

### Vorwort des Herausgebers

Das Poster „Evolution der schwimmenden Vierfüßer“ ist das zweite aus der Evolutions-Posterreihe, die wir herausgeben. Es geht zurück auf Arbeiten von WOLFGANG F. GUTMANN am Forschungsinstitut Senckenberg und wurde von HERMANN SCHÄFER entworfen. Die endgültige Umsetzung führte Frau ANTJE SIEBEL-STELZNER durch. Der hier abgedruckte Text ist eine aktualisierte und erweiterte Fassung eines Artikels von W. F. GUTMANN, der 1994 in der Zeitschrift *Natur und Museum* erschienen ist.

Das Poster zeigt die Evolution schwimmender Vierfüßer, also hochspezialisierter Wirbeltiere. Dabei geht es weniger darum, dass die meisten landlebenden Wirbeltiere prinzipiell noch schwimmen können, sondern um die Möglichkeiten des jeweiligen Körperbaus zu weiterem evolutionären Wandel. Deswegen sind die evolutiven Abfolgen von Körperkonstruktionen auf verschiedenen Evolutionsbahnen dargestellt. Wenn sich Vierfüßer das Wasser als Lebensraum erschlossen, so tat es „ein jeglicher nach seiner Art“. Um solche Entwicklungen verstehen zu können, werden biomechanische Begründungen in den Vordergrund gestellt; das Argumentieren mit „Umweltanpassungen“ würde hier nicht weiter helfen. Die Evolutionsgeschichte macht deutlich, dass Tiere als autonome, selbstbewegende Konstruktionen aktiv in neue Lebensräume vordringen und „Anpassungen“ eine nachgeordnete Feststellung sind. In allen vier landlebenden Wirbeltiergruppen – Amphibien, Reptilien, Vögel, Säuge-

tiere – gab es Entwicklungen zu einem Leben im Wasser. Bei dieser „Rückkehr“ ins Wasser wurden vorhandene, je nach Verhalten genutzte Optionen intensiver eingesetzt. Im hier vorgelegten Begleitheft wird dieser Zusammenhang zwischen „Vorkonstruktion“ und „Folgekonstruktion“ ausführlich anhand verschiedener Beispiele erläutert.

Jedem der Evolutionsfelder des Posters entspricht eine Körperkonstruktion mit ihrer spezifischen Bewegungsweise (im Poster als helle Illustrationen); der weiße Pfeil zeigt in die Schwimmrichtung, die schwarzen Pfeile verweisen darauf, durch welche Bewegungen der Vortrieb beim Schwimmen erzeugt wird.

Da das Poster auch Stadien der vorangegangenen Landerobertung der Vierfüßer zeigt (den berühmten Quastenflosser sowie ein nicht näher spezifiziertes Ur-Amphibium), haben wir ein Ergänzungskapitel zum Landgang der Wirbeltiere angefügt. Hier hat es in den letzten Jahren einige spektakuläre neue Fossilfunde gegeben, insbesondere die 2006 beschriebene Zwischenform *Tiktaalik roseae*. Allerdings hatten sich kurz zuvor einige althergebrachte Lehrbuchvorstellungen zum Landgang der Wirbeltiere grundlegend verändert, und es ist interessant zu sehen, wie sich mit neuen „Hintergrundhypothesen“ auch die Interpretation des vorliegenden Fossilbefundes ändert.

Dr. Michael Gudo,  
 Geschäftsführer Morphisto GmbH

#### Verlag:

Khorshid Verlag, Frankfurt

#### Herausgeber:

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

#### Autoren:

Dr. Michael Gudo, Prof. Dr. Mathias Gutmann  
 Dr. Tareq Syed (S. 16-17, & S. 32-33)

#### unter Mitarbeit von:

Dr. Holger Granz, PD Dr. Joachim Scholz, Dr. Martin A. Thomas

#### Jahrgang:

Jahrgang 3, Heft 8, Datum: 30.04.2008,  
 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. Wolfgang Oschmann,  
 Prof. Dr. D. Stefan Peters

#### Layout, Satz und Grafik:

STELZNER Illustration, 60323 Frankfurt am Main

#### Bezug:

Morphisto GmbH, email: info@morphisto.de,  
 Internet: www.morphisto.de, Tel.: 069 / 2602 5414

