MORPHISTO
Ausbildungs-Akademie

**Vorwort des Herausgebers**

Seit jeher versuchen Biologen eine Geschichte des Lebens auf der Erde darzustellen. Entsprechend vielfältige Darstellungen gibt es. Die wenigsten jedoch zeichnen ein Gesamtszenario. Zudem implizieren vor allem die älteren Darstellungen von Stammbäumen eine Höherentwicklung der Organismen und stellen den Menschen als die Krone der Schöpfung an die Spitze der Evolutionsleiter. Nach heutiger Sicht hat der Mensch – ebenso wie der Fisch, der Wurm oder der Schwamm – eine viele Millionen Jahre andauernde Evolutionsgeschichte hinter sich und nimmt seinen Platz mitten im Tierreich ein – ohne biologische Sonderstellung.

Die Pfade der Evolutionsgeschichte zu rekonstruieren und nachzuzeichnen, ist ein Forschungsfeld der Evolutionsbiologie. Hier spielen populationsdynamische und biogeographische Aspekte – mit anderen Worten: der Rassen- und Artenwandel – eine ebensolche Rolle wie der Wandel der Körperkonstruktionen, also die Frage nach dem „Wie" der Umwandlung. Der Artenwandel wird anhand von Merkmalsveränderungen untersucht, der Konstruktionswandel hingegen kann nur ausgehend von einer ingenieursmäßigen Betrachtung des Aufbaus, d.h. der Konstruktion der Organismen, rekonstruiert werden. Eine solche Sichtweise vermittelt die am Senckenbergmuseum in Frankfurt am Main entwickelte Konstruktionsmorphologie und Frankfurter Evolutionstheorie (siehe Heft Nr. 6). Sie versteht Lebewesen als energiewandelnde, hydraulische Konstruktionen und stellt Evolution als naturgesetzlich notwendige Optimierung, Ökonomisierung und Differenzierung von Körperkonstruktionen dar.

Bereits 1992 erschien das Poster „Die Evolution der Tiere" in der ersten Auflage. Die damalige Konzeption war grundlegend neu: Alle Baupläne des Tierreiches wurden schrittweise von der Körperkonstruktion eines gemeinsamen Vorfahren abgeleitet. Hierzu wurden hypothetische Zwischenstadien dargestellt, die nicht mehr umkehrbare Umwandlungsschritte repräsentieren und damit erstmals klare Begründungen für die „Lesrichtung" der jeweiligen Evolutionsreihen liefern. Seit der 1. Auflage des Posters sind viele neue Erkenntnisse hinzugekommen, und die Ergebnisse wurden mittlerweile molekularbiologisch bestätigt.

Das vorliegende Heft ist das Begleitheft zum Poster „Die Evolution der Tiere" in der 4. Auflage 2007. Zugleich gibt es den gesprochenen Text der Doppel-CD „Die Evolution" wieder. Der Fließtext des Heftes entspricht dem gesprochenen Text auf den beiden CD's, die Exkurse, Abbildungen und der Beitrag auf S. 46-47 sind Ergänzungen und dienen der Erläuterung des Posters.

Dr. Michael Gudo,
Geschäftsführer Morphisto GmbH

VORSCHAU

**Verlag:**
Khorshid Verlag, Frankfurt

**Herausgeber:**
Morphisto - Evolutionsforschung und Anwendung GmbH
Senckenberganlage 25, D-60325 Frankfurt am Main

**Autoren:**
*Hörbuchtext:* Dr. Manfred Grasshoff (S. 3 – 45)
*Exkurse & Abb.:* Dr. Manfred Grasshoff & Dr. Michael Gudo
*Kapitel 3:* Dr. Tareq Syed (S. 46 – 47)
**unter Mitarbeit von:**
Prof. Dr. Wolfgang Oschmann, PD. Dr. Joachim Scholz, Dr. Holger Granz, Prof. Dr. Dr. Mathias Gutmann, Dr. Tareq Syed

