

Organe, die zwar

- äußerlich unähnlich sein können und
- unterschiedlichen Funktionen dienen können, aber trotzdem
- nach gleichem Muster gebaut sind und
- sich an ähnlichen Stellen des Körpers befinden, nennt man **homolog**.

Die Vorderbeine verschiedener **Säugetiere** haben ganz unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen. Dem entsprechend sehen sie auch unterschiedlich aus:

- Fledermäuse haben Flügel. Zwischen den Fingern sind Flughäute ausgespannt.
- Der Wolf hat Laufbeine.
- Der Maulwurf benutzt seine Vorderbeine als Grabschaufeln.
- Der Seelöwe hat Flossen zum Rudern im Wasser.
- Wir Menschen benutzen unsere Hände vor allem zum Ergreifen und Festhalten von Gegenständen.

- Kriterium der Kontinuität (3. Homologiekriterium):

Auch unähnliche und verschieden gelagerte Organe sind homolog, wenn sie evolutionär durch eine Reihe homologer Zwischenformen miteinander verbunden sind. Viele homologe Strukturen kann man nach zunehmender Komplexiertheit und Leistungsfähigkeit in Progressionsreihen ordnen.

Erst mit Hilfe der **Evolutionstheorie** wird die Homologie verständlich: Die Ähnlichkeit homologer Strukturen wird erklärbar durch die Annahme, dass sich all diese Strukturen von *einer* Ausgangsform herleiten. Neue Formen entstanden Schritt für Schritt durch Abwandlung alter Grundmuster. Weitergegeben werden natürlich nicht die Muster als solche – diese werden in jeder Generation neu geschaffen – sondern deren Plan in Form von genetischer Information. Die Ähnlichkeit homologer Strukturen ist also bedingt durch **Ähnlichkeiten in der DNA-Sequenz**. Strukturen, deren Übereinstimmung auf gemeinsamer Erbinformation und damit auf gemeinsamer Abstammung beruhen, sind homolog.

Trotz dieser unterschiedlichen Formen und Funktionen zeigt der Knochenbau, die Anordnung der Gelenke und Muskeln überraschend ähnliche Muster. Wer die Knochen der menschlichen Hand kennt, kann ohne Mühe alle Knochen der Flosse einer Robbe oder eines Pferdebeins benennen.

Um homologe Strukturen und Organe erkennen und ansprechen zu können, wurden drei **Homologiekriterien** aufgestellt:

- Kriterium der spezifischen Qualität (1. Homologiekriterium):
Homologe Organe sind nach dem gleichen Muster gebaut.
- Kriterium der Lage (2. Homologiekriterium):
Homologe Organe befinden sich an gleicher Stelle in vergleichbaren Organismen.

Verwandte Lebewesen haben den gleichen **Bauplan**. Wenn zwei Organismen einzelne homologe Strukturen aufweisen, so sind im Allgemeinen auch alle anderen Organe homolog (Prinzip der Korrelation homologer Strukturen).

Auch die Klasse der **Insekten** ist durch einen einheitlichen Bauplan charakterisiert:

- Sie atmen mit Tracheen,
- das Außenskelett besteht aus Chitin,
- der Körper ist in Kopf, Brust und Hinterleib gegliedert,
- der Brustabschnitt trägt drei gegliederte Beinpaare,
- der Blutkreislauf ist offen, das Herz ist langgestreckt und liegt dorsal,
- das Strickleiternnervensystem liegt auf der Bauchseite,
- die Komplexaugen sind aus vielen Einzelaugen (Ommatidien) zusammengesetzt.



Auf den ersten Blick könnte man den Mauersegler für eine Schwalbe halten. Doch seine längeren, sichelförmigen Flügel, der kurze Schwanz und die ständigen Flugrufe machen ihn unverwechselbar. Der Mauersegler ist in der Luft wendiger, schneller und eleganter als eine Schwalbe. Schwalben haben eine geringere Flügelschlagfrequenz und fliegen nicht ganz so elegant.

