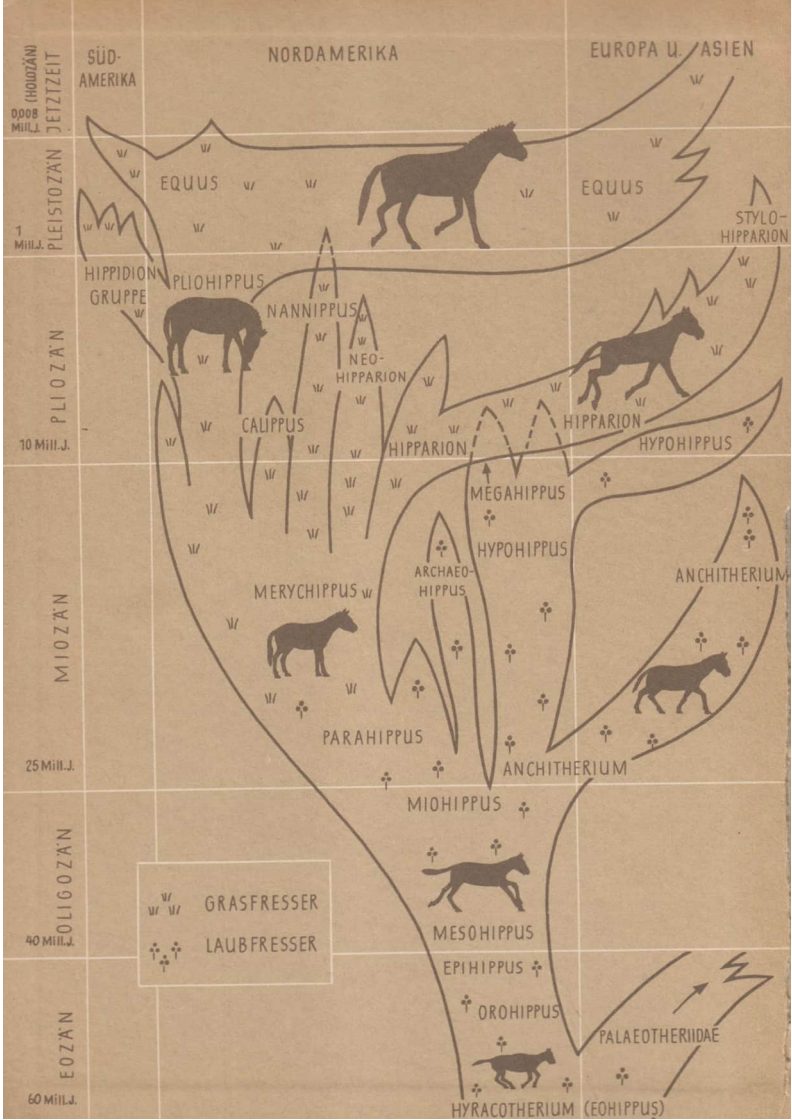
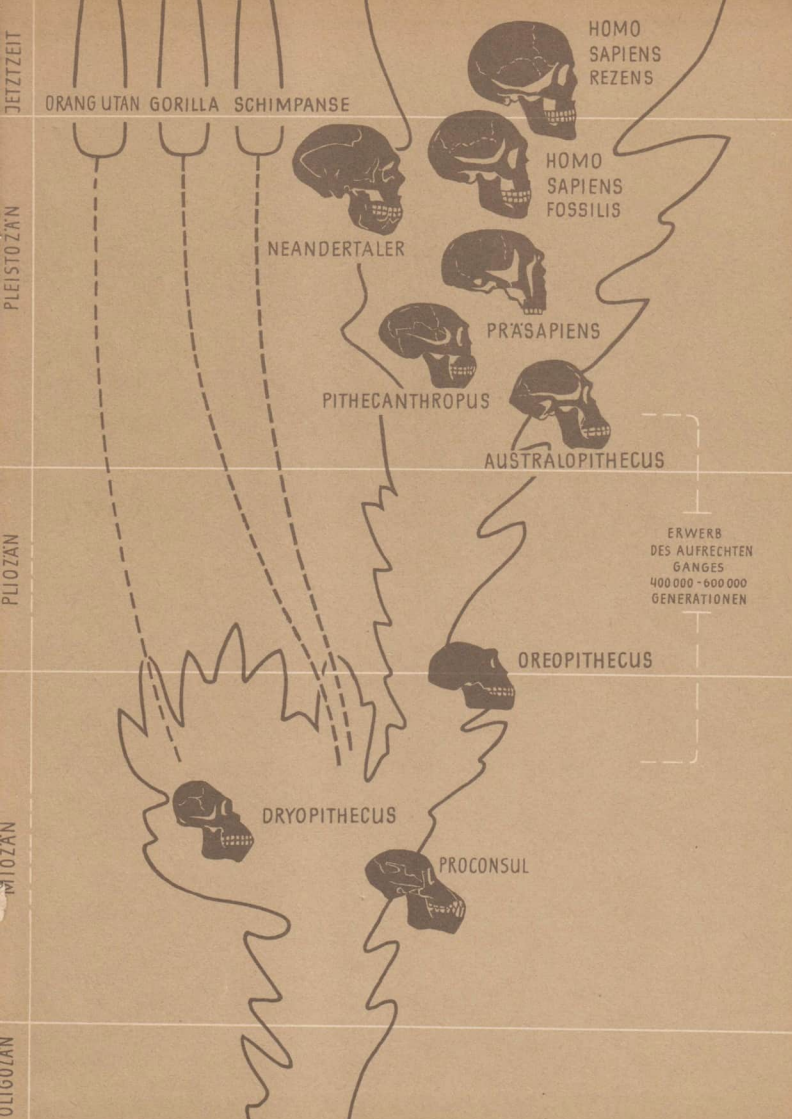
Entwicklung der Organismen


SÜD-AMERIKA
NORDAMERIKA
EUROPA U. ASIEN
(HOLOZÄN)
0,008 Mill.J.
JETZTZEIT
PLEISTOZÄN
1 Mill.J.
EQUUS
EQUUS
STYLO-HIPPARION
HIPPIDION-GRUPPE
PLIOHIPPUS
NANNIPPUS
NEO-HIPPARION
PLIOZÄN
10 Mill.J.
CALIPPUS
HIPPARION
HIPPARION
HYPOHIPPUS
MEGAHIPPUS
HYPOHIPPUS
ARCHAEO-HIPPUS
ANCHITHERIUM
MERYCHIPPUS
MIOZÄN
PARAHIPPUS
25 Mill.J.
ANCHITHERIUM
MIOHIPPUS
OLIGOZÄN
40 Mill.J.
GRASFRESSER
LAUBFRESSER
MESOHIPPUS
EPIHIPPUS
OROHIPPUS
PALAEOTHERIIDAE
EOZÄN
60 Mill.J.
HYRACOTHERIUM (EOHIPPUS)


JETZTZEIT
PLEISTOZÄN
PLIOZÄN
MIOZÄN
OLIGOZÄN
ORANG UTAN
GORILLA
SCHIMPANSE
HOMO SAPIENS REZENS
HOMO SAPIENS FOSSILIS
NEANDERTALER
PRÄSAPIENS
PITHECANTHROPUS
AUSTRALOPITHECUS
ERWERB DES AUFRECHTEN GANGES 400 000 - 600 000 GENERATIONEN
OREOPITHECUS
DRYOPITHECUS
PROCONSUL

Entwicklung der Organismen

LEHRBUCH DER BIOLOGIE

VOLK UND WISSEN
VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN
1968

Das Lehrbuch wurde verfaßt von Dr. habil. Herbert Bach, Dr. Dieter Bernhardt, Dr. Wolfgang Crome, Dr. Gisela Szigat, Dr. Peter Dill, Dr. Gunter Friedrich, Dr. Klaus Kloß, Dr. habil. Helmut Nestler, Prof. Dr. habil. Joachim Nitschmann, Dr. Heinz Riemann, Prof. Dr. habil. Georg Uschmann, Dr. Irmtraud Meincke, Dr. Martin Zacharias und Dr. Fritz Zachow.

Zur Begutachtung wurden führende Wissenschaftler der verschiedenen Bereiche der Biologie, Didaktiker und erfahrene Lehrer herangezogen.

Redaktion: Manfred Gemeinhardt und Gertrud Kummer.

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik als Schulbuch bestätigt.

Mit 122 Abbildungen im Text, 3 Farbtafeln und 4 Kunstdrucktafeln

4., unveränderte Auflage

Redaktionsschluß: 25. August 1967
Einband: Günther Klaus
Vorsatz: Günther Klaus, Roland Jäger, Rainer Zieger
Typografie: Atelier Volk und Wissen
ES 11 H · **Bestell-Nr. 011001-5** · **Preis 2,60** · Lizenz Nr. 203 · 1000/67 (UN)
Vervielfältigungsgenehmigung Nr. 1/48/67
Satz und Druck: VEB INTERDRUCK, Leipzig (III/18/97)

Inhaltsverzeichnis

Einleitung 5

Tatsachen beweisen die Entwicklungslehre . . 7
- Aus der Paläontologie 7
- Entwicklungsreihen 10
- Übergangsformen 13
- Aus der vergleichenden Anatomie 18
- Aus der vergleichenden Physiologie . . . 24
- Aus der Embryonal- und Jugendentwicklung 26
- Aus der Tier- und Pflanzengeographie . . 29

Wesen und Entstehung des Lebens 32
- Das Wesen des Lebens 32
- Stoffliche Zusammensetzung der Lebewesen 32
- Eigenschaften des Lebens 33
- Das Leben als spezifische Bewegungsform der Materie 35
- Die historische Entwicklung der Kenntnis vom Leben 37
- Die Entstehung des Lebens 41
- Überholte Vorstellungen von der Entstehung des Lebens 47

Die Organismen verschiedener Erdzeitalter 50

Abstammung und Entwicklung des Menschen 60
- Die Stellung des Menschen im Organismenreich 60
- Fossile Zeugnisse der Menschwerdung . . 64
- Die heutigen Menschenrassen 69
- Weitere biologische Entwicklungsvorgänge beim heutigen Menschen 71

Stammesgeschichte und System der Organismen 74

Übersicht über das natürliche System der Organismen 76

Zur Geschichte der Entwicklungslehre . . . 83
- Die Entwicklungslehre LAMARCKs 87
- CHARLES DARWIN und seine Lehre 89
- Die Verbreitung des Darwinismus 96

Grundlagen der Vererbung 100
- Die Variabilität 100
- Fortpflanzung und Vererbung 105
- Natur und Wirkungsweise der Erbfaktoren 119
- Mutationen 122

Faktoren der stammesgeschichtlichen Entwicklung 125
- Die Selektion 125
- Die Mutation 126
- Die Isolation 130
- Populationswellen 131
- Die Kombination 132
- Das Zusammenwirken der Evolutionsfaktoren 133

Die Züchtung von Pflanzen und Tieren . . . 138
- Von der Wildform zur Kulturpflanze und zum Nutztier 138
- Aufgaben und Ziele der Züchtung 141
- Methoden der Pflanzenzüchtung 144
- Methoden der Tierzüchtung 153
- Die Organisation der Züchtung 157

Worterklärungen 160

Sachwortregister 172

Einleitung

Auf unserer Erde leben einige Millionen Organismenarten. Wir konnten bisher nur wenige von ihnen kennenlernen, aber dennoch haben wir eine allgemeine Vorstellung von ihrer Vielgestaltigkeit: Wir sahen winzige Mikroben unter dem Mikroskop und hörten von mehr als 30 Meter langen Walen. Wir lernten die verschiedensten Lebensäußerungen der Pflanzen und die unterschiedlichen Verhaltensweisen der Tiere kennen. Trotz aller Vielgestaltigkeit zeigen die Organismen in den grundsätzlichen Lebensfunktionen aber eine weitgehende Einheitlichkeit.

Wir stellten fest, daß alle Organismen aus hochkomplizierten Eiweißen und Nukleinsäuren bestehen und alle höheren Pflanzen und Tiere aus Zellen aufgebaut sind.

Wir wissen, daß in der Regel Bau und Funktion der Organismen gut mit dem Leben in einer bestimmten Umwelt übereinstimmen: Die Organismen sind im Bau ihrer Organe und in ihren Lebensäußerungen ihrer Umwelt angepaßt.

Bereits im Altertum haben bedeutende Naturwissenschaftler und Philosophen darüber nachgedacht, wie die Vielgestaltigkeit und die Einheitlichkeit sowie das Angepaßtsein der Organismen zustande kommen.

Einige äußerten den Gedanken, daß die vielen verschiedenen Lebewesen das Ergebnis einer natürlichen gesetzmäßigen Entwicklung seien.

Erst im 19. Jahrhundert entstanden, vornehmlich in Frankreich und in England, umfassende Theorien von einer Entwicklung der Lebewesen auf Grund natürlicher Gesetze. Die Entwicklungslehren leiteten eine neue Epoche in der Biologie ein. Inzwischen hat sich die Lehre von der natürlichen Entwicklung der Organismen allgemein durchgesetzt.

Die Entwicklungslehre läßt alle Erscheinungen der lebenden Materie in ihrem geschichtlichen Werden erkennen. Sie ist die allgemeinste Theorie der Biologie. Deshalb arbeiten an der weiteren Vervollkommnung der Entwicklungslehre auch Forscher aus allen Bereichen der biologischen Wissenschaft. Sie bemühen sich, von den verschiedensten Seiten her die Herausbildung der Organismengruppen, ihre Stammesgeschichte, aufzuklären.

Aus der Paläontologie

Seit etwa 2 Milliarden Jahren gibt es auf der Erde Lebewesen. Ein besonderer Zweig der biologischen Wissenschaften, die Paläontologie (Wissenschaft von den heute ausgestorbenen Organismen früherer Erdzeitalter), die eine Mittelstellung zwischen der Biologie und der Geologie einnimmt, erforscht die Lebewesen vergangener Zeitalter. Bei ihrer Arbeit sind die Paläontologen auf Reste der Lebewesen angewiesen, die oft Jahrmillionen erhalten geblieben sind. Sie rekonstruieren daraus die Lebewesen, bestimmen deren Alter und gewinnen so einen immer vollständigeren Überblick über die Entwicklung des Lebens in den verschiedenen Erdzeitaltern (s. S. 50ff.).

Aufgabe

Informieren Sie sich in dem Schülerleseheft „Lebensspuren im Stein"[1] über die Arbeit der Paläontologen!

Die Fossilien

Tote Tiere und Pflanzen werden durch die Tätigkeit anderer Organismen, vor allem durch Kleinlebewesen, schnell zersetzt. Unter besonderen Bedingungen jedoch können Knochen, Schalen und sogar Weichteile erhalten bleiben.

Im Bergbau, in Steinbrüchen, bei Ausschachtungen oder sonstigen Erdarbeiten werden manchmal Reste von Lebewesen gefunden. Man bezeichnet diese Funde als Fossilien.

Die Fossilien sind mehr oder weniger gut erhalten. Vollständige Tiere oder Pflanzen werden sehr selten gefunden.

Im sibirischen Eis fand man ganze Mammutleichen. Sie waren durch die niedrigen Temperaturen konserviert worden. An anderer Stelle entdeckte man ein vollständig erhaltenes Wollhaariges Nashorn. Es war in eine Spalte voll Erdwachs gefallen. Das Konservierungsmittel durchtränkte den ganzen Körper und bewirkte seine Erhaltung. Kleinere Lebewesen, wie Mücken, Blattläuse und Käfer, findet man oft in Bernstein eingeschlossen. Weil in den Einschlüssen auch die kleinsten Körperteile unbeschädigt sind, geben sie uns ein recht genaues Bild. Allerdings ist der Bernstein erdgeschichtlich sehr jung, und deshalb sind die darin eingeschlossenen Insekten größtenteils in heute lebende Gattungen und Familien einzuordnen.

Knochenfunde. Knochen, Zähne und andere Hartteile (z. B. Schalen, Gehäuse) blieben vielfach in ihrer Form erhalten. Sie waren nur geringfügig chemisch verändert. Die Rekonstruktion eines „Urpferdchens" erfolgte beispielsweise aus einem vollständig zusammenhängenden Skelett, das neben anderen isolierten Skeletten und zahlreichen weiteren Schädeln beziehungsweise Unterkiefern in der Braunkohle des Geiseltales bei Halle gefunden wurde.

[1]) NESTLER, H.: Lebensspuren im Stein. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1964. Bestell-Nr. 01 1816.

Versteinerungen. Von Pflanzen oder Tieren, die von Erdmassen überdeckt wurden, ist oft nur die Form erhalten geblieben. Die chemische Zusammensetzung ihres Körpers hat sich jedoch durch verschiedene im Grundwasser gelöste Stoffe verändert. Solche Fossilien bezeichnen wir als Versteinerungen.
Dabei unterscheiden wir je nach dem Material, das sich an Stelle der Skelettsubstanz abschied: Verkalkung, Verkieselung oder Vererzung.
Abdrücke. Von Organismen, die keine Hartteile besitzen, sind manchmal Abdrücke erhalten geblieben. Die Organismen wurden im Schlamm oder weichen Untergrund zersetzt. Durch Überlagerungen mit Feinschlamm und dessen nachträgliche Verfestigung blieb die äußere Form der Organismen ziemlich genau erhalten. Auf diese Weise sind von Tieren und Pflanzen Abdrücke entstanden, die man heute in verschiedenen Erdschichten finden kann. Auch Abdrücke von Kriechspuren sind gefunden worden; sie geben uns Aufschluß über die Art und Weise der Fortbewegung einzelner Tiere, die heute ausgestorben sind (Abb. 1).

Abb. 1 Abdruck von Kriechspuren eines Sauriers im Sandstein der Triasformation

Altersbestimmung einer Schicht

Atomzerfall. Das **absolute** Alter der Erdschichten läßt sich recht genau bestimmen. Dabei wird der gleichmäßig verlaufende Atomzerfall benutzt.
Beim Atomzerfall wird ein Grundstoff (z. B. Uran) in einen anderen (z. B. Blei) umgewandelt. In gleichen Zeitabschnitten verwandeln sich gleiche Mengen des Ausgangsmaterials in den neuen Grundstoff. Die Geschwindigkeit, mit der sich Uran in Blei verwandelt, ist genau bekannt. Der Atomzerfall, den die Wissenschaftler in Laboratorien künstlich hervorrufen, findet in der Natur ständig statt. Uran und Blei sind in manchen Gesteinen der Erdkruste enthalten. Aus der Menge des in Blei umgewandelten Urans bestimmen die Wissenschaftler die Zeit, die seit der Entstehung des Gesteins verflossen ist, also das Alter des Gesteins.
Leitfossilien. Bei Schichtgesteinen lassen sich Zeitbestimmungen mit Hilfe des Atomzerfalls ebenfalls durchführen. (Diese Methode ist jedoch sehr aufwendig. In der Regel genügt es, etwas über das **relative** Alter der Schichten zu wissen. Dazu sind die in den Schichten eingeschlossenen Fossilien sehr gut geeignet.)
Jede Schicht hat sich zu einer bestimmten Zeit abgesetzt. Dabei wurden die Tiere und Pflanzen, die zu dieser Zeit lebten, mit eingebettet. Die Fossilien der verschiedenen Schichten unterscheiden sich zumeist sehr deutlich voneinander.
In den einzelnen Erdzeitaltern treten immer wieder neue Formen auf. Die zu den Gliederfüßern gehörenden Dreilapper (Trilobiten) beispielsweise gibt es nur im Erd-Altertum. Im Erd-Mittelalter erscheinen erstmalig die Säugetiere. Finden wir also Säugetierknochen in einer Gesteinsschicht, dann wissen wir, daß die Schicht nicht aus einer Zeit vor dem Erd-Mittelalter stammen kann. Die Tiere und Pflanzen, die in einem bestimmten, verhältnismäßig engbegrenzten Zeitabschnitt der Erdgeschichte häufig auf-

treten, bezeichnet man als Leitfossilien. Davon kennt man bereits Tausende, und immer wieder werden neue ermittelt.

Wo finden wir Fossilien?

Die versteinerten Zeugen des Lebens in früheren Zeiten sind nicht nur den Fachleuten zugänglich. Auch wir können uns eine Sammlung anlegen. Oft kann aber nur der Wissenschaftler das Fossil richtig bestimmen und zeitlich einordnen. Dadurch aber wird es erst zu einem Schlüssel für die jahrmillionenlange Geschichte des Lebens. Daran sollte jeder denken, der etwas Besonderes gefunden hat.

In Norddeutschland sind die Ablagerungen aus der Kreidezeit (weiße Schreibkreide) ein dankbares Sammelgebiet. Man findet häufig am Strande fossile Seeigel, deren Inneres zumeist mit Feuerstein ausgefüllt ist. Seeigel – sie gehören zu den Stachelhäutern – sind uns auch aus den heutigen Meeren bekannt.
Daneben kommen auch Reste von Verwandten unserer heutigen Tintenschnecken (auch Tintenfisch genannt, Abb. 2) vor. Diese unter dem Namen Donnerkeile bekannten Stücke bestehen zum Teil aus Kieselsäure; sie fallen meist durch ihre gelbe bis graubraune Farbe auf. Es sind etwa fingerstarke; in eine Spitze auslaufende runde Säulchen (Abb. 4).
Mitunter findet man auch Feuersteine von keulenförmiger Gestalt. Es sind meist verkieselte Schwämme. Man kann an ihnen manchmal die kleinen Schwammnadeln erkennen.
In der weißen Schreibkreide finden sich besonders viele Reste von Kleinlebewesen. Bringen wir ein Stück ungereinigter Kreide auf ein feines Sieb und schlämmen es so lange, bis nur noch ein kleiner, körniger Rückstand übrigbleibt, dann können wir unter dem Mikroskop die verschiedensten Formen erkennen. Vielgestaltige Einzeller liegen neben kleinen Seeigelstacheln. Kleine Sternchen sind Stielglieder von Seelilien (Abb. 3). Winzige Nadeln von Schwämmen und noch vieles mehr können uns überraschen. Diese feinen Gebilde stammen aus dem Kreidemeer vor rund 80 Millionen Jahren.

In den Kalkbergen von Rüdersdorf bei Berlin haben wir Ablagerungen des Muschelkalkmeeres vor uns. Wie am Strand der Ostsee können wir dort regelrechte Muschelpflaster beobachten.
Auch der Muschelkalk im Thüringer Becken, der aus der Trias stammt, ist reich an Muscheln, Schnecken und anderen Weichtieren sowie Seelilien.

Abb. 2 Heute lebende Tintenschnecke (Kopffüßer), schwimmend

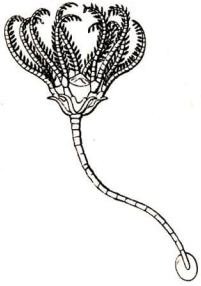


Abb. 3 Seelilie; ein noch heute lebender Stachelhäuter

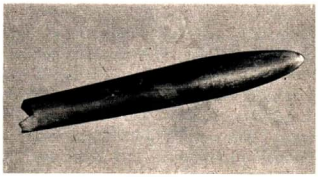


Abb. 4 Donnerkeil; fossiler Rest ausgestorbener Tintenschnecken

Die Entwicklung des Pferdes

Eine Tiergruppe, deren Geschichte von den Paläontologen recht genau erforscht wurde, bilden die Pferde. Die heute wildlebenden Pferde sind ausgezeichnet an ihre Umwelt angepaßt. Das können wir gut an der Lebensweise des Zebras, eines Verwandten des Hauspferdes, erkennen. Das Hauspferd selbst wollen wir in unsere Betrachtungen nicht einbeziehen, da seine Umwelt vom Menschen geformt und gestaltet wird. Im Körperbau weisen Hauspferde und Zebras keine wesentlichen Unterschiede auf.

Die Zebras besiedeln in großen Herden die Steppen Afrikas. Ihre Nahrung besteht hauptsächlich aus harten Steppengräsern. Die schwer zu zerkleinernde Nahrung führt sehr schnell zur Abnutzung der Zähne. Diese starke Abnutzung aber wird weitgehend durch besonders hohe Zahnkronen ausgeglichen.

Seinen Feinden entzieht sich das Zebra in den weiten Ebenen durch Flucht. In Anpassung an das schnelle Laufen ist die Berührungsfläche zwischen Fuß und Erdboden besonders klein.

Bei allen schnell laufenden Huftieren (z. B. Reh, Hirsch, Büffel, Pferd) berührt der Fuß nur noch mit den Zehenspitzen den Boden. Auch der Mensch, der normalerweise ein Sohlengänger ist, richtet seinen Fuß beim schnellen Lauf auf und läuft nur noch auf dem vorderen Teil (Ballen) des Fußes.

Beim Zebra und Pferd berührt nur noch die Spitze einer Zehe den Boden, dadurch entsteht eine besonders kleine Trittfläche.

Das heute lebende Pferd hat eine Geschichte von vielen Millionen Jahren. In den Ablagerungen der Tertiärzeit fand man in Nordamerika und Europa Knochen und vollständige Skelette von Vorfahren der Pferde, die man mit den Skeletten unserer heute lebenden Pferde verglichen hat. Dabei stellte man fest, daß sich das Pferd im Laufe seiner Entwicklung stark verändert hat (s. vordere innere Umschlagseite).

Kurz nach Beginn der Erdneuzeit (Eozän) gab es in Nordamerika ausgedehnte Sumpfwälder. Überall breitete sich ein Dickicht saftiger grüner Pflanzen aus. In diesen Wäldern lebte ein kleiner, 25 cm hoher Vorfahre unserer Hauspferde. Dieses „Urpferdchen" *(Hyracotherium*, früher *Eohippus;* Abb. 5*)* fraß weiches, saftiges Laub. Es nutzte sein Gebiß kaum ab, die Backenzähne besaßen nur eine niedrige Krone. Die Vorderfüße der Tiere berührten noch mit vier Zehen, die kleine Hufe trugen, den Boden. Die fünfte Zehe, die dem

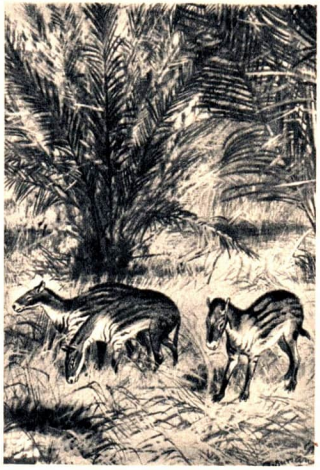


Abb. 5 Das „Urpferdchen" *Hyracotherium*

Daumen der menschlichen Hand entspricht, war stark verkümmert. Die Hinterfüße berührten nur noch mit je drei Zehen den Boden.

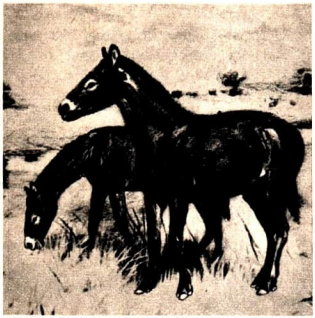


Abb. 6 Ein Nachfolger des „Urpferdchens", *Mesohippus*

Die Weiterentwicklung des „Urpferdchens" *(Mesohippus*, Abb. 6*)* ist durch viele Fossilien belegt. Diese Pferde lebten ebenfalls in Nordamerika. Sie waren bereits wesentlich größer. Die Rückbildung der Zehen war bei ihnen weiter fortgeschritten: Vorder- und Hintergliedmaßen waren dreizehig. Die Hauptlast des Körpers wurde bereits von den Mittelzehen getragen, die entsprechend kräftig ausgebildet waren.
Diese Entwicklung schritt bei den nachfolgenden Pferdeformen ständig weiter voran. Die Tiere wurden immer größer, die beiden Seitenzehen ihres Fußes aber immer bedeutungsloser. Sie verkümmerten schließlich vollständig. Übrig blieben nur die kräftigen, behuften Mittelzehen, wie wir sie von unserem Hauspferd kennen (Abb. 7).

Die Größenzunahme in der Pferdereihe ist nicht als außerordentlich zu bezeichnen; auf die Dauer des Tertiärs umgerechnet ist sie nicht sonderlich groß. Die Zunahme der Körpergröße des Menschen von der Mitte des vorigen Jahrhunderts bis heute beträgt mehr als das 50000fache im Vergleich zur Größensteigerung in der Pferdereihe.
Nur ein Teil der Laubfresser stellt sich auf Grasnahrung um. Ein anderer Teil verbleibt bei der Laubnahrung, und ihre Träger entwickeln sich noch mindestens 25 Millionen Jahre weiter, um erst gegen Ende des Tertiärs auszusterben.
In ihrer stammesgeschichtlichen Entwicklung ist bei den Pferden also eine enge Wechselbeziehung zwischen den Lebensbedingungen und dem Körperbau festzustellen.

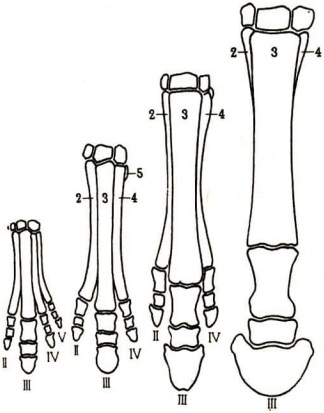


Abb. 7 Entwicklungsreihe des Pferdefußskeletts; links Fußskelett der ältesten Form („Urpferdchen"), rechts Fußskelett der jüngsten Form (Hauspferd)
Die arabischen Ziffern bezeichnen die Mittelfußknochen, die römischen Ziffern die Zehen. Beim Hauspferd ist nur noch die Mittelzehe (III) ausgebildet; von den Mittelfußknochen 2 und 4 sind nur noch Reste als „Griffelbeine" erhalten geblieben.

Die Entwicklung des Zapfens der Nadelbäume

Von den nacktsamigen Pflanzen, zu denen auch unsere Nadelbäume gehören, sind erste Formen schon aus dem Erd-Altertum bekannt. Die Vorfahren dieser Pflanzen, die Cordaiten (Abb. 39), kennen wir aus Abdrücken in der Steinkohle des Karbons.
Durch viele Funde von Abdrücken und Einschlüssen aus den folgenden Erdepochen können wir die Entwicklung dieser Pflanzengruppe recht gut verfolgen. Besonders eindrucksvoll ist dabei die Entwicklung ihrer Zapfen. Sie entstanden aus den kätzchenartigen Blütenständen der Cordaiten.
Am besten verstehen wir diese Entwicklung, wenn wir die allmählichen Umwandlungen im Bau einer einzelnen Blüte verfolgen (Abb. 8).
Die abgebildeten Beispiele sind keine Stufen einer geschlossenen Entwicklungsreihe. Sie stellen teilweise Ansätze und Stufen von Seitenzweigen der Entwicklung dar. An ihnen läßt sich aber die ständige Vereinfachung der Blüten, die Entwicklung vom lockeren Blütenkätzchen zum geschlossenen Zapfen, gut erkennen.

1. Die Blüte besteht aus mehreren unfruchtbaren Schuppen und einigen Samenanlagen, die oft an gekrümmten Stielchen sitzen. Mehrere Blüten stehen als lockere Kätzchen an der Blütenachse zusammen.

2. Bei der Blüte der ersten echten Nadelbäume haben sich die unfruchtbaren Schuppen zusammengeschlossen; eine von ihnen hat sich zu einer deutlichen Deckschuppe vergrößert, die die Blüte schützt. Der gesamte Blütenstand wird dadurch einem Zapfen ähnlich.

3. Die unfruchtbaren Schuppen sind zu einer einzigen verwachsen, die mit der Samenanlage (bei einigen Arten sind es mehrere Samenanlagen) zur Samenschuppe verwächst.

4. Die Samenschuppe verwächst mit der Deckschuppe, es entsteht ein Schuppenkomplex, wie wir ihn von den Zapfen unserer Nadelbäume kennen.

5. Der Anteil der Deckschuppe hat sich rückgebildet und sitzt nur als kleines Spitzchen der Samenschuppe an. Bei den Kiefernzapfen ist die Deckschuppe gänzlich rückgebildet.

Abb. 8 Zur Entwicklung des Zapfens der Nadelbäume
Die einzelnen Zeichnungen stellen Ausschnitte aus dem gesamten Blütenstand dar, der sich vom lockeren Kätzchen bis zum geschlossenen Zapfen entwickelt. (Die Samenanlagen sind schwarz, die unfruchtbaren Schuppen sind weiß, die Deckschuppen schraffiert gezeichnet.)

Übergangsformen

Die ausgestorbenen (fossilen) Lebewesen unterscheiden sich oft beträchtlich von den Organismen, die die Erde heute besiedeln (rezente Lebewesen). Einige fossile Formen vereinen in sich Merkmale, die wir heute getrennt voneinander bei verschiedenen Organismengruppen finden. Bestimmte fossile Formen weisen zum Beispiel nebeneinander Merkmale der rezenten Kriechtiere und der rezenten Vögel auf. Sie stammen aus erdgeschichtlichen Zeiten, in denen sich die rezenten Gruppen noch nicht in ihrer heutigen Gestalt herausgebildet hatten, sondern erst begannen, sich aus gemeinsamen Vorfahren zu selbständigen Gruppen zu entwickeln. Diese Formen werden als Übergangsformen oder Zwischenformen bezeichnet.

Funde von Übergangsformen sind sehr selten. Sie haben für die Forschung außerordentliche Bedeutung; denn sie beweisen mit größter, sonst kaum erreichbarer Exaktheit einzelne entscheidende Phasen der Stammesgeschichte.

Die Urvögel

Bei Solnhofen in Süddeutschland werden in einer Anzahl von Steinbrüchen plattenartig ausgebildete Kalke abgebaut, die als Dachplatten, Bodenbelag und Wandverkleidung benutzt werden. Diese Plattenkalke enthalten viele Fossilien. Nachdem man bereits 1860 im Kalk eine fossile Vogelfeder gefunden hatte, brachten die Steinbrucharbeiter 1861 den Abdruck eines ganzen Vogelskeletts zutage. Dieses Exemplar wurde für 450 englische Pfund nach London verkauft.

Sechzehn Jahre später stieß man auf ein ähnliches, besser erhaltenes Vogelskelett. Nach langen Verhandlungen wurde es zu einem Preis von 20000 Mark für die Berliner Universität erworben. Es befindet sich auch heute noch im Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität (Tafel gegenüber S. 16). Ein drittes Skelett wurde 1956 bei Langenaltheim, westlich von Solnhofen, gefunden.

Abb. 9 So müssen die Urvögel ausgesehen haben

Die Urvögel, die in der Wissenschaft den Namen *Archaeopteryx* erhielten, sind wichtige Belegstücke für die Stammesgeschichte der Vögel, ja für die gesamte Abstammungslehre.

Sieht man nur flüchtig auf die *Archaeopteryx*, so ist man schnell geneigt, sie zu den Vögeln zu rechnen (Abb. 9). Die deutlich erkennbaren Abdrücke der Federn lassen das durchaus berechtigt erscheinen. Beim genauen Betrachten jedoch können wir erkennen, daß eine ganze Reihe von Merkmalen auftreten, die den heute lebenden Vögeln fehlen.

Abb. 10 Rekonstruktion des Kopfes von *Archaeopteryx*

So hat die *Archaeopteryx* im Unter- und Oberkiefer kegelförmige **Zähne** (Abb. 10), während bei den heute lebenden Vögeln niemals Zähne ausgebildet sind.

Ein auffallender Unterschied zeigt sich auch in der Ausbildung der **Flügel**. Untersuchen wir einen heute lebenden Vogel, so erkennen wir, daß alle Knochen der vorderen Gliedmaßen in die Flügel einbezogen sind. Die *Archaeopteryx* dagegen besitzt an den Flügeln noch drei frei bewegliche Finger. Vermutlich wurden sie als Greiforgane benutzt, wenn der „Urvogel" im Geäst kletterte (Abb. 9).

Als sehr urtümliches Merkmal besitzt die *Archaeopteryx* ferner einen langen **Schwanz**. Dieser wird nicht, wie bei heute lebenden Vögeln (z. B. Fasan), durch lange Schwanzfedern nur vorgetäuscht, sondern von 20 bis 21 Wirbeln gebildet, an denen beiderseits Federn ansetzen (Abb. 9 u. Tafel gegenüber S. 16).

Beim Flug sind Schultergürtel, Brustkorb sowie Wirbelsäule im Bereich des Rückens einer großen Belastung ausgesetzt. Diese Knochen sind bei unseren heutigen Vögeln kräftig ausgebildet und untereinander ziemlich fest verbunden. Bei der *Archaeopteryx* dagegen ist keine feste Verbindung vorhanden. Man muß deshalb annehmen, daß sie kein guter Flieger gewesen ist.

Alle genannten Merkmale, die die *Archaeopteryx* von heute lebenden Vögeln unterscheiden (Bezahnung, Ausbildung der Finger, des Schwanzes und des Brustabschnittes), zeigen große Ähnlichkeiten mit dem Skelett der Kriechtiere.

Die Vorfahren der *Archaeopteryx* waren echte Kriechtiere. Sie lebten in felsigen Gebieten, waren klein und zierlich, vollständig mit Schuppen bedeckt und liefen ähnlich aufgerichtet wie die heutigen Känguruhs (jedoch nicht hüpfend), nur auf den Hinterbeinen. In der weiteren Entwicklung haben sich bei den Vorfahren unserer Vögel die Schuppen in Federn umgewandelt. Die Vogelfeder ist eine besonders entwickelte Schuppe (Abb. 11).

Das Gefieder vergrößerte die Körperoberfläche, besonders im Bereich der Vordergliedmaßen, beträchtlich. Die Urformen unserer Vögel kletterten im Astwerk der Bäume. Beim Sprung auf den Erdboden wirkte das Gefieder wie ein Fallschirm, so daß die Tiere schwebten. Das waren die Anfänge des Vogelfluges.

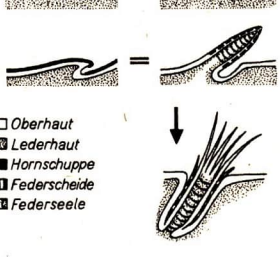


Abb. 11 Die Entwicklung von Schuppe (links) und Feder (rechts) aus gleichen Anlagen

Die *Archaeopteryx* lebte in der Juraformation. Drei Exemplare dieser „Urvögel" kennen wir, die über Jahrmillionen hinweg erhalten blieben.

Die Quastenflosser

Fische sind uns aus vielen Ablagerungen des Erd-Altertums bekannt. Die Skelettmerkmale der ersten Landwirbeltiere, der Lurche, deuten einwandfrei darauf hin, daß sie sich aus bestimmten fossilen Fischen entwickelt haben.

Der Übergang vom Wasser- zum Landleben wurde vor allem durch Änderungen im Bau der Atmungsorgane sowie der Gliedmaßen ermöglicht: An Stelle der Kiemenatmung trat die für das Landleben der Wirbeltiere unerläßliche Lungenatmung; die Brust- und Bauchflossen bildeten sich in Gliedmaßen um, die eine Fortbewegung auf dem Lande ermöglichten.

Noch heute leben in Südamerika, Afrika und Australien eigenartige Fische, die außer ihren Kiemen eine Art Lunge besitzen. Sie können so auch außerhalb des Wassers atmen. Diese Tiere werden als *Lungenfische* bezeichnet (Abb. 12). Die wenigen heute noch lebenden Arten sind Überreste einer Fischgruppe, die im Erd-Altertum weit verbreitet war. Sie weist gewisse Ähnlichkeiten mit den Lurchen auf. Deshalb nahm man früher an, daß die Lurche sich aus diesen Tieren entwickelt hätten. Neuere Forschungsergebnisse zeigen jedoch, daß die Lungenfische nicht Ahnen unserer Lurche sind. Sie waren bereits zu stark an besondere Bedingungen angepaßt. Außerdem konnten ihre Flossen nicht zu Laufgliedmaßen umgebildet werden.

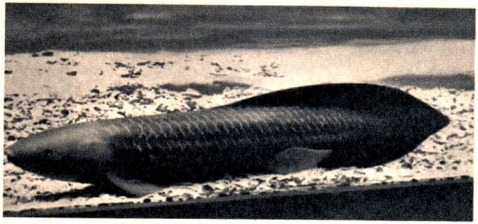


Abb. 12 Lungenfisch

Abb. 13 Heute lebender Quastenflosser

Als Vorfahren der Lurche können wir eine Fischgruppe, die sogenannten Quastenflosser, ansehen. Ihren Namen verdanken diese Fische ihren eigenartigen, quastenförmigen Flossen. Sie waren im Erd-Altertum weit verbreitet. Später ging ihre Verbreitung immer mehr zurück. Man glaubte bis vor kurzem, daß die Quastenflosser (Abb. 13) ausgestorben seien. In den letzten Jahren wurden aber einige Exemplare in den Gewässern bei Madagaskar gefangen. Nun können die Erkenntnisse, die an den Versteinerungen gewonnen wurden, an lebenden Formen ergänzt und überprüft werden.

Beim Vergleich des Flossenskeletts der Quastenflosser mit den Gliedmaßen der Landwirbeltiere finden wir Ähnlichkeiten. Ein einzelner, kräftiger Knochen steht mit dem Schultergürtel in Verbindung; ihm entspricht der Oberarmknochen der Landwirbeltiere. Zwei weiteren Knochen entsprechen Elle und Speiche. Auf diese Längsachse folgt eine Reihe von Knochenstrahlen, die im einzelnen zwar nicht den Handknochen der Landwirbeltiere entsprechen, deren gesetzmäßige Anordnung aber bereits die Weiterentwicklung zum strahligen Hand- oder Fußskelett der Landwirbeltiere andeutet (s. Farbtafel 1). Außerdem zeigt auch die Anordnung der Schädelknochen bei urtümlichen Lurchen deutlich ihre Herkunft von den Quastenflossern.

Wenn durch starke Sonneneinstrahlung und Mangel an Niederschlägen die Binnengewässer, in denen die Quastenflosser lebten, austrockneten, mußten die Tiere ersticken. Ein Teil von ihnen war jedoch in der Lage, mit Hilfe von Ausstülpungen des Vorderdarms vorübergehend atmosphärische Luft zu atmen. Ihre kräftigen paarigen Flossen gaben ihnen außerdem die Möglichkeit, auf dem Festland an neue Wasseransammlungen zu gelangen. Diese Wanderungen über das Land waren vermutlich die Ursache dafür, daß sich die Flossen zu Gehwerkzeugen umbildeten.

Es ist anzunehmen, daß sich die Quastenflosser sowohl durch Schlängelbewegungen als auch durch die Betätigung der paarigen Flossen vorwärtsbewegten. Ähnlich bewegen sich auch heute noch viele Lurche (z. B. Salamander, Abb. 14).

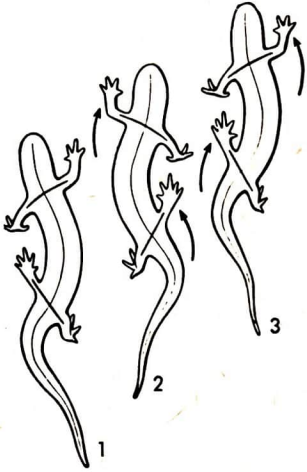
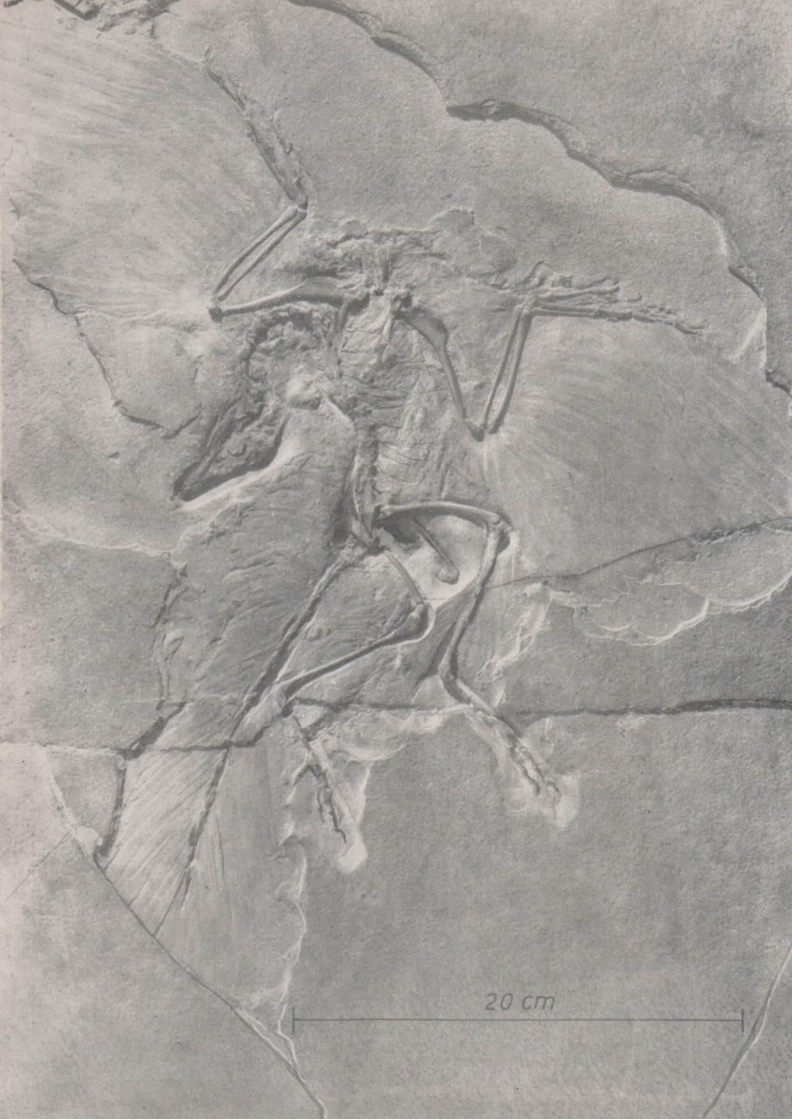


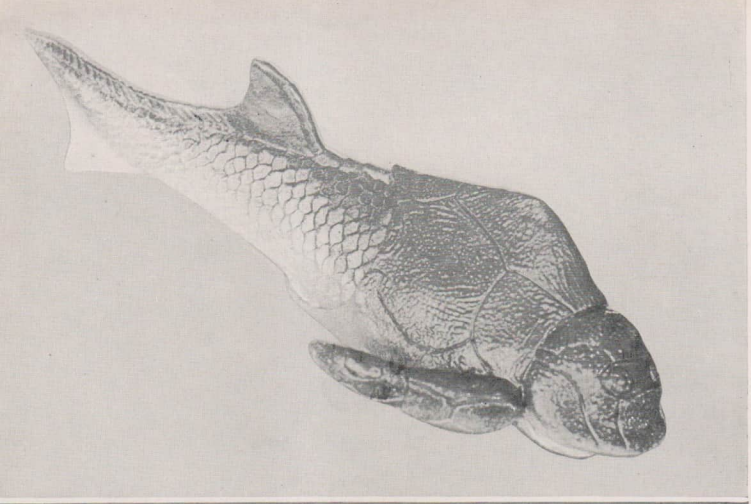
Abb. 14 Kriechbewegungen eines Salamanders

Nacktsprosser und Farnsamer

Nacktsprosser. Die Nacktsprosser (Psilophyten, Abb. 15) besiedelten als erste Pflanzen das Festland; sie haben sich im Silur aus Meerestangen entwickelt. Die Nacktsprosser besaßen keine oder nur sehr kleine Blätter und assimilierten mit ihren gabeligen Sproßachsen. Sie hatten noch keine Wurzeln, sondern hielten sich mit wurzelähnlichen

Tafel 1 Dieser Abdruck des Urvogels *Archaeopteryx* wurde 1877 in den Solnhofener Plattenkalken gefunden


20 cm



Gebilden im Boden fest. Dadurch waren sie äußerlich den Algen noch sehr ähnlich. In Anpassung an die neue Umwelt besaßen sie aber eine feste Oberhaut mit Spaltöffnungen sowie einfache Leitbündel, die die Wasserleitung im Pflanzenkörper erleichterten und zugleich den Pflanzen einen gewissen Halt verliehen. Durch diese Merkmale, vor allem auch durch den Besitz von Sporenkapseln, leiten die Nacktsprosser zu den echten Farnpflanzen über.

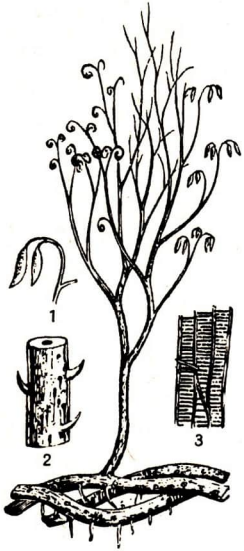


Abb. 15 Ein Nacktsprosser der Gattung *Psilophyton*
1 Sporenkapseln, 2 Sproßachsenstück mit dornförmigen Auswüchsen, 3 Gefäßzellen

Abb. 16 *Lygimopteris*, eine windende Farnsamerpflanze

Farnsamer. Die Farnsamer (Pteridospermen, Abb. 16) traten in der Steinkohlenzeit auf. Sie wurden auf Grund der farnähnlichen Ausbildung ihrer Blätter lange Zeit für echte Farne gehalten. Erst in diesem Jahrhundert konnten Wissenschaftler nachweisen, daß diese farnähnlichen Pflanzen echte Samen besaßen, deren Samenanlage große Ähnlichkeit mit der der Nacktsamer hat. Die Farnsamer zeichnen sich außerdem durch den Besitz eines Kambiums im Sproß aus, das bei den Farnen noch fehlt. Sie werden heute als die einfachsten Nacktsamer aufgefaßt.

Die Kenntnis der **Übergangsformen,** wie sie beispielsweise Urvögel, Quastenflosser und Nacktsprosser darstellen, läßt uns die Verwandtschaft zwischen bestimmten Organismengruppen erkennen. Sie zeigt uns, daß auch so unterschiedliche Tierklassen wie beispielsweise die Reptilien und Vögel stammesgeschichtlich eng zusammenstehen.

Aufgaben und Fragen

1. Auf welche Weise konnten Reste von Organismen über lange Zeiträume erhalten bleiben?
2. Welche Voraussetzungen müssen gegeben sein,

Tafel 2 Oben: Rekonstruktion eines Panzerfisches
Mitte: Rekonstruktion eines Quastenflossers. Die Gliedmaßen ermöglichen die Fortbewegung auf dem Festland.
Unten: Rekonstruktion eines urtümlichen Lurchs

damit eine Organismenform als Leitfossil gelten kann?

3. Wodurch unterscheiden sich die ältesten Formen des Pferdes von unserem Hauspferd beziehungsweise den heutigen Wildpferden?
4. Wie haben wir uns die Anfänge des Vogelfluges vorzustellen?
5. Wodurch unterscheiden sich die ersten Landpflanzen von den wasserbewohnenden höheren Algen?
6. Vergleichen Sie die Flossen eines Quastenflossers mit den Gliedmaßen eines Lurches (s. Farbtafel 1)!

