Gewässer bewohnte.

Seinen poetischen Namen erhielt das Reptilienpaar durch einen Kunstschatz der benachbarten Stadt Gotha: Das «Gothaer Liebespaar» ist ein kunstgeschichtlich bedeutendes Portrait eines Liebespaares aus dem 15. Jahrhundert.

## AMNIOTEN SEIT 320 MIO JAHREN

**Eier – alltäglich und doch genial**

**Eier, die sich ausserhalb des Wassers entwickeln konnten, waren unbedingt notwendig für die Eroberung von trockenem Terrain.**

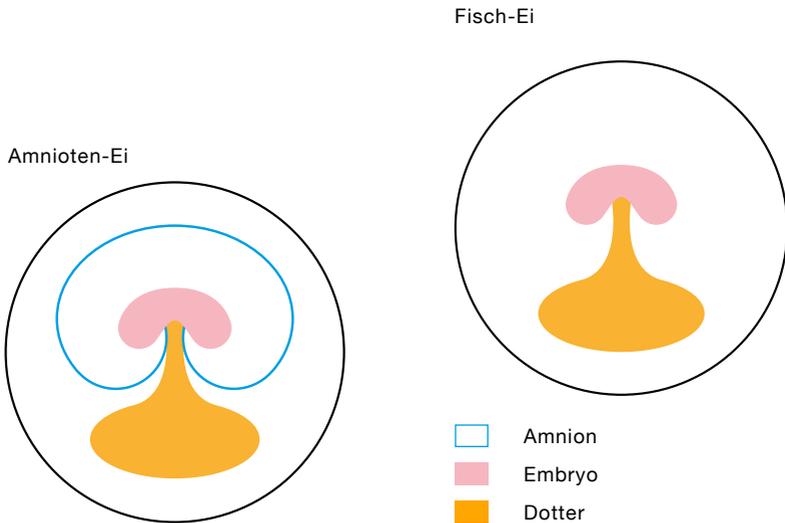
Diese «Landeier» besaassen eine wichtige neue Eigenheit: Den «Teich im Ei»: Jedes Ei lieferte das zum Gedeihen des Jungtiers notwendige Wasser gleich in seinem Innern mit. Vom Embryo bis zum fertigen Jungen schwamm der Nachwuchs in einer feinen, mit Flüssigkeit gefüllten Hülle wie in einem Aquarium. Zudem war das Ei durch eine äussere Schale vor dem Austrocknen geschützt.

**Eier aus ferner Vergangenheit**

**Die ältesten landtauglichen Eier, die man bisher gefunden hat, haben Dinosaurier gelegt.**

Anders als sonstige Reptilieneier mit dünnen, lederartigen Schalen erinnern Eier der Dinosaurier an Vogeleier: Ihre Schalen waren luftdurchlässig, bruchsicher, von innen leicht zu öffnen und schützten vor Austrocknung. Die grössten Eier massen etwa 30 cm. Viel grösser konnten sie nicht werden, die dicke Schale hätte Luftversorgung und Schlüpfen der Jungen verhindert.





Bei Amnioten ist der Embryo von einer flüssigkeitsgefüllten Haut umhüllt, dem Amnion.

Um das Wasser endgültig zu verlassen und dauerhaft an Land leben zu können, brauchten Wirbeltiere nicht nur Beine zum Gehen und Lungen zum Atmen, sondern auch Eier, die sich im Trockenen entwickeln konnten. Die meisten Eier von Kieferlosen, Fischen und Amphibien brauchen offenes Wasser zu ihrer Entwicklung – ihnen fehlen ein Wasservorrat und eine Hülle, die sie vor dem Austrocknen schützt.

Die Entwicklung von Embryonalhüllen war deshalb ein weiterer entscheidender Schritt in der Evolution der Wirbeltiere: Bei landtauglichen Eiern gedeiht der Embryo in einer von ihm selbst gebildeten flüssigkeits-

gefüllten Haut, dem Amnion. Nach diesem gemeinsamen Merkmal heisst die Gruppe der Reptilien, Vögel und Säugetiere Amnioten.

