



## Aus dem Geschichtsbuch der Erde

Wie alt die Erde ist, wissen wir nicht genau, wahrscheinlich 6 Mrd. Jahre. Es dauerte wohl einige hundert Millionen Jahre, bis der glutflüssige Planet so weit ausgekühlt war, dass sich eine feste Kruste bildete. 1,5 Mrd. Jahre nach ihrer Entstehung herrschten in den Meeren der Erde Bedingungen, die einfachste Lebensformen entstehen ließen.

Vor etwa 3 Mrd. Jahren lebten bereits *Urbakterien*, die sich von Kohlenstoffverbindungen ernährten. Als die Nahrung knapp wurde, mussten andere Nahrungsquellen erschlossen werden. *Blualgen*, die als erste Lebewesen Chlorophyll besaßen, konnten ihre Kohlenstoffverbindungen durch Fotosynthese selbst herstellen. Der dabei erzeugte Sauerstoff reicherte sich in der Atmosphäre an. Jetzt konnten sich auch Organismen entwickeln, die mithilfe von Sauerstoff organische Nährstoffe zersetzen. In den folgenden 2 Mrd. Jahren entfalteten sich dann in vielfältiger Weise ein- und vielzellige Lebensformen (s. auch S. 354).

Zunächst gab es nur wasserlebende Organismen. In den Ozeanen des **Kambrium** waren bereits *Urtiere* und alle Stämme der *Wirbellosen* vertreten: Hohltiere, Würmer, Gliederfüßer, Weichtiere und Stachelhäuter. Die ersten *Wirbeltiere* — kieferlose, Plankton fressende *Panzerfische* — traten im **Ordovizium** auf. Während sich in den Gewässern reiches Leben entwickelt hatte, war das Festland noch öd und leer.

Im **Silur** besiedelten die *Nacktfarne* als erste das Festland. Sie besaßen im Spross Leitungsbahnen für den Wassertransport und einen Austrocknungsschutz. Im Meer lebten Fische (*Quastenflosser*), die als Vorfahren der Lurche und aller Landwirbeltiere gelten. Sie besaßen bereits primitive Extremitäten, die eine direkte Verbindung zur Wirbelsäule hatten und so den Körper tragen konnten. Die *Amphibien* verbesserten diese Neuerwerbung, konnten sich aber dennoch nicht weit vom Wasser entfernen: In trockener Luft würden sie durch ihre dünne, wasserdurchlässige Haut sehr schnell austrocknen. Zudem muss die Haut stets feucht sein, um die einfach gebaute Lunge bei der Aufnahme von Luftsauerstoff unterstützen zu können. Auch die Art ihrer Fortpflanzung bindet sie ans Wasser. Die gallertartigen Eier besitzen keine wasserdichte Schale; die kiemenatmenden Larven sind auf das Wasser angewiesen.

Die *Sporenpflanzen* erlebten im feuchtwarmen Klima des **Karbon** ihre größte Entfaltung. Manche der riesigen Wälder sind uns als *Steinkohleablagerungen* erhalten geblieben.

Am Ende des Karbon traten die ersten *Reptilien* auf. Sie besaßen eine wasserundurchlässige, verhornte Haut als Austrocknungsschutz. Eine vor Verdunstung schützende, pergamentartige Eihülle machte die Fortpflanzung erstmals vom Gewässer unabhängig.

Durch diese neuen Errungenschaften konnten sie im **Jura** alle Lebensräume mit Ausnahme der Polargebiete besiedeln. *Ichthyo-* und *Plesiosaurier* mit ihren paddelförmigen Beinen lebten im Wasser. Andere, wie *Pterodactylus*, hatten zu Flügeln umgebildete Vorderbeine. Die landbewohnenden *Dinosaurier* schließlich entwickelten sich zu den größten Landwirbeltieren aller Zeiten. Wie unscheinbar waren dagegen die kleinen *Urvögel* und *Säuger*. Feder- bzw. Haarkleid deuten auf eine gleichmäßige Körpertemperatur hin. Dadurch konnten sie sogar in der Kühle der Nacht auf Nahrungssuche gehen, wenn ihre Feinde, die wechselwarmen Saurier, vermutlich weniger mobil waren.