**Jahrgang:**
Jahrgang 2, Heft 7, Datum: 15.08. 2007,
Frankfurt am Main: Khorshid Verlag 2007, ISSN 1862-4839

**Erscheinung:**
Erscheint in unregelmäßigen Abständen,
Subskription: 6,50 EUR pro Heft
Einzelheft: 7,- EUR pro Heft

**Lektorat:**
Dr. Karin Afshar

**Externe Begutachtung:**
Dr. Jens L. Franzen, Dr. Gera Levit, Prof. Dr. Stefan D. Peters

**Layout, Satz und Grafik:**
STELZNER Illustration, 60323 Frankfurt am Main
www.stelzner-illustration.de

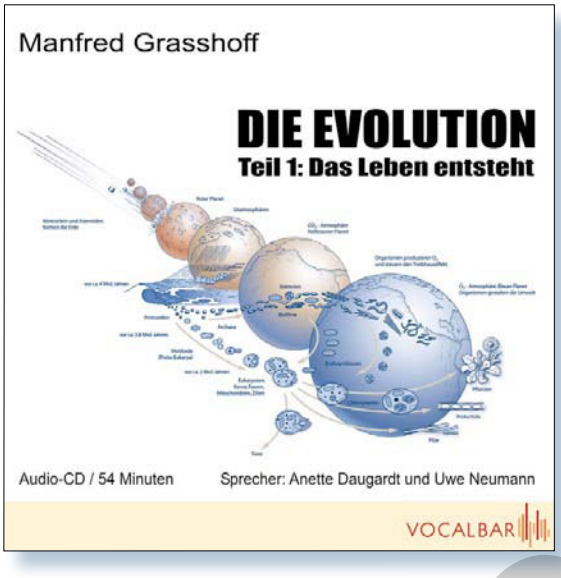
**Bezug:**
Morphisto GmbH, email: info@morphisto.de,
Internet: www.morphisto.de, Tel.: 0180 / 5226880-708

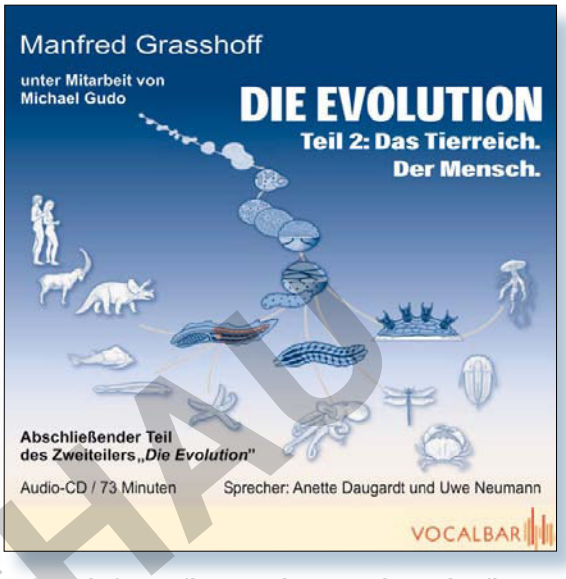
netzwerk lernen
© Morphisto - Evolution
zur Vollversion

MORPHISTO
Ausbildungs-Akademie

# 1. Die Evolution – Teil 1: Das Leben entsteht

Dr. Manfred Grasshoff, Senckenberg-Institut, Frankfurt am Main, e-mail: mgrasshoff@senckenberg.de




**Der folgende Beitrag ist der wörtliche Abdruck des Hörbuches „Die Evolution – Teil 1: Das Leben entsteht" und „Teil 2: Das Tierreich. Der Mensch.", von Dr. Manfred Grasshoff, erschienen im Vocalbar-Hörbuchverlag, 2007, ISBN: 978-3-939696-01-8. Der wörtliche Inhalt der CD wird ergänzt um Abbildungen mit Untertiteln und durch einige Exkurse, die weiterführende Informationen geben und sich auf das in der E. Schweizerbart'schen Verlagsbuchhandlung erschienene Poster „Die Evolution der Tiere", 4. Auflage 2007, ISBN: 978-3-510-61386-1, beziehen (siehe Abb. 6, S. 18).**

VORSCHAU

## Einleitung

Die Geschichte der Evolution ist einmalig. Die Tatsache, dass es im rauhen, kalten, lebensfeindlichen Universum einen kleinen Flecken gab, auf dem Leben entstehen konnte, scheint wie ein Wunder. Und doch wissen wir heute: Es spielte sich alles im Rahmen der Naturgesetze ab, es war eine Folge der Entstehung unseres Planetensystems und unserer Erde, es war kein übernatürliches Ereignis, welches gerade hier Leben entstehen ließ.