Alle Wirbeltiere entwickeln sich aus Eiern – auch Säugetiere beginnen ihr Leben als befruchtete Eizelle. Unter ihnen legt nur das urtümliche Schnabeltier Eier, sonst bietet ein Säugetier-Ei weder feste Hülle noch Nahrung, der Embryo nistet sich nach wenigen Tagen in der Gebärmutter ein. Die meisten Wirbeltier-Eier entwickeln sich jedoch ausserhalb des Mutterleibs, nur einige Fische, Amphibien und Reptilien bringen Larven oder fertige Jungtiere zur Welt.



### Uralte Unterschiede zwischen Reptilien, Vögeln und Säugetieren

Die drei Gruppen «Urreptilien», «Reptilien und Vögel» sowie «Säugetiere» lassen sich anhand ihrer Schädel unterscheiden.



Der Schädel der «Urreptilien» ist ein geschlossenes Gehäuse, nur Löcher für Nase und Augen lässt er frei, wie dies noch bei Schildkröten zu sehen ist. Die meisten späteren Reptilien und die Vögel besitzen Schädel mit zwei Öffnungen an jeder Schläfe. Die säugetierähnlichen Reptilien haben wie ihre Nachfolger, die Säugetiere, Schädel mit nur einer Schläfenöffnung.



anapsid



synapsid



diapsid



Ob ein Schädel einem Reptil, einem Vogel, einem Säugetier oder einem ihrer Vorfahren gehört, zeigen verschieden ausgeprägte Schädelöffnungen. Diese Erkennungsmerkmale entstanden sehr früh in der Stammesgeschichte der Vierfüsser und sind bis heute sichtbar geblieben.

Die Schädel der «Urreptilien», der Anapsida, besaßen nur Augenhöhlen und Nasenlöcher. Im Lauf der Zeit entstanden Öffnungen im Schädel, die das Gewicht reduzierten und kräftigere Kiefermuskeln ermöglichten. Die Öffnungen boten mehr Platz und grössere Ansatzflächen für Muskelstränge – die Tiere konnten kräftiger zubeissen.

Die Diapsida, Reptilien wie Krokodile oder Saurier, bildeten hinter den Augen auf jeder Seite zwei Schläfenöffnungen aus. Diese ursprüngliche Form wurde mehrfach abgewandelt: Echsen, Schlangen oder Vögel entwickelten leichtere, beweglichere Schädel und Kiefer.

Die Synapsida, zu denen die säugetierähnlichen Reptilien gehören, besaßen Schädel mit je einer Öffnung hinter jedem Auge. Bei ihren Nachfahren, den Säugetieren, ist diese Öffnung stark vergrössert.

## REPTILIEN SEIT 320 MIO JAHREN

### Das Land ist erobert

**Dicke, schuppige Haut gegen das Austrocknen und landtaugliche Eier, aus denen fertige Jungtiere schlüpfen:**

Reptilien waren die ersten «echten» vierfüßigen Landtiere. Sie konnten dem offenen Wasser endgültig den Rücken kehren. Aus massiv gebauten, echsenähnlichen «Urreptilien» entwickelten sich die für uns typischen Reptilien wie Dinosaurier, Echsen oder Schlangen. Ihre Geschichte führt aber noch weiter: Unter ihnen sind die Ahnen der Vögel und Säugetiere zu finden.





40 cm

*Captorhinus*, ein Vertreter der ersten Reptilien, die das Land erobert haben.



35 cm

*Lagosuchus*, ein früher Verwandter der Dinosaurier, konnte wahrscheinlich schon kurze Zeit auf den Hinterbeinen rennen.



150 cm

*Velociraptor*, ein flinker, zweibeiniger Dinosaurier.

Mit Trockenheit und wechselhaftem Klima kamen die Reptilien besser zurecht als alle vierfüßigen Landbewohner vor ihnen. Diese waren trotz vieler Anpassungen an das Landleben zur Eiablage an Wasserstellen gebunden.

Die Kombination von vier tragenden Beinen, wasserdichter Haut und landtauglichen Eiern scheint ein Erfolgsrezept der Evolution zu sein: Diese Merkmale besitzen auch heutige Reptilien, Vögel oder Säugetiere. Allerdings wurde das Original mehrfach abgeändert. Beine verschwanden oder wurden zu Gliedmassen wie Armen oder Flügeln. Federkleider, Haare oder Haut ersetzten Schup-

pen, Eier verloren ihre Widerstandsfähigkeit und entwickelten sich im Mutterleib.