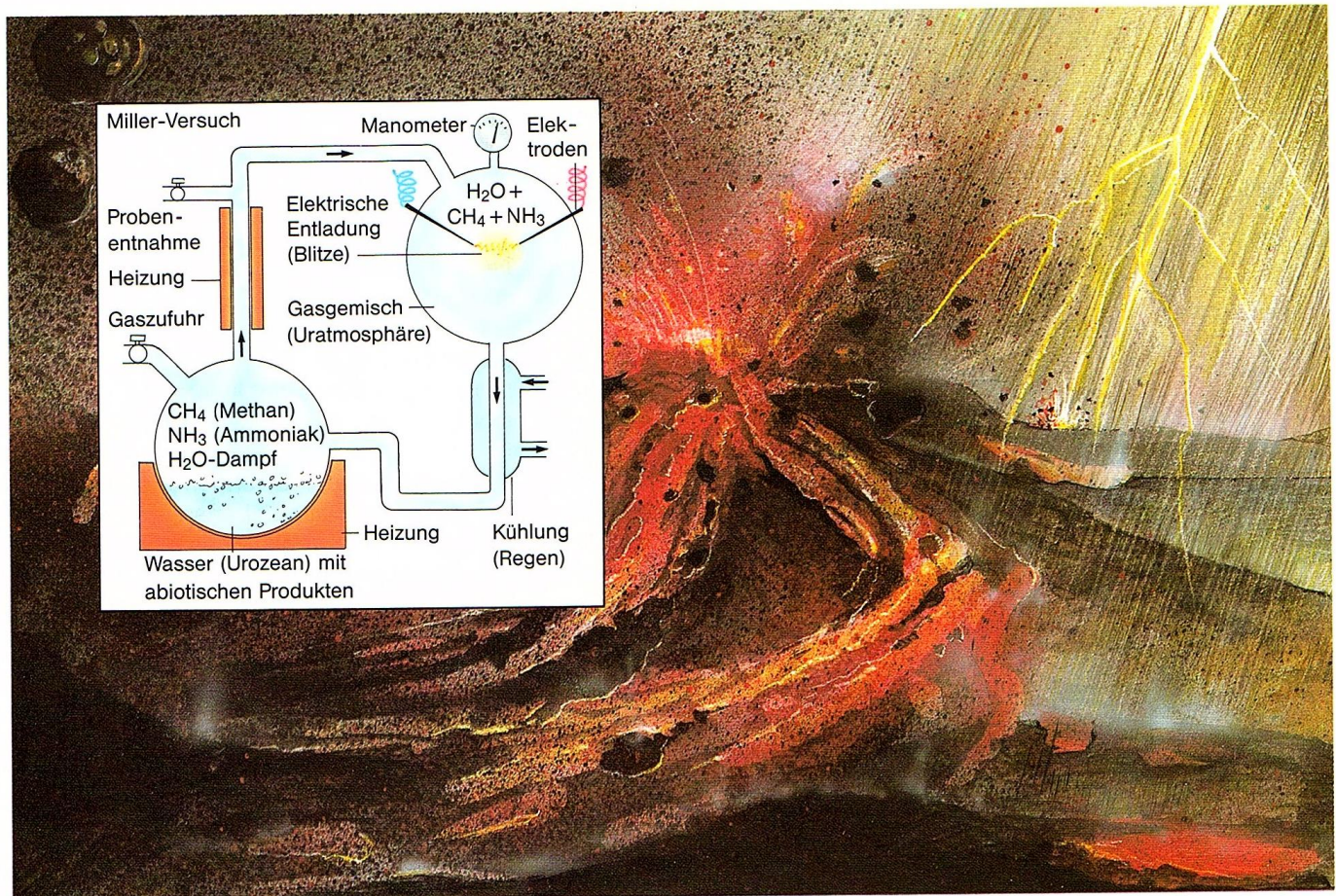
In der **Kreide** starben die Saurier auf noch ungeklärte Weise aus. Nun konnten sich im **Tertiär** echte Vögel und Säuger entfalten und die frei gewordenen Lebensräume besiedeln, ja sogar die Polargebiete erobern. Hierbei war besonders die gleich bleibende Körpertemperatur vorteilhaft. So sind die Vögel auch beim Ausbrüten ihrer Eier nicht mehr wie die Reptilien auf die wärmende Sonne angewiesen. Bei den Säugern ist der mütterliche Körper der ideale Brutraum: gleichmäßig warm, geschützt nach außen, ständig genügend Nahrung aus dem mütterlichen Blut. Nach der Geburt werden die Jungen gesäugt. Diese Brutpflege stellt einen optimalen Schutz für die Nachkommen dar.