Aus der vergleichenden Anatomie

Die vergleichende Anatomie befaßt sich mit der Untersuchung von heute lebenden und von fossilen Organismen. Aus gemeinsamen oder unterschiedlichen Merkmalen kann man auf den Verwandtschaftsgrad von Organismengruppen und auf gemeinsame Vorfahren schließen.

Das Gliedmaßenskelett der Wirbeltiere

Die Vordergliedmaßen verschiedener Wirbeltiere – Lurch, Vogel, Hund, Mensch – haben sehr unterschiedliche Funktionen (z. B. Kriechen, Fliegen, Laufen, Arbeiten). Sie bestehen aber alle aus einander entsprechenden Knochen: aus einem Oberarmknochen, zwei Unterarmknochen und den Handknochen (s. Farbtafel 1). Die Gliedmaßenskelette aller rezenten Landwirbeltiere zeigen den gleichen Bau. Man kann daraus erschließen, daß diese Tiere und der Mensch von gemeinsamen Vorfahren abstammen, deren Gliedmaßenskelette in ähnlicher Weise ausgebildet waren. Paläontologische Funde bestätigen diese Annahme. Bereits die ersten Landwirbeltiere (urtümliche Lurche) besaßen ein Gliedmaßenskelett, das die genannten charakteristischen Merkmale aufweist.

Auch bei ihren Vorfahren, den Quastenflossern, zeigen die Gliedmaßenskelette mit Ausnahme der Fingerglieder ähnliche Knochen. Sie sind entsprechend der vorwiegenden Funktion der Flosse als Schwimmorgan noch sehr gedrungen. Beim Übergang zum Landleben verlängerten sich die einzelnen Knochen, und die Finger bildeten sich aus. Diese Anpassung an das Landleben ermöglichte es den Lurchen, später den Reptilien und am vollkommensten den Säugetieren und Vögeln, ihren Rumpf vom Erdboden zu erheben und ihre Fortbewegung zu beschleunigen.

Im Verlaufe der Stammesgeschichte paßten sich die Gliedmaßen verschiedenen Funktionen an. Die Gliedmaßen einer Reihe von Tieren, bei denen das Laufen eine besonders große Rolle spielt, entwickelten sich so, daß den Tieren eine schnellere Fortbewegung ermöglicht wurde.

Wie wir an der Entwicklung der Pferde gesehen haben, bleibt bei diesen die Mehrstrahligkeit der Finger beziehungsweise Zehen nicht erhalten. Der Druck des Körpergewichts verlagert sich ausschließlich auf die dritte Zehe, die entsprechend stark ausgebildet wird. Die übrigen Zehen sowie die Mittelfußknochen eins und fünf sind vollständig rückgebildet, von den Mittelfußknochen zwei und vier sind nur noch Reste (Griffelbeine) erhalten (Abb. 7). Eine ähnliche, jedoch nicht so weitgehende Abwandlung finden wir bei den Paarhufern.

Bei verschiedenen Gruppen der Wirbeltiere (Flugsaurier, Vögel, Flattertiere) bildeten sich die vorderen Gliedmaßen zu Flügeln um. Das Skelett der Flügel entspricht den uns bekannten fünfstrahligen Gliedmaßen, doch sind bei den einzelnen Gruppen verschiedene Knochen besonders stark entwickelt beziehungsweise unterschiedlich weit rückgebildet (s. Farbtafel 1).

Bei den Walen sind die Vordergliedmaßen entsprechend ihrer Funktion äußerlich zwar flossenähnlich, ihr Skelett stimmt jedoch mit dem der land- und luftlebenden Wirbeltiere überein.

Organe gleichen Ursprungs werden als **homologe Organe** bezeichnet. Sie haben oft in Anpassung an verschiedene Funktionen eine unterschiedliche Gestalt angenommen.

Die Flügel der Flugsaurier und Vögel einerseits und die Flügel der Insekten andererseits haben die gleiche Funktion: sie dienen als Tragflächen beim Fliegen. Sie haben aber verschiedenen Ursprung: die Flügel der Insekten werden durch eine Hautausstülpung gebildet; die Flügel der Flugsaurier und Vögel sind Gliedmaßen.

Maulwurf und Maulwurfsgrille graben mit ihren vorderen Gliedmaßen in der Erde. Auf dieser Gemeinsamkeit der Lebensweise beruht die Ähnlichkeit der Gliedmaßenform beider Tiere. Die Tiere sind aber nicht miteinander verwandt, ihre Organe sind nicht gleichen Ursprungs.

Organe, die gleiche Funktionen ausüben, äußerlich oft auch gleichartig gestaltet sind, die aber nicht gleichen Ursprungs sind, werden als **analoge** Organe bezeichnet.

Atmung und Blutkreislauf

Beim Übergang der Wirbeltiere vom Wasser- zum Landleben wurden auch die Organe der Atmung und des Blutkreislaufs entscheidend verändert. Vergleichende Untersuchungen zeigen auch hier die Verwandtschaft. Die Organe gehen aus gleichen Anlagen hervor; sie haben sich nur unterschiedlichen Lebensbedingungen angepaßt.

Bei der Atmung erfolgt der Gasaustausch zwischen der Luft und dem Blut durch eine zarte Haut, die von zahlreichen Blutkapillaren durchzogen ist. Diese Haut muß ständig feucht sein. Beim Leben im Wasser ist diese Voraussetzung gegeben. Bei den Landtieren dagegen liegt das Atemorgan im Innern des Körpers und wird so vor dem Austrocknen geschützt.

Urtümliche **Quastenflosser** besaßen außer den Kiemen paarige Ausstülpungen des Vorderdarms, die dem Gasaustausch dienen konnten. Dadurch war es den Tieren möglich, vorübergehend das Wasser zu verlassen und atmosphärische Luft zu atmen (s. S. 16).

Die **Lurche** benötigen eine feuchte Umgebung. Die innere Oberfläche ihrer Lungen ist verhältnismäßig klein, der größte Teil des Sauerstoffs wird durch die Blutkapillaren in der feuchten, ungeschützten Haut aufgenommen (Abb. 17a, b).

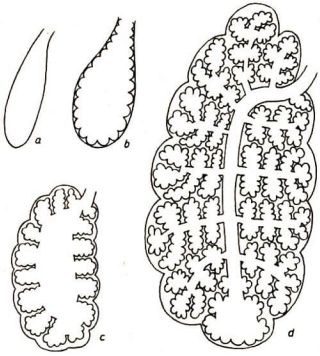


Abb. 17 Zunehmende Vergrößerung der Lungenfläche bei den verschiedenen Wirbeltierklassen
a und b Lurche, c Kriechtiere, d Säuger

Bei den **Kriechtieren** ist die Haut durch Hornschuppen vor dem Austrocknen geschützt. Der Sauerstoff wird ausschließlich durch die Lungen aufgenommen. Durch Leisten, die in das Lungeninnere vorspringen, wird der Lungenraum in Kammern gegliedert: Die Oberfläche ist bedeutend vergrößert, so daß mehr Sauerstoff aufgenommen werden kann (Abb. 17c).

Bei den **Vögeln** und **Säugern** ist durch die feine Verästelung der Bronchien beziehungsweise durch die Aufteilung in Lungenbläschen eine besonders günstige Ausnutzung des Luftsauerstoffs gewährleistet (Abb. 17d).

Aus den Darmausstülpungen bestimmter Urfische bildeten sich im Laufe der Stammesgeschichte die Atemorgane der Quastenflosser, aus denen sich später die Lungen der Vierfüßer entwickelten. Andererseits lassen sich auch die Schwimmblasen der Knochenfische von den paarigen Darmausstülpungen der Urfische ableiten. Dabei wurde eine der Ausstülpungen rückgebildet, die andere verlagerte sich. Sie liegt als Schwimmblase über dem Darm. Bei einem großen Teil der Knochenfische (z. B. Hecht, Karpfen) ist die Schwimmblase noch durch einen Gang mit dem Vorderdarm verbunden, bei anderen (z. B. Barsch, Stichling) ist auch dieser Gang rückgebildet (Abb. 18).

Die Lungen der Quastenflosser, die Lungen der vierfüßigen Wirbeltiere und die Schwimmblasen der Fische haben gleichen Ursprung. Sie sind homologe Organe.

In engem Zusammenhang mit der Atmung steht der Blutkreislauf, dessen Hauptfunktionen der Transport der Nährstoffe und Schlackenstoffe sowie der Transport des Sauerstoffs und des Kohlendioxids sind. Den Umwandlungen der Atemorgane entsprechend veränderten sich auch die Organe des Blutkreislaufs.

Das Herz der **Fische** besteht aus einer Vorkammer und einer Kammer. Es pumpt das mit Kohlendioxid angereicherte Blut durch einen Arterienstamm in die Kapillaren der Kiemen. Dort gibt das Blut Kohlendioxid ab und nimmt Sauerstoff auf; es fließt über das Kapillarsystem des Körperkreislaufs wieder zum Herzen zurück. Bei den Fischen muß also jeder Tropfen Blut, der das Herz verläßt, mindestens zwei Kapillarsysteme (Kiemenkapillaren, Körperkapillaren) passieren, bevor er wieder das Herz erreicht. Jedes Kapillarsystem setzt dem Blutstrom einen Widerstand entgegen, der den Blutdruck und damit die Geschwindigkeit des

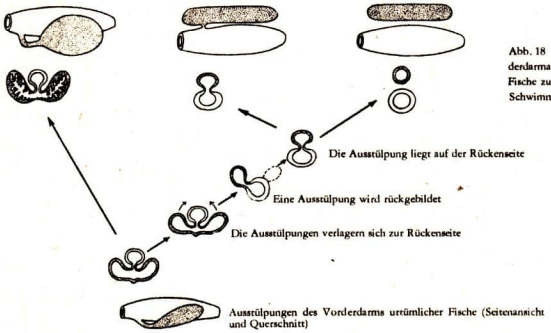


Abb. 18 Entwicklung der Vorderdarmausstülpungen urtümlicher Fische zur Lunge (links) und zur Schwimmblase (rechts)

Blutstroms herabsetzt. Der Blutkreislauf der Fische ist also noch verhältnismäßig träge; die Versorgung der Organe mit Sauerstoff erfolgt dementsprechend unvollkommen (Abb. 19a).

Die erwachsenen **Lurche** atmen durch Lungen; im Blutgefäßsystem ist dementsprechend ein besonderer Lungenkreislauf ausgebildet. Das Herz der Lurche besitzt zwei Vorkammern. In eine gelangt sauerstoffreiches Blut aus der Lunge, in die andere sauerstoffarmes Blut aus dem Körper. Wie das Herz der Fische, hat auch das der Lurche nur eine Kammer. In ihr mischt sich das sauerstoffreiche Blut mit dem sauerstoffarmen. Das Herz drückt also Mischblut in den Kreislauf. Durch die Mischung mit sauerstoffarmem Blut verliert das sauerstoffreiche einen Teil seiner Leistungsmöglichkeiten. Da die erwachsenen Lurche keine Kiemenkapillaren haben, gelangt das Blut ohne Druckverlust vom Herzen in den Körperkreislauf. Die Lurche haben also bereits ein besser ausgebildetes Kreislaufsystem als die Fische (Abb. 19b).

Bei den **Kriechtieren** wird durch die Ausbildung von Hornschuppen auf der gesamten Körperoberfläche die Hautatmung unmöglich; sie atmen nur durch Lungen. Die Herzkammer der Kriechtiere wird durch eine muskulöse, noch nicht voll abschließende Scheidewand geteilt. Dadurch bleiben sauerstoffreiches und sauerstoffarmes Blut bis zu einem gewissen Grade getrennt (Abb. 19c).

Das Herz der **Vögel** und **Säugetiere** besitzt zwei Vorkammern und zwei vollständig voneinander getrennte Herzkam-

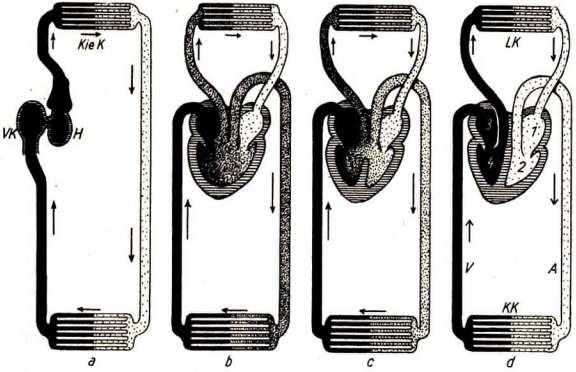


Abb. 19 Schema der Kreisläufe der einzelnen Wirbeltierklassen a Fische, b Lurche, c Kriechtiere, d Vögel und Säuger. (Das sauerstoffarme Blut ist schwarz gezeichnet, das sauerstoffreiche Blut schwach punktiert, Mischblut stark punktiert.) A Schlagader (Arterie) H Herzkammer, KK Körperkreislauf, KieK Kiemenkreislauf, LK Lungenkreislauf, V Vene, VK Herzvorkammer, 1 und 3 linke und rechte Vorkammer, 2 und 4 linke und rechte Herzkammer.

mern. Das sauerstoffarme Blut wird von der einen Kammer zunächst in die Lunge gepumpt. Mit Sauerstoff angereichert, wird es dann von der anderen Kammer in den Körperkreislauf gedrückt. Die Trennung der Herzkammern und damit die Trennung von sauerstoffarmem und sauerstoffreichem Blut sowie die Umlaufgeschwindigkeit des Blutes sind von entscheidender Bedeutung für den intensiven Stoffwechsel der gleichwarmen Tiere (Abb. 19d).
Die Kreislaufsysteme der Wirbeltiere sind ebenfalls homologe Organsysteme, von den Fischen über die Lurche und Reptilien bis zu den Vögeln und Säugetieren läßt sich eine Höherentwicklung dieser Organsysteme feststellen.

Das Gehirn

Das Gehirn der Wirbeltiere besteht aus fünf Abschnitten: Nachhirn (verlängertes Mark), Kleinhirn, Mittelhirn, Zwischenhirn und Vorderhirn. Diese üben unterschiedliche Funktionen aus. In engem Zusammenhang mit der jeweiligen Lebensweise einer Tiergruppe haben sich die einzelnen Gehirnabschnitte verschieden stark entwickelt (s. Farbtafel 3). Von allen Gehirnabschnitten hat das Nachhirn in der ganzen Wirbeltierreihe seinen Aufbau und seine Funktion am wenigsten geändert; es reguliert in allen Wirbeltiergruppen grundlegende Funktionen des Körpers, wie Atmung und Blutkreislauf.
Fische führen beim Schwimmen sehr schnelle Bewegungen aus; außerdem ist durch die Notwendigkeit, größere oder geringere Wassertiefen aufzusuchen, das Zusammenwirken ihrer Bewegungsorgane auf das Leben in drei Dimensionen abgestimmt. Bei den Fischen ist deshalb das Kleinhirn, welches das Zusammenspiel der Bewegungsorgane regelt, besonders stark ausgebildet. Auch bei Landwirbeltieren kann das Kleinhirn beträchtlich vergrößert sein. Es wird hier aber stets vom Vorderhirn übertroffen.
Das Gehirn der **Vögel** zeichnet sich durch die bedeutende Entwicklung von Klein- und Vorderhirn aus. Es kommt darin zum Ausdruck, daß die Bewegungen der Vögel schnell und kompliziert sind. Die Größe des Vorderhirns, insbesondere des Vorderhirnbodens, entspricht den lebhaften, hochentwickelten Verhaltensweisen und Reaktionen der Vögel.
Das Gehirn der **Säugetiere** ist durch die starke Entwicklung des Vorderhirns, insbesondere der Hirnrinde, ausgezeichnet. Zwischen den einzelnen Säugetiergruppen bestehen allerdings wesentliche Unterschiede in der Ausdehnung der Hirnrinde: Die Unterschiede der Leistungen zwischen niederen und höheren Säugetieren sind sehr groß. Besonders stark ist die Hirnrinde beim Menschen entwickelt.

Metamorphose pflanzlicher Organe

Durch vergleichende Untersuchungen läßt sich auch bei Pflanzen die stammesgeschichtliche Zusammengehörigkeit oft sehr unterschiedlich aussehender Formen erkennen.

Von Weg- und Straßenrändern, aus Gärten und von Schuttplätzen kennen wir verschiedene Wolfsmilcharten. Es sind alles krautige, grüne Pflanzen mit normal ausgebildeten Blättern. In den Wüsten Afrikas wachsen Wolfsmilcharten, die zum Teil wie amerikanische Kakteen aussehen. Einige Arten haben nur wenige oder zu Dornen umgewandelte Blätter. Die meisten sind blattlos. Ihr Sproß ist dickfleischig und säulen- oder kugelförmig (Abb. 20). Er hat die Aufgabe der Blätter, die Assimilation, übernommen. Trotz der äußerlichen Ähnlichkeit mit den Kakteen haben wir Wolfsmilcharten vor uns; denn alle diese Pflanzen enthalten denselben Milchsaft wie die einheimische Zypressen-

Abb. 20 Vergleich verschiedener Wolfsmilchgewächse. Zypressen-Wolfsmilch (*Euphorbia cyparissias*), Christusdorn (*Euphorbia splendens*), Melonen-Wolfsmilch (*Euphorbia obesa*); oben rechts: Wolfsmilchblüte

wolfsmilch, und der Bau ihrer Blüten (Abb. 20 oben rechts) stimmt genau mit den europäischen Wolfsmilcharten überein. Diese Merkmale beweisen uns die Verwandtschaft der beiden Wolfsmilchartengruppen. Sie haben gemeinsame Vorfahren. Die afrikanischen Arten sind durch Anpassung an das heiße und trockene Wüstenklima nur in der äußeren Gestalt den amerikanischen Kakteen zum Verwechseln ähnlich geworden.

Bei vielen Arten aus verschiedenen Gattungen und Familien sind Blätter oder ganze Triebe in Dornen umgewandelt (z. B. die Blätter an den Langtrieben der Berberitze oder ganze Kurztriebe des Weißdorns). Aus welchen Organen sich die Dornen entwickelt haben, kann man meist nur aus ihrer Stellung oder aus der Jugendentwicklung der Pflanze schließen, die oft der stammesgeschichtlichen Entwicklung ähnelt.

Rudimentäre Organe

Am **Fußskelett des Pferdes** findet sich zu beiden Seiten des stark verlängerten, kräftig ausgebildeten Mittelfußknochens je ein nach unten spitz auslaufender Knochen, der als Griffelbein bezeichnet wird. Die Griffelbeine liegen nur lose neben dem die Last tragenden Mittelfußknochen. Sie reichen nicht bis zum Fußgelenk. Daraus läßt sich schließen, daß ihnen keine Funktion zukommt. Fehlten einem Tier die Griffelbeine, so wäre es anderen gegenüber nicht benachteiligt.

Eine Erklärung für diese funktionslosen Knochen erhalten wir, wenn wir die Fußskelette der Vorfahren unserer heute lebenden Pferde untersuchen (s. S. 11). Wir erkennen, daß die Griffelbeine Knochenreste des zweiten und vierten Mittelfußknochens sind, die bei den dreizehigen Pferden des Tertiärs noch eine Stützfunktion hatten.

Wale besitzen nur ein vorderes, flossenartig ausgebildetes Gliedmaßenpaar. Der **Beckengürtel** und die **hinteren Gliedmaßen der Wale** sind rückgebildet. Zu beiden Seiten der Wirbelsäule befinden sich im Fleisch der Tiere Knochen: die Reste des Beckens. Bei Grönlandwalen sind auch noch Reste der Hintergliedmaßen vorhanden.

Diese funktionslosen Knochen bestätigen die Abstammung der Wale von vierbeinigen Wirbeltieren und die nachträgliche Anpassung des Körpers dieser Tiere an das Leben im Wasser.

Die **Wirbelsäule des Menschen** weist an ihrem unteren Ende drei oder vier funktionslose, verkümmerte Wirbelknochen auf, die als Steißbein bezeichnet werden. Erst die Kenntnis der stammesgeschichtlichen Herkunft des Menschen von tertiären Affen läßt uns das Steißbein als funktionslosen Rest des Schwanzes erkennen, eines Organs, das für die Wirbeltiere typisch ist.

Die **Blüten der Braunwurzgewächse** (z. B. Königskerze, Ehrenpreis, Löwenmaul) sind ursprünglich fünfzählig und strahlig ausgebildet (Königskerze). Sie enthalten dementsprechend fünf Staubgefäße. In dieser Familie besteht jedoch die Neigung zur Umwandlung der Blüte in eine zweiseitig symmetrische Form (Löwenmaul). In diesem Zusammenhang kann sich die Anzahl der Staubblätter verringern. Der Ehrenpreis hat nur zwei Staubgefäße. Das Gnadenkraut besitzt auch nur noch zwei funktionsfähige Staubgefäße. Zwei weitere Staubblätter tragen keine Staubbeutel. Sie müssen als funktionslose Reste der ursprünglichen fünf Staubgefäße der Braunwurzgewächse aufgefaßt werden. Sie sind deshalb nur aus dem stammesgeschichtlichen Zusammenhang erklärbar.

Funktionslose Organe, wie wir sie in den beschriebenen Beispielen aus dem Tier- und Pflanzenreich kennengelernt haben, bezeichnet man als **rudimentäre Organe.** Das Wort rudimentär bedeutet rückgebildet, verkümmert.

Oft lassen sich rudimentäre Organe nur durch die Kenntnis der Stammesgeschichte erklären. Andererseits geben sie häufig Hinweise auf die Stammesgeschichte einer Organismenform.

Aufgaben

1. Nennen Sie Beispiele für analoge und homologe Organe! Begründen Sie die von Ihnen vorgenommene Einordnung!
2. Wählen Sie von den auf der Farbtafel 1 abgebildeten Gliedmaßenskeletten eins aus! Welche Beziehungen bestehen zwischen dem Bau dieser Gliedmaßen und ihrer Funktion?

Aus der vergleichenden Physiologie

Die Physiologie untersucht die Lebensvorgänge der Lebewesen. Im Gegensatz zur Anatomie und Paläontologie muß sie an heute lebenden Organismen arbeiten und kann deshalb nur in beschränktem Maße zur Klärung stammesgeschichtlicher Fragen beitragen. Sie hilft jedoch bei der Begründung der verwandtschaftlichen Beziehungen aller Lebewesen. So zeigt sie uns, daß die grundlegenden Lebensprozesse bei allen Lebewesen übereinstimmen, unabhängig davon, ob wir Pflanzen oder Tiere vor uns haben. Stoffwechsel, Wachstum, Vermehrung, Bewegung und Reizempfindlichkeit laufen bei den verschiedensten tierischen Organismen nahezu gleichartig ab. Die inneren Regulatoren des tierischen Körpers, die Nervenerregungsstoffe und die Hormone, arbeiten innerhalb größerer Organismengruppen nach denselben Prinzipien.

Von den einzelnen **Wirbeltierhormonen** wissen wir, daß sie innerhalb der verschiedenen Wirbeltierklassen weitgehend ähnliche chemische Zusammensetzung und physiologische Wirkung aufweisen. Von dieser Einheitlichkeit der Hormone macht die

Medizin beispielsweise bei der Behandlung der Zuckerkrankheit praktischen Gebrauch. Bei der Zuckerkrankheit des Menschen ist der Gehalt des Zuckers im Blut weit über den normalen Stand angestiegen, so daß dieser wichtige Nährstoff mit dem Urin ausgeschieden wird. Diese Erscheinung beruht auf dem Mangel des Bauchspeicheldrüsenhormons Insulin. Zuckerkranke werden deshalb mit Insulin-Injektionen behandelt. Das eingespritzte Insulin wird aus den Bauchspeicheldrüsen von Rindern, Schweinen und sogar von Seefischen (Dorschen) gewonnen.

Untersuchungen der letzten Jahre haben gezeigt, daß das Insektenhormon Ecdyson, das die Häutung des Insektenpanzers steuert, auch die Häutung des Panzers der Krebse herbeiführt.

Die Gleichartigkeit aller dieser physiologischen Prozesse beruht auf der **Gemeinsamkeit der stofflichen Grundzusammensetzung** der verschiedenen Organismen. So sind die Chromosomen und deren Bausteine, die Desoxyribonukleinsäuren, bei allen Tieren gleichartig zusammengesetzt. Auch der Vorgang der von ihnen gesteuerten Eiweißsynthese dürfte bei „niederen" und „höheren" Tieren in derselben Weise ablaufen. An der Bildung der Eiweiße sind die gleichen, etwa 20 Aminosäuren beteiligt.

Die von den Aminosäuren gebildeten Eiweiße sind jedoch für die einzelnen Tierarten charakteristisch. Insofern kann man echte Verwandtschaft von Lebewesen als Verwandtschaft ihrer Eiweiße auffassen.

Für den Nachweis dieser Verwandtschaft ist ein wichtiger physiologischer Test entwickelt worden, der sich auf die Beobachtung der Reaktion des Blutes gegen Krankheitserreger stützt. Im Serum des Blutes werden bekanntlich gegen die Erreger typische Abwehrstoffe (Antikörper) gebildet, die jeweils nur auf den bestimmten Erreger ansprechen und diesen ausfällen. Solche ausfällenden Antikörper bezeichnet man als **Präzipitine.** Sie werden auch gebildet, wenn Eiweiß einer anderen Tierart ins Blut gelangt. Spritzt man im Experiment einem Kaninchen Ziegeneiweiß (z. B. Serum) ein, so werden im Kaninchenblut spezifische Präzipitine gegen Ziegeneiweiß gebildet. Man kann nun aus dem Kaninchenblut das Serum mit diesen Präzipitinen isolieren. Gibt man in dieses Serum Ziegeneiweiß, so erhält man sofort eine starke Ausfällung, die sich in einem Niederschlag äußert. Dem Serum mit dem Anti-Ziegeneiweiß-Präzipitin kann man auch Eiweiß anderer Tiere zusetzen (z. B. von Schafen oder Hunden). Dabei gibt Eiweiß von Schafen noch eine relativ starke Ausfällung, während der Niederschlag nach Zugabe von Hundeeiweiß wesentlich geringer ist. Das Eiweiß von Schafen ist dem der Ziegen ähnlicher als das der Hunde. Wir können demnach folgern, daß die Schafe mit den Ziegen näher verwandt sind als die Hunde.

Die Präzipitinreaktion ist auch für die Klärung der Verwandtschaftsbeziehung des Menschen herangezogen worden. Danach steht der Schimpanse dem Menschen am nächsten, dann folgt der Gorilla und danach der Orang-Utan. Die Präzipitinreaktion verläuft allerdings nicht immer eindeutig und deutet beispielsweise eine nahe Verwandtschaft des Menschen mit niederen Affen an, die tatsächlich nicht vorhanden ist. Trotzdem ist sie als zusätzliche Methode zur Klärung von Verwandtschaftsbeziehungen – auch innerhalb der Wirbellosen und sogar bei höheren Pflanzen – mit Erfolg angewandt worden.

Aus der Embryonal- und Jugendentwicklung

Bis der tierische Organismus voll erwachsen und funktionstüchtig ist, durchläuft er verschiedene Stadien. Von der Befruchtung der Eizelle bis zum Verlassen der Eihülle dauert die Embryonalentwicklung; sie wird von der Embryologie untersucht und beschrieben. Das aus der Eihülle schlüpfende Lebewesen gleicht in vielen Fällen noch nicht dem erwachsenen, bewohnt vielfach besondere Lebensräume und hat besondere Lebensgewohnheiten. Wir sprechen dann von einem Larvenstadium. Indem man nun bestimmte Entwicklungsstadien bei verschiedenen Tieren miteinander vergleicht, kann man vielfach Rückschlüsse auf die Stammesgeschichte ziehen.

Öffnen wir beispielsweise ein Hühnerei; das drei bis vier Tage bebrütet wurde, dann finden wir darin einen kleinen Embryo, der schon die Grundform eines Vogelkörpers aufweist. Er besitzt einen Kopf mit Augenbildungen, die Wirbelsäule ist bereits angelegt und auch ein einfaches Herz ist vorhanden. Auffallend sind jedoch einige Spalten, die sich in der Halsregion befinden (Abb. 21). Diese Spalten treten nur in diesem ganz bestimmten Entwicklungsstadium auf. Sie liegen genau in dem Bereich, in dem sich bei Fischen die Kiemenspalten befinden. Tatsächlich haben wir auch hier beim Vogelkeim **Kiemenspalten** vor uns. Auch in frühen Entwicklungsstadien der Embryonen von Reptilien und Säugetieren findet man solche Kiemenspalten vor (Abb. 22). Sie erfüllen jedoch ebenso wie bei den Vogelembryonen keine Atemfunktionen. Als Teile von Atmungsorganen haben sie nur für wasserlebende Wirbeltiere Bedeutung. Das Auftreten dieses ungenutzten Organs in der Embryonalentwicklung läßt sich dadurch erklären, daß ein Landwirbeltier in seiner Entwicklung noch Anklänge an bestimmte Lebensformen wasserlebender Vorfahren zeigt. Bei den Amphibien sind diese Anklänge noch besonders deutlich, indem die fischähnlichen Larvenstadien (z. B. Kaulquappen der Frösche) im Wasser leben und noch funktionierende Kiemen besitzen. Erst die vorwiegend auf dem Lande lebenden Lurche atmen mit Lungen. Bei den reinen Landwirbeltieren treten Kiemenspalten nur noch kurze Zeit beim Embryo in der Eihülle auf. Jedes Wirbeltier durchläuft in seiner Entwicklung also gleichsam noch einmal in kurzer Zeit wesentliche Abschnitte der Stammesentwicklung (Abb. 22).

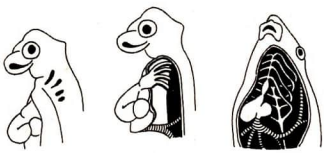


Abb. 21 Vergleich der Halsregion eines vier Tage alten Hühnerembryos mit Kiemenspalten (links und Mitte) und eines Fisches. Auf dem mittleren und dem rechten Bild ist der Verlauf der Kiemengefäße zu erkennen.

Embryonalstadien wurden bereits am Anfang des vorigen Jahrhunderts zur Beurteilung von Verwandtschaftsbeziehungen herangezogen. ERNST HAECKEL formulierte dann 1866 das **Biogenetische Grundgesetz**, in dem er sagt, daß die Entwicklung des Einzelwesens (Ontogenese) eine verkürzte Wiederholung der Stammesgeschichte (Phylogenese) ist.

Viele Besonderheiten im Entwicklungsgang von Tieren lassen sich mit Hilfe dieser Regel erklären. Die kleine Kaulquappe erinnert in verschiedener Weise an Fischvorfahren; so besitzt sie neben den Kiemenspalten auch ein den Fischen weitgehend ähnliches Blut-

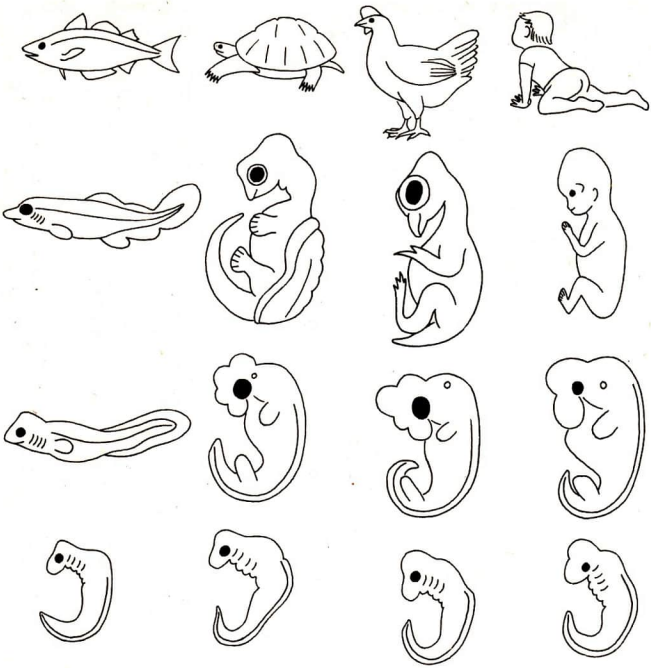


Abb. 22 Embryonen verschiedener Wirbeltiere auf vergleichbaren Entwicklungsstufen. Von links nach rechts: Fisch, Schildkröte, Vogel, Mensch. In der untersten Reihe die jüngsten Stadien der Körpergrundgestalt des jeweiligen Wirbeltieres. Sie zeigen hochgradige Übereinstimmung zwischen Landwirbeltieren und Fischen. Auf den darüberstehenden späteren Stadien erfolgt allmählich die Ausbildung der charakteristischen Formen der verschiedenen Wirbeltiere.

kreislaufsystem. Ihr Schwanz entspricht ebenfalls etwa dem Ruderschwanz der Fische. Der Frosch durchläuft also in seiner Entwicklung deutlich erkennbar zwei Entwicklungsstufen, die auch in der Stammesgeschichte von entscheidender Bedeutung sind: die Stufe des kiemenatmenden Wassertieres und die Stufe des Landtieres mit Lungenatmung.

Bei Vogelembryonen tritt vorübergehend ein Schwanz mit getrennten Wirbeln auf, wie ihn die Reptilienvorfahren besaßen (embryonaler „*Archaeopteryx*-Schwanz"). Bei den Embryonen von Bartenwalen, also

von zahnlosen Säugetieren, konnte man in den Kiefern Zahnanlagen nachweisen. Diese verschwinden, ehe es zur Ausbildung von Zähnen kommt. Das gleiche gilt für die Schneidezahnanlagen im Oberkiefer von Rindern und anderen Paarhufern.

Der **menschliche Embryo** hat auf einer bestimmten frühen Entwicklungsstufe ebenfalls Kiemenspalten. Daneben deuten auch verschiedene andere Merkmale auf seine Abstammung und seine Verwandtschaft mit anderen Säugern hin: Er besitzt zu bestimmten Zeiten einen deutlichen Schwanz, zeigt mehrere Anlagen von Milchdrüsen und eine dichte Behaarung.

Nicht nur das in mehr oder weniger starker Form ausgeprägte Auftreten von Kiemenspalten verbindet die Embryonen aller Wirbeltiere; sie gleichen sich bis zu einer bestimmten Entwicklungsstufe weitgehend in ihrem gesamten Körperbau. Sie zeigen die gleiche Aufeinanderfolge der Ausbildung bestimmter Strukturen, wie des Nervenrohres und seiner Abkömmlinge (Gehirn, Augen), der Rückensaite (Chorda dorsalis), der Wirbelsäule und der Gliedmaßenanlagen. Je jünger die Entwicklungsstadien der Embryonen sind, um so größere Ähnlichkeit besitzen sie untereinander.

Je höher das fertig ausgebildete Tier organisiert ist, um so vollständiger werden die stammesgeschichtlichen Entwicklungsstufen angedeutet und um so eher und ausgeprägter setzt die spezielle Entwicklung zur endgültigen Form hin ein.

Auch bei **Wirbellosen** hat das Biogenetische Grundgesetz manche Deutung von Verwandtschaftsbeziehungen ermöglicht.

Mit seiner Hilfe konnte beispielsweise die verwandtschaftliche Zugehörigkeit von Tiergruppen geklärt werden, die durch Besonderheiten ihrer Lebensweise spezielle Anpassungen in ihrem Körperbau erfahren haben. Ein Beispiel dafür geben die Entenmuscheln und die Seepocken. Das sind festsitzende, im Meer lebende Tiere, die mit Hilfe rankenartiger Gliedmaßen Nahrungsstoffe in ihren von Schalen umgebenen Körper hineinstrudeln (Abb. 23). Man hielt sie früher für Weichtiere. Erst später entdeckte man, daß sie eine bestimmte Larvenform, den Nauplius, ausbilden (Abb. 24). Diese kleine Larve, die durch ein Stirnauge und drei Paar Gliedmaßen gekennzeichnet ist, stellt die typische Larvenform aller niederen Krebse dar. Man erkannte so die Entenmuscheln und die Seepocken als niedere Krebse, deren Körperbau durch ihre festsitzende Lebensweise stark abgewandelt ist.

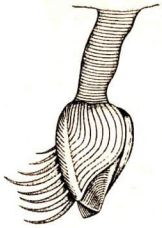


Abb. 23 Die etwa 10 cm lange Enten„muschel" ist ein Rankenfußkrebs wie die von der Ostsee her bekannte Seepocke. Beide wurden ursprünglich als Weichtiere angesehen, bis ihre Entwicklungsgeschichte Klarheit in die verwandtschaftliche Zuordnung brachte.

Ähnlichkeiten in der Ausbildung der Larvenstadien, die Beziehungen zwischen größeren Tiergruppen erkennen lassen, sind von den verschiedensten Tieren bekannt.

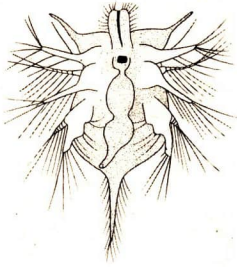


Abb. 24 Die mikroskopisch kleine Larve der Enten„muschel" stimmt bis in letzte Einzelheiten mit den Nauplius-Larven anderer niederer Krebse überein. Diese Tatsache wurde zum Beweis für die systematische Einordnung der Rankenfüßer als Klasse der Krebse herangezogen.

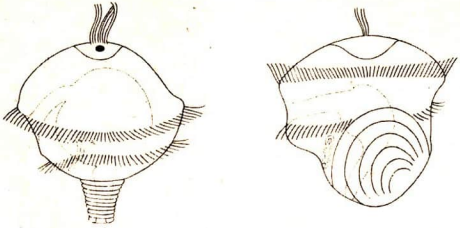


Abb. 25 Vergleich der Larven von Ringelwürmern und Weichtieren. Der Entwicklungsgang beider Tiergruppen verläuft bis zu dieser Stufe im wesentlichen gleich. Beide Larven besitzen einen doppelten Wimperkranz, eine Scheitelplatte und einfache Ausscheidungsorgane. An der Larve der Ringelwürmer (links) erkennt man die aussprossenden Körperringe, an der Weichtierlarve (rechts) die Anlage der Schale.

So werden die sehr großen Übereinstimmungen im Bau der Larven von Ringelwürmern und Weichtieren als deutliche Hinweise darauf angesehen, daß beide Tiergruppen durch gemeinsame Abstammung miteinander verbunden sind (Abb. 25).

Im Laufe der Ontogenese werden jedoch nie alle Stadien der Stammesentwicklung durchlaufen, zum Beispiel treten bei den Vogelembryonen keine Zähne auf, obwohl Versteinerungen von Vogelarten mit Zähnen erhalten sind (z. B. *Archaeopteryx*, Abb. 10).

Andererseits sind manche Erscheinungen der Keimes- und Jugendentwicklung nicht historisch zu deuten.

Das Puppenstadium der Schmetterlinge, Käfer und anderer Insekten weist sicher nicht auf Vorfahren hin, die ständig als Puppen lebten. Vielleicht handelt es sich um eine Anpassung, die im Verlaufe der Stammesgeschichte erworben wurde. Sie ermöglicht diesen Insekten die tiefgreifenden Umbildungsvorgänge nach der Larvenzeit.

Das Biogenetische Grundgesetz allein reicht also zur Lösung stammesgeschichtlicher Probleme nicht aus. Nur nach umfassender Berücksichtigung verschiedener Merkmale und aller Möglichkeiten der Forschung können zusammenfassende Schlüsse über den phylogenetischen Entwicklungsverlauf gezogen werden.

Aufgabe

Vergleichen Sie an Hand der Abbildung 22 die Embryonen verschiedener Wirbeltiere in verschiedenen Stufen ihrer Entwicklung miteinander! Stellen Sie dabei Übereinstimmendes und Unterschiedliches fest!

Aus der Tier- und Pflanzengeographie

Die Erde besaß in früheren Epochen ihrer Entwicklung eine völlig andere Oberflächengestalt als heute; Kontinente und Meere waren in den einzelnen Erdzeitaltern gänzlich anders verteilt. Auch das Klima weiter Gebiete war im Ablauf der Jahrmillionen beträchtlichen Schwankungen ausgesetzt.

Diese Veränderungen wirkten sich auf die Entwicklung der Pflanzen und Tiere aus. Viele Formen starben durch die Änderung der Umweltverhältnisse aus, andere blieben erhalten und entwickelten sich unter den neuen Bedingungen weiter oder besiedelten andere Gebiete.

Eine Fülle von Beispielen hierzu liefern uns unter anderem die Folgeerscheinungen der letzten **Eiszeit**.

Die von Skandinavien beginnende Vereisung Mitteleuropas verdrängte die hier lebenden Tier- und Pflanzenarten. Sie

mußten in wärmere, eisfreie Gebiete ausweichen. Dabei starben viele Arten in Europa aus, weil die Alpen ihren Weg nach Süden behinderten.

In Nordamerika und Ostasien lagen die Verhältnisse günstiger. Dort waren die Wege zu wärmeren Gebieten offen. Die Arten konnten also dem Eis besser ausweichen und sich später wieder nordwärts ausbreiten. Deshalb findet man heute in Nordamerika und China noch lebende Arten vor, die in Europa nur fossil bekannt sind.

Andere Arten unserer heimischen Tier- und Pflanzenwelt konnten die Eiszeit an den Rändern der Gletscher auf eisfreien Bergspitzen überstehen. Später folgten sie teilweise dem zurückweichenden Eis in die Täler oder auf andere, vorher eisbedeckte Gebirgsketten. Dabei wurden einige der Tiere und Pflanzen von dem Verbreitungsgebiet der Art abgetrennt. Sie machten, in Gruppen isoliert, eine getrennte Entwicklung durch.
Ein anschauliches Beispiel dafür liefern die **Gemsen.** Sie zogen sich mit den zurückweichenden Gletschern auf die Hochgebirge Süd- und Mitteleuropas zurück. Durch die beträchtliche Entfernung zwischen den einzelnen Gebirgen war eine Vermischung dieser Gemsengruppen nicht mehr möglich. Sie entwickelten sich getrennt voneinander – sich den jeweiligen Bedingungen anpassend – weiter. Heute gibt es in den Alpen, dem Kaukasus, den Pyrenäen und den Karpaten jeweils besondere Gemsenrassen.
Viele **Hochgebirgspflanzen**, die während der Vereisung am Rande des Alpengletscherschildes wuchsen, folgten bei der Änderung des Klimas dem zurückweichenden Eis. Dabei rückten beispielsweise viele Enziane, Primeln oder Steinbrecharten auf einzelne Gebirgsspitzen hinauf. Sie entwickelten sich, abgetrennt von den nächsten Vorkommen, oft zu neuen Arten weiter. Besonders auffällig ist die Trennung bei den Arten, die sich an unterschiedliche Bodenverhältnisse angepaßt haben. Auf Kalkgestein wächst beispielsweise die gelbblühende Echte Aurikel. Eine ihrer nächsten Verwandten ist die nur auf kalkarmen Urgesteinen gedeihende rotblühende Behaarte Aurikel. Ähnlich verhalten sich Behaarte Alpenrose (Kalk) und Rostrote Alpenrose (Urgestein) sowie andere Arten.

Mit dem Rückgang des Eises gelangten einige der ursprünglich nur in den Alpen vorkommenden Gebirgspflanzen auch auf die Gipfel der Mittelgebirge. Der Brocken im Harz beherbergt noch heute alpine Arten , wie die Zwerg-Birke. Die Alpen-Kuhschelle oder Alpen-Anemone hat sich hier zu einer eigenen Art entwickelt.

Alle aus der Eiszeit erhalten gebliebenen Arten neigen in starkem Maße dazu, in den einzelnen, teilweise sehr kleinen und völlig isolierten, selbständigen Verbreitungsgebieten durch besondere Merkmale gekennzeichnete Formen auszubilden.
Ähnliches kann man vielfach an Tieren und Pflanzen feststellen, die auf **Inseln** getrennt von verwandten Formen leben. Hier kommt es häufig zur Ausbildung eigener, nur für die betreffende Insel charakteristischer Arten.

Es war schon DARWIN bei seinem Besuch der Galápagos-Inseln aufgefallen, daß jede dieser kleinen Inseln eigene Formen von Reptilien und Vögeln aufzuweisen hat. Auf dem benachbarten Festland Südamerikas kommen nahe verwandte Arten vor, die jedoch nicht so vielgestaltig sind. Man muß annehmen, daß die nach der Entstehung der Galápagos-Inseln von Südamerika hierher gelangten Arten sich in dieser Isolierung selbständig entwickelten. Zwischen den einzelnen, oft nur wenige Kilometer voneinander entfernten Inseln gab es keine Verbindung. Dadurch konnten sich bei manchen Tiergattungen die verschiedenen Formen nicht miteinander vermischen. Jede dieser Inseln besitzt nunmehr eigene, nur für sie charakteristische Arten.

Diese Erscheinung trifft auch für die Tierwelt (Fauna) und Pflanzenwelt (Flora)

Australiens zu. Australien wurde im Jura von den übrigen Erdteilen abgetrennt. So ist es zu erklären, daß sich seine Fauna durch eine hohe Zahl von erhalten gebliebenen, sehr urtümlichen Beuteltier-Arten auszeichnet. Auf den anderen Kontinenten wurden diese primitiven Säuger durch höher entwickelte Tiere, besonders Raubtiere, vernichtet. Die Pflanzengattung *Eucalyptus* ist mit 550 Arten nur in Australien verbreitet; auch die zu den Liliengewächsen gehörenden Grasbäume sind charakteristisch für dieses Gebiet.

Im Meere versunkene Landverbindungen bilden häufig die Ursache dafür, daß manche nahe verwandten Tiere heute in sehr weit voneinander entfernten Gebieten vorkommen. So sind die Kamele heute über Zentralasien und Südamerika verbreitet, einstmals jedoch in Nordamerika entstanden. Von dort aus gelangte ein Teil der Tiergruppe über die Aleuten-Landbrücke nach Asien und entwickelte sich hier zu den heutigen Echten Kamelen und Dromedaren. Ein anderer Teil wanderte auf dem amerikanischen Kontinent nach Süden und entwickelte sich dort zu den noch heute in Südamerika lebenden Lamas. In Nordamerika aber starben die Kamele völlig aus: Weil auch die Landverbindung zwischen Amerika und Asien verlorenging, bestehen zwischen den heutigen Verbreitungsgebieten der Kamele keinerlei Verbindungen mehr.

Zusammenfassend können wir feststellen, daß die Verbreitung der Tiere und Pflanzen mit ihrer Stammesgeschichte eng verknüpft ist. Durch die Verbreitung bestimmter Arten können oft nähere Einzelheiten ihrer Stammesgeschichte erklärt werden, manchmal aber erklärt umgekehrt erst die Stammesgeschichte Einzelheiten der heutigen Verbreitung.

Frage

Wie wirkte sich die Eiszeit im Quartär auf die Zusammensetzung der Tier- und Pflanzenwelt unserer Heimat aus?

Das Wesen des Lebens

Die Frage nach dem Wesen des Lebens ist die Frage danach, was allen Lebewesen im Unterschied zu allem Leblosen gemeinsam ist. Meist bereitet es keine besonderen Schwierigkeiten, Lebendes vom Leblosen zu unterscheiden. So sehr sich auch ein Hund, ein Laubfrosch, ein Kohlweißling, ein Regenwurm, eine Qualle, ein Apfelbaum, eine Moospflanze, ein Pantoffeltierchen und eine Bakterie voneinander unterscheiden, sie haben eines gemeinsam: sie leben. Worin besteht nun aber gerade dieses Gemeinsame, das das Leben ausmacht?

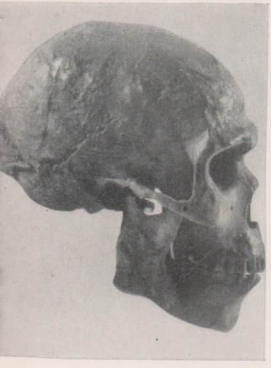
Stoffliche Zusammensetzung der Lebewesen

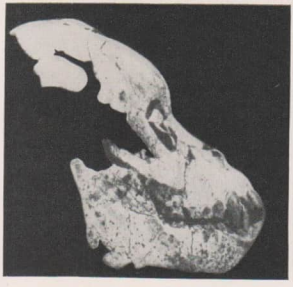
Wenn wir das Wesen des Lebens erkennen wollen, müssen wir zuerst wissen, aus welchen chemischen Stoffen die Organismen aufgebaut sind. Die chemische Analyse der Lebewesen zeigt, daß sie nur solche chemischen Elemente enthalten, die auch in der leblosen Natur vorkommen. Vor allem sind es Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor und Schwefel, aber auch andere Elemente wie zum Beispiel Natrium, Kalium, Kalzium, Magnesium, Eisen, Chlor. Bisher wurden etwa 60 Elemente in den Lebewesen nachgewiesen. Der prozentuale Anteil der einzelnen Grundstoffe an der leblosen und der lebenden Substanz ist jedoch unterschiedlich.

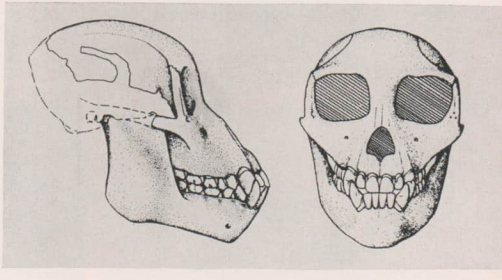
Die Erdrinde besteht zu 0,12% aus Phosphor, der menschliche Körper aber zu 1%; die Erdrinde enthält 0,09% Kohlenstoff, der menschliche Körper jedoch etwa 20%.

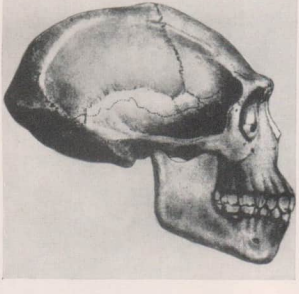
Charakteristisch für die Lebewesen sind komplizierte **organische Verbindungen** wie Eiweiße, Nukleinsäuren, Kohlenhydrate und Fette. Eine ganz besondere Bedeutung kommt den Nukleinsäuren und Eiweißen als Träger des Lebens zu. Neben diesen organischen Stoffen sind in der lebenden Substanz auch anorganische, vor allem Wasser und verschiedene Salze enthalten. Der menschliche Muskel besteht zum Beispiel zu 76% aus Wasser.