# 1. Evolution der schwimmenden Vierfüßer – Parallelentwicklungen für die Fortbewegung im Wasser

Dr. MICHAEL GUDO & Dr. Dr. MATHIAS GUTMANN, Frankfurt am Main, e-mail: mgudo@morphisto.de

## Vorbemerkung

**Dieser Beitrag ist eine inhaltliche Überarbeitung und Erweiterung der Publikation von WOLFGANG F. GUTMANN (1994): Konstruktionszwänge in der Evolution: schwimmende Vierfüßer, Natur und Museum 124(6), S. 165-188. Das zu diesem Beitrag gehörende Poster geht auf einen Entwurf von WOLFGANG F. GUTMANN und HERRMANN SCHÄFER zurück.**

## Einleitung

Evolution ist nach neuerer Auffassung nicht nur eine Anpassung an Umweltbedingungen und die hierauf beruhende Selektion bestimmter „tüchtiger“ Varianten von Organismen. Auch ohne Umweltveränderung erfolgt Evolution als komplexer und dynamischer Prozess der kontinuierlichen Umwandlung von Organismen. Dieser Wandel lässt sich auf verschiedenen Ebenen beschreiben und untersuchen. So lassen sich etwa die morphologische Ebene, d.h. der Wandel von Körpergestalten und -merkmalen, die molekulare Ebene, d.h. der Wandel der Erbsubstanz, die ethologische Ebene, d.h. der Wandel der Verhaltensweisen, und die konstruktionselle Ebene, d.h. der Wandel der funktionierenden Körperkonstruktionen, unterscheiden.

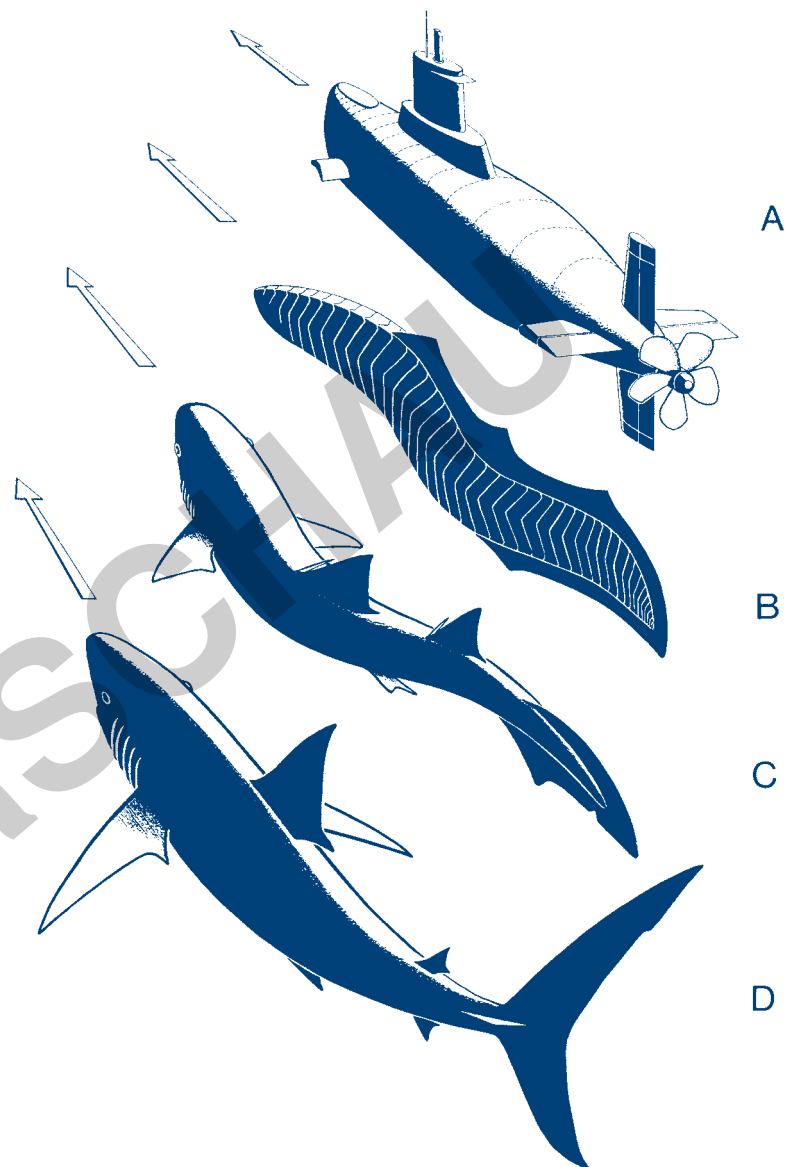
Es festigt sich außerdem die Einsicht, dass evolutionärer Wandel nicht völlig beliebig ablaufen kann, sondern dass komplexe Wechselbeziehungen zwischen den zuvor genannten Ebenen bestehen. Beachtet man die organismischen Internbedingungen, d.h. den Bauplan als ein biomechanisch beschreibbares Gefüge und vielstufigen Energie-wandler-Apparat, so wird im Detail begründbar, dass evolutionärer Wandel nicht gänzlich ungerichtet und zufällig sein kann. Aus dieser Sicht ist eher festzustellen, dass Naturgesetze aus Physik und Chemie Richtung und Verlauf der Evolution in ähnlich restriktiver Weise bedingen, wie – in der Analogie – die Schwerkraft Wasser grundsätzlich in Richtung auf das Gravitationszentrum fließen lässt. Solche Zwangsführungen oder *Restriktionen* des evolutionären Wandels zu untersuchen ist eine zentrale Aufgabe der Evolutionsforschung.