Gegen Ende des Tertiärs begann die Evolution menschenähnlicher Lebewesen, die sich im **Quartär** mit dem Auftreten der Gattung *Homo* fortsetzte.

### Aufgabe

- ① Eine Schnur von 6 m Länge soll 6 Mrd. Jahre darstellen; 1 cm entspricht dann 10 Mill. Jahren! Markiere die Erdzeitalter und wichtige Ereignisse der Evolution.





1 Millers Laborexperiment

## Entstehung des Lebens auf der Erde

Nach Bildung der Erde war die Atmosphäre völlig anders zusammengesetzt als heute. In den ältesten Gesteinen fehlen Eisenoxide. Daraus können Forscher schließen, dass es noch keinen freien Sauerstoff in der Atmosphäre gab. Wahrscheinlich bestand sie hauptsächlich aus Stickstoff, Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf. Auch Ammoniak, Wasserstoff, Methan und Schwefelwasserstoff waren offenbar vorhanden. Die Wasser der Urozeane enthielten ebenfalls eine ganze Reihe von Stoffen in gelöster Form, darunter Phosphate und metallische Verbindungen.

Wie es zu den ersten organischen Verbindungen kam, kann nur vermutet werden. Nach einer gängigen Theorie lieferten die Blitze gewaltiger Gewitter, die hohen Temperaturen tätiger Vulkane und die Strahlungen aus dem Weltall — eine schützende Ozonschicht gab es noch nicht — die Energie für chemische Reaktionen zwischen den Stoffen in der Atmosphäre und im Wasser. Einfache organische Verbindungen und Aminosäuren waren die ersten Ergebnisse die-

ser Vorgänge. Da es noch keine Organismen gab, die sich von diesen Verbindungen ernährten, sammelten sie sich in den Ozeanen über die Jahrtausende hindurch in großer Menge an. Die Wissenschaftler bezeichnen die Vielfalt dieser Verbindungen als „Ursuppe“.

Diese Theorie vom Entstehen organischer Substanzen auf der Erde ist inzwischen durch zahlreiche Experimente gestützt worden. So gelang es dem amerikanischen Forscher STANLEY MILLER 1953, im Labor organische Moleküle aus jenen chemischen Substanzen zu erzeugen, die in der Atmosphäre der jungen Erde vorkamen. Er erhitzte ein Gemisch von Methan, Ammoniak, Wasserstoff und Wasserdampf und setzte dieses starken elektrischen Ladungen aus. Innerhalb weniger Stunden konnten auf diese Weise verschiedene organische Verbindungen erzeugt werden. Aus einer solchen „Ursuppe“ entwickelten sich in sehr komplizierten Prozessen vermutlich erste Lebewesen — Bakterien und Blaualgen.





1 Der Quastenflosser Latimeria in seinem Lebensraum



Die berühmt gewordene Skizze der Miss LATIMER vom Quastenflosser

## Der Fisch der Miss Latimer

Am 22. Dezember 1938 ging einem Fischdampfer vor der südafrikanischen Küste ein etwa eineinhalb Meter langer Fisch ins Netz. Bei den Seeleuten erregten die beiden auffällig gestielten Flossenpaare und der eigenartig geformte Schwanz große Aufmerksamkeit.

Sie übergaben das Tier in East-London der Zoologin DR. M. COURTNEY-LATIMER für ihr Museum. Auch sie hatte einen derartigen Fisch noch nie gesehen. Sie erkannte die Bedeutung des einzigartigen Fisches, fertigte ihre berühmt gewordene Skizze an (▷ Randspalte) und suchte schließlich Rat bei dem Fischkundler Professor SMITH von der Uni-

versität in Grahamstown. Er bestimmte den seltsamen Fisch als Quastenflosser und nannte ihn Miss LATIMER zu Ehren *Latimeria*.