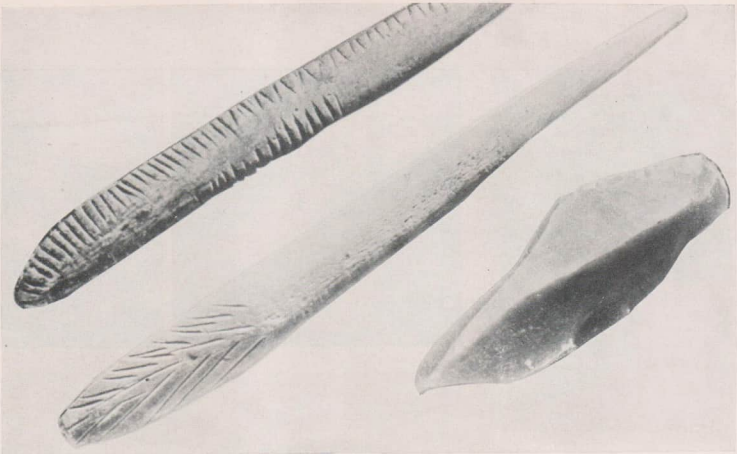
Tafel 3 Oben links: Schädel eines *Präsapiens*; oben rechts: Schädel eines *Proconsuls*;
Mitte: Schädel eines *Proconsuls* (Rekonstruktion);
unten links: Schädel eines *Pithecanthropus* (Rekonstruktion), unten rechts: Schädel eines *Sinanthropus pekinensis*

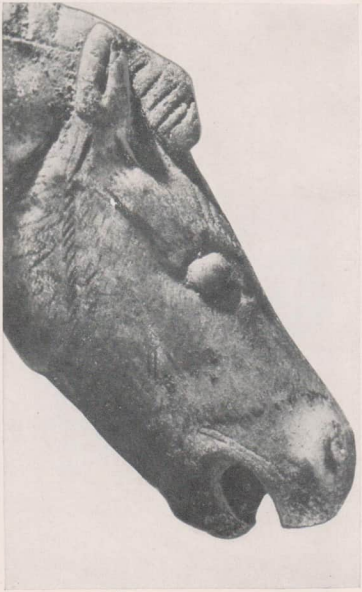












Eigenschaften des Lebens

Zum Verständnis des Wesens des Lebens ist das Studium seiner Eigenschaften Voraussetzung. Ihre Erforschung ermöglicht es, die Gesetzmäßigkeiten und die Spezifik der lebenden Materie zu erkennen. Eigenschaften des Lebens sind Stoffwechsel, Individualität, Reizbarkeit und Bewegung, Wachstum, Entwicklung, Fortpflanzung, Vererbung und Anpassung.

Stoffwechsel. Die wichtigste Eigenschaft des Lebens ist der Stoffwechsel.

Aufgabe und Frage

1. Was ist Stoffwechsel?
2. Stellen Sie in einer Übersicht Ihnen bekannte Stoffwechselvorgänge zusammen!

Im Organismus finden Stoff- und Energieumwandlungen statt. Alle Stoff- und Energiewechselvorgänge lassen sich auf einfache chemische, nicht für das Leben spezifische Reaktionen wie Oxydation, Reduktion, Kondensation und Hydrolyse zurückführen. Im Lebewesen sind diese Reaktionen jedoch geordnet und bilden ein einheitliches System von Reaktionsketten und -zyklen; sie verlaufen in optimaler Weise, beschleunigt und gerichtet durch Fermente (Biokatalysatoren).

Lebewesen sind stofflich und energetisch offene Systeme, die sich durch beständigen Stoff- und Energieaustausch mit der Umwelt in einem dynamischen Gleichgewicht (Fließgleichgewicht) befinden.

Es gibt auch unbelebte offene Systeme. So existiert zum Beispiel eine Gasflamme nur deshalb, weil ständig Gas in ihr oxydiert wird, oder ein Wasserstrahl, weil Wasser fließt. Im Unterschied zu den unbelebten offenen Systemen in der Natur kommt den Lebewesen aber eine wichtige Eigenschaft zu. Sie können ihren inneren optimalen Zustand selbst aufrechterhalten; sie verfügen durch das Vorhandensein von Rückkopplungsmechanismen (Regulationsmechanismen) über die Fähigkeit zur **Autoregulation**. Hierdurch sind sie in der Lage, ungünstige Einflüsse zu kompensieren und damit das Weiterbestehen des ganzen Systems zu gewährleisten. Durch Autoregulation wird zum Beispiel der Blutzuckerspiegel konstant gehalten.

Aufgabe und Frage

1. Erläutern Sie, wie im Körper des Menschen der Blutzuckerspiegel konstant gehalten wird!
2. Welche Organe und Hormone regulieren den Blutzuckerspiegel?
3. Suchen Sie andere Beispiele der Autoregulation bei Organismen!

Lebewesen sind also gleichzeitig geschlossene Kontrollsysteme, das heißt die Fähigkeit zur Regulation ist dem System selbst gegeben.

Individualität. Im Gegensatz zur leblosen Natur ist das Leben an einzelne, räumlich begrenzte Gebilde gebunden, die aus verschiedenen, voneinander abhängigen Teilen (Zellplasma und Zellkern, Zellen, Geweben, Organen, Organsystemen) bestehen. Diese Teile des Individuums bilden ein einheitliches Ganzes, sie stehen miteinander in enger Wechselwirkung. Das Ganze ist nicht teilbar, ohne daß dadurch seine Qualität geändert wird (ohne daß es dadurch aufhören würde, das zu sein, was es zuvor war).

Tafel 4 Oben: Bearbeitete Knochenspitzen und Stichel des eiszeitlichen Neumenschen
Unten links: Blattspitze aus Feuerstein; vermutlich Speerspitze aus der letzten Eiszeit
Unten rechts: Wildpferdkopf; Knochenschnitzerei des eiszeitlichen Neumenschen

Reizbarkeit und Bewegung. Reizbarkeit ist eine Eigenschaft des Protoplasmas. Alle lebenden Systeme sind reizbar, das heißt, sie sind fähig, auf äußere Einwirkungen (Reize) mit aktiven Veränderungen ihres Verhaltens (Reaktionen) zu antworten. Durch die Energie des Reizes wird am Reizort der Zustand des Protoplasmas verändert, das Protoplasma wird erregt. Diese **Erregung** breitet sich aus und führt zu einer **Reaktion**. Ein Reiz kann positiv (z. B. Nahrungsreiz) oder negativ (z. B. Verletzung) sein, und der Organismus antwortet darauf mit positiven oder negativen Reaktionen.

Mit der Reizbarkeit ist die aktive räumliche Beweglichkeit der Lebewesen verbunden. Es gibt zahlreiche Arten von Bewegung. Hierzu zählt man nicht nur die freie Ortsbewegung der Tiere, sondern zum Beispiel auch die Bewegungen einzelner Teile der Pflanzen, wie das Hinwenden der Blätter zum Licht und das nächtliche Schließen der Blüten.

Aufgabe

Geben Sie Beispiele für Reizerscheinungen bei Pflanzen und Tieren an!

Wachstum, Entwicklung, Fortpflanzung und Vererbung. Lebewesen sind zeitlich begrenzte und sich während der Dauer ihres Lebens entwickelnde Systeme. Ihre individuelle Entwicklung (Ontogenese) besteht in der Aufeinanderfolge verschiedener Stadien und endet gesetzmäßig durch den Tod. Durch die Fortpflanzung besteht das Leben in einer zeitlichen Aufeinanderfolge einzelner Individuen und wird so lange existieren, wie die entsprechenden Lebensbedingungen vorhanden sind.

Die Fortpflanzung beruht auf der Fähigkeit der Zellen, die wesentlichen Bestandteile des Protoplasmas (vor allem die Nukleinsäuren des Zellkerns) im Stoffwechselgeschehen identisch (= gleichartig) zu reproduzieren und bei der Zellteilung an die Tochterzellen weiterzugeben. Dabei werden die Anlagen für die Entwicklung der Nachkommen auf diese übertragen, **vererbt.** So sind die Nachkommen ihren Vorfahren in ihrer individuellen Entwicklung artgleich.

Die aufsteigende Phase der Ontogenese (bis zur Fortpflanzungsreife) ist mit dem Wachstum, der nicht umkehrbaren (irreversiblen) Zunahme des Volumens verbunden. Wesentlich für die Entwicklung ist jedoch nicht die Vermehrung der Zellen, sondern die Differenzierung ihres Baus und ihrer Leistungen, die dazu führt, daß die verschiedenen Lebewesen ihren inneren Aufbau, ihre äußere Gestalt und ihre Verhaltensmöglichkeiten erhalten.

Anpassung an die Umwelt. Auf jedes Lebewesen wirken viele Faktoren (Licht, Temperatur, Wind, Feuchtigkeit usw.) ein, es tritt mit vielen anderen Lebewesen (der gleichen Art oder anderer Arten) in Beziehung. Die Gesamtheit der Erscheinungen, mit denen ein Lebewesen im Verlaufe seines Lebens in Beziehung treten kann, ist die Umwelt dieses Lebewesens, mit der es eng verbunden ist.

Bau und Verhaltensmöglichkeiten eines Lebewesens entsprechen immer den Umweltverhältnissen, in denen es lebt. Die Lebewesen sind so beschaffen, daß sie sich in der jeweiligen Umwelt erhalten können und auf diese angewiesen sind. Sie sind an ihre Umwelt angepaßt. Die **Anpassung** der Lebewesen ist das Ergebnis von **Veränderung** (Variation) und **Auslese** (Selektion), in deren Ergebnis die am besten angepaßten Individuen überleben.

Die Erdoberfläche, die Gewässer und der untere Teil der Lufthülle bieten verschiedenartigsten Lebewesen Lebensmöglichkeiten. Abgesehen von den Kratern tätiger Vulkane gibt es kaum Orte, die nicht zumindest zeitweilig Leben beherbergen.

Das Leben als spezifische Bewegungsform der Materie

All das, was außerhalb unseres Bewußtseins und unabhängig von ihm existiert, ist Materie. Alle materiellen Dinge und Erscheinungen befinden sich in Bewegung, sie verändern sich, entstehen und vergehen, gehen auseinander hervor und stehen miteinander in Wechselwirkung. Dabei zeigen große Gruppen materieller Dinge und Erscheinungen Gemeinsamkeiten, sie bilden verschiedene Bewegungsformen, die sich qualitativ, ihrem Wesen nach voneinander unterscheiden. Solche Bewegungsformen sind die physikalische, deren Gesetze in der Physik, die chemische, deren Gesetze in der Chemie, die biologische, deren Gesetze in der Biologie und die gesellschaftliche, deren Gesetze in den Gesellschaftswissenschaften erforscht werden.

Die Stellung des Lebens im Entwicklungsprozeß der Materie. Die verschiedenen Bewegungsformen der Materie sind zugleich Entwicklungsstufen der Materie. Unter bestimmten Bedingungen entsteht eine Bewegungsform der Materie aus einer anderen und unterscheidet sich von ihr durch neue Gesetze; sie ist eine höhere Bewegungsform als die, aus der sie hervorgegangen ist. Dabei wirken die Gesetze der niederen Bewegungsform auch in der höheren Bewegungsform weiter, sie sind aber nicht mehr bestimmend, sie machen nicht das Wesen der höheren Bewegungsform aus, sondern deren Wesen wird durch die neuen Gesetze bestimmt.

So bestehen zum Beispiel die Atome aus Elementarteilchen (Protonen, Neutronen, Elektronen), die Moleküle der verschiedenen chemischen Verbindungen aus Atomen verschiedener chemischer Elemente. Die Atome und Moleküle zeigen Eigenschaften, die wir bei den Elementarteilchen nicht finden. Ihre Gesetze werden im Unterschied zu den physikalischen Gesetzen der Elementarteilchen von der Chemie erforscht. Wie nun die Atome aus Elementarteilchen und die Moleküle aus Atomen zusammengesetzt sind, so sind in den Lebewesen, im Protoplasma, bestimmte komplizierte Moleküle, sind viele Tausende einzelner physikalischer und chemischer Vorgänge zu einer höheren Einheit, zum Leben, zur biologischen Bewegungsform der Materie verbunden.

Die Lebenserscheinungen sind das Ergebnis der in besonderer Weise räumlich und zeitlich geordneten autoregulierten Wechselwirkung der Bestandteile der Lebewesen untereinander und als Ganzes mit ihrer Umwelt. Das Leben ist also eine sehr hochentwickelte Bewegungsform der Materie. Es ist auf der Grundlage der chemischen Bewegungsform durch eine lange, natürliche Entwicklung entstanden, und mit der Entstehung des menschlichen Bewußtseins ging aus ihm eine noch höhere, die gesellschaftliche Bewegungsform hervor.

Das Verhältnis von Struktur und Funktion. Bereits die einfachsten Lebewesen verfügen über einen sehr komplizierten inneren Aufbau. So enthalten die Zellen neben der Differenzierung in Zellkern und Zellplasma noch zahlreiche Strukturgebilde wie Plastiden (nur bei Pflanzen), Mitochondrien und Ribosomen. Diese Strukturierung der Zelle ist Voraussetzung für den Ablauf eines räumlich und zeitlich geordneten Stoffwechselsystems. So verlaufen in den Mitochondrien, sehr kleinen Teilchen im Protoplasma, die Prozesse der Zellatmung, während die Ribosomen, die noch kleiner sind, für die Eiweißsynthese verantwortlich sind, und in den Chloroplasten der grünen Pflanzen gehen die Photosynthesereaktionen vonstatten. Die spezifische Strukturiertheit der lebenden Substanz geht bis zu den molekularen Bausteinen des Lebens. Die

Eiweiße und Nukleinsäuren besitzen eine komplizierte räumliche Struktur mit einer spezifischen Reihenfolge der einzelnen Bausteine im Makromolekül.

Auf dieser hochorganisierten und spezifischen Struktur verlaufen in den Organismen die vielfältigen geordneten, miteinander hochkoordinierten Lebensprozesse. Struktur und Funktion stehen also in engem Zusammenhang; die komplizierte Struktur ist Voraussetzung für die hohe Organisation der Lebensprozesse.

FRIEDRICH ENGELS schrieb: „Leben ist die Daseinsweise der Eiweißkörper, und diese Daseinsweise besteht wesentlich in der beständigen Selbsterneuerung dieser Körper." Hiermit kennzeichnete er das spezifische Substrat des Lebens, die Eiweißkörper (heute wissen wir, daß darunter die Eiweiße und Nukleinsäuren zu verstehen sind), und gleichzeitig wies er auf den Prozeßcharakter des Lebens hin.

Mit Recht hob ENGELS aus allen charakteristischen Kennzeichen des Lebens die beständige Selbsterneuerung, den biologischen Stoff- und Energiewechsel hervor. Er liegt allen anderen Lebenserscheinungen – Reizbarkeit, Wachstum, Fortpflanzung usw. – zugrunde. Der Stoffwechsel ist notwendige Existenzbedingung für alle Lebewesen. Es zeugt von ENGELS' Weitblick, daß er zu einer Zeit, als die Erforschung der Lebenserscheinungen noch wenig fortgeschritten war, gerade die entscheidende Bedeutung der Eiweißkörper und der in ihnen ablaufenden Prozesse für die Charakterisierung des Lebens erkannte. Der grundlegende Lebensprozeß besteht in der Vermehrung der Nukleinsäure und der Eiweißsynthese.

Nukleinsäuren sind komplizierte, kettenförmige Verbindungen, in denen die Reihenfolge der einzelnen Bausteine im Makromolekül ganz spezifisch ist. Die Nukleinsäure des Zellkerns ist der Träger der Erbanlagen; die eben durch diese Reihenfolge bestimmt werden. Wir wissen heute, daß die Nukleinsäuren sich selbst vermehren können, das heißt, ein Molekül kann ein ihm gleiches aufbauen. Dadurch erfolgt die identische Reproduktion des Erbmaterials bei der Zellteilung. Gleichzeitig sind die Nukleinsäuren auch an der Eiweißsynthese maßgeblich beteiligt.

Eiweiße sind wie die Nukleinsäuren hochmolekulare Verbindungen. Ihre Moleküle bestehen aus langen Ketten von Aminosäuren, die in ganz bestimmter Reihenfolge angeordnet sind. Die Anordnung der Aminosäuren im Eiweißmolekül wird bei der Synthese durch die Reihenfolge der einzelnen Bausteine im Nukleinsäuremolekül bestimmt. Die Nukleinsäure dient also sozusagen als Matrize für den Aufbau des Eiweißes, ähnlich, wie für den Druck eines Buches eine Matrize notwendig ist, bei deren Abdruck dann auf dem Papier der entsprechende Text erscheint. Die Nukleinsäuren enthalten also die Information für den Aufbau der einzelnen Eiweiße. Von der Struktur der Eiweiße hängen wieder alle Leistungen und Eigenschaften des Organismus ab. Der geordnete Ablauf aller Prozesse in den Lebewesen hängt also letztlich von dem spezifischen Aufbau der Nukleinsäuren ab.

Die Historizität des Lebens. Für die Erkenntnis der Spezifik des Lebens ist seine historische Betrachtung wichtig. Das Leben hat eine echte Geschichte; jedes Lebewesen stellt das Ergebnis einer langdauernden biologischen Entwicklung dar. Diese Entwicklung ist einmalig und nicht umkehrbar. Die Ursache hierfür liegt in der hohen Kompliziertheit der lebenden Materie. Bereits die molekularen Bausteine des Lebens, die Nukleinsäuren und Eiweiße, sind so kompliziert gebaut, daß eine zweimalige unabhängig voneinander verlaufende Entstehung völlig gleicher Moleküle praktisch unmöglich ist. In weit größerem Maße gilt das für die gesamten Organismen mit ihren vielfältigen chemischen Bestandteilen und ihren vielen tausend aufeinander abgestimmt verlaufenden Stoffwechselreaktionen.

Im Verlaufe der Entwicklung entstand eine fast unübersehbare Mannigfaltigkeit der

Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen. Vergleiche zwischen den einzelnen Lebewesen zeigen verschiedene Grade der Ähnlichkeit und Verschiedenheit, die auf eine mehr oder weniger große Verwandtschaft der Organismen untereinander hindeuten. Wir können die Lebewesen also zu Abstammungseinheiten zusammenfassen. Die **Art** ist die kleinste Abstammungseinheit, die durch mehrere konstante, erbliche Merkmale von allen anderen Abstammungseinheiten deutlich geschieden ist. Die Lebewesen einer Art sind durch die Fortpflanzung untereinander verbunden und bringen bei der Fortpflanzung artgleiche Nachkommen hervor. Werden Lebewesen verschiedener Arten gekreuzt, so entstehen entweder gar keine Nachkommen, oder diese sind, bis auf wenige Ausnahmen, unfruchtbar.

Ähnlichkeit und Verschiedenheit der nicht artgleichen Lebewesen sind so abgestuft, daß sich daraus das **natürliche System der Organismen** ergibt. Das natürliche System der Organismen ist die wissenschaftliche Widerspiegelung der historisch entstandenen Mannigfaltigkeit der Lebewesen.

Bisher sind etwa 1 Million Tierarten bekannt, darunter rund 750000 Insekten-, 20000 Fisch-, 8600 Vogel- und 6000 Säugetierarten. Es sind nahezu 250000 Pflanzenarten bekannt; mehr als die Hälfte sind Samenpflanzen, etwa 600 Arten sind nacktsamige Pflanzen, 130000 Arten zweikeimblättrige und 40000 Arten einkeimblättrige Pflanzen. Etwa 10000 Arten gehören zu den Farnpflanzen und etwa 25000 Arten zu den Moospflanzen. Wir kennen etwa 20000 Algenarten; die Zahl der Pilze ist mehr als doppelt so groß, und immer noch werden neue Arten von Lebewesen, vor allem Insekten und Mikroorganismen, entdeckt.

Die historische Entwicklung der Kenntnis vom Leben

Wir haben das Leben als eine Bewegungsform der Materie kennengelernt. Noch nicht lange haben Menschen solche Vorstellungen vom Leben; FRIEDRICH ENGELS war der erste, der das Leben als eine besondere Bewegungsform der Materie definierte. Heute ist diese Auffassung zwar Allgemeingut der biologischen Wissenschaft, jedoch gibt es noch viele Menschen, die keine klaren Vorstellungen über das Wesen des Lebens und seine Herkunft haben. Deshalb glauben sie, ein höheres Wesen habe das Leben einst auf irgendeine Weise geschaffen und lenke die Geschicke der Lebewesen.

In der Geschichte der Menschheit hat es viele Theorien gegeben, mit denen die Menschen das Leben zu erklären versuchten. Vergleicht man diese Theorien miteinander, so kann man zwei große Gruppen unterscheiden. Die eine Gruppe versucht, das Leben auf natürliche Weise, aus sich selbst durch wissenschaftliche Untersuchung der Lebewesen zu erklären. In diesen Theorien wird das Leben als etwas Natürliches, Erkennbares, **Materielles** erkannt. Man nennt diese Theorien **materialistisch.**

Die zweite Gruppe sieht das Wesen des Lebens in irgendeinem ewigen, übermateriellen, durch die Erfahrung nicht erkennbaren Anfang. Die Materie sei selbst leblos, sie diene nur als Material, aus dem die Seele oder der Geist die Lebewesen geformt habe. Das Wesen des Lebens wird also als etwas Übernatürliches, durch wissenschaftliche Forschung nicht Erkennbares, **Ideelles** angesehen. Solche Theorien werden **idealistisch** genannt.

Wir verfolgen nun, wie sich die Vorstellungen der Menschen über das Leben entwickelt haben.

Altertum. Der wohl erste Erklärungsversuch erwuchs aus einer einfachen Beob-

achtung: Menschen atmen, solange sie leben. Man glaubte deshalb, daß der Atem ein belebender Geist, eine Seele sei. Man stellte sich also das Leben als ein selbständiges Etwas vor, das nicht eins ist mit dem Körper, sondern sich nur zeitweilig in ihm aufhält. Diese Annahme wurde dadurch gestützt, daß dem Menschen im Traum Menschen und Tiere erschienen, von denen er wußte, daß sie tot waren. Die Traumgestalten hielt man für ihre fortbestehenden Seelen oder Geister.

Diese naive Gleichsetzung von Atem, Beseeltheit und Belebtheit war eng mit dem Schöpfungsglauben verbunden. So, wie die Menschen selbst Werkzeuge, Körbe, Töpfe und andere Gebrauchsgegenstände herstellen, glaubten sie, daß die Pflanzen, Tiere und sie selbst von jemanden gemacht worden waren, der mehr konnte als sie selbst. So entstand der Glaube, die Lebewesen seien von höheren Wesen, von Göttern geformt und mit dem Lebensatem begabt worden. Diesen **Schöpfungsglauben** findet man in alten Sagen vieler Völker, bei Australiern und Indianern wie bei Babyloniern, Hebräern und Griechen.

Abb. 27 Aristoteles

Abb. 26 Demokrit

Einer der bedeutendsten Philosophen des Altertums, DEMOKRIT (etwa 460 bis 370 v. u. Z.; Abb. 26) lehrte, daß alles Existierende, auch die Lebewesen, sich durch Vereinigung kleinster materieller Teilchen, der Atome bildet und durch deren Trennung vergeht. Er erklärte alle Erscheinungen, einschließlich der Eigenschaften der Lebewesen, aus dem mechanischen Ortswechsel der Atome. Demokrit stellte zahlreiche Tierbeobachtungen an und sezierte auch Tierleichen. Er teilte die Tiere in blutlose, zu denen er vor allem die Wirbellosen zählte, und blutführende ein, denen er die meisten Wirbeltiere zuordnete.

Der größte Denker und hervorragendste

Gelehrte der Antike war ARISTOTELES (384 bis 322 v. u. Z.; Abb. 27). Er kannte rund 500 Tierarten; zum Teil beschrieb er sie erstmalig und ordnete sie durch Vergleich ihrer Merkmale in ein System. ARISTOTELES faßte die Materie als völlig passiven Stoff auf, der von sich aus zu keiner Entwicklung und Bewegung fähig sei. Erst durch ideelle Kräfte, die er „Formen" nannte; wird die Materie bewegt und gestaltet. Mit seiner Form war für ARISTOTELES jedem Ding ein inneres Ziel gesetzt, zu dem hin und um dessentwillen es sich entwickelt, seine „Zweckursache" oder **Entelechie**. Durch die Beobachtung der Entwicklung von Hühnerembryonen, die er als Neubildung der Teile aus passivem Stoff gemäß der Entelechie ansah, wurde er in seiner Auffassung bestärkt.

ARISTOTELES nahm eine gestufte Ordnung der Natur an, die von den unbelebten Dingen über die Pflanzen und Tiere zum Menschen geht. Die Unterschiede zwischen ihnen erklärte er durch Unterschiede der Entelechien. Die Entelechie der Tiere und des Menschen nannte er Seele.

Diese Vorstellungen des ARISTOTELES vom Wesen des Lebens herrschten viele Jahrhunderte bis weit ins Mittelalter hinein. Insbesondere die Kirche erkannte, wie gut diese mit dem christlichen Schöpfungsglauben übereinstimmten, und erklärte sie zur unanfechtbaren Wahrheit.

Renaissance. In der Renaissance begann, verbunden mit der Entstehung und Entwicklung der kapitalistischen Produktionsweise, eine neue Periode der Naturerkenntnis; die moderne Naturwissenschaft entstand. Sie ging nicht mehr wie die Anhänger des ARISTOTELES von Spekulationen, sondern von Beobachtungen, Untersuchungen und Versuchen aus. Im Zusammenhang damit bildeten sich neue Auffassungen vom Wesen des Lebens.

Einer der bekanntesten Wissenschaftler dieser Zeit war der Arzt und Wegbereiter der modernen Chemie Theophrastus Bombastus von Hohenheim, genannt PARACELSUS (1493 oder 1494 bis 1541). PARACELSUS faßte das Leben als chemischen Prozeß, als Stoffwechselgeschehen auf. Im Magen sah er das Laboratorium eines inneren Alchimisten, des „Archaeus", der den Stoffwechsel betreibt, das heißt, die Nahrung in Gutes und Giftiges scheidet und das Gute in Fleisch und Blut umwandelt.

Mechanismus. Inzwischen hatte sich die Mechanik, bedingt durch die Bedürfnisse der kapitalistischen Produktion und die verhältnismäßig leichte Auffindbarkeit ihrer Gesetze, rasch entwickelt. Man versuchte, ihre Gesetze auch bei den Lebewesen zu finden. So zeigte LEONARDO DA VINCI (1452 bis 1519), daß die Knochen als Hebel wirken, und HARVEY (1587 bis 1657) wies nach, daß das Blut einen Kreislauf durchläuft, in dem das Herz als Pumpe funktioniert. Damit kam es zur mechanistischen Deutung des Lebens. Die Vertreter des Mechanismus faßten die Lebewesen als komplizierte Maschinen auf, als ein System von Hebeln und Rollen (Knochen und Muskeln) und als hydraulisches System (Gefäßsystem). Sie behaupteten, daß das Leben gegenüber der unbelebten Materie überhaupt nichts Besonderes sei, da es voll und ganz auf den Gesetzen der unbelebten Natur beruhe.

Damit erkannte die mechanistische Lehre nicht den qualitativen Unterschied zwischen der unbelebten und der belebten Natur, durch den das Leben eine höhere Bewegungsform der Materie mit spezifischen Gesetzmäßigkeiten im Vergleich zur Bewegung der unbelebten Natur darstellt. Sie betonte aber, daß das Leben natürlichen Ursprungs ist und daß für seine Erklärung keine Zuhilfenahme übermaterieller, göttlicher Kräfte notwendig ist.

Vitalismus. Mit fortschreitender Erkenntnis des Lebendigen erkannte man die Unmöglichkeit, das Leben nur mit den Gesetzen der Mechanik zu erklären. Deshalb versuchten viele Gelehrte, alles den Lebewesen Eigentümliche aus dem Wirken einer übermateriellen und unerkennbaren „Lebenskraft" zu deuten. Dadurch wurde eine unüberbrückbare Kluft zwischen Leblosem und Lebendigem behauptet und der Erforschung des Lebens eine Schranke gezogen. Der Vitalismus erkannte zwar, daß das Leben über eine spezifische Eigengesetzlichkeit verfügt, aber er erklärte diese Eigengesetzlichkeit nicht auf natürliche Weise. Er hielt die Entstehung des Lebens aus Unbelebtem auf natürlichem Wege und ohne Zuhilfenahme der „Lebenskraft" für unmöglich. Damit wird der enge Zusammenhang zwischen den einzelnen Bewegungsformen der Materie geleugnet.

Einer der Begründer des Vitalismus war der Arzt und Chemiker GEORG ERNST STAHL (1660 bis 1734), der den Organismus als passiven, von einer immateriellen Seele bewegten Mechanismus ansah. Diese Seele sollte Wundheilungen und andere mechanisch nicht vorstellbare Lebensvorgänge bewirken und die chemische Zersetzung des Körpers, wie sie nach dem Tode eintritt, verhindern.

Zwischen dem Mechanismus und dem Vitalismus entbrannte in der weiteren Entwicklung der Biologie ein erbitterter Streit, der bis in die Gegenwart dauert. Beide Deutungsversuche des Lebens sind aber einseitig und führten zu keiner Lösung des Problems, worin das Wesen des Lebens besteht.

Die neuere Naturwissenschaft. Ein entscheidendes Argument der Vitalisten war die bis dahin noch nicht gelungene Synthese im Organismus vorhandener organischer Verbindungen im Laboratorium, die die Vitalisten für unmöglich hielten; denn die Bildung organischer Stoffe sollte durch die Lebenskraft bewirkt werden. Im Jahre 1828 gelang FRIEDRICH WÖHLER jedoch die Synthese des Harnstoffs. Damit war die Behauptung widerlegt, daß organische Verbindungen nur im Organismus unter Beteiligung der Lebenskraft entstehen können. Durch die von CHARLES DARWIN (1809 bis 1882) begründete wissenschaftliche Abstammungslehre fand die „Zweckmäßigkeit" der Lebewesen, die von den Vitalisten ebenfalls als Wirken der Lebenskraft gedeutet wurde, ihre natürliche Erklärung. Die „Zweckmäßigkeit" der Lebewesen ist das Ergebnis ihrer Anpassung, sie ist gleichbedeutend mit Angepaßtheit.

Die großen naturwissenschaftlichen Entdeckungen und die rasche Entwicklung von Physik, Chemie und Biologie im 19. und 20. Jahrhundert erbrachten den unwiderlegbaren wissenschaftlichen Nachweis, daß es keine, wie auch immer beschaffene, besondere Lebenskraft gibt. Nur die dialektische Betrachtungsweise, die Betrachtung des Lebens als besonderer, auf natürlichem Wege entstandener Bewegungsform der Materie läßt uns das Wesen des Lebens erkennen.

Die modernen Vorstellungen von der Entstehung des Lebens

Das Leben ist eine besondere Bewegungsform der Materie, die aus der chemischen und physikalischen Bewegungsform entstanden ist. Die Frage, wie nun der Übergang von der chemischen zur biologischen Bewegung vonstatten ging, ist eins der kompliziertesten Probleme der modernen Biologie, an dessen Lösung heute noch gearbeitet wird.

Große Verdienste um die Lösung dieses Problems hat sich der sowjetische Biochemiker ALEXANDER IWANOWITSCH OPARIN (Abb. 28) erworben. Er entwickelte als erster den Gedanken, daß auf der Erde, bevor es zur Entstehung der ersten Lebewesen kam, bereits organisch-chemische Verbindungen existiert haben müssen, die die Grundlage für die Entstehung des Lebens bildeten. Weiter folgerte er, daß die ersten Lebewesen, die Urorganismen, heterotroph waren, das heißt, daß sie sich von organischen Substanzen ernährten. Auf der Urerde gab es ferner noch keinen freien Sauerstoff, so daß die ersten Lebewesen ihre Energie noch nicht durch Atmung, sondern durch Gärungsprozesse gewannen. Diese Ansichten Oparins sind heute international allgemein anerkannt, und sie können auf Grund zahlreicher experimenteller Ergebnisse als gesichert gelten.

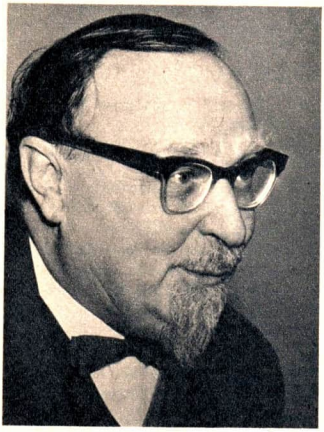


Abb. 28 A. I. Oparin

Ganz entscheidende Hinweise hat in neuester Zeit die Molekularbiologie, die die Lebenserscheinungen auf dem Molekülniveau, also die elementarsten Lebensstrukturen und -prozesse untersucht, für die Entwicklung unserer Vorstellungen von der Entstehung des Lebens gegeben. Um diese komplizierte Frage zu lösen, wird aber noch jahrelange, intensive Forschertätigkeit notwendig sein.

Die Entstehung und Entwicklung organischer Stoffe. Der erste Schritt zur Entstehung des Lebens war die abiogene Bildung organisch-chemischer Verbindungen und ihre chemische Entwicklung. Organische Verbindungen, die ohne Beteiligung von Lebewesen aus anorganischen Stoffen entstanden sind, gibt es auch auf anderen Gestirnen. Auf den unbelebten Planeten Jupiter und Saturn kommen beispielsweise große Mengen von Methan (CH_4) vor, das dort zusammen mit dem Ammoniak (NH_3) eine mächtige Atmosphäre bildet. In auf die Erde niedergegangenen Meteoriten fand man ebenfalls organische Stoffe. Auch auf der Urerde entstanden in einem bestimmten Entwicklungsabschnitt derartige Verbindungen.

Die Erde ist nach neueren Ansichten zusammen mit der Sonne und den anderen Planeten aus einer gewaltigen kosmischen Gas- und Staubwolke entstanden. Der größte Teil der Wolke verdichtete sich zu einem Zentralkörper. Die bei der Zusammenballung der Stoffe entstehende hohe Temperatur machte schließlich atomare Prozesse möglich, und es entstand ein selbstleuchtender Stern, unsere Sonne. Aus dem Rest der ursprünglichen Wolke bildeten sich die Planeten, darunter auch unsere Erde. Dabei trat durch die Zusammenballung der Stoffe auf der sich bildenden Erde eine Temperaturerhöhung auf etwa 2000 °C ein. Die Erdoberfläche kühlte sich durch Wärmeausstrahlung bald wieder ab, so daß die Urerde auf ihrer Oberfläche Temperaturen aufwies, die den heutigen nahekommen.

Schon seit den frühesten Zeiten ihres Bestehens besaß die Erde eine feste Oberfläche, einen Urozean und eine Uratmosphäre. In der Uratmosphäre kam aber im Gegensatz zu heute kein freier Sauerstoff vor.
Die feste Oberfläche der Urerde enthielt Kohlenstoff, der sich heute als Hauptbestandteil in allen Organismen befindet, Damals existierte er vor allem in Form von Karbiden, also in Verbindungen mit Metallen. Die Karbide traten mit Wasser in Reaktion. Dabei entstanden die ersten **Kohlenwasserstoffe**, die in die Uratmosphäre eingingen.

Äthin (Azetylen) bildet sich zum Beispiel aus Kalziumkarbid und Wasser:

$$CaC_2 + 2\,H_2O \longrightarrow HC \equiv CH + Ca(OH)_2$$

Aluminiumkarbid bildet unter gleichen Bedingungen Methan:

$$Al_4C_3 + 12\,H_2O \longrightarrow 3\,CH_4 + 4\,Al(OH)_3$$

Aus anderen Karbiden konnte auch Äthen (Äthylen, C_2H_4) entstehen.
Aus Metallnitriden, die im Prozeß der Erdentstehung durch Vereinigung von Stickstoff mit Metallen entstanden waren, bildete sich **Ammoniak**, zum Beispiel nach folgender Gleichung:

$$FeN + 3\,H_2O \longrightarrow Fe(OH)_3 + NH_3.$$

Auf ähnliche Weise wurde aus Metallsulfiden **Schwefelwasserstoff** (H_2S) frei. Ammoniak und Schwefelwasserstoff sammelten sich ebenfalls in der Uratmosphäre an. Auch Wasserdampf war in ihr enthalten.
Die ersten organischen Verbindungen auf der Urerde, die **Kohlenwasserstoffe**, machten in der Folgezeit eine lange chemische Entwicklung durch. Dabei entstand durch verschiedenartige Reaktionen eine große Zahl von komplizierter gebauten Stoffen.

So waren folgende Prozesse möglich: Hydratisierung (Anlagerung von Wasser), Reduktion und Oxydation, Kondensation, Polymerisation, Aminierung (Anlagerung von NH_3 unter Bildung einer NH_2-Gruppe), Ringbildung u. a. Als Ergebnis entstanden auf der Urerde die verschiedensten sauerstoff-, stickstoff- und schwefelhaltigen **Derivate der Kohlenwasserstoffe**, wie beispielsweise Alkanole (Alkohole), Alkanale (Aldehyde), organische Säuren, Amine, Amide, aromatische Verbindungen, Thioalkohole (Kohlenwasserstoffabkömmlinge mit einer SH-Gruppe). Als Beispiel seien hier zwei Reaktionen angeführt, die Bildung von Äthanal (Azetaldehyd) aus Äthin (Azetylen) und Wasser (Hydratisierung):

$$C_2H_2 + H_2O \longrightarrow CH_3 \cdot CHO$$

und die Bildung von Äthylamin aus Äthen (Äthylen) und Ammoniak (Aminierung):

$$C_2H_4 + NH_3 \longrightarrow C_2H_5 \cdot NH_2$$

Ein Teil dieser Reaktionen war exotherm. Andere Reaktionen waren endotherm und brauchten Energiezufuhr von außen. Als Energiequellen dienten dabei die Sonnenstrahlen (vor allem die ultravioletten Strahlen des Sonnenlichts), die elektrischen Entladungen der Atmosphäre und radioaktive Strahlen. Aus Methan, Ammoniak, Wasserstoff und Wasserdämpfen konnten sich unter Einwirkung elektrischer Entladungen auch **Aminosäuren** bilden. Das hat der amerikanische Wissenschaftler S. MILLER experimentell gezeigt. Die Aminosäuren sind die

Grundbausteine der lebenswichtigen Eiweiße.

Alle diese Reaktionen verliefen zuerst in der Uratmosphäre der Erde. Die Reaktionsprodukte wurden durch den Regen in den Urozean gespült, wo die gelösten Stoffe miteinander in Wechselwirkung traten. Dabei konnten bereits Katalysatoren wirksam werden, beispielsweise im Wasser gelöste Schwermetallsalze. Es entstanden immer neue, kompliziertere Verbindungen, darunter auch verschiedene Kohlenhydrate. Schließlich bildeten sich auch hochmolekulare Stoffe, wie **Polypeptide**, die Ketten von Aminosäuren darstellen und zu den Eiweißen überleiten, und Verbindungen, die zu den Nukleinsäuren hinleiten. Der Urozean bildete also schließlich eine Lösung komplizierter, zum Teil hochmolekularer organischer Verbindungen.

Über diese erste Etappe, die Entstehung und Entwicklung organisch-chemischer Verbindungen, haben die Wissenschaftler bereits recht genaue Vorstellungen. Die weitere Entwicklung der im Urozean gelösten hochmolekularen Stoffe bis zu den ersten

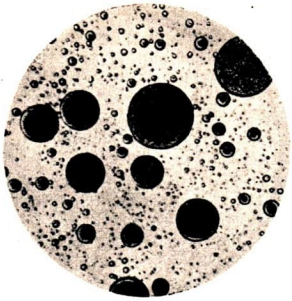


Abb. 30 Koazervattröpfchen aus Gelatine und Gummiarabikum

Lebewesen ist aber noch weitgehend ungeklärt. Es gibt hier verschiedene Hypothesen. Eine von ihnen ist die Koazervathypothese OPARINS.

Die Koazervathypothese Oparins. OPARIN vertritt die Ansicht, daß sich an die Bildung und Entwicklung der organischen Verbindungen eine Etappe der Bildung und Entwicklung organischer polymolekularer Sy-

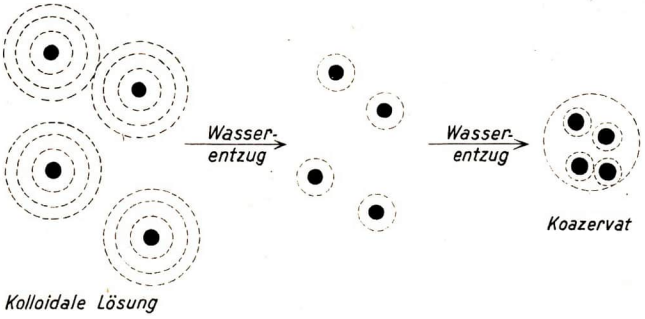


Abb. 29 Schematische Darstellung der Umwandlung von Teilchen einer Kolloidlösung in Koazervatteilchen

steme anschloß, aus denen schließlich die Urorganismen hervorgingen.
Die im Urozean entstandenen hochmolekularen Verbindungen existieren dort weder als echte Lösungen noch als Aufschwemmungen. Sie bildeten Lösungen, wie sie von Tischlerleim oder Gelatine bekannt sind. Wir sprechen in solchen Fällen von kolloidalen Lösungen; die gelösten Stoffe heißen **Kolloide**. Ihre Teilchen sind größer als die von echten Lösungen und kleiner als die von Aufschwemmungen. In kolloidalen Lösungen ist ein Teil des Wassers, das Hydratationswasser, auf Grund elektrostatischer Kräfte an die Kolloidteilchen gebunden; die Wassermoleküle sind streng auf die Kolloidteilchen ausgerichtet. Unter bestimmten Voraussetzungen wird ein Teil des Hydratationswassers abgegeben. Dabei werden elektrostatische Kräfte frei, die mehrere Kolloidteilchen zu größeren Einheiten vereinigen. Die so entstandenen Gebilde nennen wir **Koazervate** (Abb. 29). Sie sind noch flüssig und schwimmen als scharf abgegrenzte Tröpfchen in der Lösung, ähnlich wie ein Tropfen Hühnereiweiß in einem Glas Wasser schwimmt und sich mit dem Wasser nicht vermischt.
Koazervate kann man auch künstlich herstellen, beispielsweise aus einer wäßrigen Lösung von Gelatine und Gummiarabikum (Abb. 30).
Nachdem sich im Urozean aus den dort gelösten hochmolekularen Stoffen Koazervattröpfchen gebildet hatten, begann als weitere Etappe die Entwicklung dieser **organischen Systeme**.
In den Koazervaten wurden die auf der Urerde entstandenen organischen Stoffe angereichert. Das begünstigte den Ablauf chemischer Reaktionen zwischen diesen Stoffen. Die Koazervate existierten nicht losgelöst von der Umwelt. Sie nahmen aus dem sie umgebenden Urozean Stoffe auf und gaben andere, umgebaute Stoffe ab. Sie standen also mit ihrer Umgebung in Wechselwirkung, in ständigem Stoffaustausch.
Die in den Koazervaten verlaufenden Reaktionen waren mannigfaltigen Umwelteinflüssen ausgesetzt, zum Beispiel konnten sie durch die Aufnahme neuer Stoffe aus der Umwelt verändert werden. Unter günstigen Bedingungen führten diese Änderungen zur Entwicklung der Koazervate, zu ihrer Vervollkommnung. Unter ungünstigen Bedingungen wurde die Beständigkeit des Koazervattröpfchens gestört; es zerfiel. Die der Umwelt am besten angepaßten Koazervattröpfchen blieben bestehen und entwickelten sich weiter. So wurde nach der Ansicht OPARINS unter den Koazervaten eine erste **natürliche Auslese** wirksam, unter deren Kontrolle ihre Entwicklung zu den ersten Lebewesen erfolgte.
Einige Koazervate nahmen mehr Stoffe auf als sie abgaben; sie wuchsen. Beim Erreichen einer bestimmten Größe kam es auf Grund physikalischer Gesetzmäßigkeiten zur Teilung in Tochtertröpfchen.
Die Reaktionen in den Koazervattröpfchen verliefen zunächst langsam. Aus der Umwelt konnten aber Katalysatoren aufgenommen werden, die zur Reaktionsbeschleunigung führten. Die mit solchen Katalysatoren ausgestatteten Tröpfchen waren den anderen gegenüber im Vorteil und konnten sich schneller entwickeln. Die zuerst einfachen Katalysatoren komplizierten sich später, so daß schließlich Fermente und Fermentkomplexe entstanden.
Die Auslese der Koazervattröpfchen führte zum Angepaßtsein des inneren Baus an die Ausübung einfachster Lebensfunktionen unter den gegebenen Umweltverhältnissen, zu einer Eigenschaft also, die kennzeichnend für alle Lebewesen ist.
So wurden die Systeme unter der Wirkung der Auslese immer komplizierter und orga-

nisierter. Auf einer bestimmten Stufe entstanden in ihnen auch Stoffe, die den heutigen Eiweißen und Nukleinsäuren glichen. Es kam schließlich zur Anhäufung hochaktiver Fermenteiweiße und zur Ausbildung eines zeitlich und räumlich koordinierten Reaktionsnetzes in den Koazervaten, bis sich endlich ein echter Stoffwechsel herausbildete. Damit waren auf der Erde die ersten Lebewesen, die Urorganismen, entstanden, die bereits über alle Eigenschaften des Lebens verfügten.

Vorstellung von der molekularen Entstehung des Lebens. Die Koazervathypothese von OPARIN war ein wichtiger Schritt in der Entwicklung unserer Vorstellungen von der Entstehung des Lebens. Sie ist aber nicht die einzige wissenschaftliche Hypothese, die über diese komplizierte und wichtige Etappe in der Entwicklung der Materie existiert. Es gibt gegen die Ansichten von OPARIN eine ganze Reihe von Einwänden, die vor allem auf den neuesten Ergebnissen der biologischen Forschung beruhen, insbesondere über die Vermehrung der Nukleinsäuren und die Eiweißsynthese auf der Nukleinsäurematrize. Es gibt keinen Grund zu der Annahme, daß diese Prozesse auf den ersten Etappen der Entstehung des Lebens grundsätzlich anders verliefen als heute in den Lebewesen.

Nach OPARIN wurden die Eiweiße und Nukleinsäuren in den zu den Urorganismen überleitenden Koazervaten aber in einem komplizierten Reaktionsnetz stets neu gebildet, und der heutige Mechanismus ist erst das Ergebnis einer weiteren Entwicklung der Lebewesen. Dieses einheitliche Reaktionsnetz im Koazervattröpfchen wäre aber bei jeder einfachen Teilung des Tröpfchens zerstört worden. Es ist also gar nicht klar, wie bei den ersten, noch sehr unbeständigen Koazervaten durch die Auslese, also durch Ausmerzung der „nichtgelungenen" Koazervattröpfchen, ein koordiniertes Reaktionsnetz entstehen und in den folgenden Generationen beibehalten werden konnte.

Im Gegensatz zur Koazervathypothese, nach der das Leben durch die Bildung polymolekularer Systeme und deren Entwicklung entstanden ist, steht die Molekularhypothese. Nach dieser Ansicht bildeten einzelne Moleküle, die sich selbst vermehren konnten, den Anfang des Lebens, und die Entstehung polymolekularer Systeme stellt bereits das Ergebnis einer weiteren Entwicklung des Lebens dar.

Man kann dabei etwa folgenden Weg der Entstehung des Lebens annehmen: Im Urozean waren die verschiedensten organischen Stoffe abiogen entstanden. Aus ihnen konnten auf rein chemischem Wege die Bausteine der Nukleinsäuren entstehen. Diese vereinigten sich dann unter der Wirkung anorganischer Katalysatoren zu langen Ketten (Polynukleotiden), die bei günstigen Bedingungen in der Lage waren, sich selbst zu vermehren. Gleichzeitig dienten sie als Matrize für die Synthese von Polypeptiden. Die Reaktionen erfolgten noch sehr langsam, da Katalysatoren fehlten oder nur geringe Aktivität aufwiesen. Einige der gebildeten Polypeptide wirkten nun selbst als Katalysatoren und beschleunigten die Vermehrung der langen Ketten der Nukleinsäurebausteine. Wenn sich diese aber schneller vermehrten, wurden wieder mehr Polypeptide gebildet.

Hier begann schon eine gewisse natürliche Auslese. Durch Unregelmäßigkeiten bei der Vermehrung der Nukleinsäuren bzw. Polynukleotide (Mutationen) entstanden manchmal Veränderungen in der Reihenfolge der Bausteine. Dadurch wurde auch der Bau der von ihnen synthetisierten Polypeptide verändert. Es entstanden schließlich Nukleinsäuren, die die Synthese eines Ferments bewerkstelligten, das die Vermehrung der Nukleinsäure beschleunigte. Das war der Anfang des Lebens; der primitivste Stoffwechsel bestand also in der Selbstvermehrung der Nukleinsäure und der Synthese des Fermenteiweißes.

Den Ursprung des Lebens bildeten also Moleküle vom Typ der Nukleoproteide.

und erst später traten lebende Gebilde auf, in denen mehrere Nukleinsäure- und Eiweißmoleküle vereinigt waren. Diese konnten dann beispielsweise Fermenteiweiße aufbauen, die selbst die Synthese von Nukleinsäurebausteinen bewerkstelligten, so daß diese nicht mehr aus dem Urozean aufgenommen zu werden brauchten. Solche aus mehreren Molekülen bestehenden Systeme waren damit in der Lage, ihren Stoffwechsel wesentlich aktiver und unabhängiger von der Umwelt durchzuführen.

Die Entstehung des Lebens erfolgte dabei allein durch das Wirken von Gesetzen, die wir aus der unbelebten Natur kennen, unter Mitwirkung der natürlichen Auslese.

So sehr sich auch die Koazervathypothese und die Hypothese der molekularen Entstehung des Lebens voneinander unterscheiden (s. Gegenüberstellung der Hypothesen S. 47), eins ist ihnen gemeinsam: Beide Hypothesen erklären die Entstehung des Lebens durch eine langdauernde natürliche Entwicklung der Materie, die von der chemischen Bewegung ausging.

Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß sich derartige Vorgänge immer vollziehen, wenn die entsprechenden Bedingungen gegeben sind – nicht nur auf der Erde, sondern auch auf anderen Himmelskörpern. Es ist erwiesen, daß unser Planetensystem nicht das einzige ist und daß im Weltall die Entstehung neuer Sterne und Planetensysteme vonstatten geht. Man muß also annehmen, daß die Entstehung des Lebens auf der Erde keinen Einzelfall im Universum darstellt; **Die Entwicklung von lebloser Materie zur lebenden ist ein gesetzmäßiger Vorgang.**

Unter den heute auf der Erde herrschenden Bedingungen ist eine Neuentstehung von Lebewesen nicht zu erwarten. Sollten sich irgendwo auf der Erde organische Stoffe neu bilden, so würden sie von Mikroorganismen schnell aufgebraucht werden und könnten sich nicht weiterentwickeln. Das heute auf der Erde vorhandene Leben ist also ein Hindernis für die Neuentstehung von Lebewesen aus lebloser Materie.

Die weitere Entwicklung der Urorganismen. Die ersten Lebewesen waren höchstwahrscheinlich heterotroph. Sie ernährten sich von organischen Substanzen, die ohne Beteiligung von Lebewesen auf der Urerde gebildet worden waren. Da es in der Uratmosphäre der Erde keinen freien Sauerstoff gab, konnten sie auch nicht atmen; sie bauten die organischen Stoffe zur Energiegewinnung durch Gärung ab.