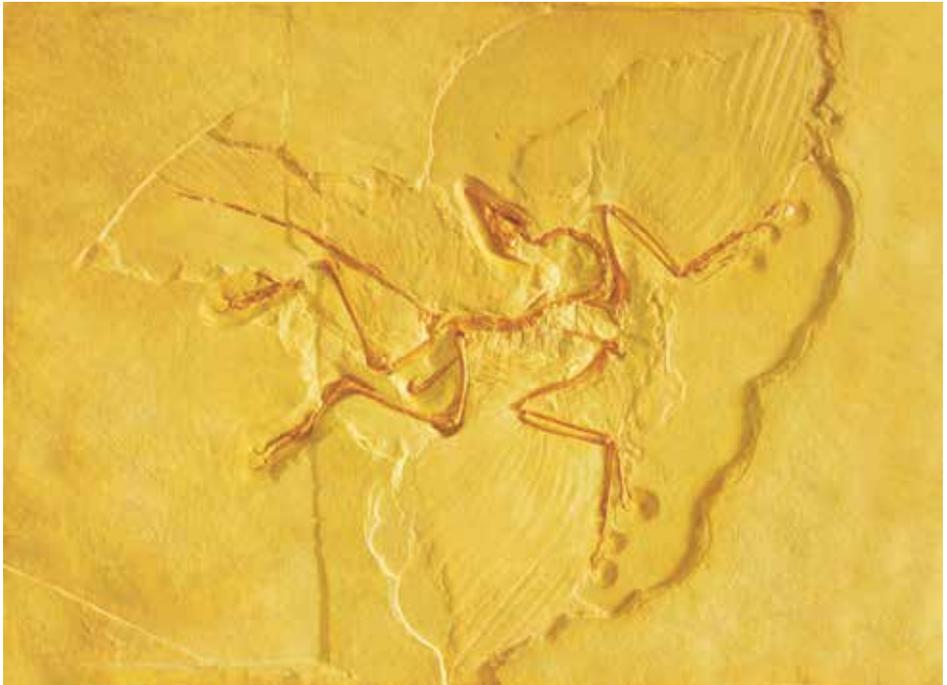
Die Reptiliengruppe der Dinosaurier erreichte mit einer atemberaubenden Entwicklung einen Höhepunkt: Bei ihnen taucht ein neuer Körperbau auf. Die Beine ragen nicht mehr seitlich ab, sondern stehen unter dem Rumpf – solche Beine tragen viel Gewicht und sind schnell. Vom zweibeinigen Jäger bis zum gigantischen Pflanzenfresser besetzten Dinosaurier schliesslich alle Lebensräume an Land. Eine Gruppe liess sich Federn wachsen – deren Nachfahren, die Vögel, haben als einzige Dinosaurier bis heute überlebt.

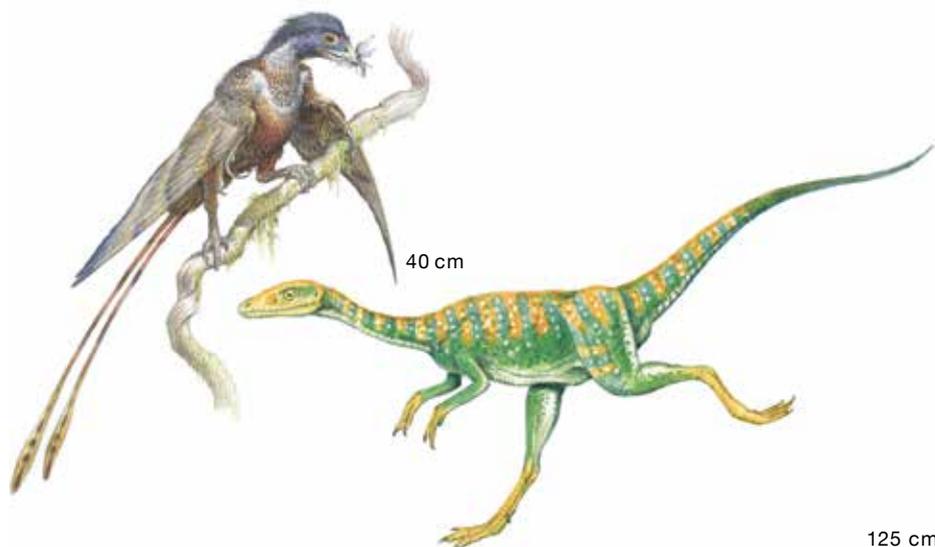
## VÖGEL SEIT 148 MIO JAHREN

**Immer weniger Reptil, immer mehr Vogel**

**Der erste bekannte Vogel, *Archaeopteryx*, war eine sensationelle Entdeckung: eine Übergangsform zwischen Reptil und Vogel.**