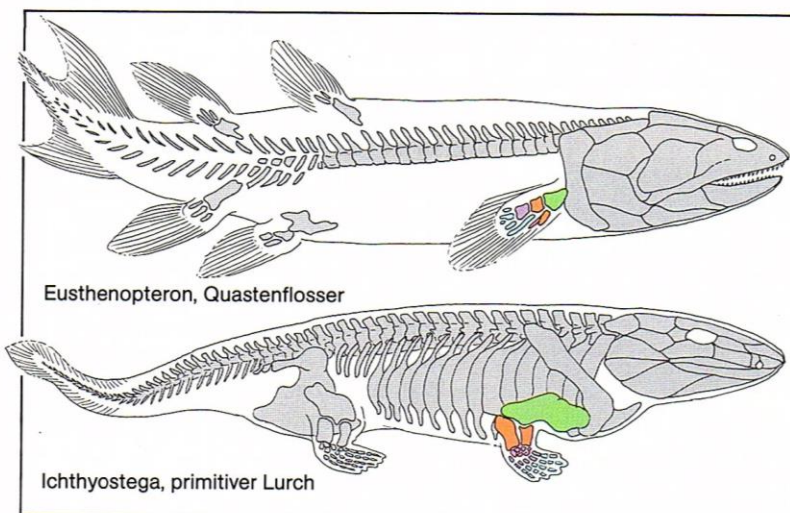
Die zoologische Sensation war perfekt, denn man hatte geglaubt, die Quastenflosser, die vor etwa 350 Millionen Jahren die Eroberung des Festlandes durch die Wirbeltiere eingeleitet hatten, seien bereits vor 70 Millionen Jahren ausgestorben.

1987 gelang es dem Verhaltensforscher HANS FRICKE, bei den Komoren (Indischer Ozean) in 200 m Tiefe einen Quastenflosser mit einem Tauchboot aufzuspüren, zu beobachten und zu filmen. Der Quastenflosser zeigte sich dabei als träger, langsamer Schwimmer, der seine paarigen Flossen nicht wie erwartet zur Fortbewegung am Boden benutzt, sondern als Steuer- und Balancierhilfen.

Latimeria kommt als direkter Vorfahr der Landwirbeltiere schon deshalb nicht in Betracht, weil seine Schädelknochen von denen fossiler Amphibien sehr stark abweichen. Er gehört einer Seitenlinie an.

In 350 Millionen Jahre alten Ablagerungen fand man jedoch den Quastenflosser *Eusthenopteron* (▷ 2), der als Ahnform der landlebenden Wirbeltiere angesehen wird. Außer den gliedmaßenähnlichen Flossen besitzt er, wie die rezenten Lungenfische (▷ S. 357), neben Kiemen auch jene sackartige Darmausstülpung, die zur Aufnahme von Luftsauerstoff befähigt. Außerdem zeigt der Schädel das entscheidende Merkmal aller Landwirbeltiere — die Verbindung der Nasenhöhlen mit der Mundhöhle.

So konnten die Vorfahren von Latimeria, die in flachen, sich oftmals stark erwärmenden und daher sauerstoffarmen Süßgewässern lebten, die ab und zu austrocknenden Gewässer verlassen und in kurzen Überlandmärschen benachbarte Tümpel aufsuchen.