Über den Beginn der Welt und des Lebens hat der Mensch, dieses sinn- und grundsuchende Wesen, seit jeher nachgedacht. Viele der schönsten Erzählungen verdanken wir diesem Nachdenken. Vom Gaia-Mythos der Griechen, den Schöpfungsgeschichten des Alten Testaments, dem Gilgamesch-Epos, den Schöpfungs- und Entstehungsmythen der Indianer, der Inder, der Chinesen, bis zu den vielen tausend schriftlich und mündlich tradierten Sagen aller Völker: Sie alle versuchen in lyrischen oder epischen Worten zu erklären, wie die Welt, wie das Leben begann.

Die Geschichte, die wir hier erzählen, ist nüchterner. Sie ist die wissenschaftliche Sicht auf die Evolution, wie sie heute, im 21. Jahrhundert, gesehen wird. Hier geht es um Kausalitäten, Ursachen und Wirkungen, um chemische Elemente und um physikalische Gesetzmäßigkeiten. Es geht darum, wissenschaftlich plausible Gründe für Theorien darzulegen und Beweise für historische Sachverhalte zu liefern. Sie will sich damit nicht in Konkurrenz gegen die großen, die Menschheitsgeschichte prägenden Werke stellen – sie könnte es auch nicht. Die hier erzählte Geschichte möchte zeigen, wie das Phänomen Evolution heute gedeutet wird, und welche Wirkmechanismen man heute hinter ihr feststellen kann, mit einem Wort: Sie vermittelt ein zeitgemäßes Verständnis von Evolution und Evolutionstheorie.

netzwerk lernen
zur Vollversion

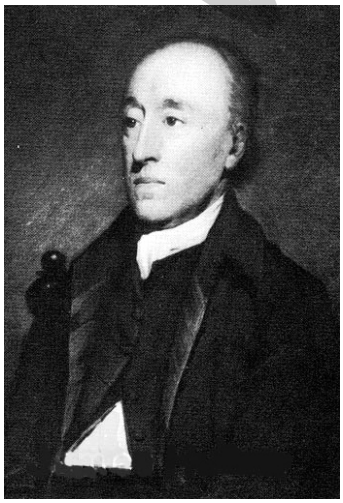
MORPHISTO
Ausbildungs-Akademie

## Was ist Evolution?

Mit dem Begriff Evolution bezeichnet man die allmähliche Veränderung der Lebewesen durch Generationen und Zeiträume. Durch die Veränderungen entstehen dauernd neue Lebensformen und andere verschwinden, sie sterben aus. Der ständige Wandel ist eine Natur-Tatsache, genauso, wie die Kugelgestalt der Erde oder die Tatsache, dass die Erde um die Sonne kreist. D.h. nicht, dass diese Tatsachen für die Menschheit immer klar waren, im Gegenteil, es hat lange gedauert, bis sie erkannt, und vor allem, bis sie allgemein akzeptiert waren.

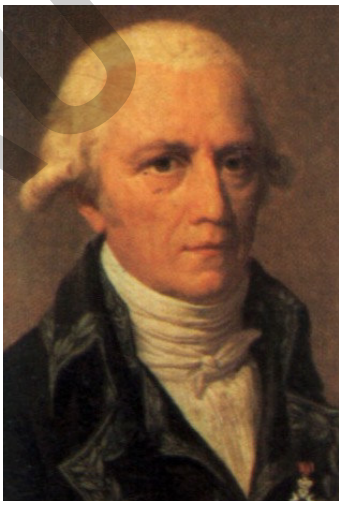
Dass die Erde die Gestalt einer Kugel hat, erkannte Thales von Milet schon vor circa 2500 Jahren, und man hielt sie für im Mittelpunkt der Welt stehend. Die Erkenntnis von Nikolaus Kopernikus, dass sich Erde und Planeten um die Sonne bewegen, setzte sich nur langsam und gegen erhebliche Widerstände durch, mit denen Galilei noch mehr als hundert Jahre später zu kämpfen hatte.