In seiner Schnauze sassen Zähne und er hatte einen Echsenschwanz. Doch er trug schon moderne Schwungfedern, ein typisches Vogelmerkmal. *Confuciusornis* glich bereits mehr einem heutigen Vogel: Er besass einen Schnabel, und sein kurzer Schwanz und die langen Schwungfedern weisen darauf hin, dass er besser fliegen konnte als der Urvogel *Archaeopteryx*.





*Confuciusornis*, einer der ersten richtigen Vögel.

Der Dinosaurier *Compsognathus*, ein leicht gebauter, zweibeiniger Vorfahre der Vögel.

Die Entwicklung landlebender Echsen zu Vögeln begann mit zweibeinigen Dinosauriern von der Grösse eines Truthahns. Die dank hohlen Knochen leicht gebauten Reptilien brauchten ihre vorderen Gliedmassen nicht zum Laufen, sondern packten damit ihre Beute – freie Arme, die zu befiederten Flügeln werden sollten. Im Lauf der Zeit verlängerten sich Arme und Hände; Veränderungen im Brustbereich ermöglichten die Verankerung starker Armmuskeln. Der ganze Muskelapparat der Tiere wurde immer effizienter, der Knochenbau leichtgewichtiger.

Bei *Archaeopteryx* waren Arme und Hände

weiter verlängert und mit Federn bedeckt. Auch der Schwanz war befiedert und diente als Steuerorgan. Das Tier konnte sich vom Boden in die Luft schwingen und mit anhaltendem Flügelschlag fliegen – wohl weniger elegant als ein heutiger Vogel. Er flatterte wahrscheinlich heftig mit kurzen, breiten Flügeln und musste rennen, um die grosse Geschwindigkeit seiner Landung abzubremesen.

*Confuciusornis* war hingegen schon ein richtiger Vogel. Das vergrösserte Brustbein bot kräftigen Flugmuskeln Halt, der verkürzte Schwanz und die langen Schwungfedern erlaubten wendige Flugmanöver.



### Von Schuppen zu Federn

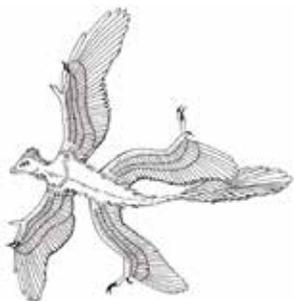
**Aus Horn gebaut, pflegeleicht, aerodynamisch geformt, leicht, stabil und biegsam: Schwungfedern sind Meisterwerke der Natur.**

Sie sind das perfekte Endprodukt einer langen Entwicklung, die bei den Schuppen von Reptilien beginnt. Dank diesen Schwungfedern sind Vögel die besten Flieger, die es je gab. Raubdinosaurier waren die ersten befiederten Wesen, doch ihre einfachen Federn taugten noch nicht zum Fliegen. Sie dienten eher als «Daunenjacken» oder spielten eine Rolle bei der Balz.

### Flügel, Federn, Flugkünste und doch kein Vogel

**Vögel entwickelten sich aus räuberischen, flinken, zweibeinigen Dinosauriern mit leicht gebauten Knochen.**

Manche Raubsaurier besaßen schon ein richtiges Federkleid, wie *Microraptor guy*, der auch an den Hinterbeinen Federn trug und im Gleitflug segeln konnte. Er ist ein naher Verwandter des Urvogels *Archaeopteryx*, aber nicht dessen direkter Vorfahre. Fliegende Wirbeltiere gab es schon vor den flugfähigen Dinosauriern: Einst beherrschten Flugsaurier die Lüfte.



125 cm

Einer der ersten Dinosaurier mit einfachen, daunenartigen Federn: *Sinosauropteryx*.



45 cm

Ein fliegender Dinosaurier, aber kein Vogel: *Microraptor guy* Provinz Liaoning, China 122 Mio Jahre, Kreide.



14 cm

Ein moderner Vogel – zugleich ein fliegender Dinosaurier: Rotkehlchen *Erithacus rubecula*.