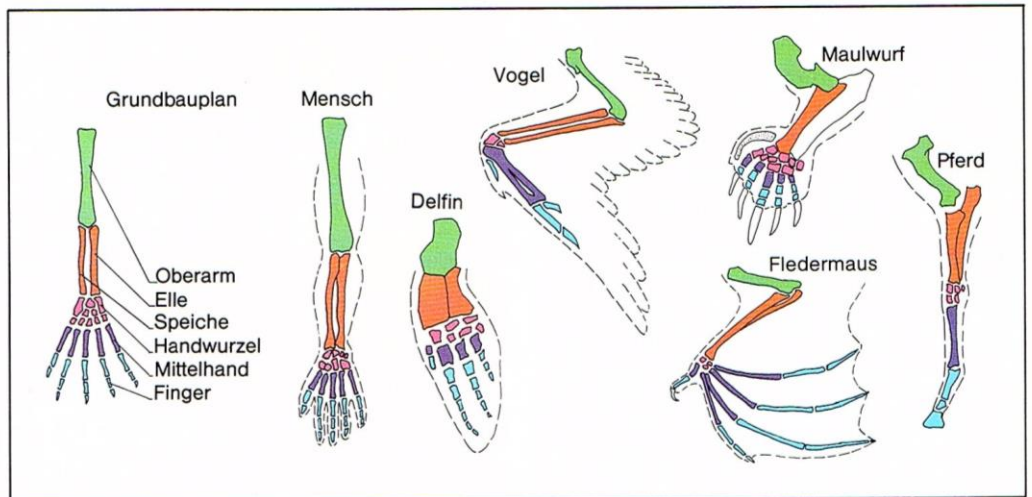


2 Eusthenopteron und Ichthyostega im Vergleich

## Aufgaben

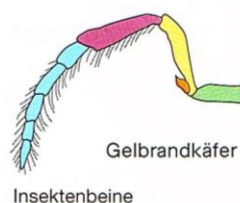
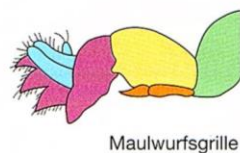
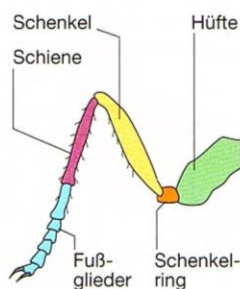
- ① Latimeria wird als „lebendes Fossil“ bezeichnet. Dieser Ausdruck ist in sich widersprüchlich. Begründe!
- ② Der salamanderähnliche Ichthyostega wird als „Fisch mit Füßen“ bezeichnet. Erkläre mithilfe von Abbildung 2.
- ③ Ichthyostega und Archaeopteryx (S. 356) werden als „Brückentiere“ bezeichnet. Erkläre diesen Begriff!





1 Vergleich der Vorderextremitäten von verschiedenen Wirbeltieren

## Homologie — Analogie



Insektenbeine

Nach dem Blick in das Geschichtsbuch der Erde stellt sich nun die Frage, welche Belege für diese Stammesgeschichte sich aus der Untersuchung heute lebender Tiere und Pflanzen ergeben.

Die Beine verschiedener Insekten ermöglichen die unterschiedlichsten Arten der Fortbewegung: Laufkäfer können sich auf ihren *Laufbeinen* rasch bewegen und so ihre Beute fangen. Heuschrecken entziehen sich mithilfe ihrer *Sprungbeine* durch weite Sprünge ihren Feinden. Maulwurfsgrillen durchwühlen mit ihren *Grabbeinen* den Erdboden. Gelbrandkäfer bewegen sich mit ihren *Schwimmbeinen* im Wasser gewandt fort. Beim Vergleich der Beine stellt man erstaunliche Übereinstimmungen in ihrem Aufbau fest, selbst wenn sie ganz unterschiedliche Funktion haben: Insektenbeine bestehen stets aus Hüfte, Schenkelring, Schenkel, Schiene und Fußgliedern.

Eine ähnliche Vielfalt der Fortbewegungsweisen und der Extremitäten wie bei den Insekten findet man auch bei den Wirbeltieren, z. B. *Flügel* bei Vögeln und Fledermäusen, *Flossen* bei Delfinen, *Grabbeine* beim Maulwurf. Der Bauplan jedoch ist bei allen Vorderextremitäten der Wirbeltiere gleich: Oberarmknochen, zwei Unterarmknochen (Elle und Speiche), mehrere Handwurzelknochen, eine fünfgliedrige Mittelhand und fünf Finger.

Die Beispiele zeigen, dass sich bestimmte Organe — also etwa die Beine verschiedener Insektenarten bzw. die Extremitäten ver-

schiedener Wirbeltierarten — auf eine Grundform zurückführen lassen, obwohl sie verschiedene Funktionen aufweisen. Man nennt sie **homologe Organe**.