Bei der weiteren Entwicklung des Lebens wurde der Vorrat an organischen Stoffen im Urozean verbraucht. Dadurch wurden die Existenzbedingungen des Lebens grundlegend geändert. Es entwickelten sich Lebewesen, die die Fähigkeit erworben hatten, mit Hilfe der Lichtenergie organische Stoffe aus Kohlendioxid aufzubauen, die Photosynthese durchzuführen. So war der biogene Weg der Bildung organischer Stoffe entstanden. Ein Teil der Lebewesen begann die lebensnotwendigen organischen Verbindungen selbst zu bilden, der andere Teil nutzte die biogen entstehenden organischen Stoffe. Damit erfolgte die Trennung der Lebewesen in **pflanzliche** und **tierische.**

Eine wichtige Folge der Photosynthese war die Anreicherung von freiem Sauerstoff in der Erdatmosphäre. Dadurch konnten Organismen entstehen, die ihre Energie durch Atmung gewannen, wie es die meisten Lebewesen auch heute tun.

Das Problem der Entstehung des Lebens ist also sehr kompliziert und in vielen Teilen noch ungelöst. Es wird erst dann vollständig geklärt sein, wenn es gelungen ist, das allereinfachste Lebewesen im Laboratorium künstlich herzustellen.

Gegenüberstellung der Koazervathypothese und der Molekularhypothese der Entstehung des Lebens

Koazervathypothese

anorganische C-Verbindungen

↓

Kohlenwasserstoffe

↓

Entstehung komplizierter organischer, z. T. hochmolekularer Stoffe, darunter Nukleinsäurebausteine und Polypeptide

↓

polymolekulare Systeme, Koazervate

↓

Entstehung eines koordinierten Reaktionsnetzes unter Wirkung der Auslese, dadurch ständig Selbsterneuerung des Systems

↓

Urorganismen

Molekularhypothese

anorganische C-Verbindungen

↓

Kohlenwasserstoffe

↓

Entstehung komplizierter organischer, z. T. hochmolekularer Stoffe, darunter Nukleinsäurebausteine und Polypeptide

↓

Autoreproduktion der Polynukleotide und Synthese von Polypeptiden auf ihrer Matrize als erster Anfang des Lebens

↓

Vervollkommnung der Autoreproduktion und der Polypeptidsynthese unter Wirkung der Auslese, Entstehung von Nukleinsäuren und Fermenteiweißen

↓

Entstehung polymolekularer lebender Systeme als weiterer Entwicklungsstufe des Lebens.

Überholte Vorstellungen von der Entstehung des Lebens

Ebenso wie sich die heutigen Vorstellungen über das Wesen des Lebens historisch entwickelt haben, sind auch unsere Vorstellungen über seine Herkunft etwas historisch Gewordenes.

Die Urzeugungslehre. Als älteste Ansicht entstand die Urzeugungslehre, die Annahme, daß Lebewesen nicht nur von ihresgleichen abstammen, sondern auch unmittelbar aus leblosem Stoff hervorgehen könnten. Diese Annahme war bei allen Völkern verbreitet, in Europa wurde sie bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts von kaum jemand angezweifelt. Sie ist das Ergebnis einer sehr oberflächlichen und unkritischen Beobachtung der Natur.

Würmer, Fliegenmaden und anderes Ungeziefer findet man häufig in Mist und Unrat, auf faulendem Fleisch und anderen verwesenden Stoffen. Wir wissen heute, daß das Ungeziefer an diesen Stellen seine Eier ablegt, aus denen sich Nachkommen entwickeln. Früher aber glaubte man, daß die Lebewesen von selbst, also spontan, aus diesen Stoffen entstehen. So sollten sich auch die Läuse aus menschlichem Schweiß bilden, Glühwürmchen aus den Funken von Lagerfeuern geboren werden und Frösche und Mäuse aus Tau und feuchter Erde hervorgehen.

Die Urzeugung galt als Tatsache, sie wurde nur auf verschiedene Weise erklärt. Die

Materialisten sahen in ihr einen natürlichen materiell bedingten Prozeß, während die Idealisten das Wirken übernatürlicher Wesen annahmen. Der Arzt JOHANN BAPTIST VAN HELMONT (1577 bis 1644) gab sogar ein Rezept für experimentelle Urzeugung an. Er schrieb, daß man Mäuse erzeugen könne, wenn man ein schmutziges Hemd in ein Gefäß mit Weizen tue. Die Ausdünstungen des Hemdes und des Weizens würden in 21 Tagen künstliche Mäuse hervorbringen, die von durch natürliche Fortpflanzung entstandenen nicht zu unterscheiden seien.

Neue Nahrung erhielt die Urzeugungslehre, als ANTON VAN LEEUWENHOEK (1632 bis 1723) mit selbst hergestellten Mikroskopen in verschiedenen Flüssigkeiten, zum Beispiel Heuaufguß oder Fleischbrühe, die dem unbewaffneten Auge unsichtbare Welt der Mikroorganismen entdeckte. Man glaubte nun zwar nicht mehr, daß Mäuse, Insekten und andere größere Lebewesen spontan aus totem Material entstehen können, war aber fest davon überzeugt, daß das bei den Mikroorganismen der Fall sei.

Erst dem berühmten französischen Naturforscher LOUIS PASTEUR (1822 bis 1895; Abb. 31) gelang es im Jahre 1862, durch exakte Versuche die Theorie der spontanen Urzeugung endgültig zu widerlegen. Er zeigte, daß in den verschiedenen Nährflüssigkeiten, beispielsweise in Fleischbrühe, nur dann Mikroorganismen auftreten, wenn ihre Keime aus der Luft dorthin gelangen. Schützt man die Lösungen vor solchen Keimen, etwa durch Erhitzen (Sterilisieren) und anschließendes Zuschmelzen des Gefäßes, so entwickeln sich in ihnen keine Mikroorganismen.

Die Ansicht der Ewigkeit des Lebens. Nach den Arbeiten PASTEURS nahm eine andere Theorie starken Aufschwung, die Theorie der Ewigkeit des Lebens oder

Abb. 31 Louis Pasteur

Kosmozoentheorie. Eine Reihe von Forschern vertrat die Ansicht, daß das Leben niemals entstanden sei, sondern schon seit jeher existiere.

Nach dieser Theorie müßte die Erde von außen her, von anderen Himmelskörpern aus, besiedelt worden sein; denn wir wissen, daß unser Planet selbst einmal entstanden ist und nicht seit ewigen Zeiten besteht.

Die Verfechter dieser Theorie waren der Ansicht, daß einmal Lebenskeime, etwa Bakteriensporen, von einem bereits belebten Planeten kommend, den Weltenraum durchquert und so die Erde erreicht haben. Diese Meinung wurde vor allem zu Anfang unseres Jahrhunderts von dem schwedischen Gelehrten SVANTE ARRHENIUS (1859 bis 1927) vertreten.

Die Vorstellung von der Ewigkeit des Lebens ist heute eindeutig widerlegt. Im kosmischen Raum außerhalb der Erdatmosphäre herrscht eine starke ultravio-

lette Strahlung, die ungeschützte Lebewesen in kurzer Zeit abtötet. Das Leben muß also auf unserer Erde selbst entstanden sein.

Zu Recht bemerken klar denkende materialistische Wissenschaftler, daß die von PASTEUR bewiesene Unmöglichkeit einer Urzeugung von Mikroorganismen in Fleischbrühe oder Heuaufgüssen in keiner Weise dagegen spreche, daß das Leben einmal aus lebloser Materie auf der Erde entstanden sei.

Aufgaben und Fragen

1. Beschreiben Sie die Entstehung organischer Stoffe aus anorganischen an einem Beispiel!
2. Beschreiben Sie die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen der Koazervat- und Molekularhypothese der Entstehung des Lebens!
3. Worauf beruht die Zuversicht der Forscher, das Problem der Entstehung des Lebens restlos lösen zu können und Leben künstlich zu erzeugen?
4. Erklären Sie, ob es sich bei den mechanistischen Theorien um materialistische oder idealistische handelt!

Die Organismen verschiedener Erdzeitalter

Erdfrühzeit. Lebewesen gibt es seit ungefähr 2 Milliarden Jahren auf unserer Erde. Aus der Erdfrühzeit (Proterozoikum) sind nur vereinzelte Spuren niederer Organismen nachgewiesen worden. Es ist anzunehmen, daß der Übergang von kernlosen zu kernführenden sowie von einzelligen zu mehrzelligen Lebewesen in der Erdfrühzeit stattgefunden hat, da am Beginn des Erdaltertums (Paläozoikum) bereits kernlose und kernführende sowie einzellige und mehrzellige Organismen lebten.
Von diesen für die Entwicklung des Lebens auf der Erde äußerst wichtigen und tiefgreifenden Prozessen ist sehr wenig bekannt. Es fehlen Fossilien aus dieser Zeit. Das liegt zum Teil an dem zarten Bau der Organismen. Außerdem gibt es aus jener Erdepoche kaum Ablagerungen, die nicht durch den außerordentlichen Druck der viele Hunderte von Metern mächtigen Gesteinsmassen und durch die in der Tiefe herrschenden Temperaturen starke Veränderungen erfahren haben.

Durch das Studium heute lebender einfachster Lebewesen und durch vergleichende Betrachtung können wir die Entwicklung der niedersten Organismen mittelbar erschließen. Wir müssen aber dabei beachten, daß auch die einfachsten heutigen Organismen das Ergebnis einer langen Entwicklung sind. Sie können mit den ursprünglichen Formen nicht einfach gleichgesetzt werden.

Die urtümlichste Organisation der zu diesen Untersuchungen herangezogenen Objekte zeigen die **Viren**. Es ist noch umstritten, ob sie lebende Organismen oder nichtlebende Eiweißkolloide sind. Doch alle bisher bekannten Viren enthalten Nukleoproteide, Kohlenhydrate und Lipoide, also äußerst wichtige Substanzen aller lebenden Zellen.
Die urtümlichsten Lebewesen unserer Zeit sind die Bakterien und Blaualgen, die das Reich der **Kernlosen** bilden.
Sie besitzen keinen räumlich abgegrenzten Zellkern. Ihre Kernsubstanz ist in der Zelle verteilt. Die Kernlosen sind Reste sehr alter Stämme von Lebewesen, die in der Erdfrühzeit viel reicher entwickelt waren als heute. Von den einfach gebauten Kernlosen führt die Entwicklung zu verschiedenen Formen kernführender einzelliger und schließlich mehrzelliger Organismen.
Im Reich der **Protisten**, zu dem die Rotäugelein, Algenstämme, Pilze und Protozoen gehören, ist bereits ein räumlich abgegrenzter Zellkern mit Chromosomen ausgebildet. Die Assimilationsfarbstoffe sind in Farbstoffträgern (z. B. Blattgrünkörper) eingelagert.
An der Entwicklung einiger Grünalgen ist gut zu erkennen, wie sich mehrzellige Formen bilden können. Die aus den Sporen bestimmter Algen entstehenden vier Zellen trennen sich nicht, sondern bleiben zusammen. Durch weitere Teilungen entsteht ein flächiges Gebilde. Bei anderen Arten führt dieser Prozeß zur Bildung räumlicher Körper, etwa wie bei der Volvoxkugel, in welchen bereits eine gewisse Arbeitsteilung der Zellen besteht.

Erdaltertum. Mit Beginn des Erdaltertums (Paläozoikum) treten verschiedene Algen

auf. Aus dem Tierreich sind bereits Vertreter sämtlicher uns heute bekannter Stämme der Wirbellosen vorhanden (u. a. Schwämme, Gliederfüßer, Stachelhäuter). Es gab bereits Tierformen, bei denen als Schutz und Stütze Hartteile ausgebildet waren. Diese vor allem konnten als Fossilien erhalten bleiben. Vom Beginn des Erdaltertums an können wir also die Geschichte der Organismen an Hand von Fossilien untersuchen.

Im **Kambrium** gab es Lebewesen nur in den Meeren. Vielfältige Formen von Blaualgen und Algen gaben der Wasserflora das Gepräge. Das tierische Leben in den Meeren zeigte eine große Formenmannigfaltigkeit. Besonders traten die Trilobiten, altertümliche Gliederfüßer (Abb. 32), hervor.

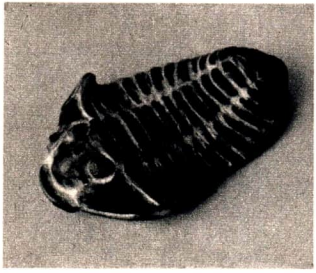


Abb. 32 Trilobit
Die Trilobiten oder Dreilapptiere sind eine Tierklasse aus dem Stamm der Gliederfüßer. Sie lebten während des Erdaltertums vorwiegend als Bodenbewohner der Meere. Einige von ihnen waren in der Lage, zu schwimmen. Der Körper der Trilobiten wurde von einem Skelett aus Chitin umgeben. Er zeigte eine deutliche Gliederung in Kopfschild, Rumpfschild und Schwanzschild.

Im Ordovizium und **Silur** lebten in den Meeren hochentwickelte Grün- und Rotalgen. Im Ordovizium entfalteten sich die Trilobiten besonders stark. Als charakteristische Gruppe treten die Graptolithen auf (Abb. 33). Sie erleben eine außerordentliche Ausbreitung und Entwicklung (Leitfossilien!).

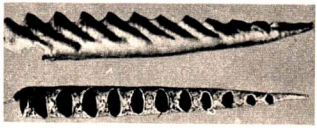


Abb. 33 Graptolithen
In den Meeren des Ordoviziums und Gotlandiums lebten die Graptolithen, eine Tiergruppe, die noch während des Erdaltertums vollständig ausstarb. Es waren Formen, die stets in Kolonien auftraten und entweder auf dem Meeresboden festgeheftet waren oder im Meer schwebten. Die Einzeltiere saßen meist an einer Längsachse und schieden ein becher- oder röhrenförmiges Chitinskelett aus. Uns sind nur die widerstandsfähigen Skeletteile erhalten geblieben, sehr oft ist das Skelett in ein silbrigglänzendes Mineral umgewandelt. Meist finden wir die Reste in schwarzen Schiefern; es sieht dann aus, als wären fremde Schriftzeichen auf die Schiefer geschrieben worden. Daher stammt der Name Graptolith (auf dem Stein geschrieben). Zuweilen findet man die Skelette auch in Kalken. Löst man den Kalk vorsichtig in Säure, so bleiben die hauchdünnen Chitinskelette zurück, die uns die Abbildung zeigt. Auf den beiden Ansichten einer Graptolithenkolonie erkennt man deutlich die einzelnen, übereinander angeordneten Röhren, in denen jeweils ein Tier gelebt hat. Die Graptolithen sieht man heute als Verwandte der noch lebenden Eichelwürmer, einer hochentwickelten Gruppe der wirbellosen Tiere, an.

Auch die Kopffüßer sind mit vielen Formen im Ordovizium weit verbreitet. Zu ihnen gehören die Nautiliden (Abb. 34 u. 35).

Aus dem Ordovizium sind uns auch Funde der ersten sicheren Wirbeltiere bekannt; es sind im wesentlichen Bruchstücke von Hautschuppen. Die unmittelbaren Vorfahren der Wirbeltiere kennen wir bis heute noch nicht. Man nimmt an, daß ihre ältesten Vertreter kleine, hartteillose Tiere waren, die nicht als Fossilien erhalten bleiben konnten.

Aus dem **Silur** sind uns gut bestimmbare Fossilien von Wirbeltieren bekannt. Sie gehören zur Gruppe der „Kieferlosen" (*Agnatha*). Die Rundmäuler aus dieser Gruppe haben sich bis in unsere Zeit er-

Systemtabelle

Zeitalter	System	Abteilung	Beginn vor Millionen Jahren	Bemerkungen
Känozoikum (Erdneuzeit)	Quartär	Holozän		Entwicklung der heute lebenden Pflanzen
		Pleistozän (Eiszeitalter)	1	mehrere Kalt- und Warmzeiten
	Tertiär	Jung-Tertiär (Pliozän und Miozän)	35	Blütenpflanzen herrschen vor
		Alt-Tertiär (Oligozän, Eozän, Paläozän)	70	
Mesozoikum (Erdmittelalter)	Kreide	Obere Kreide		erste Bedecktsamer (Laubbäume)
		Untere Kreide	135	
	Jura	Oberer Jura (weißer Jura oder Malm)		Nacktsamer und Farne reich entwickelt
		Mittlerer Jura (brauner Jura oder Dogger)		
		Unterer Jura (schwarzer Jura oder Lias)	180	
	Trias	Keuper		Vorherrschen der Nacktsamer
		Muschelkalk		
		Buntsandstein	220	

Paläozoikum (Erdaltertum)	Perm	Zechstein	250	Vorherrschen der Nacktsamer
		Rotliegendes	270	
	Karbon	Oberkarbon	320	Pflanzenwelt reich entfaltet (Bärlappe, Farne, Schachtelhalme, erste Nacktsamer)
		Unterkarbon	350	
	Devon	Oberdevon		Deutschland vom Meer bedeckt Reiche Entwicklung von Korallen, Panzerfische
		Mitteldevon		
		Unterdevon	400	
	Silur		430	erste Nacktsprosser auf dem Festland Blütezeit der Graptolithen
	Ordovizium		490	
	Kambrium	Oberkambrium		Sämtliche Stämme der Wirbellosen Tiere vorhanden
		Mittelkambrium		
		Unterkambrium	600	
Erdfrühzeit (Proterozoikum) und Erdurzeit (Azoikum)	Jungalgonkium			einzelne Algen
	Altalgonkium		1900	einzelne Spuren von Lebewesen
	Archaikum		älteste Gesteine: 3500 Mio. Jhr.	Bildung einer festen Erdkruste – gegen Ende undeutliche Spuren von Leben

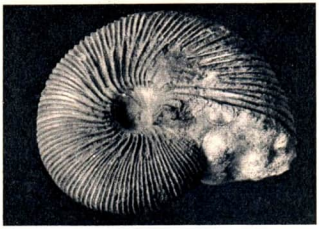


Abb. 34 Ammonit
Im Erdaltertum beginnt sich in den Meeren die Tiergruppe der Ammoniten zu entfalten. Sie gehört zu den Kopffüßern. Die Ammoniten scheiden ein kalkiges Außenskelett ab, das einer spiralig aufgerollten Röhre ähnelt. Es wird durch Scheidewände in eine Reihe hintereinanderliegender Kammern gegliedert. Nur die Kammer am freien Ende der Spirale wird von dem Weichkörper des Tieres ausgefüllt. Wird dem Ammonit diese Wohnkammer zu eng, so baut er seiner Röhre eine neue, größere Kammer an, die er nunmehr bewohnt. Seine alte Kammer verschließt er durch eine Kammerscheidewand. Die Kammerscheidewände sind wellblechartig verfaltet. Im Verlaufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung wird diese Verfaltung immer stärker, so daß man auf Grund der Verfaltung sagen kann, aus welcher Formation der Erdgeschichte ein Ammonit stammt (Leitfossilien!). Die ältesten Ammoniten haben meist nur einen Durchmesser von ein bis zwei Zentimetern. Im Erdmittelalter erlebten die Ammoniten ihre Blütezeit. Auch der Durchmesser der Gehäuse zeigt eine merkliche Vergrößerung. Durchmesser von zehn bis zwanzig Zentimeter sind keine Seltenheit. Die größten Formen stammen aus der Kreidezeit und erreichen einen Durchmesser bis zu zweieinhalb Metern. Am Ende des Erdmittelalters starben die Ammoniten aus.

halten. Aus den urtümlichen „Kieferlosen" entwickelten sich noch im Silur die **Panzerfische** (s. Tafel gegenüber S. 17 u. Farbtafel 2) sowie die **echten Fische.**

Gleichzeitig begann im Silur die Besiedlung des Landes durch Pflanzen und Tiere und damit eine neue Entwicklungsperiode der Organismen.

Der Übergang vom Wasser- zum Landleben macht einen grundsätzlichen Wandel im Körperbau der Organismen nötig. Bei den Pflanzen beispielsweise: Verankerung im Boden, Schutz vor Austrocknung, Vorrichtungen zum Gasaustausch und zur Wasserabgabe an die Umwelt, Zuführung von Wasser und Nährsalzen aus dem Boden durch Gefäßleitungen bis zu den Assimilationsorganen sowie mechanische Festigkeit.

Die Tiere müssen in der Lage sein, atmosphärischen Sauerstoff aufzunehmen und zu verwerten, sich auf dem Boden fortzubewegen, sich unabhängig vom Wasser fortzupflanzen und sich vor Verdunstung zu schützen.

Zu den ältesten uns bekannten Landpflanzen, den Urlandpflanzen oder Nacktsprossern (Psilophyten), gehört *Rhynia* (s. S. 16). Sie weist bereits Merkmale unserer höheren Pflanzen auf.

Die ersten wirbellosen Landbewohner waren Tausendfüßer und Skorpione. Die in der Brandungszone lebenden und auf schmale Küstenstreifen beschränkten Urlandpflanzen ließen eine stärkere Besiedlung des Landes mit tierischen Organismen noch nicht zu.

Im **Devon** geben Sumpf- und Teichlandschaften der Erdoberfläche das Gepräge. Neben tangartigen Riesenalgen, die bis 1 m starke stammähnliche Organe ausbildeten, entwickelten sich besonders die Psilophyten (Abb. 36).

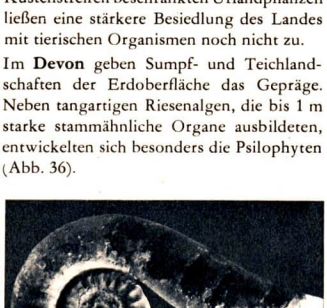


Abb. 35 Nautilid
Die Nautiliden gehören zur Gruppe der Kopffüßer. In den Meeren der Gegenwart lebt nur noch eine Gattung, das Schiffsboot (*Nautilus*). Die Nautiliden treten zum ersten Male im Erdaltertum auf. Sie zeigen eine riesige Formenmannigfaltigkeit. Ihre gekammerten Außenskelette waren meist geradegestreckt oder leicht eingekrümmt. Bei einigen von ihnen zeigte der erste Gehäuseabschnitt eine spiralige Einkrümmung, während der letzte Abschnitt geradewuchs. Diese Formen bezeichnet man mit dem Namen „Bischofs-Stab". Von den verwandten Ammoniten unterscheiden sich die Nautiliden unter anderem dadurch, daß die Kammerscheidewände nicht so verfaltet sind. Ebenso wie bei den Ammoniten kommen auch unter den Nautiliden Riesenformen vor (gerade Gehäuse bis zu 5 m Länge).

Abb. 36 Landschaft des Devons
Im Vordergrund links *Rhynia* und *Psilophyton* (Nacktsprosser), rechts urtümliche Bärlappe und Farne. Im Hintergrund baumförmige urtümliche Bärlapp- und Farngewächse.

Psilophyten sind unter anderem in Nordamerika, Schottland, in der ČSSR und in Deutschland mehrfach gefunden worden. Ein Teil dieser Pflanzen lebte im Sumpf, ein anderer dagegen in ufernahen Gebieten des trockenen Landes.

In den Ablagerungen des Devons findet man viele Fossilien von Wirbeltieren. Die Panzerfische erreichten ihre Hauptentfaltung. Ihr Formenreichtum nimmt aber dann sehr schnell ab. Auch Verwandte der noch heute lebenden Knorpelfische (Haie und Rochen) sind weit verbreitet. In der Gruppe der urtümlichen Knochenfische entwickeln sich die Quastenflosser und die Lungenfische (s. S. 15 ff.).

Im **Karbon** (Steinkohlenzeit) entwickelten sich aus den Psilophyten größere, an das Landleben besser angepaßte Pflanzengruppen. Zu ihnen gehören Bärlappe, Schachtelhalme und Farne. Bei allen Vertretern dieser Klassen bildeten sich die Blätter weiter aus, damit war eine verstärkte Assimilation gewährleistet. Die Pflanzen nahmen an Größe zu, sie wurden baumartig.

Von den mannigfaltigen Vertretern der Farnpflanzen des Karbons sollen nur einzelne wichtige angeführt werden: die Siegel- und die Schuppenbäume als Bärlappgewächse und die Calamiten als Schachtelhalme.

Die Siegel- und Schuppenbäume wurden etwa 30 m hoch und hatten einen Umfang von zwei Metern. Sie zeigten eine besonders mächtige Rindenbildung. Fast 90 Prozent des gesamten Baumquerschnittes bestand aus Rinde („Rindenbäume"; Abb. 37 u. 38). Die Calamiten waren ähnlich unseren heutigen Schachtelhalmen gebaut. Sie hatten einen gegliederten hohlen Stamm („Röhrenbäume"). An den

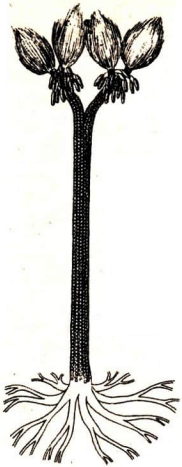


Abb. 37 Siegelbaum

Abb. 38 Schuppenbaum

einzelnen Knoten der Stammabschnitte entsprangen quirlförmig die Seitensprosse.
Die Fortpflanzung aller Farngewächse ist an das Wasser gebunden. Ihre aus Sporen entstehenden Geschlechtspflanzen (Prothallien) bilden Geschlechtsorgane (Archegonien und Antheridien) aus. In den Antheridien werden männliche Geschlechtszellen erzeugt, die nur mit Hilfe des Wassers zur Eizelle im Archegonium gelangen können. Deshalb konnten die riesigen Steinkohlenwälder nur in großen Sumpflandschaften gedeihen. Trockenere Gebiete waren nach wie vor unbesiedelt.

Im Karbon traten auch Formen auf, die der Entwicklung der Pflanzenwelt eine andere Richtung gaben: die Farnsamer, Vorläufer unserer heutigen Samenpflanzen (Abb. 36), und einfache Nacktsamer, die Cordaiten (Abb. 39). Sie waren weitgehend vom Wasser unabhängig. Die männlichen Keimzellen in den Pollenkörnern wurden durch den Wind übertragen; die Befruchtung vollzog sich nicht mehr auf einem selbständigen Prothallium, sondern erfolgte auf der Mutterpflanze selbst.

Die üppig entfaltete Flora des Steinkohlenwaldes ermöglichte eine stärkere Besiedlung des Landes durch tierische Organismen. Riesige libellenförmige Insekten mit etwa 80 cm Flügelspannweite, Lungenschnecken, Panzerlurche und Spinnentiere bevölkerten das Pflanzendickicht. Aus den Quastenflossern entwickelten sich urtümliche Lurche. Ihr Schädel zeichnete sich durch die massive, geschlossene Schädeldecke aus, die mit dem Schultergürtel verbunden ist. Man nennt sie deshalb „Dachköpfe". Sie sind in ihrer Ausbreitung noch weitgehend vom Wasser abhängig. Wie bei den heute lebenden Lurchen findet in den meisten Fällen ein Teil ihrer ontogenetischen Entwicklung im Wasser statt.

Im **Perm**, dem letzten Zeitabschnitt des Erdaltertums, entwickelten sich die nackt-

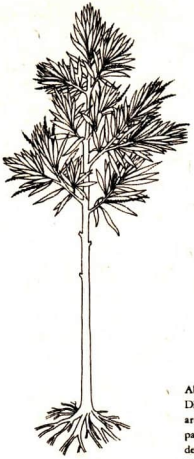


Abb. 39 Cordaitenbaum
Die Blüten stehen in kätzchenartigen Blütenständen. Die parallelnervigen Blätter werden bis zu 1 m lang und 20 cm breit.

samigen Pflanzen. Diese Samenpflanzen waren an das trockenere Klima des Perm gut angepaßt. Ihre Gefäße waren entsprechend gut ausgebildet; eine ledrige oder wachsartige Oberhaut schützte die Blätter. Die an hohe Feuchtigkeit angepaßten Arten des Karbons gingen immer mehr zurück.

Auch in der Entwicklung der Tierwelt zeigen sich viele Veränderungen. Die Kriechtiere breiten sich aus. Ihre urtümlichen Formen unterscheiden sich zunächst noch wenig von den Lurchen. Sie sind jedoch in ihrer Fortpflanzung vom Wasser völlig unabhängig geworden. Bei einigen Gruppen schützen pergamentartige Hüllen die eiweiß- und dotterreichen Eier, bei anderen werden die Larvenstadien im Leibe des Muttertieres ausgetragen. Im Perm treten also mit den Kriechtieren die ersten echten vierfüßigen Landtiere auf.

Erdmittelalter. Das Erdmittelalter (Mesozoikum) ist besonders durch die Entwicklung und Ausbreitung der Landpflanzen und Landtiere ausgezeichnet (Abb. 40). In der **Trias**, dem ältesten System des Erdmittelalters, treten unter den Landpflanzen wenig neue Gruppen auf; sie gehören sämtlich zu den nacktsamigen Pflanzen. Im darauffolgenden **Jura** sind bereits alle unsere heutigen Nacktsamerfamilien vertreten.

Araucarien (zu denen unsere Zimmertanne gehört), Zypressen, Sumpfzypressen, Kiefern, Tannen, Fichten und Eiben sind weit verbreitet und dringen bis in die Trokkengebiete der Erde vor. Auch in der **Kreidezeit** herrschen die nacktsamigen Pflanzen noch vor. Es beginnt jedoch die Entwicklung und rasche Entfaltung der Bedecktsamer.

Unter den Tieren des Erdmittelalters sind vor allem die als „Saurier" bezeichneten Kriechtiere und Lurche von Bedeutung (Abb. 41). Von dieser Tiergruppe sind die unterschiedlichsten, oft riesengroß ausgebildeten Formen bekannt. Sie lebten im Wasser, auf dem Land und in der Luft; teils waren sie Pflanzenfresser, teils Räuber. Am Ende der Kreidezeit starben die Riesenformen unter ihnen aus.

Im Erdmittelalter treten als erste Säuger urtümliche Beuteltiere und Insektenfresser auf.

Aus urtümlichen Kriechtieren hatten sich im Jura ursprüngliche Vögel entwickelt. Die ersten Formen zeigen noch viele reptilienähnliche Merkmale (Abb. 9 u. 10).

Die Organismenwelt der Meere änderte sich während der späteren Erdzeitalter nicht grundsätzlich. Die Umweltbedingungen in den Meeren blieben weitgehend gleich. Algen, Schwämme, Korallen, Armfüßer und Kopffüßer, Weichtiere, Krebse, Stachelhäuter sowie Knorpel- und Knochenfische

Abb. 40 Landschaft des Erdmittelalters
Neben den Farnen und Schachtelhalmen gab es bereits viele nacktsamige Pflanzen; im Vordergrund des Bildes blühende Cycasgewächse, im Hintergrund Vertreter der Tannen-, Zypressen- und Eibengewächse.

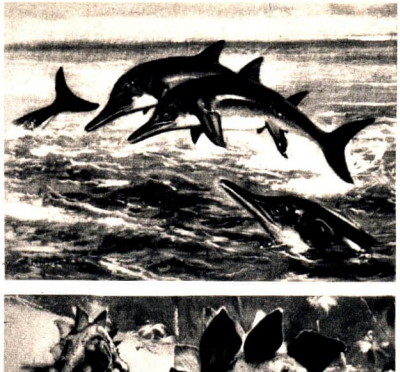
lebten bereits im Erdaltertum. Einige dieser Formen, besonders die Ammoniten und Belemniten unter den Kopffüßern, erreichten im Erdmittelalter allerdings eine auffallend hohe Individuenzahl und eine große Formenmannigfaltigkeit. Auch die Knorpel- und Knochenfische entwickelten sich stark.

Erdneuzeit. Die Bedecktsamer, Vögel und Säugetiere sind charakteristische Pflanzen und Tiere der Erdneuzeit (Neo- oder Känozoikum). Im Tertiär lebten außerdem Tierformen, aus denen sich einerseits die Menschenaffen, andererseits der Mensch entwickelt haben. Die ersten Menschen entwickelten sich am Ende des Tertiärs aus fossilen Menschenaffen.

Aufgabe

Fertigen Sie eine Tabelle an, in der die in diesem Abschnitt genannten Organismenformen dem entsprechenden Erdzeitalter zugeordnet werden!

Abb. 41 Saurier
Zwischen den Kriechtieren und den Lurchen bestehen enge stammesgeschichtliche Verbindungen. Die Paläontologen fassen daher die beiden Stammesreihen unter dem Begriff Saurier zusammen. Die Saurier sind eine Tiergruppe, die in den vergangenen Erdzeiten, vor allem aber im Erdmittelalter, die unterschiedlichsten Anpassungserscheinungen zeigte. Alle drei Lebensbereiche – Land, Wasser und Luft – wurden von ihnen bewohnt.



Wasserbewohner. Viele Saurier waren an das Wasserleben angepaßt, beispielsweise der *Stenopterygius*. Der schlanke, tropfenförmige Körper ähnelte sehr stark dem der heutigen Delphine. Er fand im Wasser nur wenig Widerstand. Ähnlich wie die Delphine waren die Stenopterygier Räuber, die vornehmlich im Rudel jagten.

Landbewohner. Unter den Landsauriern kamen sowohl pflanzen- als auch fleischfressende Formen vor. Viele der Pflanzenfresser hatten als Schutz gegen ihre Feinde gewaltige Panzerplatten. Zu diesen Formen gehörte der *Stegosaurus*, ein riesiges Tier, das bis zu neun Metern lang wurde. Er besaß einen Kamm dreieckiger Platten, der sich vom Kopf bis zum Schwanz zog. Diese Platten schützten die Wirbelsäule vor Verletzungen. Eine direkte Waffe wird die mit Dornen bewaffnete Schwanzspitze gewesen sein.

Flugsaurier. Mehrere Gattungen der Saurier bevölkerten auch den Luftraum. Eine von ihnen ist *Rhamphorhynchus*. Die Flughaut spannte sich zwischen den Vordergliedmaßen (die je einen stark verlängerten Finger besaßen) und dem Körper aus (s. Farbtafel 1). Der lange Schwanz trug an seiner Spitze ein kleines Segel, das zur Steuerung benutzt wurde. Die Flugsaurier starben am Ende des Erdmittelalters aus.

Abstammung und Entwicklung des Menschen

Zahlreiche Fossilfunde sowie eingehende Vergleiche zwischen dem Menschen und den heute lebenden Tieren lassen eindeutig erkennen, daß der Mensch nicht durch einen plötzlichen Schöpfungsakt auf die Erde gekommen sein kann. Nach dem heutigen Stand der anthropologischen Forschung kann auch nicht mehr angenommen werden, daß sich der Mensch völlig unabhängig vom Tierreich entwickelt habe. Die Tatsache, daß die Fossilfunde um so tierähnlicher sind, je älter die Epoche ist, aus der sie stammen, sowie die zahlreichen körperbaulichen Übereinstimmungen, die noch heute zwischen dem Menschen und den Tieren bestehen, lassen nur eine Erklärung zu: Der Mensch hat sich aus dem Tierreich heraus entwickelt.

Die Stellung des Menschen im Organismenreich

Im zoologischen System gehört der Mensch zur Ordnung der Herrentiere *(Primates)*. Diese ist ein Teil der Klasse der Säugetiere *(Mammalia)*, des Unterstammes der Wirbeltiere *(Vertebrata)* und des Stammes der Chordatiere *(Chordata)*. Diese systematische Zuordnung entspricht auch der stammesgeschichtlichen Entwicklung des Menschen. Unsere nächsten tierischen Verwandten haben wir demnach unter den Primaten zu suchen.

Die Primaten haben sich im frühen Tertiär aus insektenfresserartigen Säugetieren entwickelt. Noch heute leben in Indien, Indochina und China die unserem Eichhörnchen ähnlichen Spitzhörnchen (Abb. 42), die sowohl Merkmale der Insektenfresser als auch der Halbaffen aufweisen. Im Verlaufe der weiteren Entwicklung sind aus den Halbaffen *(Prosimiae)* die echten Affen *(Anthropoidea)* hervorgegangen.

Die echten Affen werden in Neuwelt- oder Plattnasenaffen *(Platyrrhina)* und in Altwelt- oder Schmalnasenaffen *(Catarrhina)* unterteilt. Die Plattnasenaffen, zu denen unter anderen der Brüllaffe und der Kapuzineraffe (Abb. 43) gehören, besitzen eine breite Nasenscheidewand, und die Nasenlöcher sind nach der Seite gerichtet. In jeder Kieferhälfte haben sie drei Vormahlzähne. Bei den Schmalnasenaffen dagegen ist – wie beim Menschen – die Nasenscheidewand schmal, und die Nasenlöcher sind nach unten gerichtet. In jeder Hälfte des Ober- und Unterkiefers stehen zwei Schneidezähne, ein Eckzahn, zwei Vormahl- und drei Mahlzähne. Die Plattnasenaffen haben sich im tropischen Amerika entwickelt. Sie kommen als Vorfahren des Menschen nicht in Betracht. Dagegen bestehen enge Verwandtschaftsbeziehungen zwischen dem Menschen und den Schmalnasenaffen.

Abb. 42 Spitzhörnchen (Halbaffe)

Abb. 43 Kapuzineraffe (Plattnasenaffe)

Die Schmalnasen werden im zoologischen System in die Tier- oder Hundsaffen *(Cercopithecoidea)* und in die Menschenaffen und Menschen *(Hominoidea)* unterteilt. Die Tieraffen, zu denen die Paviane (Abb. 44), Meerkatzen, Makaken und Rhesusaffen gehören, bewohnen die warmen Gebiete Asiens und Afrikas. Noch in den ersten warmen Perioden des Pleistozäns lebten die Tieraffen auch in Mitteleuropa. Abgesehen von den auf dem Felsen Gibraltar lebenden Makaken gibt es heute in Europa keine Affen mehr in freier Wildbahn.

Die am höchsten entwickelten Primaten sind die Menschenaffen (Abb. 45) und der Mensch. Die in den Wäldern Indonesiens lebenden, extrem langarmigen Gibbons gehören nur im weiteren Sinne zu den Menschenaffen, da sie sich in mancher Hinsicht von den übrigen Menschenaffen unterscheiden. Zu diesen werden der auf Borneo und Sumatra heimische Orang Utan sowie der Schimpanse (Abb. 45) und der Gorilla gezählt, die beide in Äquatorialafrika leben. Obwohl von allen Primaten die Menschenaffen in ihrem Körperbau die meisten Übereinstimmungen mit dem Menschen aufweisen, sind die heute lebenden Menschenaffen nicht die Vorfahren des Menschen. Die Menschenaffen und der Mensch haben sich aber von einer gemeinsamen Ahnenform aus entwickelt. Ein genauer Vergleich des Menschen mit den heute lebenden Tieren und die ausführliche Untersuchung der fossilen Primatenfunde ergeben, daß in diesem Sinne ein echtes Verwandtschaftsverhältnis vorliegen muß. Nur so werden auch die Unterschiede verständlich, die zwischen dem Menschen und den Menschenaffen bestehen. Die ursprünglich völlige Übereinstimmung wurde nach der stammesgeschichtlichen Trennung der zu den heutigen Menschenaffen und zum Menschen führenden Entwicklungslinien im Laufe

Abb. 44 Bärenpavian (Tieraffe)

der Zeit bis zu einem gewissen Grade aufgehoben, indem die gleichen Merkmale in verschiedene Richtungen abgewandelt und verschiedene neue charakteristische Merkmale ausgebildet worden sind.

Besonders deutlich erkennt man diesen Prozeß, wenn man den Skelettbau des Menschen

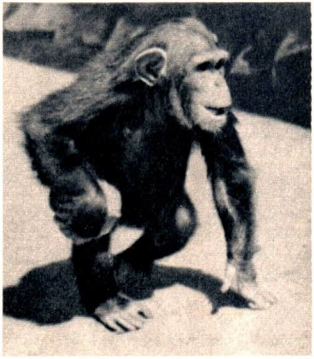
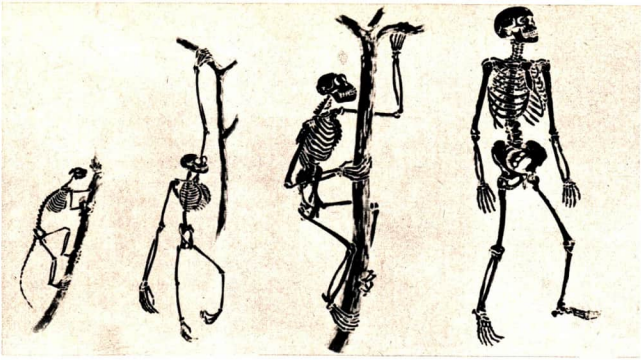


Abb. 45 Schimpanse (Menschenaffe)

mit dem eines Menschenaffen (Abb. 46) vergleicht. So weist zum Beispiel die Wirbelsäule der Menschenaffen nur eine einfache Krümmung auf. Beim Menschen ist sie doppelt S-förmig gekrümmt; dadurch wird ihre Elastizität beträchtlich erhöht und die beim Gehen, Springen und Laufen auftretenden Stöße werden gemildert auf den Kopf übertragen. Sehr auffällige Unterschiede bestehen auch im Bau des Beckens. Die Hüftbeine der Affen sind brettartig gestreckt, die des Menschen schaufelartig gekrümmt, so daß sie zusammen mit dem Kreuzbein einen schüsselähnlichen Ring bilden, der weitgehend die Last der Organe der Bauchhöhle aufnimmt. Die unteren Extremitäten der Menschenaffen sind im Knie nach vorn und nach der Seite geknickt. Dadurch entstehen bei der Aufrichtung des Körpers statisch sehr ungünstige Verhältnisse, dafür aber Vorteile beim Abstemmen vom Baumstamm während des Kletterns. Der Mensch besitzt dagegen ausgesprochene Stand-Schreit-Extremitäten mit nur schwach nach unten-innen geneigten Oberschenkelknochen und fast senkrecht stehenden Schienbeinen, die eine unmittelbare Übertragung der Körperlast auf die Füße ermöglichen.

Die Hände der Affen haben infolge ihrer Anpassung an das Baumleben eine mehr oder weniger weitgehende Spezialisierung durchgemacht, die vor allem in einer Verlängerung der Hand und einer Rückbildung des Daumens besteht (Abb. 47). Im Zusammenhang mit den langen Armen wird die Hand dadurch zu einem sehr brauchbaren hakenartigen Kletterorgan, das sich hervorragend für eine schwingkletternde Fortbewegungsweise eignet. Die Hand des Menschen hat hingegen eine derartige Spezialisierung an eine bestimmte Lebensweise nicht aufzuweisen. Sie ist als ausgesprochene Greifhand viel universeller verwendbar als



Halbaffe Gibbon Schimpanse Homo sapiens

Abb. 46 Primatenskelette

die Hand des Affen oder jeden anderen Tieres (Abb. 47).

Die genannten Beispiele zeigen, daß die hochgradige Anpassung der Menschenaffen an das Baumleben einerseits und die auf dem Boden aufrecht gehende Lebensweise des Menschen andererseits den ursprünglich einheitlichen Skelettbau in verschiedene Richtungen abgewandelt haben. Dabei ist aber der Grundbauplan erhalten geblieben, wie man unschwer bei einem Vergleich der Skelette eines Menschen und eines Menschenaffen erkennen kann. Zur gleichen Erkenntnis kommt man, wenn man andere Organe oder Organsysteme vergleichend untersucht. Immer wieder wird man dabei grundsätzliche Übereinstimmungen feststellen können, die sich sogar bis in die feinsten und kompliziertesten Strukturen der Eiweißkörper erstrecken. Sie beweisen eindeutig die enge Blutsverwandtschaft zwischen dem Menschen und den Menschenaffen, da es nach den Wahrscheinlichkeitsgesetzen unmöglich ist anzunehmen, daß eine solche Vielzahl von hochkomplizierten Merkmalen und Strukturen in verschiedenen Organismengruppen völlig unabhängig voneinander mehrmals entstanden ist. Zwischen dem Menschen und den Menschenaffen bestehen aber auch Unterschiede. Sie ergeben sich zwangsläufig daraus, daß sich ihr ursprünglich gemeinsamer

Abb. 47 Hand vom Gibbon, Orang, Schimpansen, Gorilla und Menschen

Gibbon Orang Schimpanse Gorilla Mensch

Entwicklungsweg vor etwa 20 bis 30 Millionen Jahren in zwei von da ab voneinander isolierte Entwicklungslinien getrennt hat.

Die für den Menschen entscheidenden Entwicklungsschritte, die sich in dieser Zeit vollzogen haben, waren die Erwerbung der aufrechten Körperhaltung und das damit im Zusammenhang stehende Freiwerden der Hände von der Fortbewegungsfunktion, die beträchtliche Größenzunahme und Höherdifferenzierung des Gehirns, die Verlängerung der individuellen Kindheits- und Jugendphase, die zu einer Verlängerung der intensivsten Lernperiode im Leben des Menschen führte, die Herausbildung der Sprache und schließlich die zunehmende gesellschaftliche Arbeitsteilung und Differenzierung. Durch das dialektische Zusammenwirken dieser Faktoren wurde es dem Menschen in zunehmendem Maße möglich, unter den verschiedensten Umweltbedingungen zu existieren und immer aktiver und planmäßiger auf die ihn umgebende Natur einzuwirken. Der Mensch als gesellschaftliches und kulturschöpferisches Lebewesen unterscheidet sich qualitativ von allen anderen Organismen; sein Dasein wird nicht mehr allein von biologischen, sondern in hohem Maße außerdem von gesellschaftlichen Gesetzmäßigkeiten bestimmt. Der Mensch hat sich zwar aus dem Tierreich entwickelt, er hat aber – vergleichbar mit dem dialektischen Entwicklungsschritt von der anorganischen zur organischen Materie – ein qualitativ höheres Niveau erreicht, das eine neuartige, außerordentlich komplizierte Struktur aufweist, deren Erforschung Aufgabe der Anthropologie und der Gesellschaftswissenschaften ist.

Fossile Zeugnisse der Menschwerdung

Planmäßige Forschungen und glückliche Zufälle haben zu einer ansehnlichen Zahl von Fossilfunden geführt, die alle wesentlichen Ergebnisse des Vergleichs von Mensch und heutigen Menschenaffen auf das eindrucksvollste bestätigen (s. vordere innere Umschlagseite). Dabei haben derartige Funde eine ganz besondere Bedeutung. Sie sind unmittelbare Zeugnisse des stammesgeschichtlichen Entwicklungsprozesses und geben deshalb nicht nur Aufschluß über den Formenwandel, sondern auch über dessen Reihenfolge und Geschwindigkeit, wodurch die Entwicklung überhaupt erst als Prozeß faßbar wird. Die meisten Funde bestehen zwar nur aus Bruchstücken des Schädels oder des Skeletts, teilweise sogar nur aus einzelnen Zähnen. Meist ist es jedoch möglich, auch hieraus weitgehende Schlüsse auf den gesamten Körperbau und die Lebensweise zu ziehen. Die Fossilfunde geben darüber hinaus äußerst wichtige Einblicke in die durch die geographische Lage, das Klima, die lebende und nichtlebende Umwelt und die kulturelle Entwicklung gegebenen damaligen Lebensumstände.

Die ältesten fossilen Menschenaffen

Die bisher ältesten fossilen Menschenaffen wurden in mittelmiozänen Ablagerungen Zentralafrikas gefunden. Es handelt sich um zahlreiche Fundstücke, die zu verschiedenen Formen gehören, die man unter der Bezeichnung **Proconsul-Gruppe** zusammenfaßt. Die kleinste Form war etwa so groß wie die heutigen Zwergschimpansen, während die größte die Körperhöhe des Gorilla erreichte. Die Schädel weisen keine Überaugenwülste auf, wie sie besonders beim Gorilla, Schimpansen und bei frühen

Menschenformen zu beobachten sind. Die Kieferregion ragt weniger stark vor und die Eckzähne sind verhältnismäßig klein (Abb. 48). Die Tiere konnten sich ohne

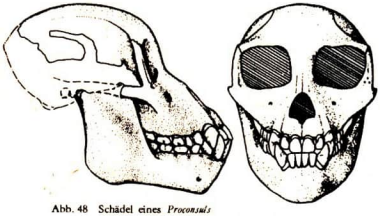


Abb. 48 Schädel eines *Proconsuls*

Zweifel auf den Bäumen geschickt bewegen, besaßen aber noch keine weitreichenden körperlichen Spezialanpassungen an das Baumleben. Ihr Wohngebiet lag in einer Steppenlandschaft mit lichten Busch- und Baumbeständen und Wäldern an den Talhängen. In diesem Lebensraum bestanden außerordentlich günstige Voraussetzungen für den Übergang vom Baum- zum Bodenleben. Es war so die Möglichkeit vorhanden, daß sich Angehörige der Proconsul-Gruppe einerseits ganz an das Baumleben anpassen und zu den heutigen Menschenaffen weiterentwickeln konnten, während andere vollständig zum Bodenleben übergingen und damit die zum Menschen führende Entwicklung einleiteten. Die Proconsul-Gruppe gibt demnach eine Modellvorstellung von den Lebewesen, die an der entscheidenden Gablungsstelle unserer Stammesgeschichte gestanden haben.

Über die weitere Entwicklung der Menschenaffen geben Fossilfunde nur sehr spärliche Auskunft. Es liegen zwar zahlreiche Funde, besonders von der weit verbreiteten **Dryopithecus**-Gruppe vor, meistens handelt es sich jedoch nur um Zähne und Kieferbruchstücke, die noch kein genaues Bild von der Entwicklung der einzelnen heute lebenden Menschenaffengattungen zulassen. Für die Abstammungsgeschichte des Menschen haben die Funde aber ohnehin keine direkte Bedeutung mehr.

Fossilfunde aus der Tier-Mensch-Übergangsperiode

Aus dem späten Tertiär liegen aber bisher auch erst wenige Funde vor, die in die menschliche Entwicklungsreihe eingeordnet werden könnten oder dieser zumindest nahegestanden haben. Abgesehen von einigen erst in neuester Zeit entdeckten Funden, deren genauere zeitliche Einordnung aber gegenwärtig noch umstritten ist, sind die aus der Übergangsperiode vom Miozän zum Pliozän in Italien gefundenen Skelettreste der **Oreopithecus**-Gruppe von besonderer Wichtigkeit (Abb. 49). Der Bau der Wirbelsäule und die verhältnismäßig weit ausladenden Darmbeinschaufeln weisen auf einen zumindest zeitweiligen aufrechten Gang hin (Abb. 49). Das Gebiß ist sehr menschenähnlich. Andererseits war das Gehirn noch verhältnismäßig klein. Die Aufrichtung des Körpers ist demnach der Größenzunahme und Höherdifferenzierung des Gehirns stammesgeschichtlich bis zu einem gewissen Grade vorausgegangen.