Wer Federn trägt, ist ein Vogel – lange Zeit galt diese Annahme als gesichert. Sie wurde auf den Kopf gestellt, als die Überreste eines zweibeinigen Dinosauriers zum Vorschein kamen, der feine, haarähnliche Auswüchse auf der Haut trug: Eine Art Federflaum, der die vermutlich warmblütigen Tiere vor Kälte schützte und vielleicht auch Balzschmuck war. Diese «Daunen» waren die Vorläufer aller Federn.

Spätere Formen dieser Gruppe besaßen Schwungfedern wie Vögel – doch blieben sie beim Gleitflug, wie *Microraptor guy* zeigt. Nur die Vorfahren der Vögel gingen den Weg zum aktiven Flieger weiter.

Fliegen kann jeder, doch unbeschädigt landen ist schwierig: Die flinken, zweibeinigen Raubsaurier entwickelten das Fliegen – und vor allem die Landung – wahrscheinlich bei der Jagd. Im Sprung nach Beute stabilisierten sie mit ihren Armen die Fluglage und vermieden unsanfte Landungen. Ihre Nachfahren eroberten schliesslich mit immer weiter perfektioniertem Körperbau und Federkleid die Luft. Nur Vögel konnten schliesslich so schnell Ozeane und Kontinente überqueren und neue Lebensräume besiedeln – möglicherweise ein Grund, weshalb sie nicht wie die anderen Dinosaurier untergegangen sind.



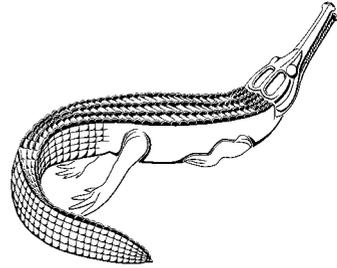
### **Unerwartete Verwandte**

***Passer domesticus* ist ein kleiner, graziler, flugfähiger Dinosaurier. Uns ist er besser vertraut als Spatz.**

Vögel sind die letzten Dinosaurier, ihre nächsten noch lebenden Verwandten sind die Krokodile: Krokodile, Flugsaurier, Dinosaurier und deren jüngste Vertreter, die Vögel, stammen aus derselben Gruppe urtümlicher Reptilien. Auf den zweiten Blick sieht man Vögeln ihre Herkunft noch an: Die schuppigen Beine erinnern an ihre Reptilien-Vergangenheit.



Flugsaurier waren die ersten fliegenden Wirbeltiere. Flugsaurier *Pteranodon*.



Krokodile sind die nächsten lebenden Verwandten der Vögel. Meereskrokodil *Stenosaursaurus bollensis* Boll D, 183 Mio Jahre, Lias.

Die meisten heutigen Vögel kennen wir als Flugkünstler und Sänger in prächtigen Federkleidern. Schwer vorzustellen, dass ihre nächsten noch lebenden Verwandten ausgerechnet die gepanzerten, furchterregenden Krokodile sind. Doch Krokodile, Dinosaurier und Flugsaurier gehören zusammen zu den Archosauria. Deren wichtigsten heutigen Vertreter sind die Vögel; von den anderen Archosauria haben nur die Krokodile überlebt.

Krokodile sind erstaunliche Vettern der Vögel, doch deren direkte Verwandte, die Coelurosauria, leicht gebaute, auf zwei Beinen gehende Dinosaurier mit frei beweglichen

Armen sind noch eindrücklicher: Nebst den Vögeln und ihren truthahngrossen Saurier-Vorfahren gehören zu dieser Gruppe auch mächtige Jäger wie *Tyrannosaurus rex*.

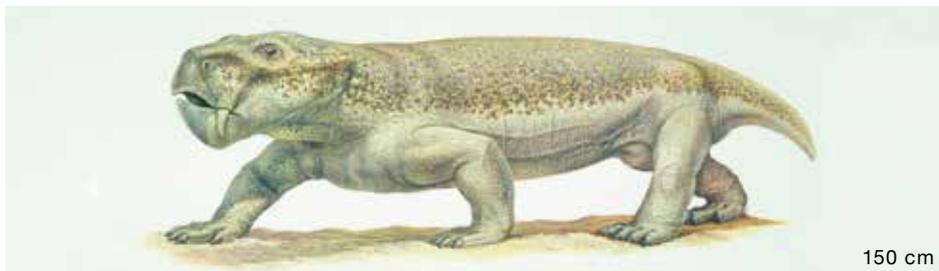
Fliegende Dinosaurier waren aber nicht die ersten Flieger unter den Wirbeltieren: Lange vor ihnen erhoben sich Flugsaurier in die Luft – ganz ohne Federn: Sie spannten Flughäute zwischen extrem verlängerte Finger. Vom spatzengrossen Zwerg bis zum mächtigen Segler mit fast 12 m Flügelspannweite besetzten sie viele Lebensräume, die später die Vögel einnehmen sollten – Flugsaurier sind zusammen mit den Dinosauriern verschwunden.