Vergleicht man nun die Grabbeine von Maulwurf und Maulwurfsgrille miteinander, so fällt zwar die Ähnlichkeit in ihrer Funktion und in ihrem äußeren Erscheinungsbild auf, in ihrem Grundbauplan gibt es jedoch keinerlei Übereinstimmungen. Auch die Schwimmbeine des Gelbrandkäfers haben einen völlig anderen inneren Aufbau als die Flossen des Delfins. Derartige Organe weisen also trotz gleicher Funktion verschiedene Grundbaupläne auf. Man nennt sie **analoge Organe**.

Treten bei verschiedenen Arten homologe Organe auf, stammen diese Arten wahrscheinlich von gemeinsamen Vorfahren ab, die diese Organe bereits aufwiesen und über die Erbanlagen an ihre Nachkommen weitergaben. Das Vorhandensein analoger Organe zeigt eine besondere Anpasstheit an einen Lebensraum. Es lässt aber keine Aussagen über die Verwandtschaft von Organismen zu.

### Aufgabe

- Die Evolutionstheorie hält das Auftreten von homologen Organen bei zwei verschiedenen Arten für einen Hinweis auf eine gemeinsame Abstammung dieser Arten. Wie könnte man diese Vermutung begründen? Gibt es eine andere Erklärungsmöglichkeit?



## 2 Ursachen der Evolution

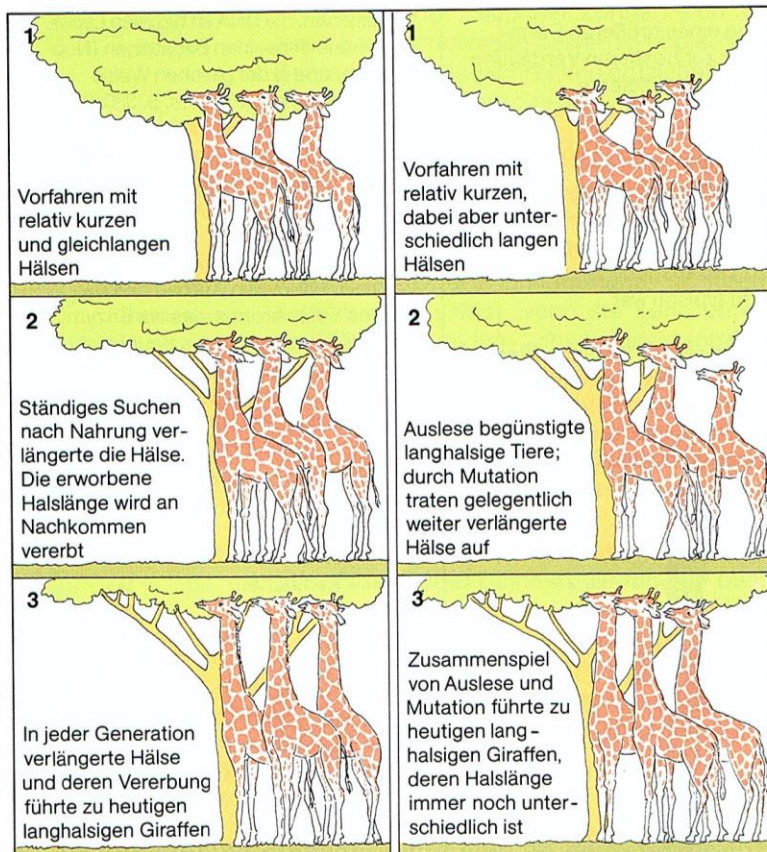
JEAN-BAPTISTE DE LAMARCK und CHARLES DARWIN, zwei Pioniere der Evolutionsforschung, haben die Frage nach den Ursachen der Evolution mit unterschiedlichen Theorien zu beantworten versucht.