Die methodische Grundlage für diese Art der Evolutionsforschung, die sich gezielt mit den Restriktionen der evolutionären Veränderung auseinandersetzt, wird seit vielen Jahrzehnten im Rahmen der „Frankfurter Evolutionstheorie“ entwickelt. In Heft 6 dieser Reihe wurde die Frankfurter Theorie ausführlich vorgestellt. Ihre Stärke liegt vor allem darin, als Instrument für die Evolutionsgeschichtsforschung zu dienen. Mit Hilfe der Frankfurter Evolutionstheorie und der dieser Theorie zugrunde liegenden Methode der „Konstruktions-Morphologie“ ist es möglich, evolutionäre Szenarien zu rekonstruieren, die Übergänge plausibel nachzuzeichnen und zu begründen, warum bestimmte Entwicklungen möglich waren und andere nicht. Evolutionsforschung bedeutet vor diesem neuen Hintergrund, zu zeigen:

- (1) dass Evolution durch interne Prinzipien in Aufbau und Funktion der Organismen auf Bahnen gezwungen ist und war, und keine Beliebigkeit im Wandel zulässt.
- (2) welche der von jeweiligen konstruktiven Voraussetzungen aus denkbaren Entwicklungswege tatsächlich beschritten wurden.
- (3) dass ein Verständnis der konstruktionsellen Wandlungen zu einem Verständnis des Evolutionsprozesses auf einer übergeordneten Ebene führt.

Aus diesen Prämissen hat Wolfgang GUTMANN die radikale, der GOULDSchen Kontingenzhypothese widersprechende These abgeleitet: wenn die Evolution erneut ablief, dann wären vom Prinzip ähnliche – wenn auch nicht identische – Ergebnisse zu erwarten. Es würden also auch bei einem Neu-Ablauf der Evolution wieder Schwämme (frühe Filtrierer) und Hohltiere (Gastralhydraulik-Konstruktionen) entstehen, ebenso Arthropoden (Außenskelett-Konstruktionen) in Form von Insekten und Krebstieren, Würmer in Form gegliederter Hydroskelettkonstruktionen und fischartige frühe Wirbeltiere (Achsenstab-Konstruktionen) aus schlängelschwimmenden, wurmartigen Vorläufern.