Nach den bisher vorliegenden Funden wurde die unterste Grenze menschlicher Leistungsfähigkeit erst in der nachtertiären Periode, im frühen Pleistozän, erreicht. Wesentliche Kenntnisse aus dieser wichtigen Phase der Menschheitsentwicklung verdanken wir der **Australopithecinen-Gruppe**, die vom frühen bis mittleren Pleistozän vor allem in Südafrika verbreitet war. Der Schädel wirkt in seinen Proportionen äffisch, doch ragt die Kieferpartie weniger weit vor. Der Überaugenwulst ist schwächer, das Hinterhaupt ist mehr ausgerundet als

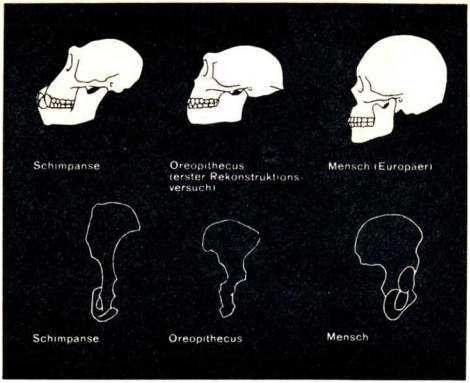


Abb. 49 Schädel und Beckenknochen von einem Schimpansen, *Oreopithecus* und Menschen

beim Schimpansen. Viele Einzelmerkmale sind jedoch sehr menschenähnlich, besonders das Gebiß mit seiner geschlossenen, bogenförmigen Zahnreihe, die vom Eckzahn nicht überragt wird. Das nach der Mitte der Schädelbasis verlagerte Hinterhauptsloch sowie die breiten, sehr menschenähnlichen Darmbeine ergeben eindeutig, daß die Australopithecinen aufrecht gegangen sind.

Die **Australopithecinen** (Abb. 50) bewohnten keine geschlossenen Waldgebiete, sondern eine Baumsteppe. Zahlreiche Reste aufgeschlagener Knochen zeigen, daß sie selbst große und schnelle Antilopen gejagt und erlegt haben. Eine derartige Großwildjagd setzt ein sinnvolles, zielgerichtetes Zusammenwirken einer ganzen Horde voraus, das wiederum nur mit Hilfe gewisser lautlicher Verständigungsmöglichkeiten denkbar ist. Offenbar haben die Australopithecinen auch Kannibalismus betrieben, der bei den Menschenaffen nicht vorkommt. Es wurden auch Funde gemacht, die als Knochengeräte gedeutet werden. Es ist sogar wahrscheinlich, daß die Australopithecinen bereits Steinwerkzeuge herstellten.

Das Aussehen und die Lebensweise der Australopithecinen geben eine recht gute Vorstellung von der Phase der Menschheitsentwicklung, in der sich der Übergang vom Tier zum Menschen vollzogen hat. Allerdings haben sich die bisher bekannt gewordenen Australopithecinen nicht direkt zum heutigen Menschen weiterentwickelt, sondern stellen einen ausgestorbenen, verhältnismäßig späten Seitenzweig der Tier-Mensch-

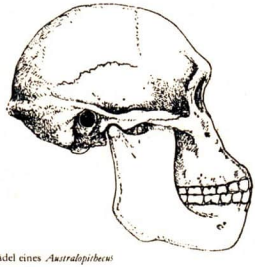


Abb. 50 Schädel eines *Australopithecus*

Übergangsperiode dar. Unsere direkten Vorfahren mußten den Entwicklungsstand der Australopithecinen spätestens in der Übergangszeit vom Tertiär zum Pleistozän erreicht haben. Diese Annahme ergibt sich zwangsläufig unter anderem aus der Tatsache, daß bereits im frühen Pleistozän, also gleichzeitig mit den Australopithecinen, der schon wesentlich menschenähnlichere **Pithecanthropus** existierte.

Die Entfaltung des Menschen während des Pleistozäns

Im frühen Pleistozän gab es bereits echte Menschen. Sie gehörten zur **Pithecanthropus-Sinanthropus**-Gruppe, von der zahlreiche Fossilreste vor allem in der Nähe von Peking, auf der Insel Java, aber auch in Europa (Mauer bei Heidelberg) und in Nordafrika gefunden wurden. Zeitlich reichen die Funde bis zum späten Pleistozän. Das Aussehen des Menschen vom **Pithecanthropus**-Typus wird durch einen grobprimitiven Schädelbau bestimmt, der vor allem durch einen kräftigen Überaugenwulst, eine stark fliehende Stirn und einen niedrigen Hirnschädel charakterisiert ist (Abb. 51 u. Tafel gegenüber S. 32). Diese Merkmale sind aber nicht so extrem ausgebildet wie bei den Menschenaffen. Das Hirnschädelvolumen liegt zwischen 775 und 1225 cm³. Es liegt damit schon weit außerhalb der Variationsbreite der heutigen Menschenaffen. Da die meisten Funde nur aus Schädelfragmenten bestehen, weiß man über den Bau des Körperskeletts erst verhältnismäßig wenig. Der Oberschenkelknochen eines *Pithecanthropus* ist aber so menschenähnlich, daß er nur von einem perfekten Aufrechtgänger stammen kann. Wenn auch bisher nur an zwei Stellen zur **Pithecanthropus-Sinanthropus**-Gruppe gehörende Skelette im Zu-

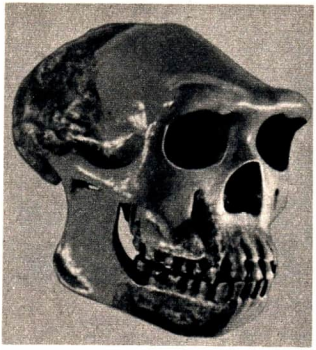


Abb. 51 Schädelrekonstruktion vom *Pithecanthropus*

sammenhang mit Werkzeugen gefunden worden sind, so ist nicht daran zu zweifeln, daß es sich um Überreste von echten Menschen handelt. Die Bezeichnung *Pithecanthropus* („Affenmensch") ist deshalb unzutreffend, wie ja auch die Australopithecinen („Südaffen") keinesfalls mehr als Affen bezeichnet werden können. Die Namen werden aber trotzdem beibehalten, da sie sich in den Sprachgebrauch und in die Literatur fest eingebürgert haben.

Während der letzten Zwischeneiszeit und des ersten Teils der letzten Eiszeit lebte in Europa eine Menschengruppe, die unter dem Namen **Neandertaler** bekannt ist. Die Neandertaler besaßen im Durchschnitt einen wesentlich größeren Schädel als der *Pithecanthropus*. Ihr Hirnschädelvolumen liegt zwischen 1230 und 1720 cm³ und lag damit zum Teil höher als der Durchschnitt des heutigen Menschen. Der Schädel des Neandertalers ist sehr lang und breit, aber nicht sehr hoch. Die stark fliehende Stirn ist nur wenig gewölbt. An ihrem

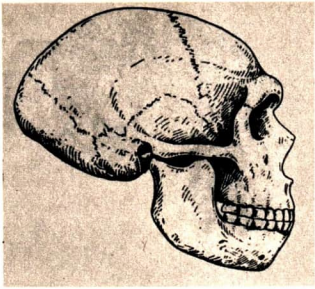


Abb. 52 Schädel eines Neandertalers

Unterrand befindet sich ein mächtiger Überaugenwulst, der dem großen Gesicht mit der etwas vorgezogenen Kieferregion und dem kaum angedeuteten Kinnvorsprung ein primitives Aussehen verleiht. Die übrigen Skelettknochen deuten auf einen plumpen und etwas untersetzten Körperbau hin, der sich durch eine außerordentlich kräftige Muskulatur auszeichnete. Die **Neandertaler** (Abb. 52) konnten vollkommen aufrecht gehen und waren in der Lage, sehr verschiedenartige Werkzeuge aus Holz und aus Stein herzustellen Sie benutzten das Feuer und betrieben Großwildjagd, für die sie sogar schon Fernwaffen, nämlich Holzspeere mit im Feuer gehärteten Spitzen, verwendeten. Sie betrieben offenbar Jagdkulte sowie es auch Hinweise für Totenbestattungen gibt. Die Neandertaler setzten sich folglich auch schon durch geistige Mittel mit ihrer Umwelt auseinander. An ihrer menschlichen Natur kann kein Zweifel bestehen.

Lange Zeit nahm man an, daß der Neandertaler der unmittelbare Vorfahre des heutigen Menschen sei. Neuere Funde haben jedoch ergeben, daß gleichzeitig mit dem Neandertaler und sogar schon lange vor ihm Menschen lebten, die dem **Homo sapiens**, also dem jetzigen Menschentypus, ähnlicher waren als der Neandertaler. Sie werden **Präsapiens** (Abb. 53) genannt und zeichnen sich unter anderem durch einen hochgewölbten Hirnschädel, einen nur schwachen oder gar fehlenden Überaugenwulst und ein deutlich entwickeltes Kinn aus. Der Präsapiens ist offenbar der Ahne des heute lebenden Menschen. An manchen Stellen hat er sich wahrscheinlich auch mit dem Neandertaler vermischt. Im wesentlichen stellt jedoch der Neandertaler nach unserem heutigen Wissen einen ausgestorbenen Seitenzweig der Entwicklung dar. Zu einer sicheren Beurteilung der Herkunft des Präsapiens reichen die bisherigen Funde noch nicht aus. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß es eine bis heute unbekannte spättertiäre beziehungsweise frühpleistozäne Ausgangsschicht gegeben hat – von der uns die Australopithecinen eine gewisse Vorstellung vermitteln –, und aus der sich mehr

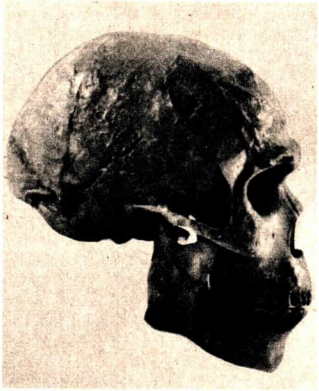


Abb. 53 Schädel eines Präsapiens

oder weniger getrennt voneinander der Pithecanthropus, der Neandertaler und der Präsapiens entwickelt haben.
Noch aus der letzten Eiszeit stammt eine große Zahl von Fossilfunden, über deren Zuordnung zum *Homo sapiens* kein Zweifel besteht. Dieser eiszeitliche *Homo sapiens* weist in körperlicher Hinsicht alle Merkmale des jetzigen Menschen auf (Abb. 54). Kulturell gehört er der jüngsten Stufe der Altsteinzeit (Jungpaläolithikum) an, deshalb wird er auch als Jungpaläolithiker bezeichnet. Er war zum Teil schon zur werkstattmäßigen Fertigung seiner Arbeits- und Jagdgeräte übergegangen, wobei er neben Holz- und Steinwerkzeugen geschliffene Knochengeräte in hoher Vollendung herstellte (s. Tafel gegenüber S. 33). Seine Höhlenmalereien, seine Ritzzeichnungen auf Knochen und seine plastischen Darstellungen von Tieren und Menschen sind die ältesten Werke der bildenden Kunst, die wir kennen.

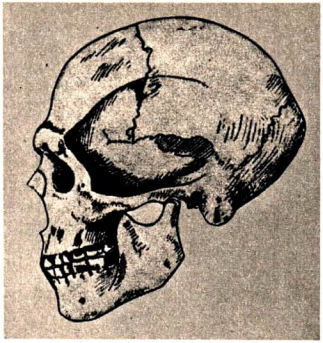


Abb. 54 Schädel eines eiszeitlichen *Homo sapiens*

Die heutigen Menschenrassen

Die biologische Entwicklung des Menschen war mit dem Auftreten des *Homo sapiens* am Ende des Pleistozäns nicht beendet. Schon beim eiszeitlichen *Homo sapiens* lassen sich mehrere Varianten unterscheiden, die man als verschiedene Rassen einer Art auffassen muß. Es fehlen aber noch solche Formeneigentümlichkeiten, die es gestatten würden, den einen oder anderen Fund mit Sicherheit einem der heutigen Rassenkreise zuzuordnen. Die Differenzierung der gegenwärtig bestehenden Rassen erfolgte offenbar nach dem Pleistozän, also erst, nachdem der *Homo sapiens* schon lange existierte.
Die Rassenentwicklung vollzieht sich ebenso wie die Artentstehung durch ein enges Zusammenspiel verschiedener Faktoren, von denen die ständige Neukombination der Erbanlagen durch die geschlechtliche Fortpflanzung, die Entstehung neuer Merkmale durch Mutation sowie die Auslese und die Isolation die wichtigsten sind. Beim Menschen spielen bei den Isolationsvorgängen außer den natürlichen Grenzen zwischen den einzelnen Fortpflanzungsgemeinschaften auch gesellschaftlich bedingte Fortpflanzungsschranken eine Rolle. Innerhalb der voneinander isolierten Lebensräume kommt es zu jeweils verschiedenen Entwicklungen, die schließlich dazu führen, daß unterschiedliche Häufungen und andersartige Kombinationen verschiedener erblicher Merkmale entstehen. Auf diese Weise bilden sich zuerst Lokaltypen und bei großräumiger längerer Isolation verschiedene Rassen heraus. Ständig neu auftretende Mutationen, Veränderungen der Umweltverhältnisse, die Verschiebung, Abwandlung oder gar Beseitigung alter Isolationsschranken sorgen dafür, daß sich innerhalb

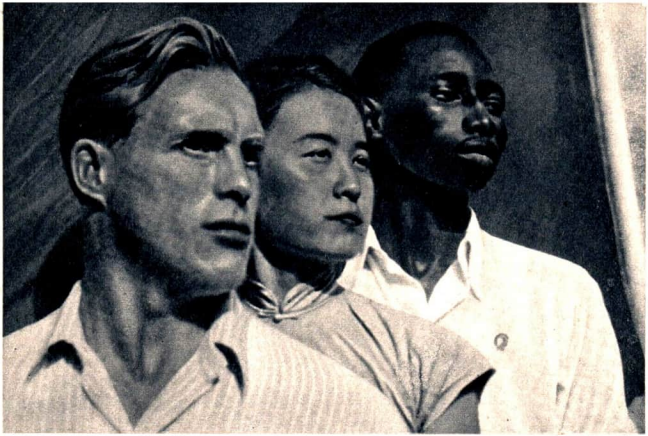


Abb. 55 Vertreter der drei Hauptrassengruppen der heutigen Menschheit (europider, mongolider, negrider Rassenkreis)

und zwischen den Rassen Veränderungen vollziehen. Die Rassen stellen also keine endgültigen Formengruppen dar, sondern sie sind nur zeitweilige Zwischenprodukte innerhalb des fortdauernden biologischen Entwicklungsgeschehens. Hieraus ergibt sich auch, daß bei den einzelnen Individuen einer Rasse nicht alle, die Rasse kennzeichnenden Merkmale vorhanden sind.

Da alle heute lebenden Menschen prinzipiell untereinander fruchtbar sind, gehören sie auch alle zu nur einer Art, der Art *Homo sapiens*. Von den verschiedenen Rassen des *Homo sapiens* kann man jeweils mehrere zu einem Rassenkreis zusammenfassen. Man unterscheidet heute drei Rassenkreise: den europiden, den mongoliden und den negriden Rassenkreis (Abb. 55).

Der europide Rassenkreis ist sehr weit verbreitet und in morphologischer Hinsicht sehr vielgestaltig. Es gibt aber auch eine Reihe von Merkmalen beziehungsweise Merkmalskombinationen, die bei allen zugehörigen Rassen mehr oder weniger gehäuft auftreten. Hierzu gehören: Schlankwüchsigkeit, reliefreiches Gesicht mit hoher, schmaler Nase, schlichtes bis welliges Haar, Neigung zu relativ starker Körperbehaarung, Tendenz zur Farbaufhellung von Haar, Haut und Auge (Depigmentierung).

Der mongolide Rassenkreis weist eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung in seinen kennzeichnenden Merkmalen auf, obwohl es wesentlich mehr mongolide als europide oder negride Menschen gibt. Im allgemeinen sind für die Mongoliden ein untersetzter Körperbau mit langem Rumpf, ein flaches Mittelgesicht mit niedriger Nasenwurzel, vorgeschobene Wangenbeine, dunkle Augen, schmale Lidöffnung, Nasenlidfalte (Mongolenfalte), dickes, straffes Schwarzhaar, sehr schwache Körperbehaarung und eine gelbliche Haut mit nur geringen Unterschieden im Pigmentierungsgrad charakteristisch.

Beim negriden Rassenkreis ist eine Abgrenzung nach bestimmten Merkmalen am schwierigsten.

Folgende Merkmale können als mehr oder weniger kennzeichnend gelten: Mittlere bis übermittelgroße Körperhöhe, mäßig scharfes Gesichtsrelief mit breiter Nase, Vorkiefrigkeit, dicke Lippen, krauses bis spiraliges Kopfhaar, sehr schwache Körperbehaarung und sehr starke Pigmentierung von Haut, Haar und Auge.

In der Gegenwart werden durch den technischen, kulturellen und gesellschaftlichen Fortschritt mit zunehmender Geschwindigkeit alte Isolationsschranken überwunden. Das führt zwangsläufig zu einer immer stärkeren Vermischung der Menschheit und wahrscheinlich einmal zum Verschwinden der anthropologischen Rassendifferenzierung. Zahlreiche Untersuchungen zeigen, daß sich dieser unaufhaltsam vollziehende Prozeß der Rassenverschmelzung für die Menschheit nicht nachteilig auswirkt, zumal sich die einzelnen Menschenrassen in Merkmalen unterscheiden, die für das Menschsein völlig belanglos sind. Die einzigen Komplikationen, die bei Rassenmischungen auftreten, und die sich für die Betroffenen tragisch genug auswirken können, beruhen auf unsinnigen ideologischen und gesellschaftlichen Vorurteilen. Auf keinen Fall kann man von biologisch minderwertigen oder besonders wertvollen Rassen sprechen. Die heute noch auf der Erde bestehenden Unterschiede in der Zivilisationshöhe haben nicht biologische, sondern gesellschaftliche Ursachen. Jeglicher Rassendünkel ist wissenschaftlich in keiner Weise zu begründen, wie auch kein Mensch das Recht hat, einen anderen Menschen etwa wegen seiner Hautfarbe zu benachteiligen, zu unterdrücken, zu verfolgen oder gar zu töten, wie das in geradezu unvorstellbar unmenschlichem Grade vom deutschen Faschismus praktiziert wurde. Zahlreiche Menschengruppen, ja ganze Völker wurden von ihm als biologisch minderwertig bezeichnet und entsprechend behandelt, nur weil sie seinen imperialistischen Bestrebungen im Wege waren. Der scheinwissenschaftliche Rassismus der nationalsozialistischen „Herrenrasse" hat unermeßliches Leid über die Menschheit gebracht, das niemals Wiederholung finden darf.

Weitere biologische Entwicklungsvorgänge beim heutigen Menschen

Außer den rassendynamischen Prozessen, die in der Gegenwart zu einer ständigen biologischen Veränderung des Menschen beitragen, gibt es noch eine ganze Reihe weiterer Hinweise dafür, daß unsere biologische Entwicklung weitergeht und nicht etwa zum Stillstand gekommen ist. Besonders auffällig und bedeutsam ist die Körperhöhenzunahme, die in zahlreichen Ländern während etwa der letzten einhundert Jahre festzustellen ist. Schon die Neugeborenen sind heute größer und schwerer. Das gleiche gilt auch für die späteren Altersklassen. Waren zum Beispiel die vierzehnjährigen Jenaer Knaben im Jahre 1880 im Durchschnitt 143,6 cm groß, so erreichten ihre Altersgenossen im Jahre 1954 eine Körperhöhe von 156,2 cm. Dementsprechend nahm auch ihr Körpergewicht im gleichen Zeitraum von 33,9 auf 44,7 kg im Mittel zu. In Schweden betrug die Körperhöhe der erwachsenen Männer im Jahre 1855 durchschnittlich 167,5 cm, im Jahre 1939 174,5 cm. Mit der Körperhöhenzunahme ist eine Reihe weiterer Veränderungen verbunden. So erfolgt die Verknöcherung des Skeletts und der Durchbruch sowohl der Milch- als auch der Dauerzähne bei den heute lebenden Kindern früher, wie auch die Geschlechtsreife um zwei bis drei Jahre eher eintritt als bei den Jugendlichen der letzten Jahrhundertwende. Die frühzeitigere Entwick-

lung bringt aber nicht ein früheres Altern des Menschen mit sich. Der Mensch bleibt im Gegenteil länger leistungsfähig. Auch das durchschnittliche Todesalter liegt heute wesentlich höher als im vorigen Jahrhundert oder gar noch früher. In der Bronzezeit wurden die Menschen im Durchschnitt kaum über 20 Jahre und im Mittelalter rund 33 Jahre alt. Noch im Jahre 1870 betrug in Deutschland die mittlere Lebenserwartung der Knaben nur 35,2 Jahre und die der Mädchen 38,0 Jahre. Bis zur Gegenwart ist die durchschnittliche Lebensdauer der Männer bei uns auf über 65 Jahre und die der Frauen auf fast 70 Jahre angestiegen. Am Zustandekommen der Entwicklungsbeschleunigung sind offenbar zahlreiche Faktoren beteiligt. Die Verzögerung der Entwicklung und die Abnahme der durchschnittlichen Körperhöhe in Kriegs- und Mangelzeiten läßt erkennen, daß in erster Linie die Ernährungsverhältnisse eine Rolle spielen. Tatsächlich ist auch der Pro-Kopf-Verbrauch an Nahrungsmitteln in den letzten Jahren sprunghaft angestiegen. Die Nahrung ist wesentlich eiweißreicher geworden. Die weitgehende Verstädterung auch der Landbevölkerung, die Verbesserung der hygienischen Verhältnisse, der Rückgang schwerer Kinderkrankheiten, die Zunahme sportlicher Betätigung, die Abschaffung der Kinderarbeit und noch manche andere Faktoren sind als wesentliche Ursachen der Entwicklungsbeschleunigung, der Körperhöhensteigerung und der Verlängerung der körperlichen Leistungsfähigkeit sowie der Lebensdauer anzusehen. Eine besondere Bedeutung haben in diesem Zusammenhang aber auch die Fortschritte der Medizin, die zunehmende Entlastung von schwerer körperlicher Arbeit und die immer besser werdende soziale Sicherung des Lebensabends.

Im wesentlichen handelt es sich demnach bei diesen biologischen Veränderungen um gesellschaftlich bedingte Effekte, die ihrerseits wieder von nicht zu unterschätzender sozialer Bedeutung sind. So hat die Erhöhung des durchschnittlichen Lebensalters zu einer starken Veränderung der Alterszusammensetzung der Gesamtbevölkerung geführt. Auch die Bevölkerungszunahme auf der Erde ist vorwiegend auf die Verlängerung der Lebensdauer zurückzuführen. Zwar werden weniger Kinder geboren, jedoch erreichen mehr Menschen ein höheres Lebensalter als jemals zuvor. Die Veränderung der Altersstruktur und die Zunahme der Bevölkerung haben weitreichende soziale Folgen, zumal der alte Mensch nach einem arbeitsreichen Dasein ein Recht auf die soziale Sicherung seines Lebensabends hat. Dabei ist es für die Lebenserhaltung im Greisenalter von großer Bedeutung, daß diese Menschen noch eine ihren Kräften angemessene Aufgabe haben, die ihnen das Gefühl gibt, für die Gesellschaft von Nutzen zu sein. Es ist eine wichtige Erfahrung der Altersforschung, daß Untätigkeit das Altern und das Lebensende beschleunigt.

Die angeführten Beispiele zeigen, daß sich auch in der Gegenwart beim Menschen wichtige biologische Veränderungen abspielen, die genau beobachtet werden müssen und denen – soweit notwendig – Rechnung getragen werden muß, da wir nicht für uns selbst, sondern auch für spätere Generationen die Verantwortung mit zu tragen haben. Die Beispiele zeigen aber auch, in welch hohem Maße der Mensch ein gesellschaftliches Wesen ist, ohne daß man über diese Erkenntnis vergessen darf, wie tief unser Dasein im Bereich der organischen Natur verwurzelt ist.

Aufgaben und Fragen

1. Welche Tiere sind die nächsten Verwandten des Menschen? Begründen Sie Ihre Aussage!
2. Wie erklären sich die zwischen dem Menschen und den Menschenaffen bestehenden Unterschiede im Körperbau?
3. Welche gesellschaftlichen Faktoren haben wesentlichen Anteil am Prozeß der Menschwerdung?
4. Beschreiben Sie die wichtigsten Merkmale der einzelnen Fossilgruppen!
5. Welche stammesgeschichtlichen Zusammenhänge bestehen zwischen den einzelnen Fossilgruppen und dem heutigen Menschen? Zeichnen Sie eine schematische Übersicht!
6. Erklären Sie, wie es zur Herausbildung der verschiedenen Menschengruppen gekommen ist!
7. Wodurch sind die sich gegenwärtig abspielenden rassenbiologischen Vorgänge gekennzeichnet und wie werden diese sich voraussichtlich in Zukunft auswirken?
8. Welche Bedeutung haben die gegenwärtig beim Menschen ablaufenden biologischen Entwicklungsvorgänge in sozialer Hinsicht?
9. Zeigen Sie an Beispielen aus der Geschichte, welche furchtbaren Folgen die Rassenverfolgung für die gesamte Menschheit zeitigte!
10. Nennen Sie Beispiele dafür, daß es Rassenverfolgung auch heute noch in verschiedenen kapitalistischen Ländern gibt!

Stammesgeschichte und System der Organismen

LINNÉ führte die heute gebräuchliche wissenschaftliche Benennung der Tier- und Pflanzenarten ein und schuf gleichzeitig das erste brauchbare System des Organismenreiches. Die 1758 erschienene 10. Auflage seiner „Systema Naturae" bildet auch jetzt noch die Grundlage für jegliche Bestimmung und Benennung im Tier- wie Pflanzenreich.

Für LINNÉ stand die Benennung und Bestimmung der damals bekannten knapp 5000 Arten Tiere und etwa 6000 Arten Blütenpflanzen im Vordergrund. Nach seinen Beschreibungen sollten Tier- und Pflanzenarten von anderen Forschern wiedererkannt, richtig bestimmt und in das System eingeordnet werden können. Die Arten waren in LINNÉs System nach ihren Übereinstimmungen bzw. Unterschieden in äußerlich erkennbaren Bestimmungsmerkmalen angeordnet (s. auch S. 86). Deshalb bezeichnet man LINNÉs Ordnung der Organismen als künstliches System.

Bei den Pflanzen diente vor allem die Anzahl der ausgebildeten Staubblätter und Griffel als Einteilungsprinzip. Dadurch wurden nahe verwandte Gruppen vielfach willkürlich getrennt. Die Arten der heutigen Familie Rosengewächse beispielsweise sind bei LINNÉ auf 9 verschiedene Ordnungen verteilt.

Umgekehrt wurden aber auch nicht nahe verwandte Gruppen vereinigt, weil sie in wesentlich erscheinenden Merkmalen übereinstimmten. So gehörten bei LINNÉ die Krebse und Weichtiere eng zusammen, weil beide von einer Schale umgeben sind, die nur das eine Mal weich (Krebse) und das andere Mal hart ist (Weichtiere).

Für LINNÉ waren also Übereinstimmungen in wichtigen Bestimmungsmerkmalen Ausdruck einer Verwandtschaft. Zwei Arten waren um so näher miteinander verwandt, in je mehr Bestimmungsmerkmalen sie übereinstimmten. Die Bestimmungsmerkmale waren damit zugleich für die Benennung und systematische Stellung einer Art von ausschlaggebender Bedeutung. Bestimmung und Systematik der Organismen bildeten zusammen eine einzige Arbeitsrichtung der Biologie.

Fast 100 Jahre nach LINNÉ setzte die stammesgeschichtliche Forschung ein. Sie führte dazu, daß heute Benennung (Nomenklatur), Bestimmung (Taxonomie) und Systematik der Tiere und Pflanzen – auch methodisch – ganz verschiedene Arbeitsgebiete der Biologie sind, die allerdings eng zusammenwirken.

Das moderne System bringt natürliche Verwandtschaftsbeziehungen zum Ausdruck. Solche Verwandtschaftsbeziehungen beruhen auf gemeinsamer Abstammung. Sie können nur ermittelt und geklärt werden, wenn Paläontologie, vergleichende Anatomie, Embryologie usw. mit der Syste-

matik zusammenwirken, und wenn die Systematik selbst mit der Taxonomie und Nomenklatur, aber auch mit der Tier- und Pflanzenverbreitung, der Ökologie, der Verhaltungsforschung und anderen Forschungsrichtungen zusammenarbeitet.

Die Erforschung der stammesgeschichtlichen Entwicklung und Verwandtschaft findet ihren Niederschlag in Stammbäumen für einzelne Tier- und Pflanzengruppen. Solche Stammbäume hat zuerst HAECKEL veröffentlicht.

An den Astenden eines Stammbaumes stehen die heute lebenden (rezenten) Formen. Verwandtschaftlich verbunden sind sie durch ausgestorbene Zwischenformen. Wo paläontologische Funde gar nicht oder nur ungenügend bekannt sind, klaffen in unserer Kenntnis von der Verwandtschaft heute lebender Arten Lücken.

Das System ordnet die rezenten Astenden der Stammbäume nach ihrer Verwandtschaft ein. Dabei schreibt die Systematik listenmäßig hintereinander auf, was im Stammbaum räumlich nebeneinander angeordnet ist. Hinzu kommen die eben erwähnten Lücken in unserer Kenntnis von den Verwandtschaftsbeziehungen der Organismengruppen untereinander. Beides zusammen bedingt die zum Teil erheblich voneinander abweichenden Auffassungen über das System der Organismen, die von einzelnen Forschern vertreten werden.

In der „Übersicht über das natürliche System der Organismen" (s. S. 76) sind die heute vorherrschenden Auffassungen berücksichtigt. Gleichzeitig wird eine weitgehende Übereinstimmung mit den systematischen Übersichten in der „Exkursionsfauna von Deutschland" und „Exkursionsflora von Deutschland" angestrebt. Es werden aber (namentlich im Reich Tiere) nicht sämtliche heute unterschiedenen Tierstämme und -klassen berücksichtigt. Insbesondere bleiben alle Tiergruppen unerwähnt, die im Unterricht nicht behandelt wurden.

Übersicht über das natürliche System der Organismen

Allgemein anerkannt ist heute die Unterscheidung von vier Organismenreichen, wobei als Protisten alle die Formen zusammengefaßt werden, die noch nicht streng in Tiere und Pflanzen gesondert sind. Dieses Reich umfaßt viele Gruppen, die früher vom Botaniker als Pflanzen und vom Zoologen gleichzeitig als Tiere angesehen wurden.

Reich Kernlose *(Akaryobionta)*

Äußerlich einzellig erscheinend, Kolonien oder einfache Zellverbände. Ohne echte Zellkerne und Farbstoffkörper. Vermehrung durch Sporen (auch geschlechtlich?); Verbreitung durch Dauersporen

Stamm Spaltpflanzen *(Schizophyta)*

Klasse Bakterien *(Schizomycota)*

Heterotroph, selten autotroph. Große praktische Bedeutung (Krankheitserreger, Bodenbakterien). Überall verbreitet. Etwa 1500 Arten (Knöllchenbakterien, Tuberkuloseerreger, Milzbrandbazillen)

Klasse Blaualgen *(Cyanophyceae)*

Meist autotroph mit überwiegend grünen oder blauen Farbstoffen im Plasma. Im Wasser und an feuchten Stellen auf dem Lande. Etwa 2000 Arten (Schwingalge)

Reich Protisten *(Protobionta)*

Wirklich oder scheinbar einzellig, Kolonien, einfache oder hochentwickelte Zellverbände von meist pflanzenähnlichem Bau. Zellkerne und Farbstoffkörper vorhanden. Vermehrung durch Teilung und oft auch geschlechtlich; Verbreitung durch Sporen

Stamm Rotalgen *(Rhodophyta)*

Vielzeller, Zellfäden oder gegliederte Körper. Autotroph, mit Blattgrün oder gelben, roten und blauen Farbstoffen. Meist in wärmeren Meeren, oft in größeren Tiefen (bis 200 m). Vermehrung ungeschlechtlich und geschlechtlich. Etwa 4000 Arten (Froschlaichalge, Irländisches Moos, Agar-Agar)

Stamm Braunalgen *(Phaeophyta)*

Einzeller, Kolonien oder vielgestaltige Körper. Fast immer autotroph, mit Blattgrün oder gelben und braunen Farbstoffen. Vermehrung ungeschlechtlich oder geschlechtlich

Unterstamm Goldalgen *(Chrysophytina)*

Oft Gehäuse bildend oder mit Kieselsäure- bzw. Kalkeinlagerungen. Meer und Süßwasser. Etwa 10000 Arten (Kieselalgen)

Unterstamm Braunalgen *(Phaeophytina)*

Zellfäden oder reichgegliederte Körper. Meist im Meer. Vermehrung ungeschlechtlich und geschlechtlich (z. T. Generationswechsel). Etwa 1500 Arten (Blasentang)

Stamm Rotäugelein *(Euglenophyta)*

Einzeller, meist mit Geißel. Autotroph oder heterotroph, meist mit Blattgrün oder gelben Farbstoffen. Hauptsächlich im Süßwasser. Vermehrung durch Längsteilung (auch geschlechtlich?). Etwa 400 Arten (Rotäugelein)

Stamm Grünalgen *(Chlorophyta)*

Einzeller, Kolonien, Zellfäden und vielgestaltige Körper. Autotroph, mit Blattgrün oder gelben Farbstoffen. Vorwiegend im Süßwasser; auch an feuchten Stellen auf dem Lande. Vermehrung ungeschlechtlich und geschlechtlich (z. T. Generationswechsel). Etwa 5000 Arten (Meersalat, Kugelalge, Armleuchteralge, Schraubenalge)

Stamm Pilze *(Mycophyta)*

Einzeller oder vielzellige Fadengeflechte. Heterotroph, ohne Farbstoffe. Fäulnisbewohner oder Schmarotzer. Vermehrung geschlechtlich und ungeschlechtlich; Verbreitung meist durch Sporen. Vorwiegend auf dem Lande. Etwa 50000 Arten

Unterstamm Schleimpilze *(Myxophytina)*

Nackte, amöboid bewegliche Zellen, die oft zu vielkernigen Plasmamassen verschmelzen. Sporen mit Zellulosemembran, bewegliche Sporen mit Geißeln. Vermehrung geschlechtlich und ungeschlechtlich. – Erreger der Kohlhernie, Lohblüte

Unterstamm Echte Pilze *(Mycophytina)*

Zellen meist mit Chitin- oder Zellulosemembran

Klasse Eipilze *(Oomycetes)*
Fadengeflecht vielkernig, ohne Querwände; Membran aus Zellulose. Bewegliche Sporen mit Geißeln. Im Wasser, in der Erde oder als Schmarotzer in Pflanzen. – Wasserschimmel, Erreger der Kraut- und Knollenfäule bei Kartoffeln

Klasse Jochpilze *(Zygomycetes)*
Fadengeflecht in der Jugend ohne, später mit Querwänden; Membran aus Chitin. Ohne bewegliche Sporen. Auf dem Lande als Fäulnisbewohner oder Schmarotzer in Tieren und Pflanzen. – Kopfschimmel, Erreger der epidemischen Fliegenkrankheit (*Empusa muscae*)

Klasse Schlauchpilze *(Ascomycetes)*
Fadengeflecht mit Querwänden; Membran aus Chitin. Sporen entstehen in Schläuchen (meist je 8), nicht beweglich. Auf dem Lande (z. T. Flechten bildend). – Morchel, Lorchel, Trüffel, Hefen, Penicillin, Mutterkorn, Mehltau, Hexenbesen

Klasse Ständerpilze *(Basidiomycetes)*
Fadengeflecht mit Querwänden; Membran aus Chitin. Sporen entstehen auf Ständern (meist je 4), nicht beweglich. Auf dem Lande (sehr selten Flechten bildend). – Bovist, Hallimasch, Champignon, Steinpilz, Rostpilze, Brandpilze

Die nachfolgenden Stämme werden meistens als Urtierchen *(Protozoa)* zusammengefaßt. Sie sind wirklich oder scheinbar einzellig, oft auch koloniebildend. Heterotroph, ohne Farbstoffe. Vermehrung durch Teilung oder geschlechtlich (z. T. Generationswechsel). Im Wasser und auf dem Lande; viele sind Fäulnisbewohner oder Schmarotzer. Etwa 20000 Arten

Stamm Geißeltierchen *(Flagellata)*

Meist mit 2 oder mehr Geißeln. Ungeschlechtliche Vermehrung durch Längsteilung. Freischwimmend oder festsitzend, oft in Kolonien. Zahlreiche Schmarotzer: Erreger des Verkalbens der Rinder und der Schlafkrankheit; Kragengeißeltierchen

Stamm Wurzelfüßer *(Rhizopoda)*

Körper ohne feste Form, nackt oder mit arttypisch gestalteten Schalen und Gehäusen bzw. mit Skeletten (meist aus Kieselsäure). Bewegung durch veränderliche Plasmaausstülpungen. Freilebend im Süß- und Meerwasser oder Schmarotzer. – Wechseltierchen, Kammerlinge, Strahlentierchen, Erreger der Amoebenruhr

Stamm Sporentierchen *(Sporozoa)*

Schmarotzer in Tieren und Menschen mit z. T. sehr kompliziert gebauten Entwicklungsstadien und verwickelter Entwicklung (Generationswechsel). – Erreger der Kokzidiosen und der Malaria

Stamm Wimpertierchen *(Ciliata)*

Äußerlich einzellig, mit 2 Zellkernen (Großkern und Kleinkern) und besonderen Zellorganen (Zellmund und -after, pulsierende Bläschen). Ganz und gar oder teilweise mit Wimpern besetzt, zur Fortbewegung und zum Herbeistrudeln der Nahrung. Ungeschlechtliche Vermehrung durch Querteilung. Daneben komplizierte geschlechtliche Vorgänge

(Konjugation). Freischwimmend oder festsitzend; auch koloniebildend. – Pantoffeltierchen, Symbionten im Wiederkäuermagen

Reich Pflanzen *(Cormobionta)*

In Sproß und Wurzel gegliederte Vielzeller mit Assimilationsfarbstoffen, echten Geweben, Spaltöffnungen, Leit- und Stützgeweben. Vermehrung ist stets ein Generationswechsel. Ganz überwiegend auf dem Festland

Stamm Nacktsprosser *(Psilophyta)*

Ausgestorbene Uferpflanzen des Silur und Devon mit beginnender Sproßentwicklung und ohne Wurzeln. Verbreitung durch Luftsporen. Etwa 100 fossile Arten *(Rhynia)*

Stamm Moose *(Bryophyta)*

Geschlechtsgeneration ohne Wurzeln. Sporengeneration wird auf der Geschlechtsgeneration von dieser ernährt. Verbreitung durch Luftsporen oder Brutknospen. Etwa 25000 Arten

Klasse Laubmoose *(Bryopsida)*
Geschlechtsgeneration stets beblättert, meist radiärsymmetrisch. Sporenkapsel mit Haube. – Torfmoose, Frauenhaar

Klasse Lebermoose *(Hepaticopsida)*
Geschlechtsgeneration beblättert oder einen flachen Körper bildend, meist zweiseitig symmetrisch. Sporenkapsel ohne Haube. – Brunnenlebermoos, Peitschenlebermoos

Stamm Farnpflanzen *(Pteridophyta)*

Geschlechtsgeneration meist einfach, flächig. Sporengeneration mit Sproß und Wurzel. Verbreitung durch Luftsporen. Etwa 12000 Arten

Klasse Bärlappe *(Lycopsida)*
Sproßachse dicht mit schmalen Blättern besetzt. Sporenkapseln in der Achsel von Sporenblättern. Im Karbon baumförmig. Etwa 1200 Arten (Moosfarn)

Klasse Schachtelhalme *(Sphenopsida)*
Sproßachse gegliedert. Blätter zu gezähnten Scheiden der Sproßachse verwachsen. Seitensprosse wirtelig angeordnet. Sporenähre endständig. Etwa 30 Arten (Ackerschachtelhalm)

Klasse Farne *(Pteropsida)*
Sproßachse meist unterirdisch. Sporenkapseln häufchenweise an der Unterseite der Blätter (Wedel). Etwa 10000 Arten (Wurmfarn, Schwimmfarn)

Stamm Samenpflanzen *(Spermatophyta)*

Holzige oder krautige Pflanzen mit differenzierten Geweben. Befruchtung in Samenanlagen; Verbreitung durch Samen

Unterstamm Nacktsamer *(Gymnospermophytina)*

Holzgewächse ohne echte Leitgefäße. Samenanlagen freiliegend. Etwa 600 rezente Arten

Klasse Farnsamer *(Pteridospermopsida)*
Ausgestorbene Bäume und Lianen des Karbon und Perm, die äußerlich wie Farne aussahen und in der Samenbildung sowie dem Dickenwachstum ihrer Stämme den Samenpflanzen glichen

Klasse Cordaiten *(Cordaidopsida)*
Ausgestorbene, waldbildende Bäume des Karbon und Perm mit kätzchenförmigen Blütenständen

Klasse Ginkgobäume *(Ginkgopsida)*
Bäume des Jura und der Kreide, deren einzige rezente Art fächerförmige Blätter mit gabeligen Nerven besitzt

Klasse Nadelhölzer *(Coniferopsida)*
Bäume und Sträucher mit nadel- oder schuppenförmigen Blättern. Etwa 600 Arten (Kiefer, Tanne, Lebensbaum)

Unterstamm Bedecktsamer *(Angiospermophytina)*

Mit echten Leitgefäßen. Samenanlagen in Fruchtknoten eingeschlossen. Etwa 200000 Arten

Klasse Zweikeimblättrige *(Dicotyledonopsida)*
Zwei Keimblätter. Blattnerven netzartig. Meist eine Hauptwurzel mit Nebenwurzeln. Leitbündel ringförmig angeordnet. Etwa 150000

Arten (Magnoliengewächse, Hahnenfußgewächse, Rosengewächse, Schmetterlingsblütengewächse, Korbblütengewächse)

Klasse Einkeimblättrige *(Monocotyledonopsida)*
Ein Keimblatt. Blattnerven längsverlaufend. Hauptwurzel stirbt meist ab und wird durch Adventivwurzeln ersetzt. Leitbündel zerstreut angeordnet. Etwa 50000 Arten (Palmen, Gräser, Orchideen)

Reich Tiere *(Metazoa)*

Vielzeller, die sich aus einer befruchteten Eizelle entwickeln und meist Gewebe und Organe besitzen. Mitunter auch ungeschlechtliche Vermehrung durch Knospung, die häufig zu einer Bildung von Tierstöcken oder Kolonien führt. In allen Lebensräumen

Unterreich Schwammtiere *(Parazoa)*

Ohne Gewebe und Organe; die weitgehend selbständigen Körperzellen bilden höchstens lose Epithelien. Entwicklung ohne echte Gastrula; das gastrulaähnliche Entwicklungsstadium besitzt keine Keimblätter

Stamm Schwämme *(Porifera)*

Festsitzende Tierstöcke ohne erkennbare Einzelwesen, aber mit arttypischen Wuchsformen. Skelett aus Hornsubstanz und Nadeln aus Kieselsäure oder Kalk. Vermehrung ungeschlechtlich (Knospung) oder geschlechtlich über freischwimmende Larven (kein Generationswechsel). Überwiegend im Meer. Etwa 5000 Arten (Kalkschwämme, Kieselschwämme, Badeschwamm, Süßwasserschwämme)

Unterreich Gewebetiere *(Histozoa)*

Mit Geweben und Organen. Entwicklung stets über eine Gastrula mit deutlich gesonderten 2 oder 3 Keimblättern

Hauptgruppe Hohltiere *(Coelenterata)*

Behalten zeitlebens den Bauplan einer Gastrula bei. Radiärsymmetrisch

Stamm Nesseltiere *(Cnidaria)*

Einzige Gewebetiere, die im eigenen Körper Nesselkapseln bilden. Meist in zwei Erscheinungsformen (Generationswechsel): als festsitzender, einzelner oder koloniebildender Polyp und als freischwimmende Meduse (Qualle). Überwiegend im Meer

Klasse Hydrozoen *(Hydrozoa)*
Medusen fehlen völlig oder sind klein und unscheinbar, entstehen stets durch Knospung. Etwa 2700 Arten (Süßwasserpolyp)

Klasse Scyphozoen *(Scyphozoa)*
Medusen sind auffälliger und größer als die Polypen, entstehen stets durch Strobilation. Etwa 200 Arten (Ohrenqualle, Becherqualle, Feuerqualle)

Klasse Korallen *(Anthozoa)*
Nur einzeln lebende oder koloniebildende Polypen, deren Körperhohlraum durch senkrechte Trennwände taschenförmig unterteilt ist. Etwa 6000 Arten (Zylinderrose, Purpurrose, Steinkorallen, Edelkorallen, Seefedern, Riffkorallen)

Stamm Rippenquallen *(Acnidaria)*

Ohne Nesselkapseln. Meist zarte und fast durchsichtige, schwebende Meerestiere. Knapp 100 Arten (Seestachelbeere)

Hauptgruppe Zweiseitentiere *(Bilateria)*

Die Gastrula entwickelt sich zu einem komplizierteren Bauplan weiter. Zweiseitig symmetrisch

Gruppe Urmündler – Bauchmarktiere *(Protostomia)*

Der Rest des Urmundes der Gastrula wird zum bleibenden Mund, das Zentralnervensystem entsteht an der Bauchseite. Wo die Leibeshöhle mit einem Coelom ausgekleidet wird, entsteht dieses fast immer aus Urmesodermzellen

Stamm Plattwürmer *(Plathelminthes)*

Körper abgeplattet wurmförmig; das Innere mit einem Bindegewebe ausgefüllt. Zwitter

Klasse Strudelwürmer *(Turbellaria)*
Körper außen bewimpert. Meist räuberische Wassertiere. Etwa 1600 Arten (Planarien)

Klasse Saugwürmer *(Trematodes)*
Körper außen nicht bewimpert. Bauchseite mit 1 oder 2 Saugnäpfen. Erwachsen ausschließlich parasitisch, meist an oder in Wirbeltieren. Entwicklung oft ein Generationswechsel mit Wirtswechsel; Zwischenwirte meist Schnecken. Etwa 3500 Arten (Großer Leberegel)

Klasse Bandwürmer *(Cestodes)*
Körper scheinbar gegliedert. Kopf meist mit Hafteinrichtungen; sein Hinterende bildet ständig Glieder, die einzeln oder in Gruppen – mit befruchteten Eiern angefüllt – abgestoßen werden. Bis über 10 m lang. Etwa 2000 Arten (Schweinefinnenbandwurm, Rinderfinnenbandwurm, Fischbandwurm, Hundebandwurm)

Stamm Rundwürmer *(Nemathelminthes)*

Körper drehrund wurmförmig; Leibeshöhle mit Flüssigkeit gefüllt. Meist getrenntgeschlechtig. Häufig Zellkonstanz einiger Organsysteme

Klasse Rädertiere *(Rotatoria)*
Wasserbewohnende Zwergformen von meist unter 1 mm Körperlänge mit einem Räderorgan am Vorderende. Etwa 1500 Arten *(Rotaria)*

Klasse Bauchhärlinge *(Gastrotricha)*
Bodenbewohnende Kleintiere des Süß- und Meerwassers von höchstens 1,5 mm Körperlänge. Bauchseite abgeflacht, mit Wimperstreifen; Rückenseite mit Schuppen oder Borsten. Etwa 200 Arten *(Chaetonotus)*

Klasse Fadenwürmer *(Nematoda)*
Langgestreckt, fadenförmig, an beiden Enden verjüngt. Freilebend oder Parasiten mit z. T. komplizierten Entwicklungsweisen. Über 5000 Arten (Kartoffelnematode, Rübenälchen, Weizenälchen, Spulwurm, Madenwurm, Magenwürmer, Lungenwürmer, Trichine)

Klasse Saitenwürmer *(Nematomorpha)*
Über 1 m lang, aber nur 1 mm breit. Knäuelförmig auf Gewässerböden. Larven in Krebsen und Insekten. Etwa 200 Arten (Wasserkalb)

Klasse Kinorhynchen *(Kynorhyncha)*
Äußerlich gegliederte Zwergformen des Meeresbodens von etwa 1 mm Körperlänge. Etwa 30 Arten *(Echinoderes)*

Klasse Kratzer *(Acanthocephala)*
Walzenförmige Darmparasiten bei Wirbeltieren. Zur Verankerung dient ein mit Widerhaken besetzter Rüssel. Entwicklung mit einfachem oder doppeltem Wirtswechsel. Etwa 250 Arten (Riesenkratzer)

Die nachfolgenden 5 Stämme werden als Gliedertiere *(Articulata)* zusammengefaßt. Der äußeren Gliederung entspricht eine ebensolche innere Gliederung des Coeloms, die aber nur bei den Ringelwürmern zeitlebens erhalten bleibt, sonst lediglich beim Embryo ausgebildet ist

Stamm Ringelwürmer *(Annelida)*

Im Meer und Süßwasser und auf dem Lande. Die Egel sind äußerlich stärker geringelt, als innen Segmente ausgebildet sind. Etwa 7000 Arten (Sandpier, Palolo, Tubifex, Regenwürmer, Enchytraeen, Blutegel, Pferdeegel)

Stamm Stummelfüßer *(Onychophora)*

Ringelwurmförmige Tropenbewohner der Südhalbkugel mit Merkmalen der Ringelwürmer und Gliederfüßer. Etwa 70 Arten *(Peripatus)*

Stamm Bärtierchen *(Tardigrada)*

Wasserbewohnende Zwergformen mit sehr widerstandsfähigen Dauerstadien. Einzige Urmündler, deren Coelom von Ausstülpungen des Urdarms gebildet wird. Etwa 200 Arten *(Macrobiotus)*

Stamm Zungenwürmer *(Pentastomida)*

Parasiten der Atemorgane fleischfressender Landwirbeltiere. Etwa 60 Arten (Nasenwurm)

Stamm Gliederfüßer *(Arthropoda)*

Körper mit einem gegliederten Chitinpanzer bedeckt und mit ebenfalls gegliederten Beinen

Unterstamm Dreilappkrebse *(Trilobita)*

Ausgestorbene Gliederfüßer des Erdaltertums (Kambrium bis Perm). Gleichmäßig segmentierte, längs und quer dreigeteilte Meerestiere ohne Mundwerkzeuge, mit 1 Paar Fühlern und Schreitbeinen. Etwa 3000 Arten

Unterstamm Fühlerlose *(Chelicerata)*

Ohne Fühler und Kiefer. 1 Paar Cheliceren als Mundwerkzeuge

Klasse Merostomen *(Merostomata)*
Kiemenatmende Wassertiere. Die ausgestorbenen Riesenkrebse *(Gigantostraca)* lebten mit etwa 200 Arten vom Silur bis zum Perm und waren mit fast 2 m Körperlänge die größten Gliederfüßer. Heute leben nur noch die Schwertschwänze *(Xiphosura)* an den Küsten des Atlantik und Pazifik. 5 Arten (Pfeilschwanzkrebs)

Klasse Spinnentiere *(Arachnida)*
Mit Fächertracheen atmende Landtiere. 4 Paar Laufbeine. Über 30000 Arten (Skorpione, Weberknechte, Spinnen, Milben)

Klasse Asselspinnen *(Pantopoda)*
Stark spezialisierte Meerestiere mit kräftigen langen Beinen. Etwa 500 Arten *(Pycnogonum)*

Unterstamm Krebstiere *(Crustacea)*

Mit 2 Paar Fühlern. Überwiegend Wassertiere. Etwa 26000 Arten (Wasserflöhe, Asseln, Flußkrebse, Wollhandkrabbe, Hummer, Seepocken)

Unterstamm Röhrenatmer *(Tracheata)*

Mit 1 Paar Fühlern. Überwiegend Landtiere

Klasse Vielfüßler *(Myriopoda)*
Mit mindestens 9 Beinpaaren. Etwa 5400 Arten (Steinkriecher, Erdläufer, Skolopender, Schnurfüßer)

Klasse Insekten *(Hexapoda)*
Mit 3 Beinpaaren an den Brustsegmenten. Oft mit 1 oder 2 Paar Flügeln am Brustrücken. Etwa 800000 Arten (Heuschrecken, Wanzen, Käfer, Hautflügler, Schmetterlinge, Fliegen, Flöhe)

Stamm Weichtiere *(Mollusca)*

Körper besteht aus Kopf und Eingeweidesack, der meistens durch harte Schalen oder Gehäuse aus Kalk geschützt wird

Klasse Wurmmollusken *(Solenogastres)*
Wurmförmig, ohne Schalen. Meerestiere. Etwa 150 Arten (*Chaetoderma)*

Klasse Käferschnecken *(Polyplacophora)*
Rücken mit 8 dachziegelartigen Platten. Meerestiere der Brandungszone. Etwa 1000 Arten *(Lepidochiton)*

Klasse Urschnecken *(Monoplacophora)*
Napfschneckenähnliche Tiefseebewohner mit innerer Segmentierung. Bisher 2 Arten entdeckt *(Neopilina)*

Klasse Schnecken *(Gastropoda)*
Meist mit spiralig gewundenem, verschieden geformtem Gehäuse. Im Meer und Süßwasser und auf dem Lande. Etwa 95000 Arten (Leberegelschnecken, Posthornschnecken, Schlammschnecken, Schnirkelschnecken, Weinbergschnecke)

Klasse Röhrenschaler *(Scaphopoda)*
Mit leicht gebogener, beiderseits offener Schalenröhre. Graben im Meeresboden. Etwa 300 Arten *(Dentalium)*

Klasse Muscheln *(Bivalvia)*
Wassertiere mit zweiklappiger Schale. Etwa 20000 Arten (Malermuschel, Flußperlmuschel, Miesmuschel, Auster)

Klasse Kopffüßer *(Cephalopoda)*
Meist ohne äußere Schale (Rückenschulp). Meerestiere mit 8 oder 10 Fangarmen am Kopf. Etwa 600 Arten (Schiffsboot, Tintenfisch, Kalmar, Krake, Papierboot, ausgestorbene Ammoniten und Belemniten)

Gruppe Urcoelomaten *(Archicoelomata)*

In dieser Gruppe werden einige kleinere Tierstämme zusammengefaßt, die zwar Bauchmarktiere sind, deren Urmundrest aber nicht zum bleibenden Mund wird. Während der Embryonalentwicklung werden nur 3 hintereinander liegende Coelomhöhlen ausgebildet

Stamm Stachelhäuter *(Echinodermata)*

Sekundär fünfstrahlig-symmetrische Meerestiere. Die in der Haut eingelagerten Kalkplatten tragen oft Stacheln u. dgl.