- Die **Rauchschwalbe** (*Hirundo rustica*) wird 15–19 cm groß. Von April bis Oktober halten sie sich in Mitteleuropa auf. Der Rückgang der Rauchschwalben hat viele Gründe: verringertes Nahrungsangebot durch Pestizide, Trockenlegung von Feuchtgebieten und immer weniger Einflugmöglichkeiten an Gebäuden. Rauchschwalben bauen ihre Nester halboffen in die Gebäude.
- **Mehlschwalben** (*Delichon urbica*) halten sich von April bis Oktober bei uns auf, sie sind mit 13 cm etwas kleiner als die Rauchschwalben. Ihre Nester sind halbkugelig und fast geschlossen unter Dachvorsprüngen.

1. Herstellung von Antiserum

Einem Kaninchen wird Blutserum eines Menschen injiziert. Das Immunsystem des Kaninchens erkennt die Proteine an bestimmten Strukturen, den **Antigenen**, als artfremd. Das Kaninchen stellt nun **Antikörper** her. Das sind Proteinmoleküle, die sich hochspezifisch mit diesen Antigenen verbinden können. Nach einigen Tagen kann dem Kaninchen Blut entnommen werden, das Antikörper enthält. Daraus wird Antiserum gewonnen.

2. Reaktion mit menschlichem Serum

Mischt man menschliches Blutserum mit dem Antiserum des Kaninchens, so reagieren die Antikörper mit den menschlichen Antigenen. Durch die Reaktion bildet sich ein **Niederschlag** (Präzipitat), der aus der Lösung ausfällt und nach unten sinkt.

3. Reaktion mit anderen Blutseren

Da die Antikörper die Antigene, gegen die sie hergestellt wurden, exakt erkennen, können sie

- Der **Mauersegler** (*Apus apus*) wird um die 17 cm groß. Sein lateinischer Name bedeutet „der ohne Füße“. Die Füße des Mauerseglers sind hoch spezialisiert, mit ihnen kann er sich an scheinbar glatten Wänden festhalten, aber nicht laufen. Ende April, Anfang Mai kommen die Mauersegler aus ihren Überwinterungsgebieten in Süd- und Ostafrika nach Mitteleuropa zurück. Bei Flugspielen erreichen Mauersegler Spitzengeschwindigkeiten von 140–200 km/h. Als Nahrung nehmen Mauersegler fliegende Insekten (Luftplankton) zu sich. Mauersegler sind Höhlen- und Nischenbrüter, sie nisten in Baumhöhlen und Felsspalten, in den Städten bauen sie ihre Nester an den Wänden und Dächern von Gebäuden.

Immunologische Techniken erlauben, den Grad der Ähnlichkeit verschiedener Proteine sehr exakt festzustellen. So kann mit der Serumreaktion das Blut des Menschen mit dem anderer Säugetiere verglichen werden:

zur Identifizierung von Proteinen verwendet werden. Mischt man das Antiserum mit Blutserum eines Gorillas, so fällt weniger Niederschlag aus als bei menschlichem Serum. Mischt man es dagegen mit Blutserum des Pferdes, so gibt es kaum noch einen Niederschlag.

Wann im Verlauf der Evolution sich das **Zugverhalten** der Vögel herausbildete, und wie oft es unabhängig bei verschiedenen Vogelgruppen entstand, ist weitgehend spekulativ. Es gibt keine fossilen Überlieferungen. Man ist ganz auf Indizien angewiesen. Forschungsergebnisse im Zusammenhang mit der Klimaveränderung erbrachten allerdings das Ergebnis, dass die Anlagen für den Vogelzug innerhalb einer Population sehr variabel sind. Die Vogelzugrouten passen sich an die neuen Bedingungen an. Manche Vögel treten die Reise erst gar nicht an, wenn die Winter mild sind.