Die Tatsache, dass Fische zwei Paar Flossen haben, ist somit ingenieurstechnisch begründbar, weil das koordinierte Schwimmen solcher Konstruktionen im Wasser eben nur auf diese Weise zu bewerkstelligen ist. Die Erklärung für die evolutionäre Entstehung dieser zwei Flossenpaare ist zusätzlich auf der biologischen Ebene zu finden: Mit der Evolution von Kiefern zur Aufnahme von Nahrung entstand schon bei den ersten Fischen die Möglichkeit, geformte, feste Nahrung aufzunehmen, Stücke von größeren Körpern abzutrennen und Beute zu fangen. Damit verbunden war dann aber die Notwendigkeit, die Kiefer in eine Raumposition zu bringen, in der sie die Nahrungsobjekte packen konnten, d.h. der Kopf mit den Kiefern musste leicht und ohne viel Kraftaufwand beweglich sein. Der Fisch muss also in der Lage sein, den Saugschnappmechanismus so einzusetzen, dass Nahrungspartikel zusammen mit dem eingesaugten Wasser in das Maul mitgerissen werden. Hierzu muss der Kopf – relativ zum Körper – plaziert werden,



**Abb. 1:** Organismen werden in der Frankfurter Konstruktionstheorie als Energiewandler und mechanisch arbeitende Konstruktionen verstanden. Dies bedeutet, dass sie in ihrer Leistung wie Maschinen beschrieben werden. A: Technische Maschinen, wie das dargestellte U-Boot, haben in ihrem Inneren Motoren als energiewandelnde Antriebsaggregate. Im kohärenten Gefüge, also der mechanisch belastbaren Rahmenkonstruktion, wird durch kraftschlüssige Wirkgefüge die in den Motoren erzeugte Kraft auf die Propeller weitergeleitet. Der Energiewandlerapparat nimmt immer nur einen kleinen Teil der Konstruktion ein, die Antriebsapparatur ist von den übrigen Konstruktionsteilen getrennt. Im Gegensatz zu technischen Konstruktionen sind lebende tierische Konstruktionen von der Anlage her grundsätzlich Totalpropulsoren; dies zeigt das Beispiel des schlängelnden Lanzettfischchens (B). Energiewandlung und Wirkung auf die Außenwelt erfolgt im gesamten Körper. C, D: Mit der Entwicklung effektiverer Konstruktionen kann die Antriebskraft stärker auf gesonderte Antriebs-Propeller, abgegrenzte Flossen, übertragen werden; D: eine Hai-Konstruktion ist dargestellt, bei der die lunate (= vertikal gestreckte) Schwanzflosse nahezu den gesamten Antrieb liefert, der Körper aber die strömungsgünstige laminarspindelförmige Gestalt aufweist, wie sie auch bei den meisten schwimmenden Tetrapoden ausgebildet ist.

## Tetrapoden

Tetrapoden werden üblicherweise als „angepasst“ an das Landleben beschrieben. Ihre Beine sind dieser Annahme zur Folge Körperanhänge, die überwiegend zum Laufen dienen. Umso bemerkenswerter ist es, dass zahlreiche Tetrapoden unabhängig voneinander wieder in das Wasser zurückgekehrt sind, bzw. ihre eigentlich an das Landleben angepasste Körperkonstruktion auch ganz vortrefflich im Wasser nutzen können. Gäbe es keine Fossilien von landlebenden Tetrapoden und gäbe es auch keine heutigen landlebenden Tetrapoden, dann müßte man im Rahmen der klassischen Biologie behaupten, dass Tetrapoden an das Leben im Wasser vorzüglich angepasst seien. Man sieht hieran ein grundsätzliches Problem eines solchen adaptionistischen Denkens. Das, was man in einem Lebensraum kennt, gilt als angepasst an diesen Lebensraum, ob diese Anpassung aber nur die „Nutzungsvariante“ einer Körperkonstruktion darstellt, kann mit der rein beschreibenden Betrachtungsweise, die die Funktionierensweisen ausblendet, nicht ermittelt werden.

Eine weitere, verbreitete Ungenauigkeit besteht darin, die Beine als die eigentlichen Vortriebsorgane, oder „Laufeinrichtungen“ zu bezeichnen. Die Beine übertragen aber zu einem großen Teil die Bewegungen des Körperstammes (i. d. R. Schlingeln des Rumpfes) auf das Substrat. Sie haben sich aus den vormaligen Steuerungseinrichtungen entwickelt, die ebenfalls dazu dienen, Muskelkräfte des Körpers in einer solchen Weise auf das Medium zu übertragen, dass die Körpersteuerung effizienter wurde. Der Antrieb erfolgte durch die Propulsion des gesamten Körpers, d.h. durch die Biegungen des Körpers mit Hilfe der längs orientierten Muskelpakete. Auch Tetrapoden bewegen sich dadurch vorwärts, dass ihr gesamter Rumpf bewegt, genauer gesagt, gebogen wird, und zwar entweder in seitlich schlingelnder Weise, wie bei den Reptilien, oder in dorso-ventraler Weise (= galoppierend, „Auf und Ab“)

wie bei den Säugetieren. Tetrapoden sind somit ebenfalls Total-Propulsoren, der gesamte Körper hat an der Bewegung teil.