Klasse Haarsterne *(Crinoidea)*
Körper kelchförmig, mit 5 (oft gegabelten) dünnen Armen. An einem Stiel festsitzend oder frei schwimmend. Etwa 600 Arten *(Antedon)*

Klasse Seesterne *(Asteroidea)*
Körper sternförmig. Etwa 1100 Arten (Gemeiner Seestern, Seesonne)

Klasse Schlangensterne *(Ophiuroidea)*
Körper scheibenförmig, mit 5 dünnen Armen. Kriechen auf dem Meeresboden. Etwa 1500 Arten *(Ophiura)*

Klasse Seeigel *(Echinoidea)*
Körper kugelig, meist bestachelt. Etwa 700 Arten (Strandigel, eßbarer Seeigel)

Klasse Seewalzen *(Holothurioidea)*
Körper dick wurmförmig. Etwa 600 Arten *(Thyone, Leptosynapta)*

Gruppe Neumündler – Rückenmarktiere *(Deuterostomia)*

Ungefähr an der Stelle des Urmundrestes der Gastrula entsteht später der After. Der bleibende Mund wird völlig neu gebildet. Das Zentralnervensystem entsteht an der Rückenseite. Die Coelomhöhlen der Leibeshöhlenauskleidung entstehen als segmentale Ausstülpungen des Urdarmes

Stamm Chordatiere *(Chordata)*

Mit einem inneren, zentralen Achsenskelett, das wenigstens aus einer elastischen Rückensaite (Chorda) besteht

Unterstamm Manteltiere *(Tunicata)*

Festsitzende oder frei schwimmende, einzeln lebende oder koloniebildende Meerestiere, die meist nur als Larve eine Chorda besitzen. Etwa 100000 Arten (Seescheiden, Feuerwalzen)

Unterstamm Schädellose *(Acrania)*

Die Chorda durchzieht zeitlebens den ganzen Körper. Schädel, Kiefer und Wirbel fehlen. Einzige Art: Lanzettierchen

Unterstamm Wirbeltiere *(Vertebrata)*

Mit knorpeligen oder knöchernen Wirbelbildungen im Bereich der Chorda

Klasse Kieferlose *(Agnatha)*
Chorda mit einfachen knorpeligen Spangen. Einfacher knorpeliger Spangenschädel ohne Kiefer. Etwa 90 Arten (Neunaugen)

Klasse Knorpelfische *(Chondrichthyes)*
Mit Wirbelsäule, Schädel und Kiefer, die zeitlebens knorpelig bleiben. Etwa 180 Arten (Haie und Rochen)

Klasse Knochenfische *(Osteichthyes)*
Skelett knöchern, kann aber mitunter sekundär wieder knorpelig werden. Etwa 38000 Arten (Quastenflosser, Lungenfische, Störe, Aale, Karpfen, Hechte, Welse, Plattfische)

Klasse Lurche *(Amphibia)*
Vierfüßige Landtiere mit feuchter, drüsenreicher Haut. Entwicklung im Wasser (Metamorphose). Etwa 1700 Arten (Salamander, Molche, Frösche, Kröten, Unken)

Klasse Kriechtiere *(Reptilia)*
Vierfüßige Landtiere mit trockener, verhornter Haut. Etwa 8000 Arten (Schildkröten, Krokodile, Echsen, Schlangen; ausgestorben: Flugsaurier, Fischsaurier, Riesensaurier)

Klasse Vögel *(Aves)*
Gleichwarme Land- und Lufttiere, deren Haut Federn trägt. Vordergliedmaßen bilden stets Flügel. Etwa 10000 Arten (Singvögel, Tauben, Enten, Hühner, Raubvögel, Pinguine, Strauße; ausgestorben: Urvogel)

Klasse Säugetiere *(Mammalia)*
Vierfüßige, gleichwarme Landtiere, deren Haut Haare trägt. Junge entwickeln sich meist im Mutterkörper (lebendgebärend). Etwa 6000 Arten (Beuteltiere, Insektenfresser, Herrentiere, Nagetiere, Raubtiere, Paarhufer, Rüsseltiere)

Zur Geschichte der Entwicklungslehre

Die Geschichte der Entwicklungslehre läßt sich bis zu den ältesten Überlieferungen der menschlichen Gesellschaft zurückverfolgen. Zahlreiche Sagen vieler Völker und der Schöpfungsbericht der Bibel zeigen, daß die Menschen in früheren Zeiten an eine übernatürliche Entstehung der Lebewesen glaubten. Nach ihren Vorstellungen schufen bestimmte Götter oder ein einzelner Schöpfer die ersten Pflanzen, Tiere und Menschen, die sich von da an nur fortgepflanzt, jedoch nicht mehr wesentlich verändert haben sollen. Unter dem Einfluß der christlichen Kirche haben sich derartige Schöpfungslehren bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts behauptet. Sie wurden erst mit dem Durchbruch der DARWINschen Theorie von der natürlichen Entwicklung der Organismen endgültig wissenschaftlich widerlegt.

Der Entwicklungsgedanke ist schon vor DARWIN wiederholt ausgesprochen worden. Die Voraussetzung dafür bildete der allgemeine Fortschritt in der menschlichen Gesellschaft, der eine starke Entwicklung der Naturwissenschaften und damit eine zunehmende Kenntnis der Lebewesen mit sich brachte.

Der griechische Philosoph ARISTOTELES (384 bis 322 v. u. Z.) beschrieb rund 500 verschiedene Tiere und suchte sie nach bestimmten Merkmalen zu gruppieren. Die Ursache für den unterschiedlichen und den Lebensbedingungen angepaßten Körperbau der Tiere sah er in besonderen formbildenden Kräften. In ähnlicher Weise führte der griechische Arzt GALEN (129 bis 199 v. u. Z.), der zu den letzten bedeutenden Naturforschern des Altertums zählt, die zweckmäßig erscheinenden Einrichtungen der Organismen auf das Wirken einer „Seele" zurück.

GALEN hat zahlreiche Tiere zergliedert und ihren Bau beschrieben. Durch Experimente an lebenden Tieren suchte er seine Kenntnisse von den Funktionen der Organe zu erweitern.

Im Mittelalter wurden die Schriften der Gelehrten des Altertums wieder bekannt und eifrig studiert. Zu dieser Zeit beeinflußte in den feudalistischen Staaten die Kirche als ein bedeutender Machtfaktor den Lehrbetrieb an Universitäten und Schulen. Da sich die Anschauungen von ARISTOTELES und GALEN besonders leicht den kirchlichen Glaubenssätzen anpassen ließen, durften nur sie gelehrt werden. Damit wurden die griechischen Gelehrten zu Autoritäten erhoben. Wer auf Grund eigener Beobachtungen und Untersuchungen an ihren Erkenntnissen zweifelte, galt als Ketzer.

Erst mit der Renaissance begannen sich diese Verhältnisse allmählich zu verändern. Durch den sich ausbreitenden Handel und durch die ersten großen Entdeckungsreisen wurden zahlreiche neue Pflanzen und Tiere bekannt.

Gleichzeitig ermöglichte die Erfindung der Buchdruckerkunst eine weitgehende Verbreitung des Wissens. Mehr und mehr

gingen die Gelehrten dazu über, die Ergebnisse ihrer eigenen Beobachtungen darzustellen. So entstanden im 16. Jahrhundert die großen Kräuter- und Tierbücher, die anfangs zwar noch Fabelwesen enthielten, aber doch schon viele naturgetreue Abbildungen und Beschreibungen von Tieren und Pflanzen brachten.

Die Loslösung vom Autoritätsglauben und von den kirchlichen Dogmen vollzog sich unter erheblichen Kämpfen. Das zeigt sich besonders deutlich in der Erforschung der menschlichen Anatomie. Hier wirkte ANDREAS VESAL (1514 bis 1564) bahnbrechend, der zahlreiche Irrtümer GALENS richtigstellte. GALEN hatte nur Tiere, aber nie Menschen anatomisch untersucht.

VESAL dagegen sezierte menschliche Leichen und begründete in seinen „Sieben Büchern vom Bau des menschlichen Körpers" (1543) die Methoden der modernen anatomischen Wissenschaften. Dieses Werk wurde von den Anhängern GALENS und von den Vertretern der Kirche scharf bekämpft.

VESAL wurde angegriffen, weil er zum Beispiel bestritt, daß dem Mann eine Rippe fehle, oder weil er das Schenkelbein des Menschen als gerade bezeichnete und nicht als krumm wie GALEN. Sein Studiengefährte MIGUEL SERVETO (1511 bis 1553), ein spanischer Mediziner, der schon den kleinen Blutkreislauf kannte, wurde auf Veranlassung des Reformators CALVIN als Ketzer in Genf verbrannt.

Der Einfluß der aristotelischen Lehren blieb noch lange Zeit bestehen. Der Engländer WILLIAM HARVEY (1578 bis 1657), der den Blutkreislauf entdeckte, glaubte noch wie ARISTOTELES, daß zumindest nieder organisierte Tiere , wie zum Beispiel Würmer, durch „Urzeugung" aus unbelebter Materie entstünden. Diese weitverbreitete Lehre wurde zum ersten Male durch den italienischen Arzt FRANCESCO REDI (1628 bis 1697) experimentell widerlegt.

REDI legte zwei Fleischstücke aus; von denen das eine durch ein Netz geschützt war, während das andere unbedeckt blieb. Da sich nur in dem unbedeckten Stück Fliegenmaden entwickelten, war nachgewiesen, daß die Fliegen nicht durch „Urzeugung" aus faulendem Fleisch entstehen, sondern sich aus Eiern entwickeln.

Von großer Bedeutung für die biologische Forschung wurde die Erfindung des Mikroskops um 1600. Besonders berühmt war der Holländer ANTON VAN LEEUWENHOEK (1632 bis 1723), der mit großem Geschick selbst Mikroskope baute und Linsen schliff. LEEUWENHOEK beobachtete mit seinen Instrumenten bereits Infusorien (Aufgußtierchen) und Bakterien. Nachdem ihn ein Student auf die „Samentierchen" (Spermien) des Menschen aufmerksam gemacht hatte, wies er Spermien auch bei Fröschen, Fischen, Vögeln und Säugetieren nach. LEEUWENHOEK vermutete, daß diese „Samentierchen" schon Teile des fertigen Lebewesens enthielten. Andere Gelehrte gingen wesentlich weiter und glaubten, in den Spermien bereits fertig ausgebildete Miniaturlebewesen zu sehen. Nach ihrer Meinung sollte die Embryonalentwicklung nur im Wachstum dieser vorgebildeten Keime bestehen. In Anlehnung an die Schöpfungslehre wurde angenommen, daß bei der Erschaffung der ersten Lebewesen alle künftigen Lebewesen in Form solcher Kleinlebewesen mit erschaffen worden seien. Man dachte sich die einzelnen Generationen ineinandergeschachtelt (Präformationslehre = Einschachtelungslehre) und glaubte, daß sie im Laufe der Zeit lediglich „ausgewickelt" würden.

Auch der Holländer JAN SWAMMERDAM (1637 bis 1680) vertrat die Anschauung, daß sich die Tiere durch Entfaltung schon von Anbeginn an vorhandener Teile entwickeln.

SWAMMERDAM kam zu dieser Überzeugung durch seine Untersuchungen über die Entwicklung der

Insekten, bei deren Larven und Puppen er schon eine komplizierte Organisation feststellen konnte. Mit feinen selbstgebauten Instrumenten hatte er meisterhaft die inneren Organe vieler wirbelloser Tiere herauspräpariert und außerordentlich sorgfältig abgebildet.

Die verschiedenen Einschachtelungslehren oder Präformationstheorien (präformiert = vorgebildet) spielten noch in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts eine maßgebliche Rolle. Der erste, der ihnen entschieden entgegentrat, war der deutsche Arzt und Anatom CASPAR FRIEDRICH WOLFF (1734 bis 1794, s. Abb. 56). Er bewies, daß die Teile einer Pflanze oder die Teile eines Tieres erst im Laufe ihrer Entwicklung gebildet werden, also nicht von Anfang an vorhanden sind.

Dabei stützte sich WOLFF auf zahlreiche mikroskopische Beobachtungen an Pflanzen und an Hühnerembryonen (Abb. 57). Seine Lehre konnte sich jedoch gegen die herrschenden Vorstellungen zunächst nicht durchsetzen.

Abb. 56 Caspar Friedrich Wolff

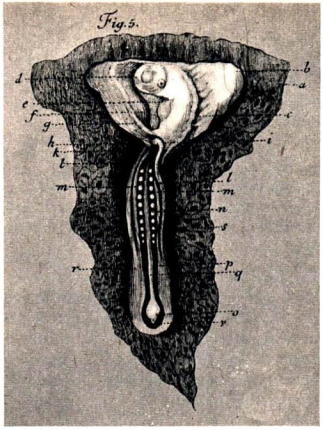


Abb. 57 Hühnerembryo (nach 54stündiger Bebrütung). Zeichnung von Caspar Friedrich Wolff aus seiner Arbeit „Über die Bildung des Darmkanals beim bebrüteten Hühnchen" (1768 bis 1769)

Obwohl WOLFF einige Jahre hindurch mit großem Erfolg in Berlin Privatvorlesungen abgehalten hatte, blieb ihm infolge der Mißgunst maßgebender Berliner Professoren ein Lehrstuhl versagt. Ab 1767 arbeitete er als Anatom für die Russische Akademie der Wissenschaften in Petersburg. Seine bedeutsamen Arbeiten wurden erst wieder entdeckt und berühmt, als er längst tot war.

Aus unveröffentlichten Schriften, die in seinem Nachlaß gefunden wurden, geht hervor, daß WOLFF sich auch mit Fragen der Vererbung und Veränderlichkeit der Lebewesen beschäftigt hat und von der Möglichkeit des Entstehens neuer Arten und Gattungen durch allmähliche Umbildung bestehender Formen überzeugt war.

Um mit der Fülle des inzwischen von den Naturforschern zusammengetragenen Materials arbeiten zu können, war das genaue Beschreiben und Einordnen der Formen nötig geworden. Die Systematik der Lebewesen spielte in der Biologie im 17. und 18. Jahr-

hundert die Hauptrolle. Ihr hervorragendster Vertreter war der schwedische Naturforscher CARL VON LINNÉ (1707 bis 1778, Abb. 58). Er schuf das beste der sogenannten künstlichen Systeme.

In seinem „Natursystem" teilte er die Pflanzen nach den Fortpflanzungsorganen ein. Während das Pflanzenreich nach seiner Einteilung 24 Klassen umfaßt, gliederte LINNÉ das Tierreich in 6 Klassen (Vierfüßer, Vögel, Amphibien, Fische, Insekten, Würmer).

Die Einführung zweier lateinischer Namen (Gattungs- und Artnamen) zur Bezeichnung der einzelnen Tier- und Pflanzenarten bedeutete die eindeutige und übersichtliche Kennzeichnung der Arten, ermöglichte eine bessere Verständigung und förderte die biologische Wissenschaft.

LINNÉs Ansicht über die Entstehung der Organismen deckt sich im wesentlichen mit der Schöpfungslehre. Er war zunächst davon überzeugt, daß es nur so viele Arten geben könne, wie der Schöpfer am Anfang geschaffen habe. Später hat LINNÉ die Möglichkeit einer Umbildung der Arten in gewissen Grenzen zugegeben.

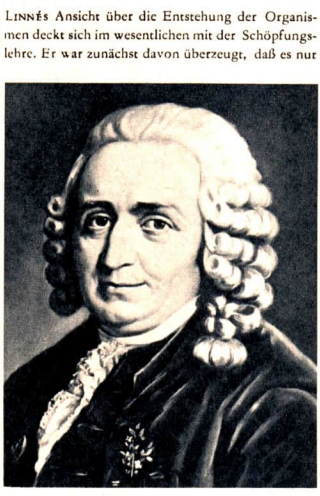


Abb. 58 Carl von Linné

Die Wirkung, die von LINNÉs Schriften ausging, war außerordentlich groß. Auf die Dauer konnte jedoch seine Art der Naturbetrachtung nicht mehr genügen. Die Ergebnisse der vergleichenden Anatomie, die Beschäftigung mit den Versteinerungen, die Erfolge der Züchter und neue Beobachtungen an lebenden Pflanzen und Tieren erschütterten den Glauben an die Beständigkeit der Arten immer mehr. Bewußt und öffentlich begannen schon im 18. Jahrhundert einzelne Naturforscher den Entwicklungsgedanken auszusprechen.

Der französische Gelehrte BUFFON (1707 bis 1788) strebte in seinem berühmten Werk „Allgemeine Naturgeschichte" und in anderen Schriften eine allseitige Betrachtung der Natur an. Ausführlich behandelt er die Veränderlichkeit der Organismen, die nach seiner Meinung ihre Ursache in wechselnden Umweltbedingungen hat. Nach BUFFON ist auch der Mensch solchen Veränderungen unterworfen gewesen. Die Entstehung der verschiedenen Menschenrassen erklärt er durch unterschiedliche Einwirkungen des Klimas, der Nahrung und der Sitten.

BUFFON war der Überzeugung, daß sich die bekannten Arten auf eine kleine Anzahl von Familien oder Hauptstämmen zurückführen lassen, aus denen möglicherweise alle anderen entsprungen sind. Die Versteinerungen sah er als Reste ausgestorbener Lebewesen an. Infolge seiner freisinnigen Anschauungen wurde BUFFON von der Pariser Theologischen Fakultät angegriffen. Daraufhin gab er eine Erklärung ab, in der es heißt, daß es ihm niemals in den Sinn gekommen sei, dem Text der Bibel zu widersprechen, und daß er an die göttliche Schöpfung zuversichtlich glaube.

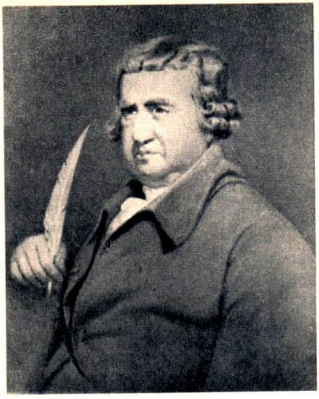


Abb. 59 Erasmus Darwin

Der englische Arzt und Naturforscher ERASMUS DARWIN (1731 bis 1802, Abb. 59) ist der Großvater von CHARLES DARWIN. Er war besonders durch seine botanischen Lehrgedichte berühmt. In seinen Büchern weist er darauf hin, daß die Lebewesen veränderlich sind. Als Beweise dafür führt er eine Reihe von rückgebildeten Organen an, zum Beispiel die Flügelreste der Zweiflügler sowie Staubfäden ohne Staubbeutel. Auch die vielen neuen Tier- und Pflanzenformen, die der Mensch im Laufe der Zeit gezüchtet hat, nimmt er als Beweis für die Veränderlichkeit und Beeinflußbarkeit der Organismen an. Die Ursachen der Entwicklung sah er in den verschiedenen Bedürfnissen der Lebewesen. So habe das Bedürfnis nach Nahrung bestimmte Organe der jeweiligen Ernährungsweise angepaßt (Nase des Schweins, Rüssel des Elefanten, Vogelschnäbel). Weiteren Bedürfnissen entsprächen die Hörner und Geweihe, die Gliedmaßen, Flügel, Schalen und andere Teile. Eigenschaften, die Pflanzen und Tiere im Laufe des Lebens erworben haben, können unter bestimmten Bedingungen bei den Nachkommen wieder auftreten, also vererbt werden. Eine ganze Reihe der von ERASMUS DARWIN angeführten Beweise wurde später auch von LAMARCK und von CHARLES DARWIN verwendet.

Die Entwicklungslehre Lamarcks

JEAN-BAPTISTE LAMARCK (1744 bis 1829, Abb. 60) unternahm den Versuch, eine umfassende Lehre von der Entwicklung der Organismen zu begründen.

LAMARCK wurde erstmalig bekannt durch sein dreibändiges Werk „Flora von Frankreich". Darin wendete er eine neue Methode der Pflanzenbestimmung an, die auf der Gegenüberstellung bestimmter Merkmale beruht. Diese Methode ist noch heute in allen biologischen Bestimmungsbüchern üblich.

Während der Französischen Bürgerlichen Revolution, der LAMARCK positiv gegenüberstand, setzte er sich tatkräftig für die Errichtung eines großen naturwissenschaftlichen Institutes ein, das unter Mithilfe anderer Gelehrter als „Naturhistorisches Museum" 1793 verwirklicht wurde. An diesem Institut wurden zunächst zwei, dann drei Zoologieprofessuren errichtet, die aber nicht gleich besetzt werden konnten. Doch der Enthusiasmus der Zeit kannte keine Hindernisse. Der Student ETIENNE GEOFFROY SAINT-HILAIRE (1772 bis 1844) übernahm mit 21 Jahren als Professor die Bearbeitung der Wirbeltiere, während LAMARCK Professor für Insekten, Würmer und Kleinlebewesen wurde.

Mit großen Fleiß arbeitete sich LAMARCK in das ihm bis dahin völlig fremde Gebiet ein. Er stellte den „Wirbeltieren" die „wirbellosen Tiere" gegenüber und teilte diese im Laufe der Zeit in zehn Klassen ein. Durch die jahrelange Beschäftigung mit dem Sammlungsmaterial des Museums geriet er in immer größere Zweifel über die Beständigkeit der Arten.

Nach verschiedenen Vorarbeiten veröffentlichte LAMARCK 1809 ein zweibändiges Werk „Zoologische Philosophie", das die Grundgedanken seiner Entwicklungslehre enthält (Abb. 61).

LAMARCK geht einmal von den mehr oder weniger großen Übereinstimmungen aus, die sich bei einem Vergleich der Organe verschiedener Tiere finden lassen und auf eine Verwandtschaft hindeuten. Außerdem sagt er, daß die Arten nur zeitweilig beständig sind. Die Pflanzen- und Tierzucht der Menschen zeigt die Möglichkeit ihrer Veränderung. LAMARCK nahm an, daß die ersten Lebewesen auf der Erde durch Urzeugung entstanden seien. Durch Veränderung der Lebensbedingungen entwickelten sich aus einfachsten Formen im Laufe langer Zeiträume immer kompliziertere Organismen. Die Ursachen dieser Entwicklung bestehen nach seiner Meinung in den veränderten Bedürfnissen, die durch die Änderung der Lebensbedingungen ent-

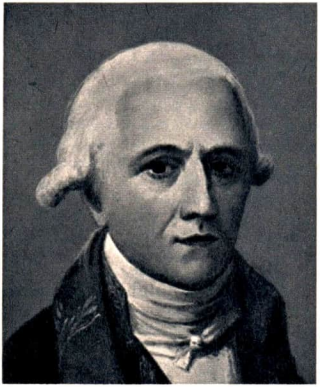
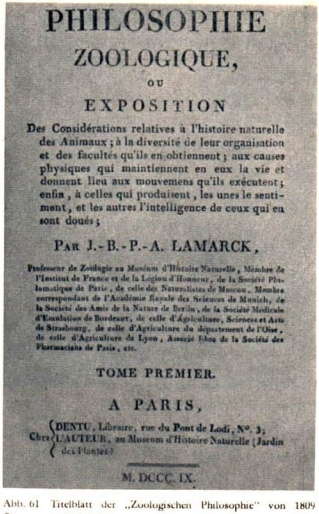


Abb. 60 Jean-Baptiste Lamarck



PHILOSOPHIE
ZOOLOGIQUE,
OU
EXPOSITION
Des Considérations relatives à l'histoire naturelle des Animaux ; à la diversité de leur organisation et des facultés qu'ils en obtiennent ; aux causes physiques qui maintiennent en eux la vie et donnent lieu aux mouvemens qu'ils exécutent ; enfin, à celles qui produisent, les unes le sentiment, et les autres l'intelligence de ceux qui en sont doués ;
PAR J.-B.-P.-A. LAMARCK,
Professeur de Zoologie au Muséum d'Histoire Naturelle, Membre de l'Institut de France et de la Légion d'Honneur, de la Société Philomatique de Paris, de celle des Naturalistes de Moscou, Membre correspondant de l'Académie Royale des Sciences de Munich, de la Société des Amis de la Nature de Berlin, de la Société Médicale d'Emulation de Bordeaux, de celle d'Agriculture, Sciences et Arts de Strasbourg, de celle d'Agriculture du département de l'Oise, de celle d'Agriculture de Lyon, Associé libre de la Société des Pharmaciens de Paris, etc.
TOME PREMIER.
A PARIS,
DENTU, Libraire, rue du Pont de Lodi, N°. 3;
Chez L'AUTEUR, au Muséum d'Histoire Naturelle (Jardin des Plantes)
M. DCCC. IX.

Abb. 61 Titelblatt der „Zoologischen Philosophie" von 1809

Übersetzung des Titelblattes:

Zoologische Philosophie
oder
Darlegung

der Betrachtungen über die Naturgeschichte der Tiere; bezüglich der Verschiedenheit ihrer Organisation und der Fähigkeiten, die sie dadurch erlangen; über die physischen Ursachen, die in ihnen das Leben erhalten und die Bewegungen, die sie ausführen, bewirken; schließlich diejenigen, die einerseits das Empfindungsvermögen und andererseits die Intelligenz derjenigen Tiere erzeugen, die damit begabt sind;

von J.-B.-P.-A. Lamarck,

Professor der Zoologie am Naturhistorischen Museum, Mitglied des Instituts von Frankreich und der Ehrenlegion, des Wissenschaftlichen Vereins von Paris, der Gesellschaft der Naturforscher von Moskau, korrespondierendes Mitglied der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu München, der Gesellschaft der Naturfreunde zu Berlin; der Wetteifernden Medizinischen Gesellschaft zu Bordeaux, der Gesellschaft für Agrikultur, Wissenschaften und Künste zu Straßburg, der Gesellschaft für Agrikultur des Departements Oise, der Gesellschaft für Agrikultur zu Lyon, freies Mitglied der Gesellschaft der Apotheker zu Paris usw.

Erster Teil

Paris

bei Dentu, Buchhändler, Straße der Brücke von Lodi, Nr. 3
dem Autor, am Naturhistorischen Museum (Pflanzengarten)

stehen. Durch solche neuen Bedürfnisse werden Organe verändert oder neue gebildet. Durch die Ruderbewegungen der Wasservögel haben sich beispielsweise allmählich zwischen ihren Zehen Schwimmhäute gebildet, während sich bei den anderen Vögeln die Zehen dem Leben auf Bäumen anpaßten. Die Giraffen haben einen langen Hals und längere Vorderbeine, weil ihre Vorfahren sich anstrengen mußten, um das Laub von höheren Bäumen abfressen zu können.

Während viel benutzte Organe sich vergrößern, werden wenig gebrauchte allmählich rückgebildet. Die im Laufe des Lebens erworbenen Eigenschaften können unter bestimmten Bedingungen vererbt werden. LAMARCKs Lehre weist viele Schwächen auf. Trotzdem hat sie große Bedeutung, denn LAMARCK hat zum erstenmal in wissenschaftlicher Form Tatsachen gesammelt und kritisch verarbeitet, die auf eine Entwicklung der Lebewesen im Verlaufe der Erdgeschichte schließen lassen. Aus verschiedenen Ursachen vermochte sich seine Entwicklungslehre jedoch nicht durchzusetzen. Einer der einflußreichsten Gegner LAMARCKs war der berühmte Naturforscher CUVIER (1769 bis 1832, Abb. 62). CUVIER hat sich große Verdienste um die vergleichende Anatomie erworben und die wissenschaftliche Paläontologie begründet.

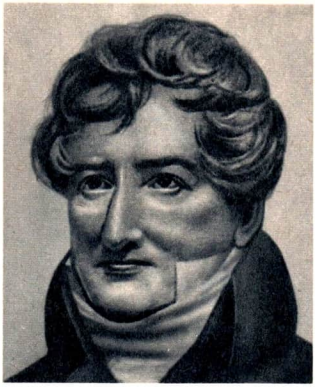


Abb. 62 Georges Cuvier

Er hielt aber im wesentlichen an der Auffassung von der Beständigkeit der Arten fest. Die Veränderungen der Organismenwelt in den verschiedenen geologischen Schichten erklärte CUVIER durch große Katastrophen, die von Zeit zu Zeit die Lebewesen vernichtet hätten (Katastrophentheorie). Danach sei eine Neubesiedlung aus verschont gebliebenen Gebieten erfolgt, ohne daß es dazu unbedingt einer Neuschöpfung bedurft hätte.

Charles Darwin und seine Lehre

Darwins Jugend und seine Weltreise

CHARLES ROBERT DARWIN (Abb. 63) wurde am 12. Februar 1809 als Sohn eines Arztes in Shrewsbury (Westengland) geboren. Er besuchte eine Schule, in der vorwiegend klassische Sprachen (Griechisch, Lateinisch) gelehrt wurden. Diese Ausbildung entsprach wenig seinen Neigungen. Seine ganze Liebe gehörte dem Sammeln von Mineralien, Pflanzen, Muscheln, Insekten und anderen Dingen, außerdem ging er gern zur Jagd und galt als guter Schütze. Als er sechzehn Jahre alt war, schickte ihn sein Vater zum Studium der Medizin nach Edinburgh. An der Medizin fand er jedoch keinen Gefallen, er sammelte in dieser Zeit viel lieber Käfer. Unter Anleitung eines älteren

Abb. 63 Charles Darwin (1849)

Zoologen begann er sich auch für Seetiere zu interessieren und machte einige kleinere zoologische Entdeckungen.

Nach zwei Jahren brach DARWIN das Medizinstudium endgültig ab, um auf Anraten des Vaters Geistlicher zu werden. Vom Jahre 1828 an studierte er deshalb im Cambridge Theologie. Dort befreundete er sich mit dem Botaniker HENSLOW (1769 bis 1861), der ihn zu naturwissenschaftlichen Beobachtungen anregte. Mit großer Begeisterung las er die Reisebeschreibungen von ALEXANDER VON HUMBOLDT (1769 bis 1859) und träumte davon, selbst einmal eine solche Reise in ferne Länder zu unternehmen.

Dieser Wunsch ging unerwartet rasch in Erfüllung. Im Jahre 1831 rüstete die britische Admiralität ein Schiff zu einer Weltumseglung aus, um an verschiedenen Stellen der Erde Vermessungen durchführen zu lassen. DARWIN nahm als Naturwissenschaftler an dieser Expedition teil.

Ende Dezember 1831 ging das Schiff, die dreimastige Brigg „Beagle" (Spürhund, Abb. 64), vom englischen Hafen Plymouth aus in See (Abb. 65 und hintere innere Umschlagseite). Die Reise dauerte fünf Jahre.

Damit begann für DARWIN ein völlig neues Leben. Durch gründliches Studium der mitgenommenen Bücher erweiterten sich seine Kenntnisse bald beträchtlich.

Besonders eingehend beschäftigte er sich in dieser Zeit mit einem Werk des englischen Geologen CHARLES LYELL (1797 bis 1875).

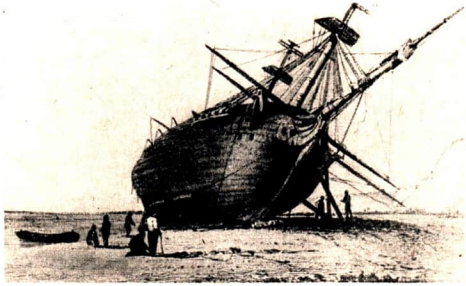


Abb. 64 Die „Beagle" Abbildung des Schiffes in der Mündung des Santa Cruz; von einem Zeichner, der an der Reise teilnahm.

Dieser Forscher lehrte, daß dieselben Kräfte, die auch heute noch allmählich die Erdoberfläche verändern (Wind, Wasser, Vulkantätigkeit), immer wirksam gewesen sind und im Laufe der Zeit langsam große Veränderungen hervorgebracht haben. Bis dahin hatte man als Ursache für die Veränderung der Erdoberfläche gewaltige Katastrophen angenommen. Auf der Reise konnte DARWIN an einigen Stellen der südamerikanischen Küste beobachten, daß diese sich allmählich gehoben haben mußte. Er fand nämlich in der Erde der jetzt weit über dem Meere liegenden Teile der Küste zahlreiche Meeresmuscheln. Diese Beobachtung bestätigte die Theorie von LYELL. Während der Kreuzfahrten des Schiffes in den südamerikanischen Gewässern fand DARWIN genügend Zeit zu größeren Landausflügen. Dabei legte er umfangreiche Sammlungen von Gesteinen, Pflanzen und Tieren an. Gleichzeitig füllten sich seine Notizbücher mit Aufzeichnungen aller Art. In der Nähe der Küste bei Bahia Blanca (Argentinien) grub DARWIN die Skelette einer Reihe von ausgestorbenen Säugetieren aus. Sie waren in Kies und Schlamm eingebettet. Die Tiere hatten offenbar auf den baumlosen Ebenen (Pampas) gelebt, die dort bis ans Meer reichen. Es waren Riesenfaultiere darunter, die viel größer waren als ihre heute noch lebenden Verwandten. Durch solche und andere Funde wurde DARWIN angeregt, über die Veränderungen in der Tierwelt des südamerikanischen Festlandes nachzudenken. Als er ein ausgestorbenes Sumpfsäugetier von der Größe eines Kamels ausgegraben hatte, fand er Ähnlichkeiten mit den heute lebenden Lama-Arten Südamerikas. DARWIN fragte sich nach der Ursache des Erscheinens und Aussterbens von Lebewesen auf der Erde.

Noch bedeutsamer war in dieser Hinsicht der Aufenthalt auf den Galápagos-Inseln

Abb. 65 Darwins Reise um Südamerika **1832**

1 20. 2.: Insel Fernando Noronha

2 29. 2.: Bahia (Brasilien)

3 4. 4. bis 5. 7.: Rio de Janeiro

4 26. 7. bis 21. 8.: Montevideo

5 22. 8. bis 27. 11.: Vermessungsfahrten in der Mündung des La Plata und südlich davon; Abfahrt von Montevideo nach Süden

6 18. 12. bis 20. 12.: Tierra del Fuego (Feuerland)

7 24. 12.: Kap Hoorn
25. 12. bis 29. 12.: Auf Feuerland; nahe Kap Hoorn
30. 12. 1832 bis 15. 1. 1833: Auf See bzw. wegen stürmischen Wetters vor Anker **1833**

8 16. 1. bis 11. 2.: Beagle-Kanal und auf Feuerland

9 1. 3.: Berkeley-Sound (östlich Falkland-Insel)

10 24. 7.: Abfahrt von Maldonado

11 3. 8.: Mündung des Rio Negro
August bis November: Expedition über Bahia Blanca–Buenos Aires–Santa Fe nach Montevideo **1834**

12 9. 1.: Port St. Julian

13 16. 3. bis 2. 4.: Aufenthalt in Berkeley-Sound

14 13. 4.: Santa-Cruz-Mündung
April bis Mai: Erforschung des Santa Cruz in Booten

15 23. 7. bis 10. 11.: Valparaiso, Exkursion in die Anden

16 21. 11. 1834 bis 4. 1. 1835: Insel Chiloé, Insel Lemuy, Chonos-Archipel **1835**

17 8. 2.: Valdivia (Chile)

18 4. 3.: Concepcion (Chile)

19 11. 3. bis 1. 7.: Valparaiso, Überquerung der Kordilleren, Copiapó

20 12. 7.: Iquique (Chile)

21 19. 7.: Callao (Hafen von Lima, Peru)

22 15. 9. bis 20. 10.: Galápagos-Archipel

(Schildkröten-Inseln), die westlich Südamerikas im Stillen Ozean auf der Höhe von Ekuador liegen. Diese Inselgruppe ist durch die Tätigkeit von Vulkanen entstanden; auf ihr befinden sich heute über zweitausend erloschene.

DARWIN sah hier viele Pflanzen und Tiere, die ihm bis dahin unbekannt waren, weil sie nur dort vorkommen. Da die Inseln nie mit dem Festland verbunden waren, müssen sich diese Pflanzen und Tiere also an Ort und Stelle aus zugewanderten Formen entwickelt haben (s. S. 30 ff.).

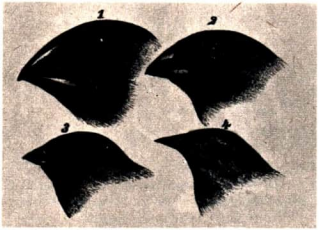


Abb. 66 Grundfinkenarten (Darwinfinken) mit verschieden geformten Schnäbeln von den Galápagos-Inseln

Ein Beispiel dafür sind die Grundfinkenarten (Abb. 66). Sie können nur von einer Finkenart Amerikas abstammen. Auf den abgelegenen Inseln haben sich im Laufe der Zeit daraus ganz verschiedene Formen entwickelt. Einige ernähren sich von Samen, andere von Insekten, einige von Laub und Knospen. Dieser Ernährungsweise sind die Schnäbel angepaßt. Es gibt Grundfinken, die einen Schnabel haben, der so groß ist wie der eines Kernbeißers, andere, deren Schnäbel dem eines Buchfinken gleichen. Zwischen den größten und den kleinsten Schnäbeln, die vorkommen, gibt es alle möglichen Zwischenformen. Es sah so aus, berichtet DARWIN, als ob eine einzige Art zu verschiedenen Zwecken verändert worden wäre.

Die Auswertung der Reise

Nach der Rückkehr wurde sofort mit der Sichtung und Auswertung der großen Sammlungen sowie der Aufzeichnungen begonnen, die DARWIN von seiner Reise mitgebracht hatte. Die Bearbeitung der geologischen Ergebnisse übernahm er selbst, die Bestimmung der zahlreichen mitgebrachten Pflanzen und Tiere mußten namhafte Spezialisten durchführen. Im Jahre 1837 zog er nach London und lernte dort eine Reihe bekannter Wissenschaftler, darunter CHARLES LYELL, persönlich kennen. Jetzt erst zeigte sich, wie groß und vielfältig die Ergebnisse der Reise waren. Ihre Erschließung erforderte jahrelange anstrengende und mühsame Arbeit.

DARWIN veröffentlichte in den folgenden Jahren eine Reihe von wissenschaftlichen Arbeiten. Die deutsche Ausgabe seines Tagebuches „Reise eines Naturforschers um die Erde" (1843) machte zum ersten Male seinen Namen auch außerhalb Englands bekannt.

Da DARWIN infolge seines schlechten Gesundheitszustandes viel Ruhe brauchte, bezog er 1842 mit seiner Frau ein Landhaus (Abb. 67) im Dorfe Down (Grafschaft Kent). Trotz der Unterbrechungen durch häufige Krankheitsfälle war er, abgesehen von einigen kleineren Reisen, dort sein ganzes Leben hindurch unermüdlich als Naturforscher tätig. Zeugnis davon geben die vielen wissenschaftlichen Arbeiten sowohl über Pflanzen und Tiere als auch über geologische und andere Fragen. Von großer Bedeutung bis in die Gegenwart hinein ist DARWINS Werk über den Bau und die Verbreitung der Korallenriffe (1842). Bald nahm er unter den maßgebenden Naturforschern seiner Zeit eine geachtete Stellung ein.

Das Wertvollste, das DARWIN von seiner Reise mitgebracht hatte, war die Frage nach dem Ursprung der vielen verschiedenen Pflanzen- und Tierarten.

Aus DARWINS Aufzeichnungen und Briefen geht hervor, wie hartnäckig und geduldig er Jahrzehnte hindurch an seiner Theorie über die Entstehung der Arten arbeitete. Viele Untersuchungen waren nötig.

Seine Untersuchungen über die Tiere und Pflanzen der Galápagos-Inseln zeigten ihm, daß die Lebe-

Abb. 67 Darwins Landhaus in Down

wesen abgelegener Inseln für die Abstammungslehre besonders interessant sind. Deshalb mußte untersucht werden, wie neu entstandene Inseln durch Pflanzen und Tiere besiedelt werden können. Es schien DARWIN möglich, daß Pflanzensamen durch Meeresströmungen verbreitet werden könnten. Um das zu beweisen, legte er verschiedene Samen in Behälter mit Seewasser und untersuchte, nach wieviel Tagen sie noch keimfähig waren. Er stellte fest, daß die Samen sehr lange keimfähig blieben, nach der Verbreitung durch Meeresströmungen also noch keimen konnten.

Ein anschauliches Beispiel für die Möglichkeit einer starken Veränderung von Tierarten sah DARWIN in der Taubenzucht. Es gibt rund 150 verschiedene Taubenrassen, die sich in ihrem Aussehen stark unterscheiden, wie die Pfauentaube, die Kropftaube oder die Möwentaube. Diese Taubenrassen stammen aber alle von einer Ausgangsform, nämlich von der wilden Felsentaube ab. Sie besitzt nur zwölf Schwanzfedern, während bei der Pfauentaube vierzig vorhanden sind. DARWIN hat selbst jahrelang Tauben gezüchtet. So war ihm bekannt, daß der Mensch bei Tieren, die anfangs nur kleine Unterschiede aufweisen, diese Unterschiede allmählich summieren kann. Dazu muß er durch viele Generationen hindurch immer wieder die Tiere miteinander paaren, bei denen diese Veränderungen am stärksten ausgeprägt sind. Mit der Zeit erscheint die Art völlig verändert.

Allmählich häufte sich bei DARWIN ein ungeheures Material an Beweisen für die Veränderlichkeit der Arten. Es gab für ihn infolgedessen nur eine Schlußfolgerung: Die heute lebenden Arten haben sich im Laufe langer Zeiträume aus einfacheren Formen entwickelt.

Doch DARWIN schien das gesammelte Material noch lange nicht ausreichend genug, um seine Lehre wissenschaftlich einwandfrei zu begründen. Er hielt auch nicht viel von den Ansichten seines Großvaters und von den Anschauungen LAMARCKS, weil nach seiner Meinung beide nicht genügend Beweise gebracht haben.

Im Jahre 1856 wurde er von LYELL gedrängt, endlich seine Ergebnisse zu veröffentlichen, da ihm sonst ein anderer zuvorkommen könnte. Nur zögernd entschloß er sich dazu, sein Material zur Veröffentlichung vorzubereiten. Wir können uns DARWINS Bestürzung vorstellen, als zwei Jahre später bei ihm eine Abhandlung des englischen Naturforschers ALFRED RUSSEL WALLACE (1823 bis 1913) über die Entstehung der Arten eintraf.

WALLACE war zu fast der gleichen Schlußfolgerung gekommen wie DARWIN. Großzügig wollte darauf nun DARWIN den Ruhm, der erste gewesen zu sein, WALLACE überlassen. Seine Freunde LYELL und HOOKER legten jedoch am 30. Juni 1858 der Londoner LINNÉ-Gesellschaft gleichzeitig mit der Arbeit von WALLACE das Manuskript DARWINS von 1844 vor. Ein Jahr später erschien DARWINS Werk „Über die Entstehung der Arten". Damit gewann das Jahr 1859 große Bedeutung für die weitere Entwicklung der Biologie.

Darwins Werk „Über die Entstehung der Arten"

DARWIN geht in seinem Buch von der Pflanzen- und Tierzucht aus, die im damaligen kapitalistischen England eine wich-

tige Rolle spielte. Nutzpflanzen und Haustiere sind nicht auf einmal in einer für den Menschen zweckmäßigen Form entstanden, sondern „die Natur liefert allmählich mancherlei Abänderungen; der Mensch summiert sie in gewissen ihm nützlichen Richtungen".

Auch die einzelnen wildlebenden Pflanzen und Tiere der gleichen Art unterscheiden sich immer wieder durch kleinere Abweichungen (s. auch S. 101). Bei größeren Abänderungen, beispielsweise bei der weiß blühenden Form einer sonst blau blühenden Pflanze, sprechen die Naturforscher von einer Abart. In derartigen Abarten sah DARWIN die Vorstufen zukünftiger Arten.

DARWIN sieht eine Voraussetzung für die Bildung neuer Arten in der Natur darin, daß fast alle Lebewesen sehr viele Nachkommen hervorbringen. Wenn zum Beispiel eine einjährige Pflanze nur zwei Samen bilden würde, alle Samen aufgingen und die sich aus ihnen entwickelnden Pflanzen wieder je zwei Samen erzeugten, dann wären von ihr in zwanzig Jahren über eine Million Nachkommen am Leben.

Durchschnittlich bringen aber Pflanzen und Tiere viel mehr entwicklungsfähige Keime hervor. So legt ein Heringsweibchen im Laufe seines Lebens etwa eine halbe Million Eier, das als Unkraut bekannte Knopfkraut erzeugt bis zu 300000 Samen je Pflanze. Blieben alle Nachkommen der Lebewesen am Leben, dann müßte die Erde allein schon von einer Art längst übervölkert sein. Die Tatsache, daß die Zahl der Pflanzen und Tiere trotz ihrer vielen Nachkommen nicht unbegrenzt zunimmt, bildet für DARWIN den Ausgangspunkt seiner Theorie von der „natürlichen Zuchtwahl". So wie der Züchter ihm zusagende Formen ausliest, so findet auch in der Natur fortwährend eine Auslese statt. An die Stelle der Auslese durch den Menschen tritt hier jedoch das „Überleben des Passendsten" oder der „Kampf ums Dasein". DARWIN gebraucht diesen Ausdruck in einem weiten und bildlichen Sinne und versteht darunter die Abhängigkeit der Lebewesen voneinander und von ihrer Umwelt. Die Arten sind nicht beständig, sondern ändern ab (variieren). Diejenigen haben eine bessere Aussicht erhalten zu bleiben und sich zu vermehren, die anderen gegenüber zunächst kleinere Vorteile aufweisen. Dadurch werden die günstigen Abweichungen fortgepflanzt und verbreitet. Wiederholte Auslese im Laufe von Generationen führt schließlich zur Bildung neuer Arten, die allmählich ihrer Umwelt oder einer veränderten Umwelt immer zweckmäßiger angepaßt werden.

Ein Beispiel für die Wirkung der Auslese bieten die flügellosen Insekten (Abb. 68) von Madeira und den

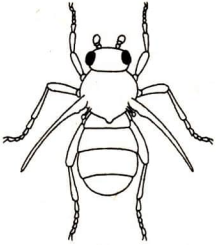


Abb. 68 Kerguelenfliege mit verkümmerten Flügeln

Kerguelen-Inseln. Dort herrschen das ganze Jahr hindurch heftige Stürme, so daß fliegende Insekten ständig aufs Meer hinausgeweht werden und zugrunde gehen. Die flügellosen Arten sind diesen Verhältnissen viel besser angepaßt. Sie bleiben erhalten und vermehren sich. Von über 500 Käferarten der Insel Madeira sind deshalb etwa 200 flugunfähig. Auf den Kerguelen haben alle einheimischen Fliegen, Käfer und Schmetterlinge keine Flügel.

Über die **Gesetze der Abänderung** äußert sich DARWIN noch sehr vorsichtig. Tatsache ist, daß die Lebewesen mehr oder weniger veränderlich sind. Die Frage nach den Ursachen der Abänderungen vermochte DARWIN jedoch nicht klar zu beantworten. Nach seiner Meinung rufen veränderte Lebensbedingungen bei den Pflanzen und Tieren überhaupt Veränderungen hervor. Im Laufe der Zeit werden die günstigsten für den Organismus ausgelesen. Zuweilen können neue Lebensbedingungen aber auch in bestimmter Richtung wirken. Wenn Organe stärker gebraucht beziehungsweise nicht betätigt werden, so führt das ebenfalls zu Abänderungen. Diese Organe werden dann stärker oder schwächer ausgebildet. Auch die Instinkte der Tiere sind nicht „anerschaffen", sondern haben sich allmählich entwickelt.