Ganz ähnlich entwickelte sich die Erkenntnis nur langsam, dass ständiger Wandel, dass Evolution eine Naturerscheinung ist. Zwar gab es Evolutionsgedanken schon immer; sie waren aber mythischer oder religiöser Art. Erst in der Mitte und zu Ende des 18. Jahrhunderts wurden Beobachtungen in der Natur mit allmählicher langfristiger Veränderung erklärt. Im Jahr 1756 (dem Geburtsjahr Mozarts) deutete der schottische Naturforscher James Hutton die in Gebirgen gefundenen Meeresmuscheln und -schnecken damit, dass die Gesteine allmählich gehoben und dann wieder in die Tiefe sinken würden; er nahm einen Kreislauf der Gesteine an, d.h. eine zyklische Evolution. Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass das den Widerspruch kirchlicher Kreise hervorrief; solche Gedanken liefen ihren Vorstellungen zuwider, die eine Entwicklung in einer Richtung annahmen, nämlich von der Schöpfung hin zum Weltende.



James Hutton

Es war der Biologe Jean Lamarck, der erstmals in einer umfangreichen Schrift, seiner „Philosophie zoologique“ von 1809, für das Tierreich den Gedanken einer durchgehenden Evolution vortrug. Lamarck kann zu recht als der Begründer der Einsicht gesehen werden, dass alle Tiere durch allmähliche Veränderung, durch Evolution, entstanden sind. Lamarck war in erster Linie Zoologe und schrieb deswegen über Tiere, aber es versteht sich, dass das Gleiche für alle Lebewesen einschließlich der Pflanzen gilt.



Jean Baptiste Lamarck

Lamarck kam zu früh, seine Einsicht setzte sich nicht durch. Seine Zeitgenossen und Widersacher, allen voran sein Kollege am Museum Paris, Georges Cuvier, konnten in den Tieren nur festgefügte Baupläne sehen, an denen jede Veränderung zum Kollaps führen müsste. Vor allem Cuvier sah sich durch seine Untersuchungen an den Fossilien bestätigt, die in reicher Anzahl gefunden und in die wissenschaftlichen Institute gebracht wurden.

Der gesellschaftliche Durchbruch der Erkenntnis, dass Evolution ein Naturvorgang ist, kam erst mit Charles Darwin. Und vermutlich wäre auch sein Werk, „The Origin of Species – Der Ursprung der Arten“ von 1859, nur wissenschaftlichen Kreisen eine Beachtung wert gewesen, hätte Darwin nicht

VORSCHAU


zur Vollversion

**Exkurs: RNS und DNS – die genetische Grundlage des Lebens**
Während dieser frühen Entwicklungsschritte hin zu den Bakterien ist auch bereits die genetische Grundsubstanz entstanden. Sie liegt als einfacher Strang (Ribonukleinsäure (RNS)) und als Doppelstrang (Desoxyribonukleinsäure (DNS)) vor und wird als „Erbsubstanz" bezeichnet. Die Nukleinsäureketten tragen die Bauanleitung für die verschiedenen Proteinketten, die im Stoffwechsel von Bedeutung sind. Bei den Bakterien liegt dieser Strang frei, bei den Eukarya wurden die DNS-Stränge um Proteine gewickelt und von einer weiteren Membran umschlossen, auf diese Weise entstand ein Kern, in dem fortan das genetische Material in Form von Chromosomen verwahrt wurde.

**Exkurs: Biofilme**
Über 90% aller Prokaryoten leben auf Gesteinsoberflächen. Hier tendieren ihre Schleimschichten dazu, sich zu dünnen Schichten, sogenannten Biofilmen, zu vereinen. In solchen Biofilmen können Zyklen des Auf- und Abbaus organischer Substanzen ablaufen – mithin des Stoff- und Energiewechsels. Verfangen sich in dem Schleim Sedimentpartikel oder fällen die Zellen aktiv Kalk aus, dann kann ein geschichtetes und mikrobiell erzeugtes Gestein entstehen, ein sogenannter Stromatolith. Stromatolithen gibt es im Meer sowie in Flüssen und Seen als Sinterkalke. Sie sind fossil gut überlieferungsfähig. Die ersten Stromatolithen und zugleich die ersten (mikrobiellen) Riffe sind 3,5 Milliarden Jahre alt; sie wurden in der westaustralischen Wüste gefunden – an einem Ort namens *North Pole*. Biofilme bilden sich auch heute auf festen Oberflächen. Es sind neben Bakterien vor allem einzellige Eukaryoten unterschiedlicher Art beteiligt.