Berücksichtigt man nun diesen Umstand, so ist das Augenmerk nicht auf die Vielfalt von schwimmenden Tetrapoden, wie Ichthyosaurier, Mesosaurier, schwimmende Krokodile, Wale, Seekühe und Robben zu richten, sondern der Antriebsapparat der Tetrapoden als wirkende Konstruktion ist zu untersuchen, und es ist zu zeigen, wie diese Grundkonstruktion durch leichte Abwandlungen in einer Vielzahl von Umweltbedingungen genutzt werden kann. Wir werden sehen, dass die allermeisten Tetrapoden die Fähigkeit des Schwimmens beibehalten haben. Weder ist „Schwimmen“ eine Anpassung an das Wasser, noch ist „Laufen“ eine Anpassung an das Landleben (wie leicht einzusehen, hängt dies an der unregelmäßigen, eher lebensweltlichen Verwendung der Ausdrücke „laufen“ und „schwimmen“; wir bezeichnen damit nämlich summarisch zahlreiche – im biologischen Sinne – wohlunterscheidbare Bewegungsformen). Tetrapoden stellen vielmehr Körperkonstruktionen dar, denen grundsätzlich ein breites Spektrum von Möglichkeiten der Aktion, vor allem des Antriebs offensteht, nicht nur an Land, sondern auch im Wasser und – wenn man an die hochspezialisierten Konstruktionen der Vögel und Fledermäuse denkt – sogar in der Luft. Sie sind also gar nicht an das Landleben oder einen anderen Lebensraum angepasst, sondern sie dringen vielmehr nach Maßgabe des Leistungsspektrums ihrer Körperkonstruktion in verschiedene Lebensräume ein. Welche konkreten Möglichkeiten vorliegen, erschließt sich nicht aus der Beobachtung, in welchen Lebensräumen welche Organismen vorzufinden sind, sondern kann nur aus der Organisation ihrer Konstruktion heraus begriffen werden.

Das Besondere der Tetrapoden besteht darin, dass sie in der Lage sind, besonders effektiv an Land sich fortzubewegen. Übergang ins Wasser bedeutet dann, dass nur eine vorhandene, meist auch schon längst genutzte Option intensiver eingesetzt wird.

**Exkurs: Homologe und analoge Merkmale: Parallelismen, Konvergenzen, Homoiologien**

Für merkmalsbasierte Rekonstruktionen der Phylogenese ist die Unterscheidung von „echten“ und „unechten“ **Homologien** ein zentrales Problem. Der Homologie-Begriff geht auf den britischen Paläontologen und Anatom R. OWEN zurück und wurde 1843 von diesem wie folgt eingeführt: „Homolog sind dieselben Organe bei verschiedenen Tieren unter jedweder Variation von Form und Funktion.“ (Im Original: „Homologue: The same organ in different animals under every variety of form and function.“) Heutzutage werden nicht nur Organe, sondern auch deren Substrukturen (z.B. Gewebe, Zelltypen) bis auf die molekulare Ebene unter dem Homologie-Aspekt untersucht, um Verwandtschaftsverhältnisse zwischen Organismengruppen zu begründen. Als primäre Hinweise auf eine „echte“ Homologie morphologischer Merkmale gelten eine vergleichbare Lage im organisches Gefüge bzw. „Bauplan“ der miteinander verglichenen Lebewesen. Diese Lagegleichheit (Homotopie) gilt zumeist als wichtigstes Homologiekriterium, während für andere Autoren die strukturelle Ähnlichkeit (Homomorphie, manchmal auch Isomorphie) entscheidender ist. Bei Vergleichen von DNA- und RNA-Sequenzen, also der molekularbiologischen Evolutionsforschung, steht die strukturelle Ähnlichkeit deutlich im Vordergrund.