Aeonien oder Rosettenbäumchen sind ausdauernde Stauden oder Halbsträucher. Die endständigen Blattrosetten bringen üppige, lebhaft gefärbte Blütenstände hervor, die viele Samen bilden. Aeonien sind an zeitweise **trockene Standorte** angepasst und zeigen in ihrem Bau xerophytische Merkmale. Dazu gehören die sukkulenten, oft von einer Wachsschicht überzogenen Blätter, die Anordnung der Blätter in meist dichten Rosetten und der mehr oder weniger sukkulente Stamm. Hinzu kommt eine Anpassung im Ablauf der **Fotosynthese**. Durch Verschluss der Spaltöffnungen bei Tage wird der Wasserverlust gering gehalten. Das für die Fotosynthese nötige Kohlendioxid wird durch die bei Nacht geöffneten Spaltöffnungen aufgenommen und, an Säuren gebunden, in der Vakuole gespeichert. Am Tag steht das so gespeicherte Kohlendioxid für die Fotosynthese zur Verfügung. Diese bei den Dickblattgewächsen – Crassulaceen – erstmals gefundene Variante der Fotosynthese bezeichnet man als CAM-Weg (*cras-*

sulaceae acid metabolismus). Der Weg ist wassersparend, aber energetisch weniger effektiv als der reguläre Fotosyntheseweg.

Die nächsten Verwandten der kanarischen Aeonien findet man heute in SW-Arabien und in Marokko. Das zerteilte Verbreitungsgebiet spricht für ein einst ausgedehntes Vorkommen, das durch die Ausdehnung der Sahara zerschnitten wurde. Irgendwann im mittleren Tertiär hat wohl eine *Aeonium*-Art die vor etwa 19 Mio. Jahren entstandenen kanarischen Inseln erreicht. Ausgehend von dieser Form bildeten sie in relativ kurzer Zeit verschiedene ökologische Nischen. Durch geographische und ökologische Isolation konnten sich die Arten genetisch isoliert entwickeln.

Diese Form der Evolution, bei der sich durch Einmischung zahlreiche neue Arten aus einer Ahnform entwickelt haben, bezeichnet man als **adaptive Radiation**. Die verschiedenen Arten sind auf die Inseln beschränkt, teils auf kleine Gebiete einer

Insel, es sind also durchweg Endemiten, die auf diesen Inseln entstanden sind.

Adaptive Radiation wird immer dann möglich, wenn eine Population die Gelegenheit hat, neue Nischen zu bilden; anders ausgedrückt: Wenn in einem Areal noch „ökologische Lizenzen“ frei sind, welche eine Art auf Grund ihrer genetischen Variabilität ausfüllen könnte.

Eine Tier- oder Pflanzengruppe hat die Möglichkeit zu adaptiver Radiation:

- Wenn ein neues von ähnlichen Organismen unbewohntes Areal besiedelt wird, zum Beispiel eine Inselgruppe. Beispiele für adaptive Radiation auf Inseln sind die Darwinfinken der Galapagos-Inseln, die Kleidervögel der Hawaii-Inseln, die Lemuren Madagaskars und die Aeonien der Kanarischen Inseln.

- Wenn eine Population durch den Erwerb eines Schlüsselmerkmals (zum Beispiel eine Variante der Fotosynthese) eine Großnische neu erschließen kann, die bisher noch nicht existierte.
- Wenn eine große Gruppe erlischt, die freie Lizenzen hinterlässt (ökologischer Ersatz): Nach dem Aussterben der Dinosaurier setzte die Radiation der Säugetiere ein.
- Wenn durch die Evolution anderer Organismen neue ökologische Möglichkeiten entstehen. Dann kommt es zur Koevolution zweier Gruppen: Als die Blütenpflanzen entstanden, begann die Radiation bestäubender Insektenordnungen; die Entwicklung der Gräser ermöglichte die Radiation der Huftiere, die durch das Abweiden wiederum die Entfaltung der Gräser förderten.