### Anpassung durch Gebrauch/Nichtgebrauch?

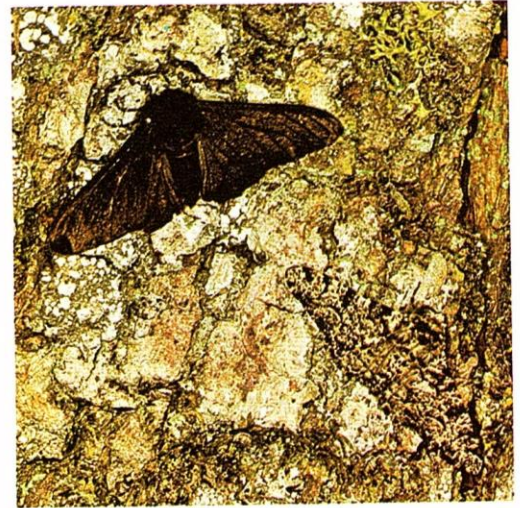
LAMARCK nahm an, dass Eigenschaften, die ein Lebewesen während seines Lebens erwirbt, auf die Nachkommen vererbt werden können. Wenn z. B. Giraffen durch dauerndes Strecken der Hälse im Laufe ihres Lebens längere Hälse bekämen, so könnten sie ihren Nachkommen diese erworbene Eigenschaft vererben. Im Laufe der Zeit könnten sich so aus kurzhalsigen Urgiraffen langhalsige Tiere entwickelt haben. Andererseits würde der Nichtgebrauch von Organen zu deren Verkümmern führen. So erklärte LAMARCK z. B. die Beinlosigkeit der Schlangen.

LAMARCKs Theorie fand keine Anerkennung. Auch die moderne Vererbungslehre widerlegt seine Ansicht.

Lebewesen einer Art stimmen in wesentlichen Merkmalen überein und können miteinander fruchtbare Nachkommen zeugen.



1 Die Evolutionstheorien von LAMARCK . . . und von DARWIN



2 Birkenspanner (dunkle und helle Form)

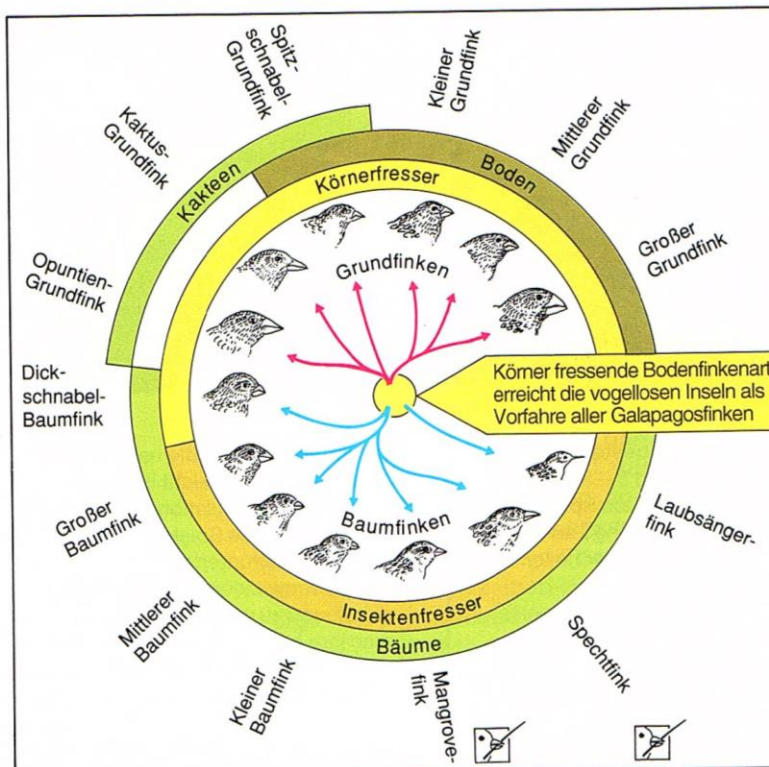
## Mutation und Selektion

Mit einer anderen Theorie, die in ihren Grundzügen noch heute gültig ist, erklärte DARWIN die Entstehung neuer Arten. Er ging davon aus, dass die Lebewesen viel mehr Nachkommen erzeugen als zur Erhaltung der Art notwendig sind. Da aber die Zahl der Tiere einer Art annähernd gleich bleibt, müssen viele vor der Fortpflanzung sterben.