Aus der oben zitierten Definition von OWEN geht bereits hervor, dass homologe Merkmale im Laufe der Evolution sehr unähnlich werden können, und dies bis zu einem Grad, dass sie kaum oder gar nicht mehr als ursprünglich identische Strukturen in einem gemeinsamen Vorläufer erkannt werden können. Man spricht hier von divergenter Entwicklung (Abb. 6, Nr.1), häufig auch von „Derivaten“, wenn z.B. nur noch umgewandelte Teile der Ausgangsstruktur erhalten sind. Z.B. gilt der Kieferapparat der Gnathostoma („Kiefermäuler“, kiefertragende Wirbeltiere) als Derivat der Kie-

menbögen sehr früher Wirbeltiere, da die Elemente des Kieferapparates homolog zu urtümlichen Kiemenbogenelementen sein sollen.

Die Begriffe „**Homologie**“ und „**Divergenz**“ dienen sozusagen als Vorlage für die Bezeichnung ihrer Gegenteile, der „**Analogie**“ und der „**Konvergenz**“. Analoge oder konvergente Strukturen gehen demzufolge nicht auf eine erbgleiche Vorläuferstruktur zurück, sie sind sich aber so ähnlich (nach Lage, Beschaffenheit usw.), dass man sie trotzdem für Homologien halten könnte (Abb. 6, Nr. 2). Auf diese Weise müssen ausschließlich mit Merkmalen arbeitende Evolutionsbiologen also fürchten, von „unechten Homologien“ in die Irre geführt zu werden: Zwei verschiedene Merkmale von verschiedenen, im Stammbaum möglicherweise weit getrennten Organismen bewegen sich hier bezüglich ihres Ähnlichkeitsgrades evolutionär „aufeinander zu“, sie „konvergieren“ (im Gegensatz zur o.g. Divergenz mancher Homologien). Treten gar mehrere solcher Konvergenzen in den verglichenen Organismen auf, so kann leicht eine nahe Verwandtschaft vorgetäuscht werden, die in Wirklichkeit gar nicht existiert. Gerade im Bereich der Bauplanevolution sieht es so aus, als seien Morphologen auf eine beträchtliche Anzahl von Konvergenzen hereingefallen, denn die merkmalsmorphologisch begründeten Stammbäume sind mit aktuellen molekularen Stammbäumen weitestgehend unvereinbar (wobei fairerweise anzumerken ist, dass es natürlich auch „molekulare Konvergenzen“ geben kann!).

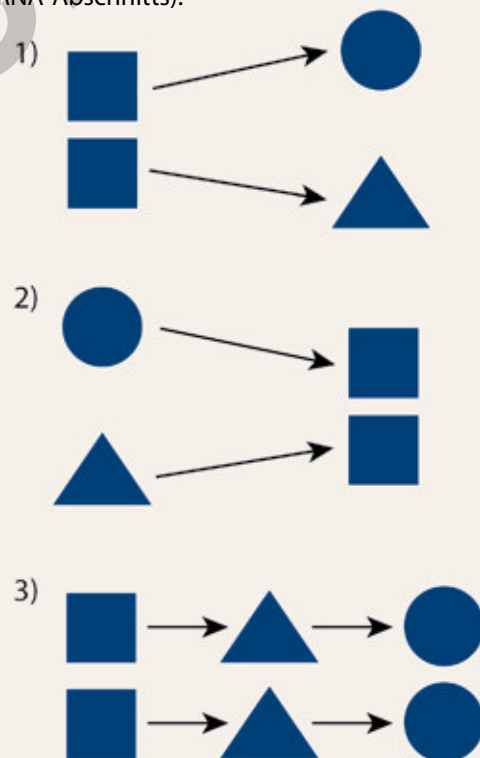
Der Begriff „**Parallelismus**“ wird manchmal mit Konvergenz gleichgesetzt. Eigentlich ist hiermit aber eine vergleichbare Entwicklung ähnlicher Merkmale (homolog oder analog) im Laufe der Evolution gemeint. Hier würde also keine Divergenz stattfinden; die Ähnlichkeit der Ausgangsstrukturen bleibt im Verlaufe einer „Parallelevolution“ ungefähr dieselbe, obwohl in beiden Reihen deutliche Umwandlungen des Ausgangszustandes stattfinden (Abb.6, Nr. 3). Ein denkbare Beispiel wären eine landlebende Saurierart, die

zum Leben im Wasser übergeht und dort mehrere neue Arten ausbildet, bei denen sich jeweils die Laufbeine in Schwimmflossen umwandeln (vgl. Abb. 7). Eine divergente Entwicklung der Laufbeine findet demnach in den verschiedenen schwimmenden Sauriern nicht statt, sie werden alle in sehr ähnlicher Weise umgestaltet.