Der „Piltdown-Mensch“ ist einer der skandalösesten Fälle von **Fälschung** in der Wissenschaft. Obwohl von Anfang an Zweifel an der Echtheit bestanden, verweigerte das wissenschaftliche Establishment für über 40 Jahre eine Untersuchung. CHARLES DAWSON hatte 1912 einen Kieferknochen und ein Schädelfragment in einer Grube in Piltdown in England gefunden. Obwohl der Kieferknochen mehr dem eines Affen ähnlich war, sahen die Zähne und der Schädel aus wie die eines Menschen. Dieses Exemplar wurde „Piltdown Mensch“ genannt. Angeblich 500 000 Jahre alt, wurden diese Gebeine als absoluter Beweis der menschlichen Evolution in mehreren Museen zur Schau gestellt. Über einen Zeitraum von mehr als 40 Jahren wurden zahlreiche wissenschaftliche Abhandlungen und Doktorarbeiten über den „Piltdown Menschen“ geschrieben, viele Interpretationen und Zeichnungen wurden gemacht, und das Fossil wurde als ein wichtiger Nachweis der menschlichen Evolution präsentiert. Seit den 1940er-Jahren wurde der Schädel von Piltdown wegen der wachsenden

erhalten und verfügt noch über fast alle Zähne: teils Milchzähne, teils dauerhafte Zähne, teils noch nicht vollständig durchgebrochene dauerhafte Zähne. Die Eckzähne sind wesentlich kleiner als bei Schimpansen und Gorillas, sie ragen kaum über die Zahnreihe hinaus. Das Hinterhauptslot liegt unterhalb des Schädels, nahe am Schwerpunkt. Hieraus kann geschlossen werden, dass das Kind von Taung aufrecht ging. Besonders beeindruckend ist jedoch, dass ein natürlicher Ausguss der Gehirnkapsel erhalten blieb. Das Gehirnvolumen des Kindes wird heute mit 405 Kubikzentimetern angegeben. Es liegt in der Größenordnung der Schimpansen.

RAYMOND DART erkannte sofort, dass das Fossil zwar ein affenähnliches Gesicht besaß, die Form sei-

Zahl an Funden von menschlichen Fossilien zunehmend als Kuriosum empfunden, das sich gegen eine Einordnung in den Stammbaum des Menschen sperrte. Erst 1953 wurde die Fälschung entlarvt: Dem Schädel eines modernen Menschen war der Unterkiefer eines Orang-Utans angepasst worden. Die Fälschung kam der herrschenden Auffassung dieser Zeit entgegen, nach der die Vorfahren des Menschen bereits seit langer Zeit ein großes Gehirn besaßen.

Opfer dieser Fälschung war besonders der Australier RAYMOND DART, der 1924 bei Taung in der Kap-Provinz einen ziemlich kompletten Kinderschädel entdeckte. DART gab ihm den Namen *Australopithecus africanus* (wörtlich: afrikanischer Südaffe). Das so genannte „Kind von Taung“ war das seinerzeit älteste bekannte Fossil eines **Vorfahren des Menschen** und das erste in Afrika gefundene Vormenschen-Fossil. Bis heute gilt das Kind von Taung als besonderer Fund: Der Gesichtsschädel ist nahezu unbeschädigt, der Unterkiefer ist vollständig

des Gehirns und die Bezahnung jedoch menschenähnlich waren. Diese **Deutung** wurde von seinen Forscherkollegen jedoch zurückgewiesen: Ihnen erschien das Gehirn des Fossils viel zu klein und zu affenähnlich, als dass sie den Schädel in die Nähe des Menschen hätten stellen wollen. Es wurde vorgeschlagen, das Fossil in die Verwandtschaft der Gorillas und Schimpansen einzuordnen. Die Deutung DARTS wurde auch deshalb abgelehnt, weil dieser Fund bedeutet hätte, die Entwicklung zum Menschen habe in **Afrika** stattgefunden. Erst 1947 wurde DARTS Beschreibung und Deutung des Kindes von Taung rehabilitiert.