über die Jahrmillionen erschöpft. Nachschub kam jedoch von jenen Bakterien und Archaea, die aus anorganischen Stoffen ihre Energie gewinnen und organische Stoffe synthetisieren konnten. Es waren diejenigen, die Schwefelwasserstoff und Methan freisetzten, und von denen einige Bautypen heute noch leben.

Im Archaikum gab es, wie schon gesagt, keinen freien Sauerstoff. Deswegen konnten sich viele oxidierbare Stoffe halten, d.h. Stoffe, die sich mit Sauerstoff verbunden hätten. Und daher konnte sich auch das Methan, das von Bakterien produziert wurde, in der Atmosphäre anreichern. Es verstärkte den Treibhaus-Effekt, der ohnehin schon durch andere Gase bewirkt wurde, vor allem durch das Kohlendioxid, das $CO_2$.

**Chlorophyll / Photosynthese**
Es war deswegen ein Entwicklungsschritt von weitreichenden Folgen, dass sich Bakterien entwickelten, deren Stoffwechsel Sauerstoff freisetzt: die Cyanobakterien. Sie konnten Chlorophyll aufbauen, den grünen Farbstoff, den wir aus Pflanzen kennen. Cyanobakterien leben heute noch, und vor allem ihre Nachfahren leben, denn sie sind die Träger des Chlorophylls in den Pflanzenzellen. Noch einmal reformuliert: Die Cyanobakterien produzieren Sauerstoff, ohne sie gäbe es keinen freien Sauerstoff auf der Welt (siehe Abb. 3).

Schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt, vor mindestens 3,8 Milliarden Jahren, setzte die Tätigkeit der Cyanobakterien ein. Es wurden zunehmend größere Mengen organischer Substanz produziert und ebenso gewaltige Mengen von Sauerstoff in die Atmosphäre entlassen, ein Vorgang, der bis heute anhält, und der heute von den Pflanzen bewerkstelligt wird.

Nun ist Sauerstoff allerdings eine höchst aggressive Substanz: Er verbindet sich mit vielen Stoffen, d.h. er oxidiert sie und wandelt sie somit um. Die meisten im Archaikum lebenden Bakterien und Archaea waren ihm gegenüber schutzlos; für sie war Sauerstoff ein tödliches Gift. Wir würden ihn mit heutigen Begriffen als gefährliches Umweltgift bezeichnen. Allerdings wurde er damals als

VORSCHAU



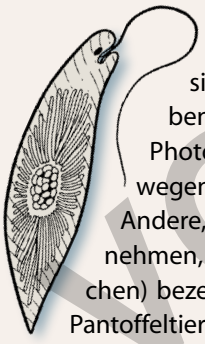
netzwerk lernen
zur Vollversion

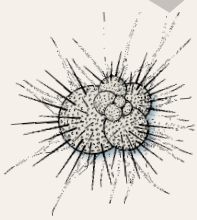
MORPHISTO
Ausbildungs-Akademie

**Zum Poster: Die Vielfalt der Eukaryoten – Ouverture der Vielzelligkeit**

Die Eukaryoten haben vor etwa 2 Milliarden Jahren eine Vielzahl von Evolutionslinien hervorgebracht. Die einzelnen Bautypen unterscheiden sich noch heute in ihren Zellbestandteilen, der Art wie sie Nahrung gewinnen, wie sie sich teilen und wie sie wachsen. Wir unterscheiden heute 3 Domänen: Archaea, Bakteria und Eukarya. Innerhalb letzterer gibt es Protoctista, Pilze, Pflanzen und Tiere.