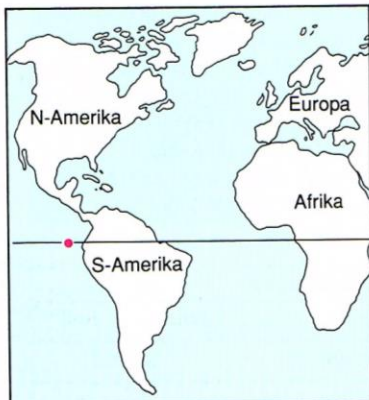
Das Beispiel des Birkenspanners zeigt, welche Tiere überleben und sich fortpflanzen. Diese Nachschmetterlinge sind normalerweise hellgrau gefärbt. Allerdings treten immer wieder dunkel gefärbte Tiere auf, die sich auf der hellen Birkenrinde deutlich abheben. Sie werden deshalb von ihren Feinden eher entdeckt und gefressen. Durch diese natürliche Auslese blieben früher vor allem die hell gefärbten Schmetterlinge erhalten. Mit zunehmender Industrialisierung änderte sich das Bild. In der Nähe von Industriestädten wurde die Baumrinde vom Ruß dunkler gefärbt. Nun war die dunkle Form im Vorteil und konnte sich hier durchsetzen.

Durch das dauernde Zusammenspiel von Erbgutveränderungen (*Mutationen*) und natürlicher Auslese (*Selektion*) können so neue Arten entstehen. Dabei liefert die Mutation das erbliche „Rohmaterial“. Die Selektion bestimmt dann, welche Mutationen sich durchsetzen und welche verschwinden. Diese stetige Auslese geeigneter Lebewesen führt schließlich zu einer Anpassung einer Tiergruppe an die jeweiligen Umweltbedingungen. Die so erworbenen Eigenschaften werden weiter vererbt.





1 Verbreitung der Darwinfinken-Arten



2 Geografische Lage der Galapagos-Inseln



3 Spechtfink



4 Großer Grundfink



5 Kaktus-Grundfink

## Isolation

Schon DARWIN wusste als erfolgreicher Taubenzüchter, dass Zuchttauben mit gewünschten Merkmalen nicht mehr mit solchen verpaart werden dürfen, die diese Merkmale nicht besitzen. Man muss die Rassen voneinander trennen (isolieren), damit sich ihr unterschiedliches Erbgut nicht wieder vermischt. Eine solche Isolation von Gruppen ist in der Natur dann gegeben, wenn geographische Schranken, z. B. Flüsse, Gebirge oder Meere, vorhanden sind.

Auf einer fünfjährigen Forschungsreise um die Erde (1831–1836) gelangte DARWIN auch zum *Galapagos-Archipel*. Auf den verschiedenen Inseln leben 13 *Finkenarten*, die ähnlich aussehen, sich jedoch in Schnabelform und Lebensgewohnheiten unterscheiden. So gibt es den Typ des Körnerfressers, andere Arten fangen mit ihren schlanken Schnäbeln Insekten und zwei Arten benutzen beim Beutefang sogar Kaktusdornen und Stöckchen als Werkzeug. Damit stochern sie in den Ritzen der Baumrinde.

DARWIN erkannte, dass die Finkenarten Nachkommen einer gemeinsamen Ahnenform sein mussten, die einst vom südamerikanischen Festland auf die Inseln verschlagen wurde (*geographische Isolation*). Auf den Inseln gab es weder Fressfeinde noch irgendwelche Nahrungskonkurrenten. Die Finken konnten sich aber nur so lange vermehren, wie es die vorhandene Nahrungsmenge zuließ. Andere Nahrungsquellen konnten erst genutzt werden, als durch Erbgutveränderungen (Mutationen) bei der ursprünglich bodenbewohnenden und Körner fressenden Ahnenform neue Ernährungsweisen möglich wurden. Das führte schließlich durch Auslese zur Herausbildung von Nahrungsspezialisten unter den Finken. So entstanden letztendlich mehrere voneinander abgegrenzte Fingengruppen, die sich nicht mehr untereinander fruchtbar kreuzen konnten (*ökologische Isolation*). Neue Arten waren entstanden.

### Aufgaben

- ① Erläutere, weshalb die Genetik LAMARCKS Evolutionstheorie widerlegt.
- ② Wie hat DARWIN die Entstehung der langhalsigen Giraffen erklärt?
- ③ Ärzte warnen davor, bei jeder einfachen Erkältung gleich Antibiotika einzunehmen. Antibiotika wirken als Selektionsfaktoren auf Krankheitserreger. Erkläre den Zusammenhang!