DARWIN führt für die Entstehung der Tier- und Pflanzenarten durch Entwicklung eine ganze Reihe von verschiedenartigen Beweisen an.

So zeigen die Ergebnisse der **Versteinerungskunde**, daß vor Jahrmillionen Pflanzen und Tiere gelebt haben, die anders aussahen als heute lebende Arten. Die in Form von Versteinerungen erhaltenen Reste zeigen entsprechend ihrem Alter eine Entwicklung von einfacheren Formen zu komplizierteren (s. S. 30ff.).

Auch die jetzige **Verbreitung der Lebewesen** auf der Erde konnte DARWIN mit seiner Lehre erklären. Tier- und Pflanzenarten, die sich an bestimmten Stellen der Erde entwickelt haben, wanderten im Laufe der Zeit in neue Gebiete ein. Das war jedoch nur da möglich, wo keine natürlichen Hindernisse bestanden. In solchen Gebieten weist die Pflanzen- und Tierwelt deshalb viele gemeinsame Züge auf (Nordamerika, Europa, Asien). Dagegen entwickelten sich auf abgelegenen Inseln oder auf Kontinenten, die lange Zeit vom übrigen Festland getrennt waren, besondere Formen. Sie sind nur an solchen Stellen heimisch. Ein Beispiel haben wir schon in den Grundfinken der Galápagos-Inseln (s. S. 92) kennengelernt. Weitere Beispiele bietet die Pflanzen- und Tierwelt von Südamerika und Australien (s. S. 30).

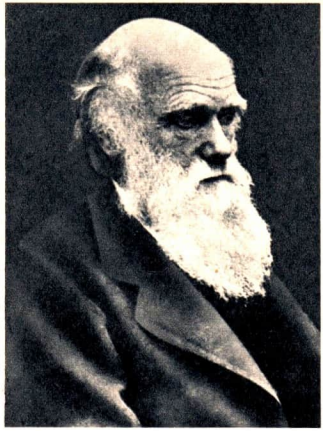


Abb. 69 Charles Darwin (um 1880)

Zu den Beweisen, die DARWIN für seine Theorie der Entstehung der Arten anführt, gehören auch bestimmte Ergebnisse der Untersuchungen an den heutigen Lebewesen. Der Körperbau der Pflanzen und Tiere zeigt innerhalb der einzelnen Gruppen mehr oder weniger große Übereinstimmungen. Daraus läßt sich meist erkennen, welche Pflanzen und Tiere miteinander verwandt sind und wie sie sich veränderten (s. S. 18ff.).

Weiterhin führt DARWIN in diesem Zusammenhang Tatsachen aus der Entwicklung

der einzelnen Lebewesen an. Viele Lebewesen, die im erwachsenen Zustand völlig unterschiedlich ausgebildet sind, ähneln sich in ihren frühesten Entwicklungsstufen außerordentlich stark (s. S. 26ff.). Das deutet darauf hin, daß diese Lebewesen miteinander verwandt sind.

Das DARWINsche Werk enthält also eine Fülle verschiedenartiger Beweise, die zunächst einmal allgemein von der **Veränderlichkeit der Organismen** überzeugen. Diese Tatsache ist der Ausgangspunkt für DARWINS Theorie, nach der die **Entstehung der Arten** durch **Entwicklung** erfolgt ist. Diese Entwicklung vollzieht sich nach bestimmten Naturgesetzen, die auch in der Gegenwart noch ständig wirksam sind.

Sie lauten:

1. Die Lebewesen wachsen und pflanzen sich fort.
2. Die Arten ändern ab (variieren).
3. Durch Fortpflanzung und Vererbung werden kleine Abänderungen bestimmter Merkmale auf die Nachkommen übertragen.
4. Die Lebewesen vermehren sich stärker, als zu ihrer Erhaltung notwendig ist.
5. Durch „natürliche Zuchtwahl" werden günstige Abweichungen ausgelesen. So entstehen im Laufe langer Zeiträume neue Arten, die zweckmäßig an ihre Umwelt angepaßt sind, während Arten mit ungünstigen Abweichungen zugrunde gehen oder an Bedeutung verlieren.

Durch zahlreiche Forschungen versuchte DARWIN, seine Theorie weiter auszubauen. Neben einigen botanischen Abhandlungen erschien im Jahre 1868 als Ergänzung zu seiner „Entstehung der Arten" ein Werk über „Das Variieren der Tiere und Pflanzen im Zustande der Domestikation". In diesem Buche behandelte er unter anderem Fragen der Vererbung.

Über die Menschwerdung hatte DARWIN bis dahin nur geschrieben, daß durch seine Theorie auch auf diese Frage Licht fallen werde. Nachdem andere Naturforscher das Werden des Menschen unter dem Gesichtspunkt des Darwinismus bereits behandelt hatten, veröffentlichte er 1871 sein Material unter dem Titel „Über die natürliche Abstammung des Menschen".

Trotz seines schlechten Gesundheitszustandes arbeitete DARWIN unermüdlich bis zu seinem Tode am 19. April 1882. Seine Theorie ist einer der bedeutendsten Wendepunkte in der Geschichte der Biologie.

Die Verbreitung des Darwinismus

Schon unmittelbar nach dem Erscheinen der „Entstehung der Arten" zeigte sich, daß die DARWINsche Theorie unter den Naturforschern zu heftigen Auseinandersetzungen führte. Zu ihren Gegnern zählten außerdem die Theologen und viele Philosophen.

MARX und ENGELS dagegen hoben hervor, daß durch DARWIN die Schöpfungslehre als Erklärung für die zweckmäßige Ausbildung der Lebewesen den Todesstoß erhalten habe. Das Hauptverdienst DARWINS sehen sie im Nachweis natürlicher Ursachen für die Entstehung der Tier- und Pflanzenarten.

Zu den Naturforschern, die von Anfang an für DARWIN eintraten, gehörte in England THOMAS HENRY HUXLEY (1825 bis 1895). Er arbeitete im Sinne der Entwicklungslehre und untersuchte vor allem den Bau vieler Tiere, die er miteinander verglich (vergleichende Anatomie). Dabei fand er Übereinstimmungen, die durch die natürliche Verwandtschaft der Lebewesen zu

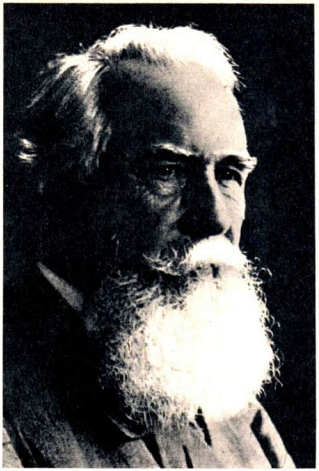


Abb. 70 Ernst Haeckel

erklären sind. Bereits 1863 veröffentlichte HUXLEY ein Buch über „Die Stellung des Menschen in der Natur." Er verstand es ausgezeichnet, die DARWINsche Lehre in Vorträgen und Schriften allgemeinverständlich darzustellen und gegen Angriffe zu verteidigen.

In Deutschland wurde der Naturforscher ERNST HAECKEL (1834 bis 1919, Abb. 70) der eifrigste Vorkämpfer für DARWIN. HAECKEL hatte Medizin studiert, wurde aber später Zoologe und beschäftigte sich mit vergleichender Anatomie sowie mit Meerestieren. Er war schon ein Anhänger DARWINS, als er 1861 nach Jena kam. In seinen Vorlesungen und durch zahlreiche wissenschaftliche und allgemeinverständliche Werke trat er für die Entwicklungslehre ein. Als Zoologe ist er vor allem durch die Entdeckung zahlreicher neuer Strahlentierchen (mit der Amöbe verwandte Einzeller) und durch seine Arbeiten über Schwämme und Medusen (Quallen) hervorgetreten.

HAECKEL hat in seinem grundlegenden Werk über die DARWINsche Lehre („Generelle Morphologie") eine Theorie über die Entstehung der ersten Lebewesen aus anorganischer Materie aufgestellt. Weiterhin zeichnete er erstmalig Stammbäume des ganzen Organismenreiches mit Einschluß des Menschen (Abb. 71). Immer wieder wurde von ihm betont, daß sich in der Ontogenie die Phylogenie eines Organismus widerspiegele. Später wurden diese Bezie-

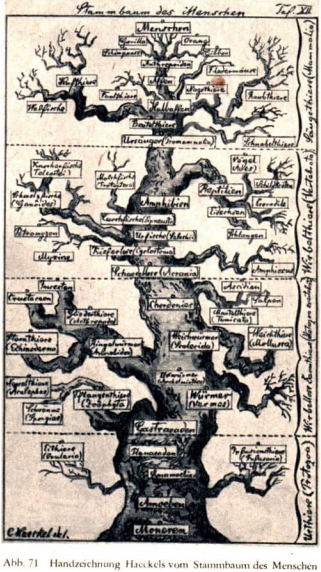


Abb. 71 Handzeichnung Haeckels vom Stammbaum des Menschen

Abb. 72 A. O. Kowalewsky

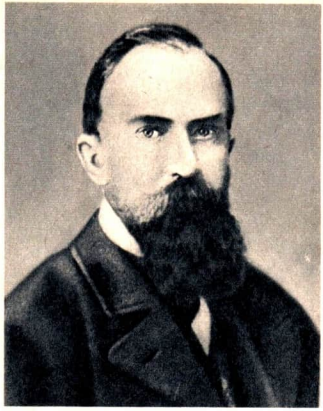


Abb. 73 W. O. Kowalewsky

hungen von ihm als **„Biogenetisches Grundgesetz“** bezeichnet (s. S. 26).

Für die Frühstadien der Embryonalentwicklung führte HAECKEL die Ausdrücke **Morula** (Maulbeerkeim), **Blastula** (Blasenkeim) und **Gastrula** (Becherkeim) ein. In der Gastrula sah er zugleich eine Ahnenform der vielzelligen Tiere, die alle ein solches Stadium durchlaufen. Gewisse niedere Tiere (Polypen, Schwämme) haben sich nicht wesentlich über diese Urformen („Gastrula“) hinausentwickelt. Die Theorie HAECKELS hat der Forschung fruchtbare Anregungen gegeben und erklärt auch heute noch die Abstammung der Vielzeller am besten.

HAECKEL hat sich um die Weiterentwicklung und Ausbreitung des Darwinismus große Verdienste erworben. Darüber hinaus strebte er in seinen Schriften eine naturwissenschaftlich begründete Weltanschauung auf der Grundlage der Entwicklungslehre an. Zu seinen bekanntesten Büchern in dieser Hinsicht gehört das Werk „Die Welträtsel“, von dem LENIN schreibt, daß es „zu einer Waffe des Klassenkampfes“ wurde. Durch seinen unerschrockenen Kampf gegen die kirchlichen Dogmen wurde HAECKEL für viele Menschen zum Vorbild. Auch in Rußland wurde die DARWINsche Lehre von namhaften Naturforschern gefördert. ALEXANDER O. KOWALEWSKY (1840 bis 1901, Abb. 72) untersuchte niedere Meerestiere, besonders das Lanzettierchen und die Seescheiden. Obwohl diese Tiere im erwachsenen Zustande keinerlei Ähnlichkeit mit den Wirbeltieren haben, ähneln sich ihre ersten Entwicklungsstufen sehr. Durch diese wichtigen Entdeckungen hat KOWALEWSKY ihre Verwandtschaft mit den Wirbeltieren nachgewiesen.

Sein Bruder WLADIMIR O. KOWALEWSKY (1842 bis 1883, Abb. 73) erforschte die Stammesgeschichte der Huftiere, besonders der Pferde, und bestätigte die DARWINsche Lehre durch die wissenschaftliche Untersuchung dieser ausgestorbenen Lebewesen.

Zu den Anhängern DARWINS in Rußland zählte weiterhin der Pflanzenphysiologe KLIMENT ARKADJEWITSCH TIMIRJASEW (1843 bis 1920). Er erläuterte die DARWINsche Lehre in zahlreichen Schriften. Deshalb wurde TIMIRJASEW mehrfach stark angegriffen und 1892 aus der Landwirtschaftsakademie ausgeschlossen. Er trug sehr zur Verbreitung und Anerkennung des Darwinismus in Rußland bei.

Neben den erwähnten Naturforschern haben sich seit DARWIN noch zahlreiche andere Gelehrte um den Ausbau der Entwicklungslehre bemüht. Durch neue Forschungsergebnisse, durch neue Funde von Versteinerungen und mit Hilfe von verfeinerten Methoden sind die Stammbäume seit der Zeit HAECKELS immer wieder berichtigt worden. Der Grundgedanke der DARWINschen Lehre, daß sich die heutigen Lebewesen im Laufe von vielen Millionen Jahren aus einfachsten Formen entwickelt haben, wurde dabei stets bestätigt. Die Entwicklungslehre ist heute wissenschaftlich gesichert. Sie ist eine der umfassendsten und wichtigsten biologischen Theorien.

Aufgaben und Fragen

1. Wie stellte sich LAMARCK die Entwicklung der Lebewesen vor?
2. Geben Sie einen Überblick über das Leben DARWINS!
3. Wie hat DARWIN die Entstehung neuer Arten erklärt?
4. Geben Sie Beispiele für die Wirkungsweise der natürlichen Auslese!
5. Welche Beweise führt DARWIN für seine Theorie der Entstehung der Arten an?
6. Berichten Sie über einige Wissenschaftler, die zur Verbreitung des Darwinismus beigetragen haben! Stellen Sie dabei die Hauptverdienste der einzelnen heraus!

Grundlagen der Vererbung

Die Variabilität

Auf jeder Wanderung durch die Natur sehen wir bei Pflanzen und Tieren eine Fülle verschiedener Arten. Diese Vielfalt erregte schon frühzeitig das Interesse der Naturforscher, denen es nach langwierigen Forschungsarbeiten gelang, Kenntnisse über die Herkunft dieses Formenreichtums zu erlangen. Vor allem die Beiträge DARWINS (1809 bis 1882) schufen die Grundlage für eine wissenschaftlich begründete Theorie über die Entstehung der Arten (s. auch S. 93). In den nachfolgenden Abschnitten wird gezeigt, wie der Mensch das Zustandekommen des Formenreichtums der organischen Welt erklärt, welche Gesetzmäßigkeiten dabei wirksam waren und sind und wie er diese für sich zu nutzen versteht.

Sammeln wir an verschiedenen Standorten von einer Art einige Pflanzen (z. B. Kuhblume, Hirtentäschelkraut), so stellen wir bei diesen eine große Vielfalt in Form und Größe fest. Bei einem genauen Vergleich finden wir nicht eine Pflanze, die einer anderen völlig gleicht. Bei den Tieren finden wir die gleichen Ergebnisse. Wir bezeichnen diese Formenmannigfaltigkeit des Erscheinungsgebildes der Organismen als **Variabilität**.

Formen der Variabilität

In der Ausbildung der Merkmale und Eigenschaften lassen sich bei Pflanzen und Tieren zwei Formen unterscheiden. Zur „Entweder-Oderform" oder **alternativen Variabilität** gehören alle Merkmale, die nur in der einen oder anderen Form, ohne irgendwelche Übergänge, auftreten. So besitzt eine Pflanze beispielsweise entsprechend der Art entweder nur ovale oder nur lanzettliche Blätter, die Stengel können dreikantig oder rund sein, und die Pflanzen keimen entweder mit einem oder mit zwei Blättern. Die **fluktuierende Variabilität** dagegen zeigt sich in einem „Mehr oder Weniger" der einzelnen Merkmale. Es werden zahlreiche Zwischenstufen gebildet, die nur durch Messen oder Wägen zu erfassen sind. Hierzu gehören alle wichtigen Merkmale und Eigenschaften unserer Kulturpflanzen, beispielsweise Unterschiede in der Knollengröße der Kartoffeln, verschiedene Größe der Äpfel oder Birnen einer Sorte an einem Baum. Fließende Übergänge finden wir auch bei der Größe der Blätter einer Pflanze, bei der Kornzahl verschiedener Ähren oder beim Körpergewicht der Kühe in einer Herde.

Ursachen der Variabilität

Als Ursachen der Variabilität kommen zahlreiche Faktoren in Frage. Nach eingehenden Untersuchungen wurde festgestellt, daß **verschiedene Umweltfaktoren** und die **Erbanlagen der Lebewesen** eine Vielfalt

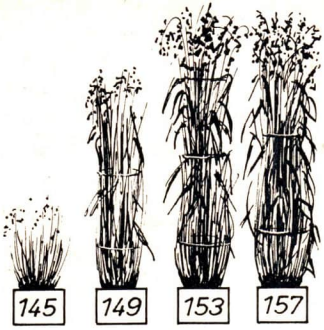


Abb. 74 Wirkung unterschiedlicher Stickstoffgaben auf das Wachstum von Haferpflanzen mit gleichen Erbanlagen

in der Merkmalsausbildung herbeiführen können. In der freien Natur ist es schwierig, manchmal sogar unmöglich, den Anteil von Umwelt und Erbgut an den Veränderungen festzustellen. In zweckmäßig angelegten Versuchen gelingt es, diese beiden Komplexe getrennt voneinander zu untersuchen.

Der Einfluß der Umweltfaktoren auf die Variabilität

Alle Organismen stehen mit ihrer Umwelt in engen Wechselbeziehungen. Veränderungen der Umweltfaktoren führen deshalb auch zu Veränderungen an den hiervon betroffenen Organismen. In Versuchen mit erbgleichen Individuen können die Einflüsse der verschiedenen Umweltfaktoren demonstriert werden.

Veränderungen durch unterschiedliche Ernährungsfaktoren. Für das Wachstum eines Individuums ist die Versorgung mit Nährstoffen von großer Bedeutung. Die Abbildung 74 zeigt, in welchem Ausmaß bei Pflanzen mit gleichen Erbanlagen beispielsweise eine unterschiedliche Stickstoffgabe das Wachstum beeinflussen kann. Die Abbildung 75 zeigt die Auswirkungen einer unterschiedlichen Ernährung auf die Körpergröße zweier Wurfgeschwister bei Schweinen. Gelegentlich verursacht schon der Mangel eines Spurenelements oder Vitamins große Veränderungen des Erscheinungsbildes (Abb. 76).

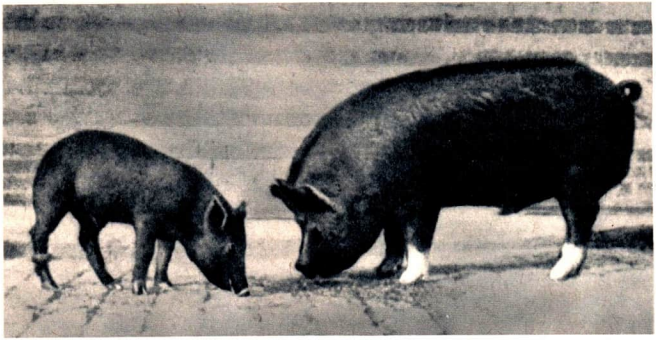


Abb. 75 Zwei Berkshireeber aus dem gleichen Wurf. Links drei Monate bei Hungerration, rechts im gleichen Zeitraum bei Mastration gehalten

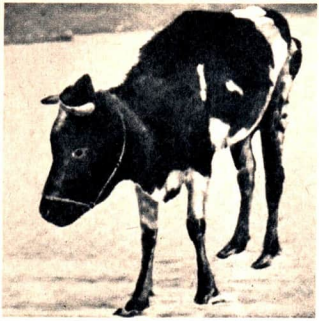


Abb. 76 Lecksucht beim Rind durch Kupfermangel im Futter

Voraussetzung für jegliches Leben ist eine ausreichende Wasserversorgung. Bei den lebenden Organismen stellt das Wasser den größten Anteil (durchschnittlich 80%) der Körpersubstanzen. Für alle lebenswichtigen Prozesse (z. B. Nährstofftransport, Stoffwechsel) ist eine ausreichende Wasserversorgung notwendig. Wie stark das Wachstum der Pflanzen durch eine unterschiedliche Wasserversorgung beeinflußt wird, ist auf Abbildung 77 zu erkennen

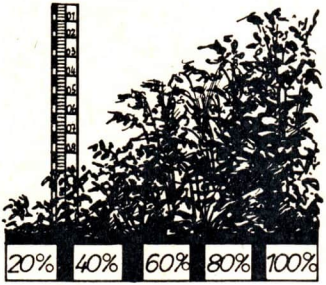


Abb. 77 Einfluß verschiedener Wassermengen auf das Wachstum von Kartoffeln mit gleichen Erbanlagen

Veränderungen durch unterschiedliche Klimafaktoren. Auffallende Veränderungen entstehen durch unterschiedliche Lichtqualität und Lichtintensität. Während Lichtmangel zu chlorophyllarmen und übermäßig langen, schwächlichen Pflanzen führt, läßt ein hoher Anteil ultravioletten Lichts nur ein geringes Längenwachstum zu und führt somit zu Zwergwuchs (Abb. 78). Auch die Tageslichtlänge vermag große Veränderungen herbeizuführen. Bei den Pflanzen sind Arten bekannt, die nur bei einer bestimmten Tageslichtlänge die vegetative Phase beenden und in die generative Phase (Blüten- und Samenbildung) eintreten. Entspricht die Tageslichtlänge nicht der erblich festgelegten Norm für die Auslösung der Blütenbildung, dann verbleiben diese Pflanzen in der vegetativen Phase und bringen

Abb. 78 Einfluß verschiedener Lichtqualität auf den Phänotyp einer Pflanze. Teile einer Kuhblumenpflanze (Taraxacum officinale). a in der Ebene und b im Gebirge aufgenommen.

nur ein üppiges Grünmassenwachstum hervor. Auf Abbildung 79 ist der Einfluß des Langtags auf die Entwicklung einer Hirsepflanze (Kurztagform) zu erkennen. Auf das Wachstum übt auch die Temperatur einen nachhaltigen Einfluß aus. Bei den einzelnen Arten liegt die optimale Wachstumsintensität in verschiedenen Temperaturbereichen (Abb. 80). Verschiedene Arten (z. B. unser Wintergetreide) können außerdem erst dann in die generative Phase gelangen, wenn sie zuvor tiefen Temperaturen ausgesetzt waren. Bei mehreren Arten (z. B. *Primula sinensis rubra*) ruft eine unterschiedliche Temperatur während der Blütenentwicklung Veränderungen in der Blütenfarbe hervor. Zu großen Veränderungen des Erscheinungsbildes führen auch ständige Winde. Aus dem Gebirge (Harz) oder von der Küste (Darß) sind uns die nach Lee wachsenden Bäume (Windflüchter) bekannt.

Charakter der durch Umweltfaktoren verursachten Variabilität

Die zuvor genannten Beispiele zeigen, daß unterschiedliche Umweltfaktoren bei Individuen mit gleichen Erbanlagen anderes Aussehen hervorrufen. Das Erscheinungsbild eines Organismus, sein Phänotyp, ist also vor allem das Ergebnis einer Wechselbeziehung zwischen der Erbsubstanz und den Umweltfaktoren. Die Lebewesen vererben demnach niemals ein fertiges Merkmal, sondern nur die Fähigkeit, das betreffende Merkmal unter bestimmten Umweltbedingungen in einer bestimmten Form auszubilden. Diese Fähigkeit wird als **Reaktionsnorm** bezeichnet.

Modifikation. Nun wird verständlich, warum Organismen mit gleichem Erscheinungsbild keineswegs gleiche Erbanlagen besitzen müssen und andererseits unter-

Abb. 79 Einfluß unterschiedlicher Tageslichtlängen auf die Entwicklung der Hirse. Die linke Pflanze wurde im Kurztag (12 Stunden), die rechte Pflanze im Langtag (18 Stunden) kultiviert.

schiedliche Lebewesen durchaus gleiche Erbanlagen haben können. Die Abwandlung des Erscheinungsbildes bei Lebewesen mit gleichen Erbanlagen durch die Umweltfaktoren wird als **Modifikation** bezeichnet. Die Modifikationen kann man sich als das Ergebnis einer Beeinflussung der physiologischen Prozesse des Organismus durch die Umweltfaktoren vorstellen. Seit Beginn der Züchtungsarbeiten beschäftigte die Züchter die Frage, ob die Modifikationen erblich seien. Nach umfangreichen Untersuchungen konnte der Forscher JOHANNSEN

Abb. 80 Einfluß der Temperatur auf das Wachstum von Haferkeimpflanzen. Links 8 Tage bei 8 °C, Mitte bei 15 °C und rechts bei 25 °C gehalten.

(1857 bis 1927) nachweisen, daß die Modifikationen nicht erblich sind.

In einzelnen Fällen zeigte sich jedoch, daß die Modifikationen über mehrere Generationen (beim Pantoffeltierchen z. B. bis zu 1000 aufeinanderfolgenden Zellteilungen) andauerten, obwohl diese Organismen den modifizierenden Bedingungen nicht mehr ausgesetzt waren. Erst in den späteren Generationen klangen diese Modifikationen allmählich ab. Diese Erscheinung bezeichnet man deshalb als **Dauermodifikation**. Die Ursachen der Dauermodifikation sind bis heute nicht völlig geklärt. Möglicherweise spielen bestimmte Eigenschaften des Plasmas eine Rolle.

Vererbung erworbener Eigenschaften. Eines der am heftigsten umstrittenen Probleme in der Biologie ist die Frage, ob auch solche Eigenschaften und Merkmale vererbt werden, die ein Individuum im Verlaufe seines Lebens erwirbt. Bis heute konnte diese Frage nicht eindeutig geklärt werden. Stets mißlang in Kreuzungsexperimenten der Nachweis der Vererbung von umweltbedingten Veränderungen, die im Verlaufe der Entwicklung eines Individuums auftraten.

Alle Verfahren der gelenkten Pflanzenerziehung gehen trotzdem von der Möglichkeit der Vererbung erworbener Eigenschaften aus. Diese Verfahren wurden von MITSCHURIN, LYSSENKO (geb. 1898) und deren Schülern entwickelt. Nach Auffassung dieser Wissenschaftler sollen die Umweltbedingungen eine entscheidende Rolle bei der Herausbildung und Festigung der Erbanlagen eines Organismus haben. Durch entsprechende Gestaltung der Umweltbedingungen und Berücksichtigung bestimmter labiler Entwicklungsphasen eines Organismus soll es gelingen, gerichtete, den einwirkenden Umweltbedingungen entsprechende erbliche Veränderungen zu erzielen. Wiederholte Anwendung in der praktischen Zuchtarbeit fanden die Verfahren zur „Umwandlung" von Sommer- in Wintergetreide und die Methode der „vegetativen Hybridisation", die auf diesen Erkenntnissen fußen. Besonders die vegetative Hybridisation wurde von zahlreichen Forschern mit gleichen und anderen Versuchsobjekten sorgfältig untersucht. Es gelang in keinem Fall, eine vegetative Hybridisation experimentell einwandfrei begründet darzustellen. Die Deutung der Erscheinung der vegetativen Hybridisation und der Umwandlung einer Sommerform in eine Winterform als gelenkte Pflanzenerziehung durch die Umweltbedingungen bleibt deshalb nach wie vor unbewiesen. Der Beweis für die Möglichkeit einer gelenkten Pflanzenerziehung muß durch weitere Experimente erst erbracht werden.

Bedeutung der Erbanlagen für die Variabilität

Wenn wir den Einfluß der Erbanlagen auf die Variabilität untersuchen wollen, dann müssen als Voraussetzung hierfür möglichst konstant bleibende Umweltbedingungen geschaffen werden. Die erbliche Variabilität beruht auf Unterschieden in den Erbanlagen. Alle Erbanlagen einer Zelle werden unter dem Begriff **Idiotypus** zusammengefaßt. Zum **Genotypus** gehören dagegen nur die Erbanlagen, die im Zellkern lokalisiert sind. Die Erbanlagen im Plasma haben bis heute noch keine praktische Bedeutung erlangt. Sie beweisen jedoch, daß nicht alle Erbanlagen im Zellkern lokalisiert sind und mit Wirkungen des Plasmas auf die Merkmalsausbildung zu rechnen ist.

Aufgaben

1. Sammeln Sie von verschiedenen Standorten Pflanzen einer Art! Beschreiben Sie die Unterschiede an diesen Pflanzen!
2. Suchen Sie mehrere Beispiele für alternative und fluktuierende Merkmale!

3. Nehmen Sie die Knollen einer Dahlienpflanze oder einer Kartoffelstaude (auch Ausläufer einer Erdbeerpflanze sind geeignet) und lassen Sie diese unter verschiedenen Umweltbedingungen aufwachsen! Beobachten Sie die Veränderungen gegenüber der Ausgangspflanze!

4. Nehmen Sie von den unter den abweichenden Bedingungen aufgewachsenen Pflanzen wieder Knollen oder Ausläufer und bringen Sie diese in die Umweltbedingungen der Ausgangspflanze zurück! Vergleichen Sie die daraus hervorgehenden Pflanzen mit der Ausgangspflanze!

Fortpflanzung und Vererbung

Die Lebewesen haben die Fähigkeit, ihre Eigenschaften auf die Nachkommen zu übertragen, so daß beispielsweise beim Roggen oder beim Rind in allen wesentlichen Merkmalen die Nachkommen den Eltern gleichen. Diese biologische Ähnlichkeit zwischen Eltern und Nachkommen wird durch die Vererbung bedingt. Die **Vererbung** ist also die bei der Fortpflanzung von Generation zu Generation erfolgende Weitergabe von Anlagen zur Ausbildung von Merkmalen.

Die Wissenschaft von der Vererbung wird als **Genetik** bezeichnet. Die Erkenntnisse der Genetik sind für viele Gebiete der Biologie von Bedeutung. In der Pflanzen- und Tierzüchtung werden sie praktisch angewendet.

Unsere Kenntnisse von den Gesetzmäßigkeiten der Vererbung wurden durch Versuche an verschiedenen Tieren, Pflanzen und vor allem an Mikroorganismen gewonnen. Da in derartigen Vererbungsversuchen stets eine große Anzahl von Individuen geprüft werden muß, werden dafür nur solche Lebewesen verwendet, die sich leicht vermehren lassen; also viele Nachkommen und eine schnelle Generationsfolge haben.

Die Aufzucht und Haltung von Haustieren beispielsweise erfordert einen wesentlichen höheren Aufwand als die Zucht von Hunderttausenden von Fruchtfliegen *(Drosophila)*, die nur wenig und billige Nahrung benötigen und in Glasflaschen gehalten werden können. Um 1 Milliarde Getreidepflanzen zu kultivieren, müßte man mehr als 500 ha Ackerboden bebauen; dagegen können in einer einzigen Petrischale von etwa 10 cm Durchmesser auf geeignetem Nährboden innerhalb weniger Stunden einige Milliarden Bakterien heranwachsen. Die Wahl der Untersuchungsobjekte ist also durchaus nicht zufällig.

Sind die Erkenntnisse, die beispielsweise an Bakterien gewonnen wurden, auch für alle höheren Lebewesen gültig? Zweifellos haben die höheren Lebewesen und damit auch unsere landwirtschaftlich genutzten Pflanzen und Tiere Besonderheiten, die berücksichtigt werden müssen. Grundsätzliche Unterschiede bestehen jedoch nicht. Die an der Fruchtfliege, an Mäusen und Bakterien erkannten allgemeinen Gesetzmäßigkeiten der Vererbung sind sowohl für die landwirtschaftlich genutzten Pflanzen und Tiere als auch für uns Menschen gültig.

Vegetative und generative Fortpflanzung

Bei der Fortpflanzung werden meist mehrere Nachkommen erzeugt, man spricht daher auch von Vermehrung.

Viele Samenpflanzen kann man durch Samen und durch Ableger vermehren. Man bezeichnet die Vermehrung durch Samen als **geschlechtliche** oder **generative Vermehrung**, die Vermehrung durch Ableger

als **ungeschlechtliche** oder **vegetative Vermehrung.** Beide unterscheiden sich im Vererbungsgeschehen sehr stark voneinander. Viele höhere Pflanzen kann man ungeschlechtlich vermehren (z. B. Tulpen, Narzissen und Hyazinthen durch Zwiebeln, Erdbeeren durch Ausläufer, Äpfel- und Birnensorten durch gepfropfte Reiser oder okulierte Augen [Knospen]). Die Erhaltung von Kartoffelsorten vollzieht sich ebenfalls auf ungeschlechtlichem Wege durch Vermehrung der Knollen. Auch bei **niederen Tieren** (z. B. Süßwasserpolyp) vollzieht sich eine Vermehrung auf ungeschlechtlichem Wege (Knospung). Jedes Tier entwickelt sich also aus einem Stück des Ausgangstieres, das sich zu einem neuen, selbständigen Lebewesen ergänzt. Solche Nachkommen, die sich aus einem Teil oder einer Knospe der Ausgangsform zu einem neuen Lebewesen ergänzen, nennen wir **Klone**. Ein wichtiges Kennzeichen der vegetativen Vermehrung ist, daß an der Entstehung des neuen Lebewesens nur **ein** elterlicher Organismus beteiligt ist. Bei ungeschlechtlicher Fortpflanzung hat daher die Tochterpflanze die gleichen Erbanlagen wie die Ausgangspflanze.

Bei der geschlechtlichen Vermehrung dagegen verschmilzt stets eine weibliche Eizelle mit einer männlichen Samenzelle. Am Anfang der Entwicklung eines solchen neuen Lebewesens steht die befruchtete Eizelle (Zygote).

Die Nachkommen erhalten also nicht nur die mütterlichen Erbanlagen – wie bei der vegetativen Vermehrung –, sondern auch Anlagen des väterlichen **Elters.**

Die Fortpflanzung ist auf zwei Grundvorgänge zurückzuführen: auf die Teilung von Zellen und die Vereinigung von Zellen. Für das Verständnis der Vererbungserscheinungen ist daher die Kenntnis einiger Tatsachen aus der Zellenlehre wichtig.

Die Zelle als Träger und Überträger der Erbanlagen

Zelle und Zellenbestandteile

Die Zellen sind die „lebenden Bausteine" aller Organismen; in ihnen laufen alle für die Erhaltung und Entwicklung der Lebewesen notwendigen Reaktionen ab. Der Inhalt der Zelle wird als Zelleib oder **Protoplast** bezeichnet. Dieser Protoplast besitzt die Fähigkeit zur Selbstvermehrung. Er kann sich selbst aus den aufgenommenen Substanzen ergänzen. Seine Bestandteile sind das Zellplasma (Zytoplasma), der Zellkern (Nukleus) und – bei Pflanzen – die Plastiden. Alle Bestandteile stehen miteinander in enger Wechselwirkung.

Das **Zellplasma** (Zytoplasma) ist ein Gemisch zahlreicher Stoffe von komplizierter Zusammensetzung. Es besteht vor allem aus Eiweißverbindungen. Die auffälligste Erscheinung angefärbter Zellen ist der Zellkern (vielfach liegt neben dem Zellkern noch ein Zentralkörper). Der **Zellkern** (Nukleus) erscheint meistens rund. Chemisch kennzeichnet ihn der hohe Gehalt an Verbindungen zwischen Eiweißen und Nukleinsäuren (Nukleoproteiden). Unter dem Mikroskop erkennt man bei sehr starker Vergrößerung an günstigen Untersuchungsobjekten im Zellkern ein unregelmäßiges Netz, von dem sich einzelne Teile stark anfärben lassen. Man nennt dieses färbbare Netzwerk deshalb Chromatingerüst.

Früher wurde angenommen, daß beispielsweise Bakterien keine Zellkerne besitzen. In den letzten Jahren wurden jedoch auch bei verschiedenen niederen Organismen Gebilde gefunden, die dem Kern höherer Organismen ähnlich sind oder mindestens in der chemischen Zusammensetzung deutliche Übereinstimmung zeigen. Neben dem Zellplasma und dem Zellkern enthalten die

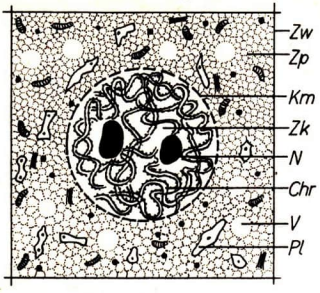


Abb. 81 Schema einer Zelle, Chr Chromosomen, Km Kernmembran, N Nukleolus, Pl Plastide, V Vakuole, Zk Zellkern, Zp Zellplasma, Zw Zellwand

meisten Zellen vieler Pflanzen noch **Plastiden**, die das Blattgrün (Chlorophyll) oder auch andere Farbstoffe enthalten (Abb. 81).

Die Teilung der Zelle

Mitose. Zellen werden niemals neu gebildet, sondern je zwei Zellen entstehen durch die Teilung einer Mutterzelle. Die Zellteilung beginnt meist mit der Kernteilung. Viele Jahre der Forschung waren für die Entwicklung sorgfältiger Methoden notwendig, die uns heute die Schaffung eines klaren Bildes von dem ermöglichen, was im Augenblick der Kernteilung vor sich geht. Die einfache **Kernteilung** oder **Mitose** wird durch einen komplizierten Mechanismus bewirkt. Ein sich teilender Kern (Arbeitskern) weicht in seiner Form von den sogenannten Ruhekernen ab. Zunächst sind Veränderungen am Chromatingerüst zu beobachten. Es treten immer stärker werdende Zusammenballungen von Körnchen auf (Abb. 82 a bis c), die sich schließlich zu stäbchen- oder schleifenförmigen Gebilden zusammenziehen (Abb. 82 d). Wegen ihrer Schleifenform werden diese Fadenstücke Kernschleifen, wegen ihrer starken Färbbarkeit **Chromosomen** genannt.

Bei genauer Betrachtung kann man an den Chromosomen einen Längsspalt feststellen, durch den sie in zwei „Hälften" geteilt sind, d. h., sie haben sich verdoppelt. Die Chromosomen gleiten zur Zellmitte, später rücken ihre Längshälften auseinander (Abb. 82 f, g), wobei sie durch ein System von Fasern auseinandergezogen werden. Jede Längshälfte wandert an einen Pol der Zelle (Abb. 82 h, i). Sobald die Tochterchromosomen an den Polen angelangt sind, verändern sie sich, bis sie wieder ein Chromatingerüst bilden (Abb. 82 a, k bis m). Zwischen den beiden Tochterkernen bildet sich im Zytoplasma eine Zellwand, die die beiden Kerne trennt. Es sind zwei neue Zellen mit je einem Ruhekern entstanden. Bei der Mitose erhält jeder Tochterkern ebenso viele Chromosomen wie sie der Mutterkern besaß. Die Substanz jedes Chromosoms wird durch die Längsteilung gleichmäßig auf die beiden Tochterkerne verteilt. Deshalb sind die Kerne aller Zellen eines Organismus untereinander sehr ähnlich, obwohl die Zellen selbst (z. B. Muskel- oder Nervenzellen) in Aufbau und Aussehen vielfach unterschiedlich sind.

Zahl und Bau der Chromosomen. Die bei der Kernteilung sichtbar werdende Anzahl der Chromosomen ist für die einzelne Pflanzenart stets gleich und daher für die Art kennzeichnend.

Im Zellkern einer Körperzelle sind jeweils 2 Chromosomen einander gleich (homologe Chromosomen). Diese Zellen bezeichnet man deshalb als diploid, je ein homologes Chromosom stammt von Vater und Mutter. Die Chromosomen sind im allgemeinen außerordentlich klein, so daß man selbst mit dem besten Mikroskop kaum Einzelheiten ihres Baues feststellen kann. In den Speicheldrüsenzellen der Fliegen jedoch

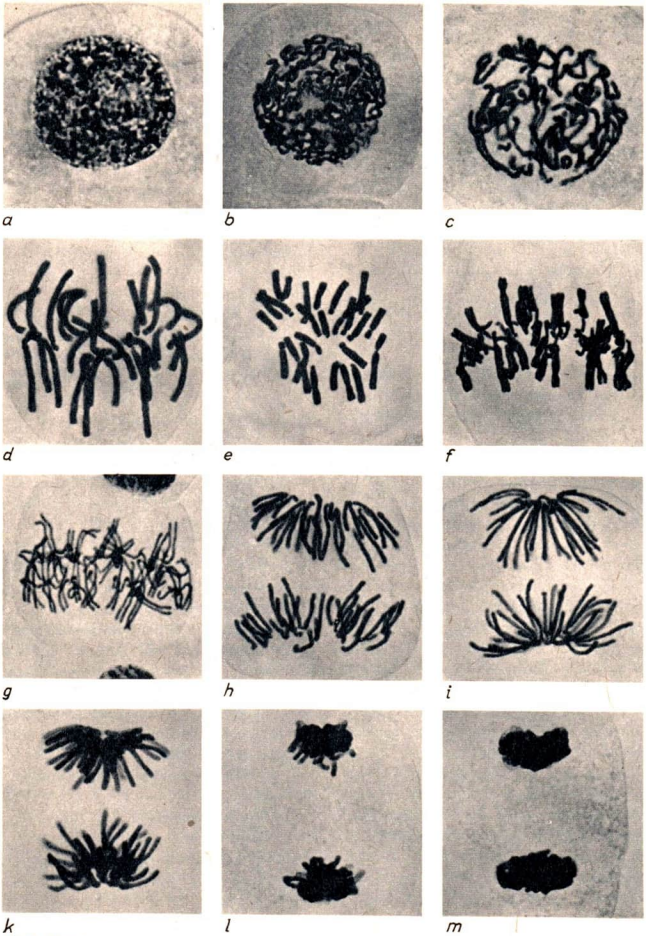


Abb. 82 Mitose

wurden Chromosomen gefunden, die 100- bis 200mal größer sind als die der gewöhnlichen Zellen (Riesenchromosomen). Sie ließen viele neue Beobachtungen und damit eine Erweiterung unserer Kenntnisse über den Feinbau der Chromosomen zu (Abb. 83). In den Chromosomen liegen stark färbbare Abschnitte, die Chromomeren, auf schwächer färbbaren Fäden. Die Chromomeren enthalten hauptsächlich Nukleinsäuren, während die Fadenteile nur aus Eiweiß bestehen. Die Chromomeren sind die Träger von Erbanlagen. Da die Chromomeren untereinander verschieden sind, kann nur durch eine Längsteilung eine gleichmäßige Verteilung ihrer Substanz auf die beiden Tochterkerne erfolgen.

Stellen wir uns vor, der Zellkern wäre ein Sack, in dem sich viele Kugeln aus verschiedenem Material befinden, so müßten wir jede Kugel einzeln halbieren, wenn wir den Inhalt des Sackes genau teilen wollten. Die Chromosomen gleichen jedoch eher einer Schmuckkette aus aneinandergereihten Kugeln, die fähig sind, sich von allein der Länge nach in zwei Hälften zu spalten. In einem neu gebildeten Kern ergänzen sich die Chromosomen in „identischer Reproduktion". Im Ergebnis erhalten dann beide Tochterkerne das gleiche Material wie der Mutterkern. Wir können nun verstehen,

Abb. 83 Chromosomenfeinbau

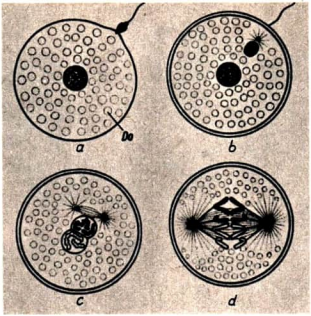


Abb. 84 Befruchtungsvorgang; Do Dotter

weshalb bei vegetativer Vermehrung die Nachkommen in erblicher Hinsicht der Ausgangsform völlig gleichen.

Meiose. Bei der Befruchtung dringt der Spermakern in das Ei ein (Abb. 84b) und vereinigt sich mit dessen Zellkern (Abb. 84c) Dies geschieht, indem sich die Kernwände auflösen und die Chromosomen zusammentreten. Die homologen Chromosomen verschmelzen aber nicht miteinander, sondern bleiben unverändert nebeneinander bestehen. Bei der Befruchtung erfolgt demnach eine Verdoppelung der Chromosomenzahl. Der Kern der Zygote enthält stets doppelt so viele Chromosomen ($2n$), wie zuvor Ei- und Samenzelle (n).

Wenn die Zahl der Chromosomen nicht in jeder Zygote gegenüber den Zellen der Eltern verdoppelt werden soll, dürfen die Fortpflanzungszellen nur jeweils einen halben (haploiden) Chromosomensatz enthalten. Bei der Bildung der Ei- und Samenzellen trennen sich deshalb die homologen Chromosomen voneinander und verteilen sich gleichmäßig auf die beiden Tochterzellen. Dies wird durch die **Reduktionsteilung** (Meiose) bewirkt. Die Meiose

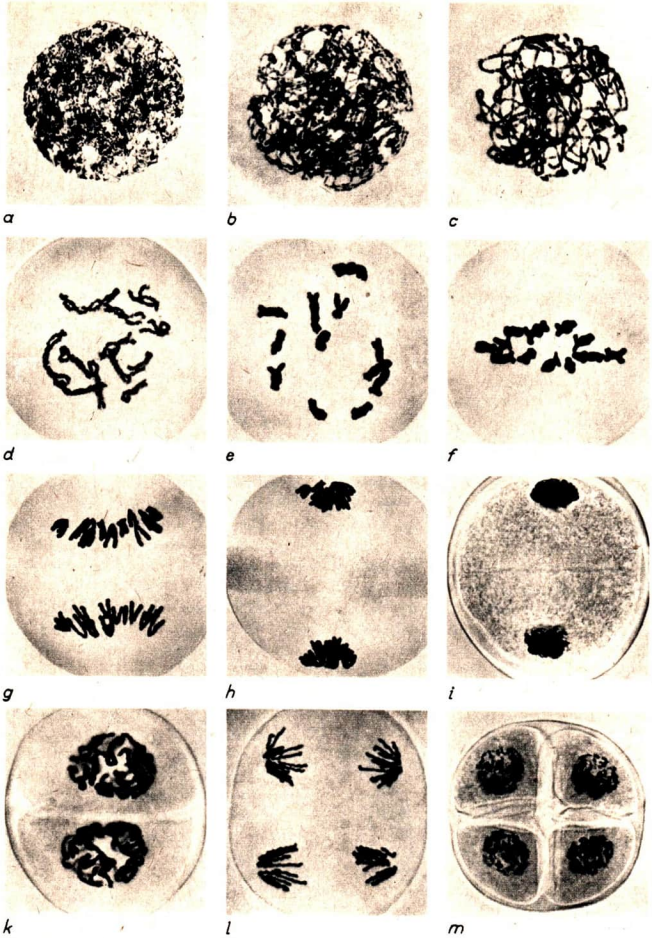


Abb. 85 Meiose

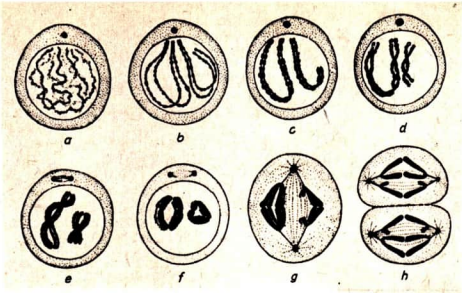


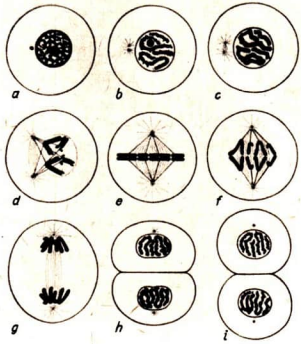
Abb. 86 Meiose (links) und Mitose (unten) in schematischer Darstellung

bringt in zwei Teilungsschritten 4 Tochterzellen mit haploidem Chromosomensatz hervor. Sie beginnt mit einer starken Vergrößerung des Kerns (Abb. 85a, b). Dann werden lange Chromosomen sichtbar (Abb. 85c), die sich genau paarweise nebeneinanderlegen, ohne zu verschmelzen (Abb. 85d).

Vielfach umschlingen sich die Chromosomen und haften an den Überkreuzungsstellen aneinander. Bei der späteren Trennung kann die Überkreuzungsstelle zerbrechen. Es kommt nicht selten vor, daß dadurch zwischen zwei homologen Chromosomen Stücke ausgetauscht werden. Dies ist für bestimmte Vererbungserscheinungen sehr wichtig.

Bei der Wanderung zur Zellmitte verkürzen sich die Chromosomen (Abb. 85e, f). Im Gegensatz zur Mitose, wandert nun je eines der homologen Chromosomen zu den Polen, so daß jedem Tochterkern die Hälfte der vorhandenen Chromosomen zufällt (Abb. 85g bis i). Damit ist die Reduktion der Chromosomenzahl vollzogen. Der folgende Teilungsschritt ist eine normale Mitose (Abb. 85k bis m).

Bei der Trennung der homologen Chromosomen während der Reduktionsteilung



bleibt es dem Zufall überlassen, welches Chromosom an den jeweiligen Pol gezogen wird (Abb. 87). Welche der acht Möglichkeiten verwirklicht werden, entscheidet der Zufall. Bei höherer Chromosomenzahl steigt die Zahl der Kombinationsmöglichkeiten rasch an.

Aufgaben

1. Betrachten Sie die Abbildungen! Erklären Sie die Unterschiede zwischen Mitose und Meiose!
2. In jeder Körperzelle eines Menschen befinden sich 46 Chromosomen. Wie viele Chromosomen besitzt eine reife weibliche Eizelle?

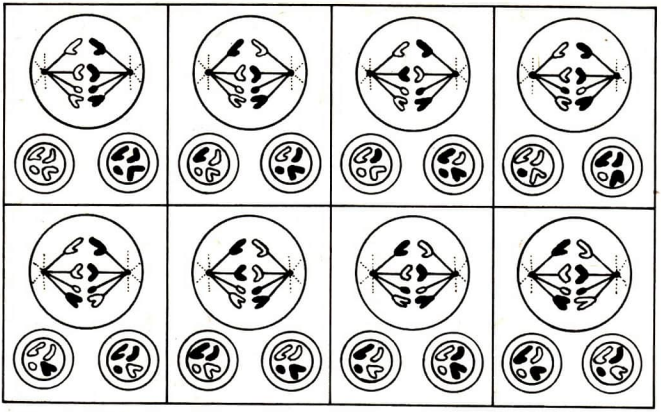


Abb. 87 Möglichkeiten der Verteilung der Chromosomen bei der Reduktionsteilung (schwarz = väterliche, weiß = mütterliche Chromosomen)

3. Jede Körperzelle einer Fruchtfliege enthält 4 Chromosomenpaare. Welche Beziehungen haben diese 4 Chromosomenpaare zu den Chromosomen der zwei Eltern der Fliege?