Archaea und Bakteria wurden im Haupttext besprochen. **Protoctista** ist ein Sammelbegriff für viele Evolutionslinien mit sehr unterschiedlichen Bautypen. Sie alle teilen ihre Zellen vollständig und mittig durch, indem sich die Wand einschnürt. Bei vielen Bautypen trennen sich die Zellen, sie leben als **Einzeller**. Die Menge der Einzeller, die Vielzahl der Arten und die Masse ihrer Gesamtsubstanz sind unüberschaubar. Viele haben Chloroplasten, betreiben Photosynthese und werden deswegen einzellige Pflanzen genannt. Andere, die Partikel als Nahrung aufnehmen, werden als Protozoen (Urtierchen) bezeichnet; abgebildetet sind ein Pantoffeltierchen, ein Geißeltierchen und eine Foraminifere. Die mikroskopisch kleinen Protoctista sind, zusammen mit Pilzen und Bakterien, zu Wasser und Land nahezu allgegenwärtig. Wie die oben genannten Bakterien können auch viele von ihnen zu dünnen Lagen, Biofilmen, zusammentreten, in denen Stoffwechsel-Austausch und Wachstum stattfinden, und die Ausgangspunkt für größeren Aufwuchs auf festen Oberflächen sein können.





Bei manchen bleiben die Zellen durch gallertige Substanzen verbunden, die sehr fest werden können (im Poster als Zellen-Faden dargestellt). Unter ihnen finden sich sehr große, sehr differenzierte Formen, wie die großen Braunalgen, die Tange der Meere, oder die Rotalgen und viele Grünalgen.

Die **Pflanzen**, einzellige und mehrzellige jeglicher Art, verdanken ihre Existenz der Endosymbiose mit Cyanobakterien, die sich nur wenig wandelten. Sie wurden zu den Chlorophyll-Trägern, den Chloroplasten. Die Photosynthese mit Hilfe des Chlorophylls hat danach nie mehr aufgehört, und heute produzieren die Pflanzen die Hauptmasse der organischen Substanz, die von ihnen selbst und anderen Organismen als Nahrungs- und Baustoff verwendet wird.

Die Landpflanzen (im Poster ein Gänseblümchen) und die Armleuchteralgen haben eine spezielle Art des Wachstums. Ihr Zellkern teilt sich, die Zelle vergrößert sich und zieht eine in ihrem Inneren produzierte durchlöcherte Platte (Siebplatte) ein, sodass auf jeder Seite ein Kern zu liegen kommt. Die Landpflanzen nehmen mit dieser unvollständigen Zellteilung gegenüber den anderen Eukaryoten eine Sonderstellung ein. Die aus der Photosynthese reichlich vorhandenen Zucker werden zu Zellulose zusammengefügt. Sie ermöglicht dicke Zellwände und stabile Aufbauten.

**Pilze** sind entgegen früherer Vorstellung keineswegs Pflanzen. Sie haben Zellwände aus Chitin und greifen tote oder lebende Organismen chemisch an, zersetzen sie außerhalb ihres Körpers, und nehmen die gelösten Stoffe auf.

Es ist die Auffälligkeit der großen Pflanzen und Tiere in unserem Lebensbereich, die sie uns so wichtig erscheinen lassen. Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass es die gewaltigen Massen der Einzeller, der Pilze, und vor allem der Bakterien einschließlich der Cyanobakterien-Abkömmlinge in den Pflanzen sind, die ständig den wesentlichen Teil der Stoffwechsel-Aktivitäten auf der Erde tragen. Sie treiben die „Megamaschine des Lebens“ an und erhalten damit die Biosphäre.