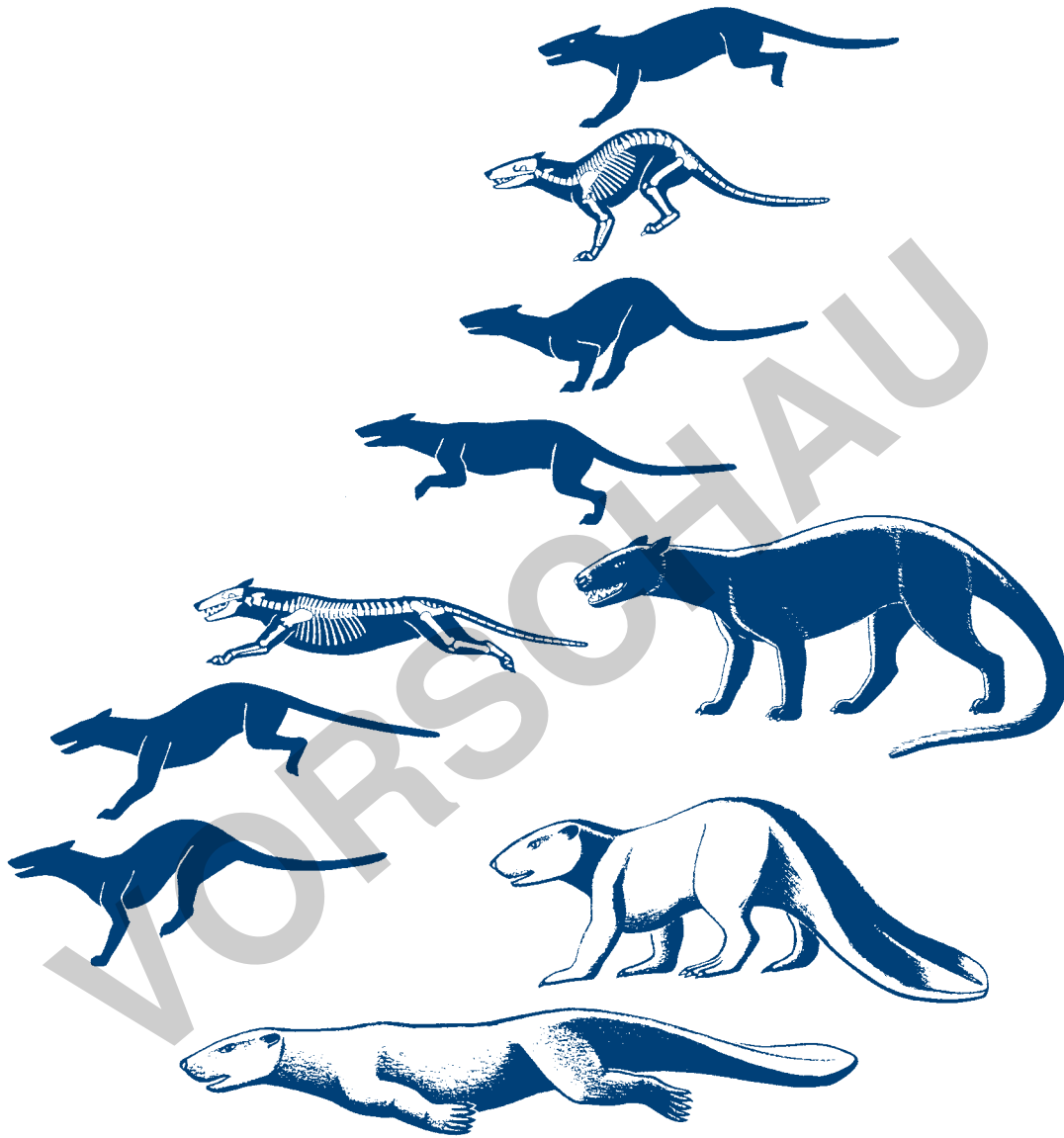
Sowohl für Konvergenzen als auch für Parallelismen werden meist gleichartige Selektionsdrücke verantwortlich gemacht, die in aller Regel mit Umwelanforderungen begründet werden. Genauer wäre es aber, zunächst von gleichen Veränderungsmöglichkeiten zu sprechen, die Bedingungen hierfür können auch rein intraorganismischer Natur sein (Internselektion statt Externselektion, vgl. Querschnitte-Heft Nr. 6).