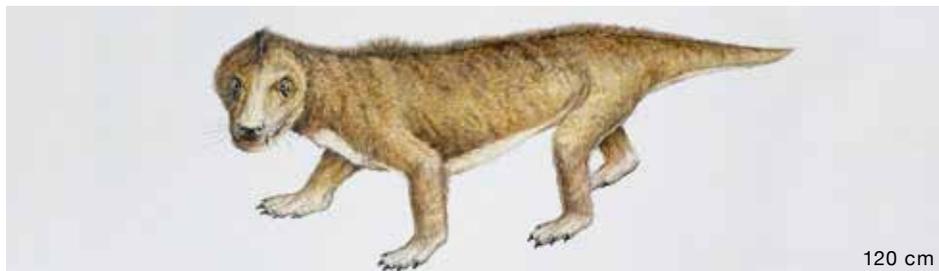
### Vorboten der Säugetiere

**Eine Gruppe von «Urreptilien» hat einen Weg eingeschlagen, der bis zu uns Menschen führt: die säugetierähnlichen Reptilien.**

Manche waren schwerfällige Pflanzenfresser, spätere Formen erinnern im Aussehen entfernt an Hunde oder Füchse. Wann die ersten typischen Säugermerkmale wie Haare oder Milchdrüsen entstanden sind, lässt sich an den Fossilien nicht erkennen.



Dicynodonten, pflanzenfressende säugetier-ähnliche Reptilien oder Therapsiden.



Die Cynodonten, eine andere Gruppe von Therapsiden, sind direkte Vorfahren der Säugetiere.

Bei den säugetierähnlichen Reptilien begann eine Entwicklung, die den späteren Siegeszug der Säugetiere einläutete. Ein wichtiger Schritt war dabei die Vergrößerung des Hirns, der eine ganze Reihe wichtiger Änderungen am Schädelbau nach sich zog.

Einige Gruppen säugetierähnlicher Reptilien entwickelten Hirn, Kiefer und Gehör immer weiter. Dank einem neuartigen Kiefergelenk und einem Gebiss, das aus verschiedenen Zahntypen bestand, konnten sie Nahrung nicht nur packen und zerreißen, sondern auch kauen. Zudem schloss ein harter Gaumen den Mundraum nach oben ab, was den

Tieren gleichzeitig Atmen und Fressen ermöglichte. So konnten sie grosse Mengen Nahrung in kurzer Zeit herunterschlingen – eine lebenswichtige Fähigkeit, da die Tiere wahrscheinlich warmblütig waren und viel Energie brauchten, um ihre Körpertemperatur konstant zu halten.

Die Gruppe der Cynodonten führt weiter zu den Säugetieren. Diese Fleischfresser mit hundeähnlichem Körperbau besaßen feine Nasen und ein gutes Gehör. Möglicherweise trugen sie sogar ein Fell und säugten ihre Jungen – doch solange kein fossiler Cynodont mit Haaren oder Milchdrüsen auftaucht, bleibt dies eine blosse Vermutung.



### **Säugetiere: ein Thema, viele Variationen**

**Die ersten Säuger waren nicht grösser als Ratten und lebten lange Zeit im Schatten der alles beherrschenden Dinosaurier.**

Aus ihnen entwickelte sich eine riesige Vielfalt: Vom Blauwal bis zur Fledermaus gab es bis heute unzählige Formen. Eine Fortpflanzungsmethode hat sich durchgesetzt: Fast 95 % aller heutigen Säugetiere tragen ihre Jungen im Bauch aus. Bei den Beuteltieren entwickeln sich die unfertig geborenen Jungen in einem Hautbeutel weiter; die urtümlichen Schnabeltiere legen Eier.