VORSCHAU

netzwerk lernen
© Morphisto - Evolution
zur Vollversion

MORPHISTO
Ausbildungs-Akademie

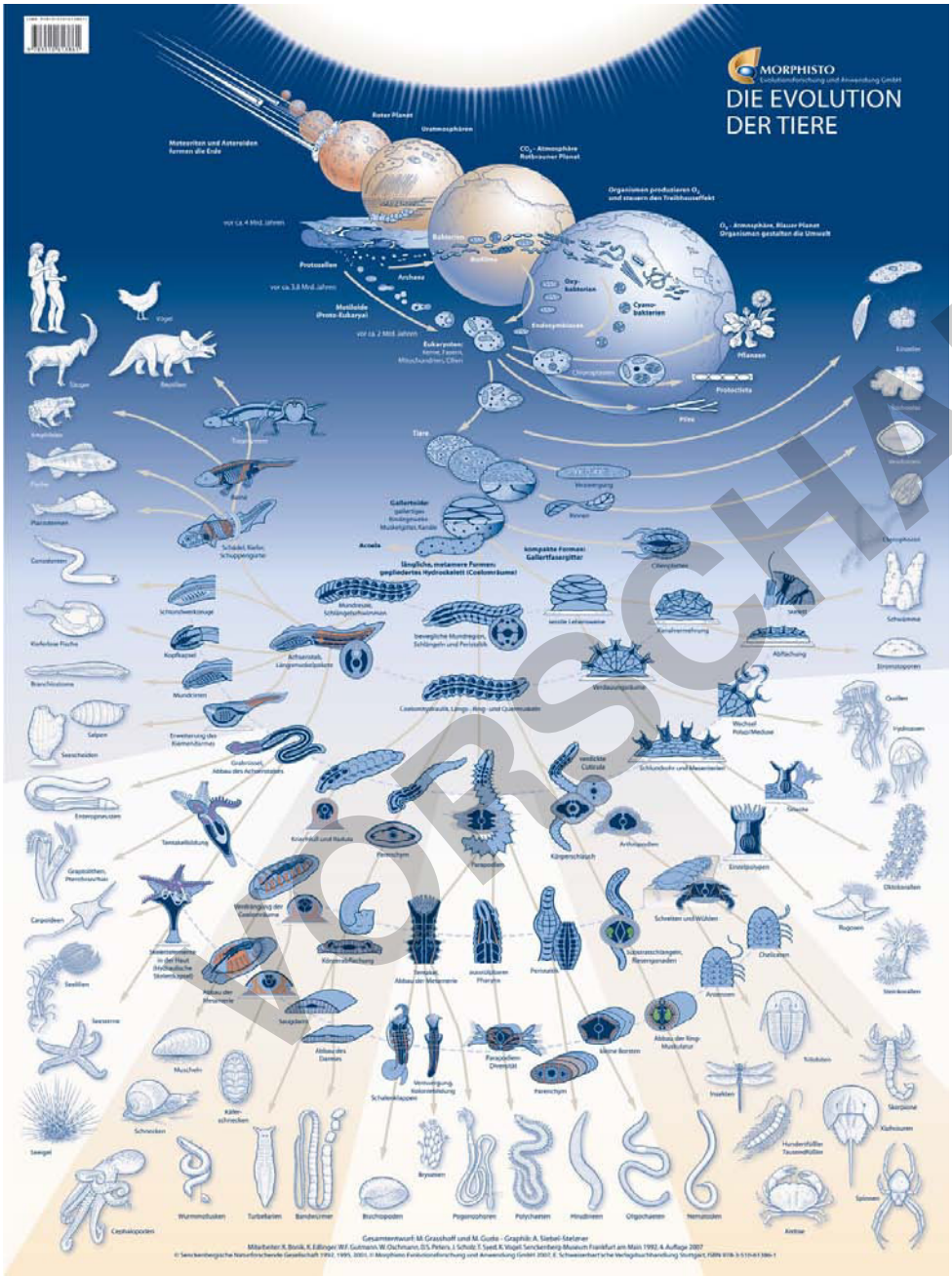



**Abb. 6: Poster „Die Evolution der Tiere“, 4. Auflage 2007. Der obere Bildteil zeigt die Entwicklung der Erde und der ersten Organismen. Die Entstehung des Lebens auf der Erde ist aus der planetarischen Entwicklung zu erklären. Da unsere Betrachtung im Wesentlichen der Evolution der Tiere gilt, stehen die urtümlichen ersten Tiere im Zentrum. Von ihnen gehen Evolutionslinien aus, die sich weiter verzweigen. Konstruktionszeichnungen zeigen die wichtigsten Schritte der Umwandlungen, die zum größten Teil bereits abliefen, bevor die reichliche Fossilüberlieferung im Kambrium einsetzte. Die Linien enden bei den heute lebenden und den fossilen Tieren; sie sind in naturalistischer Weise gezeichnet, da sie die real existierenden Repräsentanten am Ende der Entwicklungslinien sind. Sie stehen im Kontrast zu den modellhaften Ableitungen und Konstruktions-Darstellungen. Alle heutigen Organismen sind gleich weit vom ursprünglichen Zentrum entfernt und alle sind in ihrer Weise hoch entwickelt. Die traditionelle anthropozentrische, d.h., auf den Menschen bezogene Weltsicht, mit der sich der Mensch an die Spitze eines von unten nach oben, vom Niederen zum Höheren wachsenden Stammbaumes stellt, ist verlassen.**