Ein weiterer Fall ist die **Homoiologie**, dies bezeichnet eine Analogie auf homologer Grundlage. Ein Beispiel sind die Flügel von Vögeln, Flugsauriern und Fledermäusen, die zwar alle auf die untereinander homologen Vorderextremitäten der Wirbeltiere zurückgehen, aber in den genannten fliegenden Tiergruppen unabhängig und in völlig unterschiedlicher Weise ausgebildet wurden. Übereinstimmungen bestehen nur in der Funktion, nicht im anatomischen Feinbau. Ähnliches lässt sich von den Linsenaugen der Kopffüßer und der Wirbeltiere sagen, sofern bereits die letzten gemeinsamen Vorfahren über optische Organe verfügten. Von einem Parallelismus kann hier insofern nicht gesprochen werden, als die „Umwege“, über die sich die Linsenaugen in Kopffüßern und Wirbeltieren entwickelten, mit einiger Sicherheit nicht miteinander vergleichbar sind, „Parallelen“ also nur hinsichtlich des Endzustandes bestehen. Besaß hingegen der letzte gemeinsame Vorläufer der Kopffüßer und Wirbeltiere keinerlei optische Organe, so müßte man von einer Konvergenz sprechen. Man sieht hier, wie sehr die genauere Klassifizierung von Homologien und Analogien von bereits vorliegenden phylogenetischen „Hintergrundszenarien“ abhängt. Aus diesem Grunde ist auch bis heute umstritten, ob man nur auf Grundlage von Ho-

mologien den Evolutionsverlauf rekonstruieren kann, denn eine sichere Homologienenerkennung (und natürlich auch Analogie-Erkennung) erfordert einen bereits vorliegenden Stammbaum (Zirkelschlussgefahr). Durch die Etablierung molekularbiologischer Methoden hat sich die Lage allerdings verbessert, denn hierdurch wird z.B. erforschbar, ob als homolog beschriebene morphologische Merkmale wirklich von Genen „programmiert“ werden, die auf einen gemeinsamen Vorfahren zurückgehen könnten (sog. orthologe Gene). Dies wiederum kann über die Ähnlichkeit der betreffenden Gene beurteilt werden, wobei diese Ähnlichkeit – im Ggs. zur Ähnlichkeit morphologischer Merkmale – quantifizierbar ist (z.B. Anzahl übereinstimmender Basenpaare im Verhältnis zur Länge des untersuchten DNA- oder RNA-Abschnitts).



**Abb. 6: Schema zur evolutionären Divergenz homologer Merkmale (1), Konvergenz analoger Merkmale (2), sowie zum Parallelismus ähnlicher (homologer oder analoger) Merkmale (3). (Basierend auf einer Darstellung von OSBORN 1905).**



**Abb. 12.** Die für Säugetiere typische Biegung des Rumpfes in der Sagittalebene leitet zur Antriebsbewegung mit einem horizontalgestellten Schwanz über. Es ist die Ausgangssituation im Galoppieren dargestellt. Aus dem im Übergang lanzettförmig abgeflachten Schwanz bildet sich die horizontal gestellte Fluke der Wale (siehe Abb. 8).

Bestehen hier Widersprüche zu den voranliegenden Rekonstruktionen? Haben wir spezielle Verhältnisse vor uns? Gibt es in den Vorläufern begründbare konstruktive Vorbedingungen, die die Lösung verbauten, die die Seekühe und Wale zeigen? Das zweite ist der Fall, wenn wir beach-

ten, dass ganz eindeutig der Schwanz der Robben hochgradig reduziert ist und nur noch als Stummel vorliegt. Die konstruktive Lösung ist ohne diesen Bezug kaum erklärlich; mit der Beachtung dieser Eigenheit aber stellen sich auch die Robben als konstruktive Option dar, die durch ganz