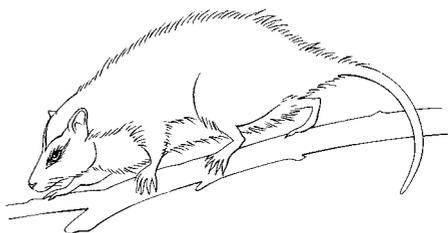
### **Säugetiere beherrschen heute die Welt**

**Säugen, den Nachwuchs mit Milch füttern, die Körpertemperatur konstant halten und Pelz tragen, Junge gebären statt Eier legen:**

Diese Kombination von Eigenschaften brachte die modernen Säugetiere auf Erfolgskurs. Heute dominiert diese Tiergruppe, der auch wir angehören, die Erde. Eines wird dabei gerne vergessen: Gemessen an der Geschichte des Lebens auf der Erde sind Säugetiere noch Neulinge. Sind sie auch in ferner Zukunft noch da, oder verschwinden sie wieder, wie andere vor ihnen?



Die «kletternde Mutter der Morgenröte», *Eomaia scansoria*, der älteste bekannte Vorfahre der modernen Säugetiere.



Säugetiere besiedeln fast alle Lebensräume der Erde – an Land, im Wasser und in der Luft.

Haare, Milchdrüsen, konstante Körpertemperatur oder typischer Körperbau machen noch kein Säugetier aus. Manche Übergangsformen zwischen Reptilien und Säugetieren weisen praktisch alle Eigenheiten von Säugetieren auf und gehören doch nicht dazu: Das einzige Merkmal, das echte Säugetiere untrüglich von allen anderen Tiergruppen unterscheidet, steckt im Detail, genauer gesagt im Mittelohr.

Einige Knochen des ursprünglichen Kieferapparats wurden im Lauf der Schädelentwicklung zu den winzigen Gehörknöchelchen Steigbügel, Hammer und Amboss, die den Schall im Innenohr weiterleiten.

Den Steigbügel besitzen auch Amphibien, Reptilien und Vögel – erst Hammer und Amboss der Säugetiere verbesserten das Gehör gewaltig: Sie konnten damit höhere und leisere Töne wahrnehmen als alle anderen Tiergruppen zuvor.

Der Anfang der späteren Beherrscher der Welt ist bescheiden: Ein etwa 10 cm langes, 20 g schweres mausähnliches Wesen, das wahrscheinlich im Schutz der Dunkelheit auf Insektenjagd ging: *Eomaia scansoria*, die «Kletternde Mutter der Morgenröte». Es ist der älteste bekannte Vorfahre der Placentalia, der Säugetiere, die ihre Jungen mit der Plazenta im Mutterleib austragen.



## Bildnachweis

Fotos, Lisa Schäublin: S.4, S.6, S.8, S.10, S.14, S.17 unten, S.21 links, S.22, S.24, S.26, S.29 oben, S.32, S.34, S.38, S.40, S.42 (Leihgabe Universität Tübingen), S.44; Peter Vollenweider: S.7, S.9 links, S.15 links unten, S.15 rechts unten, S.18, S.21 rechts unten, S.23 links unten, S.23 rechts unten, S.27 links unten, S.29 unten, S.36, S.39 links unten, S.41 links unten; Museum für Naturkunde Berlin: S.9 rechts ([www.naturkundemuseum-berlin.de](http://www.naturkundemuseum-berlin.de)); Keystone: S.16, S.20, S.30; SeaTops: S.11 links unten, S.17 oben; Laikayiu: S.45 links unten; Michel Roggo: S.11 links oben; Photo-library: S.12

Strichzeichnungen: Anne Luginbühl, ausser: S.23 rechts oben, S.27 links oben, S.39 links oben, S.45 links oben; Jürg Nigg

Lebendbilder Fossilien: Natural History Museum London, ausser: S.35 links oben; Arthur Weasley

Zeichnungen, Fishbase: S.19 oben; public domain: S.19 unten

Grafiken, Thea Sonderegger: S.11, S.13, S.25 links, S.25 rechts, S.31, S.33







**NATUR  
HISTORI  
SCHES  
MUSEUM  
BERN**

Naturhistorisches Museum Bern  
Bernastrasse 15  
CH—3005 Bern  
+41 (0)31 350 71 11  
[www.nmbe.ch](http://www.nmbe.ch)



Eine Institution der  
**Bürgergemeinde  
Bern**