VORSCHAU

netzwerk lernen
© Morphisto - Evolution
zur Vollversion

MORPHISTO
Ausbildungs-Akademie

**Zum Poster:**
**Kammquallen, Schwämme, Stromatoporen, Korallen, Medusen**

**Ctenophoren**

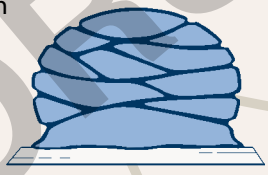
Die Kamm- oder Rippenquallen (Ctenophora) haben noch viel Ähnlichkeit mit den Gallertoiden, denn ihr voluminöser Körper besteht durchweg aus faseriger Gallerte. Zwei Tentakel fangen mit Hilfe spezieller Zellen die Nahrung. Gegenüber der Ausgangskonstruktion steigerten sich Schwimm-Leistung und Richtungs-Steuerung enorm, indem sich die **Cilien als Platten** („Cilien-Kämme") in acht Bändern (Rippen genannt) anordneten; (je größer der Körper, desto weniger wirksam ist der Schlag gleichmäßig verteilter Cilien zur Fortbewegung). Damit konnten die Tiere eine weit über die urtümlichen schwimmenden Gallertoide hinausgehende Körpergröße erreichen; man könnte sie als die auf Schwimmen spezialisierten Giganten der Gallertoide bezeichnen.

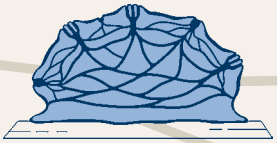
**Sessile Gallertoide**

Andere Gallertoide schlugen einen den Ctenophoren entgegengesetzten Weg ein, sie wurden sessil, d.h. sie setzten sich auf Dauer am Untergrund fest und bewegten das Wasser durch ihre Kanäle hindurch, anstatt sich selbst durch das Wasser zu bewegen. Für diese sessilen Gallertoide gab es zwei Optionen zur weiteren Entwicklung: die Kanäle zu vermehren oder sie zu erweitern.

**Schwämme**

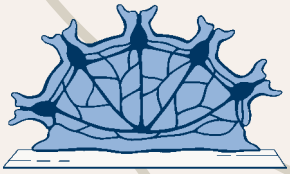
Auf der Evolutionsbahn hin zu den Schwämmen wurden die **Kanäle vermehrt**, wodurch sie immer mehr Feinpartikel fingen. Die Kanäle ordneten sich in einer solchen Weise an, dass kleine Einstrom- und große Ausstrom-Öffnungen entstanden. Zum Antrieb des Wasserstroms differenzierten sich zentral gelegene Zellen. Ihre Cilie wuchs zu einer langen Geißel, und um sie herum verlängerten sich die ursprünglich kurzen Zellfortsätze, so dass sie die Geißel jetzt wie einen Kragen umgeben. Diese „Kragengeißelzellen" fangen auch allerfeinste Partikel ein. Das Gerüst aus verfestigten Kollagenfasern und Elementen aus Kalk oder Kiesel stützt den Körper, Muskelzellen gibt es nicht. Schwämme sind hocheffiziente Feinfilter-Konstruktionen. Sie haben sich eine unerschöpfliche Nahrungsquelle in den Ozeanen erschlossen: mikroskopisch kleine Partikel und Bakterien. Schwämme leben sogar in regelrechten Symbiosen mit ihnen zusammen.


sessile Lebensweise

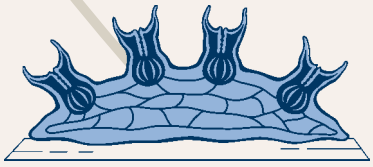

Kanalvermehrung

Skelett

Abflachung


Verdauungsräume

Wechsel Polyp/Meduse


Schlundrohr und Mesenterien

VORSCHAU

netzwerk lernen
© Morphisto - Evolution
zur Vollversion