Ab 1936 waren zudem weitere *Australopithecus*-Funde in Afrika gemacht worden, in deren Reihe sich DARTS Fossil gut einordnen ließ.



Die **Buntbarsche** oder Cichliden sind eine artenreiche Familie der Barschartigen, es gibt über 1600 Arten. Die Untersuchung der Buntbarsche hat wichtige Erkenntnisse zu den Mechanismen der Artbildung erbracht. Die Evolution der Buntbarsche in den Seen Ostafrikas stellt ein Modell für eine relativ schnelle Entstehung von Arten dar. Auch in der Verhaltensforschung sind die Buntbarsche berühmt, weil bei ihnen ganz unterschiedliche Formen der Brutpflege beobachtet wurden, vom einfachen Abbläuen bis zum Maulbrüten. Die Gattung *Tilapia* ist als Speisefisch von großer Bedeutung. Beim Augenfleck-Maulbrüter baut das Männchen eine flache Mulde, in der die Fische im Kreise hintereinander her schwimmen, wobei die Eier befruchtet und im Maule des Weibchens bebrütet werden. In dieser Zeit frisst das Weibchen nicht. Nach 10 bis 12 Tagen verlassen die 30–100 Jungen das Maul. Sie kehren dann noch etwa eine Woche lang nachts oder bei Gefahr in das mütterliche Maul zurück, bis diese sie nicht mehr alle fassen kann.

Wie ist eine solche Beschränkung zu erklären? Offensichtlich ist es für ein Tier am sichersten, wenn es auf ganz einfache Muster reagiert, sofern diese ein Objekt hinreichend kennzeichnen: Im Lebensraum der Maulbrüter gibt es keine anderen leuchtend orangeroten Kugeln als die eigenen Eier, im Revier des Rotkehlchens gibt es kein anderes Tier vergleichbarer Größe mit einer karminroten Kehle. Die Merkmale „orangeroter Kreis“ oder „rotes Federbüschel“ sind also eindeutig. Anhand eines einfachen Merkmals kann das Tier eine klare Entscheidung treffen und mit einer schnellen Reaktion antworten.

Manchmal wird dieselbe Verhaltensweise durch **verschiedene Reize** ausgelöst. Dies dient einerseits einer Sicherung: die Reize können sich gegensei-

Viele Verhaltensweisen bei Tieren werden von ganz einfachen Reizen ausgelöst. Dabei gelten für jeden Funktionskreis (Nahrungssuche, Paarungsverhalten, Aggression) andere auslösende Reize: Sie werden als **Schlüsselreize** bezeichnet. Als Schlüsselreiz kann jedes vom Tier wahrnehmbare Merkmal dienen, das kennzeichnende Funktionen erfüllt. Schlüsselreize können Einzelmerkmale (Farben oder Formen, Töne, Geruch oder Geschmack) sein, aber auch komplizierte Gestaltmerkmale oder Bewegungsmuster kommen vor. Meist handelt es sich um einfache, auffällige und einprägsame Muster.

Mit Hilfe von Attrappenversuchen lässt sich ermitteln, welche Reize als Schlüsselreize wirken.

Attrappen sind experimentell gesetzte Reizquellen.

Die Tiere haben bei ihren Reaktionen demnach kein Bild des Konkurrenten (Partners, Feindes oder ihrer Beute) gespeichert. Die Antwort gilt dem Objekt, das den durch wenige Merkmale charakterisierten Schlüsselreiz aussendet.

tig vertreten. Andererseits verstärken sich die Reize im Zusammenwirken: Bietet man mehrere von ihnen gleichzeitig an, so reagieren die Versuchstiere häufiger oder stärker als auf einen einzelnen Reiz.

Bei der **Reizsummation** addieren sich verschiedene Reizmerkmale in ihrer Auswirkung auf das Verhalten. Bei manchen Beobachtungen und Versuchen hat man ermittelt, dass sich die Wirkungen einzelner Komponenten nicht nur fördern, sondern sich exakt addieren.