Vererbungsgesetze

Bei Kulturpflanzenarten steht der Züchter oftmals vor der Aufgabe, neue Sorten mit bestimmten Eigenschaftskombinationen zu schaffen, die in der natürlichen Formenmannigfaltigkeit noch nicht vorhanden sind. Die ihm zur Verfügung stehenden Pflanzen enthalten jeweils nur einzelne der geforderten Merkmale, die nun durch künstliche Kreuzung (Bastardierung) entsprechender Elternformen vereinigt werden. Bei der Kreuzung werden bestimmte Gesetzmäßigkeiten der Vererbung wirksam, deren Grundlagen vor etwa 100 Jahren erstmals in Versuchen an Erbsen und anderen Pflanzenarten von dem in Brünn (dem heutigen Brno) lebenden Augustinermönch JOHANN GREGOR MENDEL (1822 bis 1884) erkannt wurden. Eine bewußte praktische Anwendung finden diese Gesetzmäßigkeiten jedoch erst seit Beginn des 20. Jahrhunderts, nachdem die **Mendelschen Erbgesetze** durch die Forscher CORRENS (1864 bis 1933), TSCHERMAK (1871 bis 1962) und DE VRIES (1848 bis 1935) wiederentdeckt wurden.

MENDEL ging bei seinen Versuchen von einzelnen bestimmten Merkmalen aus. In seinen Kreuzungsversuchen erkannte er gewisse Regelmäßigkeiten bei der Vererbung einzelner Merkmale. Auf Grund seiner Beobachtungen stellte er drei Erbgesetze auf, die auch heute noch in jedem Kreuzungsexperiment bestätigt werden.

Diese MENDELschen Gesetze besitzen aber nur Gültigkeit für solche Merkmale, die durch das Erbgut des Zellkerns bedingt sind. Eine Reihe von Merkmalen wird durch das Plasma bestimmt; dafür gelten andere Gesetzmäßigkeiten.

1. **Mendelsches Gesetz.** Nach der Kreuzung eines weißblühenden Garten-Löwenmauls mit einer rotblühenden Sippe blüht die erste Nachkommenschaft, die F_1-Generation (F_1, erste Tochtergeneration) einheitlich rosa. Sie nimmt gegenüber den beiden Elternformen eine Mittelstellung ein. In diesem Fall spricht man von einer **intermediären Vererbung.** Weit häufiger wird das (rezessive) Merkmal des einen Elters durch das entsprechende (dominante) Merkmal des anderen Elters überdeckt. Bei der Kreuzung einer gelbsamigen Erbse mit einer grünsamigen beispielsweise bildet die F_1-Generation einheitlich gelbe Samen aus. Die F_1-Generation ist wiederum einheitlich, aber in diesem Fall dominiert die gelbe Samenfarbe über die grüne Färbung. Dies bezeichnet man als **dominant-rezessiven** Erbgang. Beim intermediären und auch beim dominant-rezessiven Erbgang ist die F_1-Generation einheitlich (uniform). Aus diesen Tatsachen leitet sich das 1. **Mendelsche Erbgesetz,** das **Uniformitätsgesetz** oder Gleichförmigkeitsgesetz, ab:

Werden zwei reinerbige, in bezug auf ein oder mehrere Merkmalspaare unterschiedliche Organismen gekreuzt, so sind bei gleichen äußeren Bedingungen die Nachkommen in der F_1-Generation einheitlich (uniform).

Meist ist es dabei gleichgültig; welche der beiden Elternformen als Mutter und welche als Vater verwendet wurde.

2. **Mendelsches Gesetz.** Kreuzt man die rosablühenden Pflanzen der F_1-Generation des Garten-Löwenmauls untereinander oder findet eine Selbstbefruchtung statt, so treten in der F_2-Generation (F_2, zweite Tochtergeneration) drei verschiedene Blütenfarben auf. Neben den Blütenfarben der beiden Elternformen weiß und rot ist wiederum die rosa Blütenfarbe der F_1-Generation vorhanden. Eine Auszählung der Blütenfarben rot, rosa und weiß ergibt ein angenähertes 1 : 2 : 1-Verhältnis. Bei einer getrennten Nachzucht der Pflanzen mit unterschiedlichen Blütenfarben ist festzustellen, daß die rot- und weißblühenden Pflanzen reinerbig (homozygot) sind und jeweils nur rot- bzw. weißblühende Pflanzen ergeben. Die rosablühenden Pflanzen dagegen sind mischerbig (heterozygot) und spalten wiederum im Verhältnis von 1 rot : 2 rosa : 1 weiß auf (Abb. 88).

Bei dem **dominant-rezessiven** Erbgang der Erbse spaltet die F_1-Generation im Verhältnis von 3 gelbsamigen zu 1 grünsamigen auf. Während die grünsamigen reinerbig sind und in der nächsten Generation nur grünsamige ergeben, sind die gelbsamigen nicht einheitlich. Ein Drittel wird in der nächsten Generation nur gelbsamige, also reinerbige, Nachkommen hervorbringen, und die restlichen zwei Drittel spalten wieder im Verhältnis von 3 gelbsamigen zu 1 grünsamigen auf. Sie entsprechen damit genetisch der F_1-Generation (Abb. 89).

Aus der Aufspaltung der F_2-Generation in bestimmte Zahlenverhältnisse geht hervor, daß die Anlagen für Blüten- bzw. Samenfarbe der beiden Elternformen in der

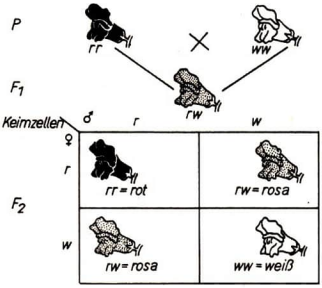


Abb. 88 Schematische Darstellung der Kreuzung einer rotblühenden mit einer weißblühenden Form des Garten-Löwenmauls (intermediärer Erbgang)

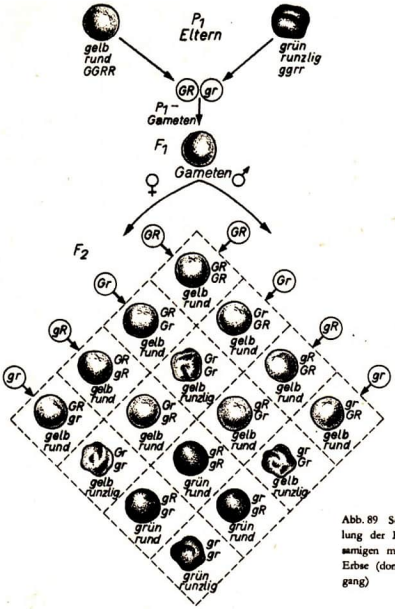


Abb. 89 Schematische Darstellung der Kreuzung einer gelbsamigen mit einer grünsamigen Erbse (dominant-rezessiver Erbgang)

F_1-Generation nicht untrennbar miteinander verbunden wurden, sondern getrennt erhalten geblieben sind. Diese Verhältnisse werden verständlich, wenn man annimmt, daß die Anlagen in den Chromosomen liegen und bei der Keimzellenbildung getrennt weitergegeben werden. Bei der Kreuzung von einem weißblühenden mit einem rotblühenden Garten-Löwenmaul sind in der befruchteten Eizelle je ein Chromosom mit der Anlage für rote Blütenfarbe und mit der Anlage für weiße Blütenfarbe enthalten. Das Zusammenwirken beider Erbanlagen führt zur Ausbildung rosa gefärbter Blüten. Bei der Keimzellenbildung mischerbiger Pflanzen trennen sich mit den homologen Chromosomen auch die Erbanlagen. Es werden etwa 50% Keimzellen – mütterliche als auch väterliche – mit Anlagen für rote und 50% Keimzellen mit Anlagen für weiße Blütenfarbe ausgebildet.

Zum besseren Verständnis des Erbganges hat schon MENDEL für die einzelnen Erbanlagen Symbole (Buchstaben) benutzt. Für die dominanten Merkmale verwendete er große Buchstaben, für die entsprechenden rezessiven kleine. Auch bei intermediärem Erbgang werden in der Regel nur kleine

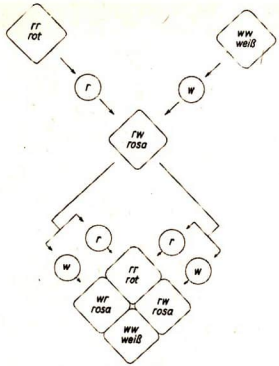


Abb. 90 Schematische Darstellung des Erbganges der Anlagen für Blütenfarbe beim Garten-Löwenmaul (rr = Anlage für rote Blütenfarbe; ww = Anlage für weiße Blütenfarbe)

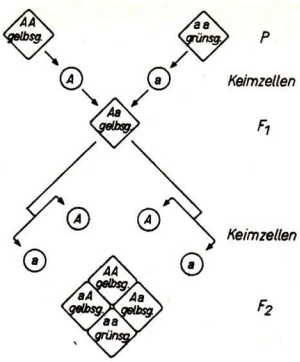


Abb. 91 Schematische Darstellung des Erbganges der Anlagen für Samenfarbe bei der Erbse
AA – Anlage für gelbsamig; aa – Anlage für grünsamig

Buchstaben benutzt. In reinerbig homozygoten Ausgangsformen schreibt man die Erbformel für homozygote Merkmale mit zwei gleichen Buchstaben (AA oder aa). Die Abbildung 90 zeigt, wie man sich die Verteilung der Erbanlagen bei der Kreuzung des rotblühenden und weißblühenden Garten-Löwenmauls vorstellen kann.

Ähnlich verhält es sich auch bei dem dominanten Erbgang der Samenfarbe der Erbse. Hier kommt es jedoch nicht zu einer intermediären Farbausbildung, da das Merkmal für gelbe Farbe (**AA**) das Merkmal für grüne Farbausbildung (**aa**) überdeckt. Es werden zwei genetisch unterschiedliche gelbsamige Formen gebildet, die phänotypisch nicht zu trennen sind (Abb. 91). Die genetische Zusammensetzung der gelbsamigen Formen läßt sich daher nur durch Überprüfung der Nachkommen aufklären. Aus der Spaltung der F_2-Generation in ganz bestimmte Zahlenverhältnisse ergibt sich das 2. **Mendelsche Erbgesetz**, das **Spaltungsgesetz:**

Werden Organismen der F_1-Generation untereinander gekreuzt oder (bei zwittrigen Blüten) durch eigenen Blütenstaub befruchtet, so ist die F_2-Generation in dem betreffenden Merkmal nicht einheitlich, sondern spaltet nach bestimmten Zahlenverhältnissen auf.

Bei der Keimzellenbildung eines mischerbigen Bastards (F_1-Pflanze) wurde die Annahme zugrunde gelegt, daß Keimzellen von der genetischen Konstitution r bzw. A und w bzw. a in gleicher Häufigkeit ausgebildet werden. Bedient man sich der

Abb. 92 Erbgang bei der Rückkreuzung des Bastardes mit dem rezessiven Elter

		Keimzellen des Bastards	
		A	a
Keimzellen des rezessiven Elters	a	a A	a a
	a	a A	a a

Rückkreuzungsmethode, läßt sich diese Annahme im Experiment beweisen. Bei der Rückkreuzung eines Bastards Aa mit dem rezessiven Elter aa müssen die dominierenden und rezessiven Typen im 1 : 1-Verhältnis auftreten, wenn beide Keimzellensorten im gleichen Verhältnis gebildet werden (Abb. 92).

Schon MENDEL führte diesen Beweis durch, indem er den Erbsenbastard aus der Kombination gelbsamig × grünsamig mit dem grünsamigen rezessiven Elter rückkreuzte. Er erhielt ein Verhältnis von 104 gelbsamigen zu 104 grünsamigen Formen. Dieses Verhältnis läßt sich auch beim Pollen bestimmter Pflanzenarten anschaulich demonstrieren. Es gibt verschiedene **Hirsearten,** die sich durch unterschiedliche Reservestoffe im Pollen auszeichnen. Einige Formen enthalten Stärke, andere dagegen ein Kohlenhydrat, das nicht mit Jod reagiert. Werden derartige Formen miteinander gekreuzt, und wird der Pollen der Bastardpflanzen mit Jod angefärbt, so färben sich alle Pollen, die Stärke enthalten, blauschwarz, während die anderen Pollen farblos bleiben (Abb. 93).
Auszählungen der farblosen und gefärbten Pollenkörper ergeben immer ein eindeutiges 1 : 1-Verhältnis.

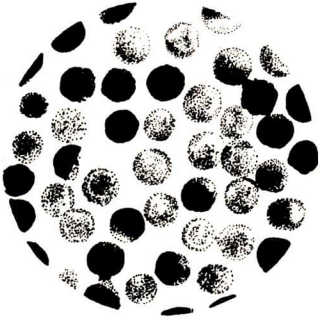


Abb. 93 Nachweis der Spaltung unter den Pollenkörnern eines Bastards der Hirse (*Sorghum*-Bastard)

3. Mendelsches Gesetz. Bei den bisher behandelten Kreuzungsbeispielen unterscheiden sich die Elternformen nur in einem Merkmalspaar. Aus der F_2-Generation ist zu ersehen, daß keine Neukombination möglich ist, es treten nur die bei den Eltern schon vorhandenen Eigenschaften wieder in Erscheinung. Die intermediäre Farbausbildung kann nicht als Neukombination bezeichnet werden, denn sie tritt nur in heterozygotem Zustand auf und kann nie reinerbig gezüchtet werden. Für die praktische Züchtung sind erst Kreuzungen von Bedeutung, bei denen Eltern mit mindestens zwei unterschiedlichen Merkmalspaaren gepaart werden. Hier treten unter den Nachkommen Individuen auf, die Erbanlagen in neuer Kombination besitzen. Als Beispiel für die Kreuzung mit zwei verschiedenen Merkmalspaaren betrachten wir die Vererbungsvorgänge bei zwei Rinderrassen. Die eine Rinderrasse ist schwarz (**AA**) und gescheckt (**bb**), die andere rot (**aa**) und einfarbig (**BB**). Die F_1-Generation ist also einfarbig schwarz.

Die F_1-Generation bildet aber vier verschiedene Keimzellen aus (AB; Ab; aB; ab), die kombinierbar sind (Abb. 94). In der F_2-Generation finden sich einfarbig schwarze, einfarbig rote, gescheckt schwarze und gescheckt rote Rinder. Neben den beiden Elternformen entstanden zwei Neukombinationen, die einfarbig schwarze und die gescheckt rote Form.

Aus diesen Vererbungsvorgängen leitet sich das **3. Mendelsche Gesetz,** das **Unabhängigkeitsgesetz,** ab:

Nach der Kreuzung von Individuen, die sich in mehr als einem Merkmal voneinander unterscheiden, treten in der F_2-Generation Neukombinationen auf. Jedes Merkmal wird dabei nach dem Spaltungsgesetz vererbt, und die Merkmale werden unabhängig voneinander auf die Nachkommen verteilt.

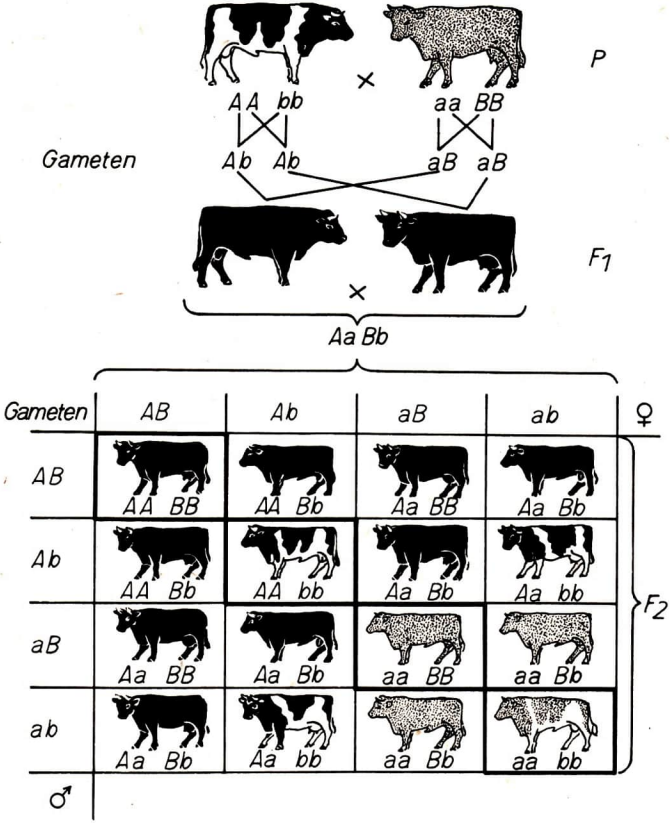


Abb. 94 Kreuzung einer schwarz gescheckten mit einer rot einfarbigen Rinderrasse. (Rote Farbe ist durch Punktierung dargestellt). Die Anlagen sind durch die Zeichen A = schwarz, b = gescheckt, B = einfarbig und a = rot gekennzeichnet.

Aufspaltungsverhältnisse bei den Merkmalspaaren

Merkmals-paare	Zahl der neu auftretenden Phänotypen	Aufspaltungsverhältnis der F_2
1	—	3 : 1
2	2	9 : 3 : 3 : 1
3	6	27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1
4	14	81 : 27 : 27 : 27 : 27 : 9 : 9 : 9 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 3 : 1
n	$2^n - 2$	$(3 + 1)^n$

In der praktischen Züchtung werden aber oftmals Formen gekreuzt, die sich in einer größeren Anzahl von Merkmalen unterscheiden. Die obige Tabelle gibt eine Übersicht über den möglichen Formenreichtum bei dominant-rezessivem Erbgang.

Die Übertragung der Erbanlagen und die Merkmalsausprägung erfolgen nicht immer in so einfacher Weise, wie es hier zum besseren Verständnis der MENDELschen Gesetze dargelegt wurde. Es können verschiedenartige Abweichungen vom normalen Spaltungsverhältnis beobachtet werden, die sich aus der wechselseitigen Wirkung der Gene untereinander ergeben. Gleichzeitig konnte aber auch nachgewiesen werden, daß nicht alle Erbanlagen frei kombinierbar sind, wie es MENDEL angenommen hatte. Alle Gene, die in einem Chromosom lokalisiert sind, werden vielmehr gekoppelt vererbt, was verständlich wird, wenn man sich die Vorgänge der Meiose vergegenwärtigt. Eine Umkombination der Gene, die auf einem Chromosom liegen, ist nur nach einem Koppelungsbruch möglich, wenn an homologen Chromosomen ein wechselseitiger Stückaustausch stattfindet.

Eine wichtige Erkenntnis, die sich jedoch aus den einfachen Beispielen für die MENDELschen Gesetze ableiten läßt, ist die Tatsache, daß durch Kreuzung keine Neubildung von Merkmalen erfolgt, sondern nur eine Neuverteilung bereits vorhandener Merkmale auf verschiedene Individuen stattfindet.

Neue Merkmale können nur durch Veränderung und Umbildung der Erbanlagen selbst entstehen (s. S. 122).

Vererbung des Geschlechts und geschlechtsverbundene Vererbung

Während bei den meisten Pflanzen weibliche und männliche Geschlechtszellen von einem Individuum hervorgebracht werden, sind unsere Haustiere getrenntgeschlechtlich. Bei ihren Nachkommen treten mit mehr oder weniger großer Genauigkeit immer 50% männliche und 50% weibliche Lebewesen auf. Die Ursache hierfür ist in Experimenten mit der Fruchtfliege sehr genau festgestellt worden. Die Zellen der Weibchen enthalten ein besonderes Chromosomenpaar, die X-Chromosomen (XX). Die Zellen der Männchen dagegen besitzen ein ungleiches Chromosomenpaar, das nur ein X-Chromosom und das beim Weibchen nicht vorkommende Y-Chromosom enthält (XY). Diese X- und Y-Chromosomen sind offenbar für die Ausprägung des Geschlechts ausschlaggebend.

In der Meiose erhält jede entstehende Eizelle ein X-Chromosom. Bei den Männchen dagegen entstehen zwei Sorten Spermien (Samenzellen), solche mit einem X-Chromosom und solche mit einem Y-Chromosom.

Die Eier des Weibchens können also mit gleich großer Wahrscheinlichkeit entweder von einem Spermium, das ein X-Chromosom enthält, oder von einem Spermium, das ein Y-Chromosom enthält, befruchtet werden. Treffen zwei X-Chromosomen zusammen, entsteht ein Weibchen (XX). Beim Zusammentreffen eines X- und eines Y-Chromosoms entsteht ein Männchen (XY). Versuche mit vielen anderen Organismen haben gezeigt, daß in den Geschlechtschromosomen bestimmte Anlagen für Merkmale und Eigenschaften vorhanden sein können. Dadurch kommt es zur **geschlechtsgebundenen Vererbung** dieser Anlagen. Enthält beispielsweise nur das X-Chromosom des Männchens eine solche Anlage, so kann diese nur auf die Tochter vererbt werden. Enthält nur das X-Chromosom des Weibchens diese Anlage, kann sie auf Sohn und Tochter vererbt werden. Die rezessiven Merkmale für Rot-Grün-Farbenblindheit und für die Bluterkrankheit beim Menschen sind beispielsweise an das X-Chromosom gebunden.

In der Geflügelzucht ist die geschlechtsgebundene Vererbung von praktischer Bedeutung, weil die Vererbung bestimmter Farben an die Geschlechtschromosomen gebunden ist. In der Geflügelgroßhaltung ist es entscheidend, die Hennenküken frühzeitig von den Hähnchenküken zu trennen. Man hat festgestellt, daß bei Eintagsküken Hähnchen und Hühnchen geringe Farbunterschiede aufweisen, die durch die geschlechtsgebundene Vererbung der Farben bedingt sind. Deshalb ist es möglich, die Eintagsküken bereits nach Geschlechtern zu trennen.

Natur und Wirkungsweise der Erbfaktoren

Neue Erkenntnisse über den strukturellen und chemischen Aufbau der Erbanlagen verdanken wir vor allem der Biochemie. Als chemische Bestandteile der Chromosomen waren schon früher Eiweiße und Nukleinsäuren bestimmt worden. Ebenso wußte man bereits, daß die Nukleinsäure in Form der **Desoxyribonukleinsäure** (DNS) die einzige Kernsubstanz ist, die von Zellgeneration zu Zellgeneration erhalten bleibt. Neuerdings konnte nun nachgewiesen werden, daß bei den Viren und Bakteriophagen ebenso wie bei den höheren Organismen Nukleinsäuren Träger der

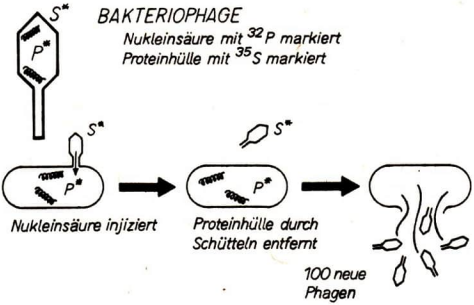


Abb. 95 Die DNS als Träger der Erbanlagen beim Bakteriophagen. Schematische Darstellung des Experiments, das diese Aussage beweist

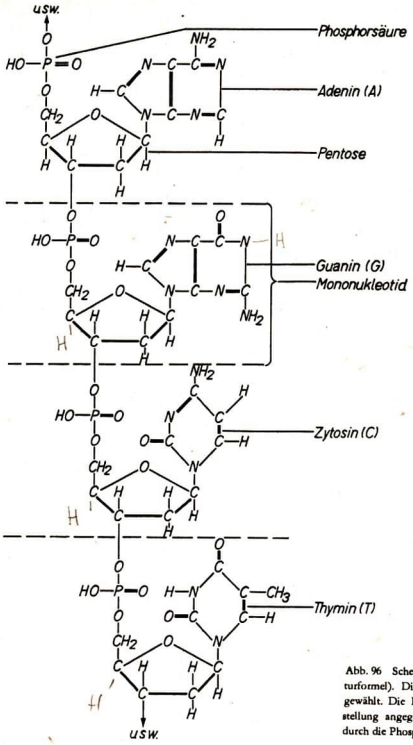


Abb. 96 Schematische Darstellung einer Nukleinsäurekette (Strukturformel). Die Reihenfolge der Mononukleotide ist willkürlich gewählt. Die Bestandteile eines Mononukleotids sind in der Darstellung angegeben. Die Verknüpfung der einzelnen Nukleotide durch die Phosphorsäure ist deutlich zu erkennen.

Vererbung sind. Der Beweis gelang besonders überzeugend bei den Bakteriophagen (Abb. 95). Mit Hilfe radioaktiver Markierung konnte gezeigt werden, daß nur die DNS in die Bakterienzelle eindringt und dort für den Aufbau der neuen Bakteriophagen sorgt. Damit wird bewiesen, daß die DNS Träger der Erbanlagen ist.

Bei einigen Virusarten (z. B. Tabakmosaikvirus) erfüllt die **Ribonukleinsäure** (RNS), eine der DNS sehr ähnliche Verbindung, diese Aufgabe.

Der hohe Anteil der DNS in den Zellen der Bakterien und Bakteriophagen begünstigte auch die Erforschung des chemischen Aufbaus der DNS. Die DNS bildet eine faden-

förmige Nukleinsäurekette. Ihre Bausteine setzen sich jeweils aus einem Molekül Phosphorsäure, Zucker (Desoxyribose) und einer organischen Base zusammen (Abb. 96). Die organische Base kann entweder Adenin (A), Guanin (G), Thymin (T) oder Zytosin (C) sein. Die einzelnen Bausteine der Nukleinsäurekette sind über die Phosphorsäure miteinander verbunden (Abb. 96). Aus den Untersuchungen ging außerdem mit großer Sicherheit hervor, daß die DNS-Stränge aus zwei schraubig umeinander gewundenen Nukleinsäureketten bestehen, die durch Wasserstoffbrücken miteinander verbunden sind (Abb. 97). Dabei wurde festgestellt, daß solche Wasserstoffbrücken jeweils nur zwischen Adenin und Thymin beziehungsweise Guanin und Zytosin möglich sind (Abb. 98).

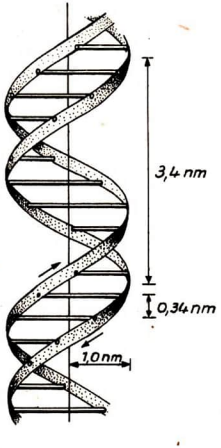


Abb. 97 Darstellung eines doppelspiraligen Nukleinsäurestranges. Z Zucker, A Adenin. Die horizontalen parallelen Linien stellen Wasserstoffbrücken dar. Die Skizze zeigt nur ein kurzes Stück des Doppelfadens, der bei dieser Vergrößerung mehr als 200 m lang wäre.

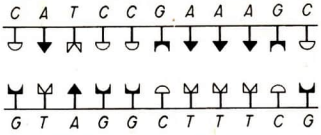


Abb. 98 Schematische Darstellung eines Teilabschnittes des DNS-Doppelstranges. A Adenin, C Zytosin, G Guanin, T Thymin. Die vier verschiedenen Zeichen sollen veranschaulichen, daß nur die komplementären Basen (Nukleotide) sich miteinander paaren können.

Neben der chemischen Struktur ist der Beweis für eine **identische Reproduktion** für das Verständnis des Vererbungsgeschehens von großer Bedeutung. Bisher konnte dieser Vorgang aber nur im Reagenzglas experimentell bestätigt werden. Danach scheinen sich zunächst die beiden Nukleinsäureketten eines DNS-Stranges voneinander zu trennen. An die nun freien Wasserstoffbrücken lagern sich dann mit Hilfe spezifischer Fermente die entsprechenden Basen an und bilden so zwei neue, identische Nukleinsäureketten (Abb. 99).

Weitere Untersuchungen zeigten, daß auch die Reihenfolge der organischen Basen in der Nukleinsäurekette (Basensequenz) entscheidende Bedeutung hat. Diese Reihenfolge stellt offensichtlich eine verschlüsselte Information dar, die alle wichtigen „Nachrichten" für einen ordnungsgemäßen Ab-

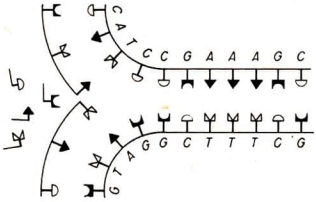


Abb. 99 Schematische Darstellung der identischen Reproduktion der DNS. Nach der Trennung der beiden Nukleinsäureketten eines DNS-Stranges bilden sich durch Anlagerung und Verknüpfung der komplementären Basen zwei neue Nukleinsäureketten.

lauf der Lebensvorgänge enthält. Es galt deshalb herauszufinden, wie diese Informationen zu lesen seien. Bei diesen Bemühungen half ein Blick in die Nachrichtentechnik weiter. Die Morseschrift beweist, daß es allein mit den beiden Zeichen „Punkt" und „Strich" gelingt, alle 26 Buchstaben des Alphabets zu verschlüsseln. Manche Anzeichen deuten darauf hin, daß die Informationen im Nukleinsäurestrang nach einem ähnlichen Prinzip verschlüsselt sind. Die bei der DNS durch die vier verschiedenen Basen gegebenen Kombinationsmöglichkeiten reichen nach den derzeitigen Kenntnissen aus, um alle notwendigen Verbindungen zu bilden, die für die Lenkung der Stoffwechselprozesse erforderlich sind.

Bei der Bildung der wichtigen Verbindungen (Eiweiße und Fermente) entsteht zunächst eine der DNS ähnliche Verbindung (Ribonukleinsäure). Diese Ribonukleinsäure (RNS) besitzt die genetische Information von einem bestimmten Abschnitt der DNS-Kette und wandert auf bisher noch unbekannte Weise zu den Orten der Synthese im Zytoplasma der Zelle und veranlaßt dort die Bildung spezifischer Stoffe (Eiweiße, Fermente). Als Orte dieser Synthese sind die Ribosomen festgestellt worden. Die RNS sorgt also für die Übermittlung der in der DNS verschlüsselten genetischen Information an die Orte der Synthese der organischen Verbindungen. Die RNS kommt sowohl bei den Bakterien als auch bei den höheren Pflanzen und Tieren vor. Da die mit Hilfe der RNS gebildeten Fermente später auch bei der Merkmalsausbildung wirksam werden, erkennt man, wie die Erbanlagen die Merkmalsausbildung lenken. Diese Erbanlagen (Gene) sind bestimmte Abschnitte im DNS-Strang. Wie groß diese zu einem „Gen" gehörenden Abschnitte sind, ist noch nicht bekannt.

Veränderungen der Information (Mutationen) können allein schon nach dem Austausch nur einer Base auftreten. Über die Bildung der Fermente hinaus wirken die Erbanlagen auf die Prozesse ein, die zur vollständigen Ausbildung der Eigenschaften und Merkmale führen. Am besten sind bisher die Prozesse bei der Bildung von Pigmenten bei der Mehlmotte *(Ephestia kühniella)* untersucht worden. Hierbei konnte die Wirkung von drei Genen für die Farbstoffbildung ermittelt werden. Jedes Gen bewirkt die Bildung eines Ferments, das nur zu ganz spezifischen biochemischen Reaktionen fähig ist. Die Pigmentausbildung ist also eine Genwirkkette, die aus vielen biochemischen Reaktionen besteht. Die meisten Vorgänge bei der Entwicklung der Organismen (z. B. die Formbildung bei Früchten und Blättern) sind jedoch noch unerforscht.

Mutationen

Zuweilen werden bei Pflanzen und Tieren Merkmalsänderungen beobachtet, die erblich sind und nicht auf einer bloßen Umkombination der Erbanlagen beruhen. Solche spontan auftretenden Veränderungen nennt man **Mutationen**. Die Individuen, die mutierte Merkmale aufweisen, werden **Mutanten** genannt. Für die natürliche Evolution der Organismen und für die praktische Züchtung, die als eine vom Menschen gelenkte Evolution bezeichnet werden kann, haben Mutationen große Bedeutung. Während Kreuzungen (Kombinationen) nur zu einer Neuverteilung bereits vorhandener Merkmale führen, beruht die Mutation auf einer Veränderung der Erbsubstanz. Durch die Mutationen wird die **genetische Variabilität** und damit das Ausgangsmaterial erweitert. Auf Grund der Ergebnisse der Mutationsforschung werden drei Mutationstypen unterschieden.

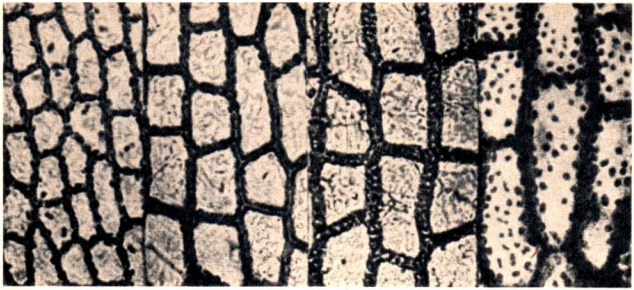


Abb. 100 Vergrößertes Blattgewebe von Moospflanzen. Links außen die Zelle mit einfacher Chromosomenzahl und nach rechts die Zellen mit 2-, 3- und 4facher Chromosomenzahl

Genommutationen. Bei den Genommutationen findet eine Vermehrung oder Verminderung der sonst konstanten Chromosomenzahl statt. Es kann sowohl eine Vermehrung beziehungsweise Verminderung einzelner Chromosomen als auch ganzer Chromosomensätze erfolgen. Eine Vervielfachung ganzer Chromosomensätze wird als Polyploidie bezeichnet. In der Natur und bei den Kulturpflanzen sind Serien polyploider Arten verhältnismäßig häufig. So ist beispielsweise in der Weizengattung die Grundzahl $n = 7$. Der Einkornweizen besitzt $2n = 14$ Chromosomen, der Emmerweizen $2n = 28$ Chromosomen und der Kulturweizen $2n = 42$ Chromosomen als höchste Stufe.

In der Regel führt eine Vervielfachung der Chromosomensätze zu einer Zunahme der Zellgröße (Abb. 100) und damit auch zu einer Organvergrößerung. Die Blütenblätter, Laubblätter und auch die einzelnen Triebe sind bei polyploiden Pflanzen meistens größer und stärker entwickelt als bei den normalen diploiden Ausgangsformen.

Die Polyploidie wird von der praktischen Züchtung insbesondere bei solchen Kulturpflanzen künstlich hergestellt, deren vegetative Organe genutzt werden (z. B. Futterpflanzen). In der Grünmasseleistung übertreffen die polyploiden Futterpflanzen meist die Ausgangsformen beträchtlich (Abb. 101). Allerdings darf nicht übersehen werden, daß der prozentuale Trockensubstanzgehalt geringer ist, die Pflanzen gegen Trockenheit empfindlicher sind und meist auch die Samenproduktion stark herabgesetzt ist.

Genmutationen. Veränderungen innerhalb der Erbanlagen, bei denen keine

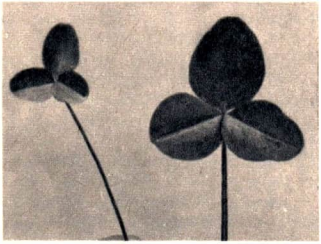


Abb. 101 Blatt einer diploiden (links) und einer tetraploiden (rechts) Pflanze des Schweden-Klees

mikroskopisch sichtbaren strukturellen Veränderungen an den Chromosomen nachzuweisen sind und die im Kreuzungsexperiment in typisch MENDELsche Zahlenverhältnisse spalten, werden als **Gen- oder Punktmutationen** zusammengefaßt. Mutieren können dabei alle gestalt- und formbestimmenden Merkmale sowie sämtliche Lebensvorgänge. Am besten erforscht sind Mutationen, die Farb- bzw. Formmerkmale ändern, weil diese besonders auffällig sind. Mutationen, die Lebensvorgänge betreffen, erfolgen zwar ebenso häufig, werden aber oftmals übersehen, weil sie meist nicht sichtbar werden und erst durch besondere Untersuchungs- und Ausleseverfahren aufzufinden sind.

Die Mehrzahl der mutierten Gene ist rezessiv. Die betreffenden Mutationen werden daher erst nach der Aufspaltung in der folgenden Generation beobachtet.

Die Häufigkeit, mit der ein bestimmtes Gen in einer Generation unter normalen Umweltbedingungen mutiert, beträgt im Durchschnitt 10^{-5} bis 10^{-7}. Unter 100000 bis 10000000 Pflanzen ist also einmal damit zu rechnen, daß ein bestimmtes Merkmal durch eine Mutation verändert wird. Das erscheint uns zunächst als eine sehr kleine Zahl. Bedenkt man jedoch, daß auf 1 Hektar 2 bis 3 Millionen Getreidepflanzen stehen und berücksichtigt nur 50 Gene, kann man mit 100 bis 150 Mutationen je Hektar rechnen. Bei den einzelnen Genen sind diese Werte zudem oft sehr verschieden, stabile Gene mutieren recht selten, während labile Gene eine verhältnismäßig hohe Mutationsrate erreichen können.

Chromosomenmutationen. Chromosomenmutationen sind mikroskopisch sichtbare Strukturänderungen an einzelnen oder mehreren Chromosomen. Voraussetzung dafür ist das Auftreten eines oder mehrerer Chromosomenbrüche, die entweder spontan sind oder durch äußere Einwirkungen ausgelöst werden können, ohne daß wir im einzelnen die konkrete Ursache dafür kennen. Wenn sich solche Bruchstücke vereinigen, kann der Normalzustand wiederhergestellt werden. Es kann aber auch ein Austausch von Chromosomenstücken sowie eine Umkehrung oder Verdoppelung bestimmter Chromosomenabschnitte erfolgen. Häufig kommt es auch zu Bruchstückverlusten, indem einige Bruchstücke nicht mit anderen Chromosomen verschmelzen, sondern bei der Kernteilung verlorengehen, weil sie keine Spindelfaser – Anheftungsstelle aufweisen (Abb. 102). Chromosomenmutationen bewirken stets eine Veränderung der Erbsubstanz, die auch im Erscheinungsbild des späteren Lebewesens sichtbar wird. Spontan treten Chromosomenmutationen nur verhältnismäßig selten auf. Sie setzen außerdem die Lebensfähigkeit und Fruchtbarkeit in der Regel stark herab und haben kaum praktische Bedeutung.

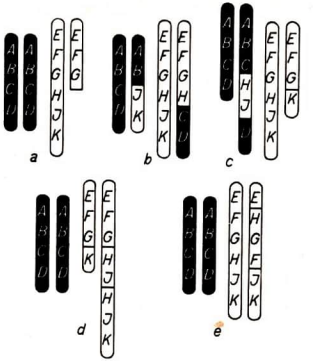


Abb. 102 Schema verschiedener Chromosomenmutationen
a Bruchstückverlust, b wechselseitige, c einseitige Chromosomenstückverlagerungen, d Verdoppelung eines Chromosomenabschnittes im selben Chromosom, e Umkehrung eines Chromosomenabschnittes

Faktoren der stammesgeschichtlichen Entwicklung

Die Frage nach der Ursache und dem Verlauf der stammesgeschichtlichen Entwicklung ist eine der Grundfragen der Biologie. Der Beweis, daß im Pflanzen- und Tierreich im Verlaufe der Erdgeschichte eine Entwicklung von niederen zu höheren Lebewesen stattgefunden hat, ist von der Paläontologie, der vergleichenden Anatomie und Embryologie und, soweit es den Menschen betrifft, von der Anthropologie erbracht worden. Entwicklungslinien, wie beispielsweise die der Wirbeltiere, des Pferdes und des Menschen oder der nackt- und bedecktsamigen Pflanzen, sind durch Funde in den verschiedenen geologischen Formationen ständig ergänzt worden. Die Lücken zwischen den einzelnen Gliedern einer Entwicklungsreihe sind groß, und die zum Teil erheblichen Merkmalsänderungen zwischen den bisher gefundenen Tier- und Pflanzenformen können nur mit der Annahme vieler bisher noch unbekannter Zwischenformen erklärt werden.

Der Ablauf der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Organismen in vergangenen erdgeschichtlichen Epochen ist experimentell nicht zu erforschen. Einmal sind die Zeiträume zu groß, in denen sich Veränderungen von Bedeutung vollzogen haben (für den Erwerb des aufrechten Ganges des Menschen wird allein mit 400000 bis 600000 Generationen gerechnet), zum anderen ist die Entwicklungsgeschichte nicht umkehrbar, einmal abgelaufene Evolutionsprozesse lassen sich nicht wiederholen.

Die Evolution der Organismen ist noch nicht abgeschlossen. Auch wenn im Zeitraum vieler menschlicher Generationen die Tier- und Pflanzenwelt scheinbar unverändert bleibt, wirkt sie ständig und unaufhaltsam weiter. Deshalb versucht man, bei den gegenwärtig lebenden Tieren und Pflanzen die Ursachen und den Verlauf der Evolution zu ergründen. Das haben viele Biologen seit über 100 Jahren getan. Aber erst die Erkenntnisse der Vererbungsforschung haben uns genauere Vorstellungen über die Faktoren der Evolution vermittelt.

Die Selektion

Vor mehr als 100 Jahren (1859) schrieb DARWIN: „Es kann gesagt werden, daß die natürliche Auslese täglich und stündlich auf der ganzen Welt jede Variation prüft, selbst die geringfügigste; sie merzt alles aus, was schlecht ist und bewahrt und sammelt alles, was gut ist; sie arbeitet in der Stille und unmerklich, wann und wo immer sich ein Vorteil bietet, an der Verbesserung eines jeden organischen Wesens in Beziehung zu

seinen organischen und anorganischen Lebensbedingungen." Diese Feststellung ist auch heute noch ohne Einschränkung gültig. Die Wechselwirkung zwischen dem Organismus und seiner Umwelt in der natürlichen Auslese muß als die treibende Kraft der Evolution angesehen werden.

In der Mehrzahl der Fälle bewirkt die natürliche Auslese oder **Selektion** eine verbesserte Lebenseignung eines Organismus in einer bestimmten Umwelt. Die Wechselwirkungen zwischen Organismus und Umwelt können aber nur dann zu wirklich besser angepaßten Lebewesen führen, wenn die Selektion an einer gewissen Anzahl erblich verschiedener Pflanzen oder Tiere einer Art wirksam werden kann. Viele Angehörige einer Art, wie beispielsweise die Feldmaus *(Microtus arvalis)*, die Fruchtfliege *(Drosophila melanogaster)*, die Küchenschelle *(Anemone pulsatilla)* oder das Darmbakterium *(Escherichia coli)*, müssen in einem mehr oder weniger großen zusammenhängenden Areal als **Population** zusammenleben. Es muß ferner unter ihnen eine freie Kreuzbarkeit geben. Verschiedene Arten einer Gattung sind durch eine mehr oder weniger ausgeprägte, oft geschlechtliche Isolierung voneinander getrennt. Sie können entweder gar nicht miteinander gekreuzt werden oder ergeben, wie nach der Kreuzung zwischen Pferd und Esel, gewöhnlich unfruchtbare Bastarde. Dabei ist die Einteilung in Arten vom Menschen ursprünglich nur zur Ordnung des Organismenreiches nach möglichst deutlichen morphologischen Unterschieden vorgenommen worden. Erst die moderne Systematik bemüht sich, die natürlichen Verwandtschaftsverhältnisse zwischen Arten, Gattungen, Familien usw. widerzuspiegeln.

Durch die Selektion sind Organismen entstanden, die niedrige Temperaturen in der Arktis ertragen oder in der feuchten Hitze des tropischen Regenwaldes leben können oder in Wüsten gegen Austrocknung weitgehend geschützt sind. Alle diese Tiere und Pflanzen sind an die verschiedenen Lebensräume ausgezeichnet angepaßt und besitzen durch eine hohe Vermehrungsrate oder andere zweckmäßige Merkmale Schutzeinrichtungen gegen Angehörige anderer Arten, ihre natürlichen „Feinde"; um die Erhaltung ihrer Art sicherzustellen. Diese oft sehr „sinnvollen" Anpassungsmerkmale sind durch die Wechselwirkung zwischen den Populationen einer Art und ihrer Umwelt entstanden. Die Individuen, die den jeweils herrschenden Umweltsbedingungen am besten angepaßt waren, hatten einen höheren **Selektionswert** als ihre Artgenossen, d. h., sie besaßen eine größere Chance zu überleben und sich fortzupflanzen. Die Selektion geeigneter Genotypen aus einer Population würde aber bald ein Ende haben, wenn nicht innerhalb der Population ständig neue erbliche Veränderungen (Mutationen) auftreten würden, die der Selektion immer wieder neues Material bieten. Ohne Mutationen würde die Population immer einheitlicher und ihre Anpassungsfähigkeit an wechselnde Umweltbedingungen immer geringer, was schließlich zu ihrem Aussterben führt.

Die Mutation

Mutationen sind als der primäre Evolutionsfaktor erkannt worden. Die Umwelt entscheidet über das Bestehen oder Vergehen von Organismen in der Evolution, sie kann evolutive Veränderungen erregen, bedingen und begrenzen, sie entscheidet aber nicht, welche Veränderungen primär entstehen und auch nicht exakt, welche Veränderun-

gen erhalten bleiben. Denn solange die allgemeine Lebenseignung einer Population hoch genug bleibt, können genetische Veränderungen ohne erkennbare Zweckbestimmung eintreten. Diese Tatsache ergibt sich aus dem richtungslosen Charakter der Mutationen.

Rezessive Mutationen können sich in Wildpopulationen lange unentdeckt erhalten, da sie nur selten homozygot und damit erkennbar werden. Das konnte nach Fängen von Wildformen der Fruchtfliege nachgewiesen werden, die in ihrem Phänotyp einheitlich waren. Schon in der ersten Nachzuchtgeneration oder in F_2 und F_3 spalteten nach der Prüfung von 239 normal aussehenden Weibchen Mutanten heraus, die auf 32 mutierte Gene zurückgeführt werden konnten. Manche der untersuchten Wildpopulationen enthielten bis zu 30% Mutationen, die irgendein sichtbares Merkmal und außerdem zahlreiche homozygot letal wirkende Gene betreffen.

Diese Untersuchungen zeigen, daß Mutationen die Ursache der Mannigfaltigkeit der Genotypen und Phänotypen in einer Population sind. Bei den Untersuchungen ergab sich auch, daß die im Laboratorium erzeugten Mutationen mit denen aus Wildpopulationen phänotypisch und genotypisch übereinstimmen. Mutationen, die in einer bestimmten Umwelt einen negativen Selektionswert besitzen, können in einer anderen Umwelt durchaus positiv sein. Hierfür ein Beispiel, welches gleichzeitig die Übereinstimmung von künstlich hervorgerufenen und spontanen Mutationen demonstriert. Bei Insekten mutieren beispielsweise Gene, die die Ausbildung der Flügel steuern, wie in Versuchen mit *Drosophila* festgestellt wurde (Abb. 103). Stummelflügelige oder riemenflügelige Mutanten sind gegenüber den normalflügeligen Fliegen in Mitteleuropa stark benachteiligt. In einer Umwelt mit ständigen starken Stürmen aber, wie auf den am Rande der Antarktis gelegenen Kerguelen-Inseln, können solche Mutationen vorteilhaft sein. Dort ist das Fliegen für Insekten sehr gefährlich. Deshalb sind durch die Wirkung der Selektion auf diesen Inseln flugunfähige Mutanten, bei denen die Flügel entweder völlig fehlen oder verkümmert sind, besser lebensfähig. Auf der Abbildung 104 sind solche flugunfähigen Insekten – zwei Fliegen und ein Schmetterling – von den Kerguelen-Inseln dargestellt. Durch die Untersuchungen der **Populationsgenetik** ist an vielen Pflanzen und Tieren gezeigt worden, daß erbliche Unterschiede zwischen geographischen und ökologischen Rassen einer Art oder zwischen kreuzbaren „Arten" auf Unterschieden in mehr oder weniger zahlreichen Genen beruhen. Scheinbar bedeutungslose Unterschiede in Färbungs- und Musterungsmerkmalen können mit der Lebenseignung unter

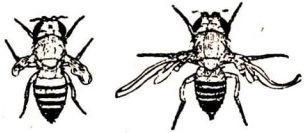


Abb. 103 Die Mutationen ‚stummelflügelig' und ‚riemenflügelig' bei der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster*

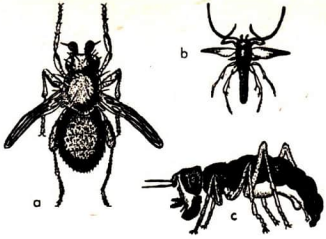


Abb. 104 Flugunfähige Insekten von den Kerguelen-Inseln, a und c Fliegen, b Schmetterling.

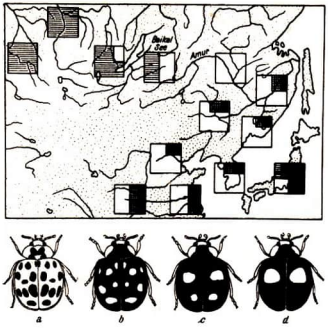


Abb. 105 Vier in Ostasien verbreitete Varianten des Marienkäfers *(Harmonia axyridis)* und ihre relative Häufigkeit in Populationen. a *var. stigmata* (gelb mit schwarzen Flecken), in den Quadraten der Karte weiß; b *var. axyridis*, quer schraffiert; c *var. spectabilis*, kreuzweise schraffiert; d *var. conspicua*, schwarz.

bestimmten Klimabedingungen, die im einzelnen nicht bekannt sind, zusammenhängen.

So gibt es in Ostasien in einer Marienkäferart *(Harmonia axyridis)* einige durch Unterschiede in mehreren Genen bedingte Varietäten. Die Häufigkeit ihres Auftretens schwankt in größeren geographischen Zonen stark. Im Westen Asiens kommt allein die Varietät *axyridis* (Abb. 105b) vor, östlich des Baikalsees sind die Varietäten *axyridis* und *stigmata* je etwa zu 50% innerhalb der Art zu finden, und am mittleren Lauf des Amurs tritt schließlich nur die Varietät *stigmata* als Lokalrasse auf (Abb. 105a). Nach Süden zu erscheint dann die Varietät *spectabilis* (Abb. 105c) in zunehmender Häufigkeit, und auf den japanischen Inseln im Südosten ist die Varietät *conspigma* (Abb. 105d) zu etwa 50% innerhalb der Marienkäferart vertreten.

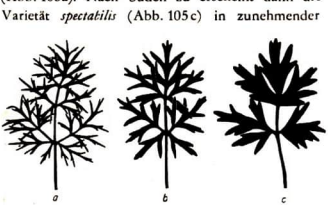


Abb. 106 Blätter der Küchenschelle *(Anemone pulsatilla)*. a Unterart *germanica*; c Unterart *grandis*; b Bastard zwischen beiden Unterarten

Bei der Küchenschelle *(Anemone pulsatilla)* sind die Zusammenhänge zwischen äußerlich erkennbaren Merkmalsunterschieden und verbesserter Lebenseignung unter verschiedenen Klimabedingungen erkannt worden. Es gibt in dieser Art die Unterart *germanica* (Westrasse) und die Unterart *grandis* (Ostrasse). Die Blätter der Westrasse sind stark gegliedert und die einzelnen Blattzipfel sind schmal (Abb. 106a), bei der Ostrasse zeigen die Blätter eine weniger starke Gliederung und die Blattzipfel sind breiter (Abb. 106c). Nach Kreuzungen wurde festgestellt, daß die Unterschiede auf mendelnden Genen beruhen und intermediär vererbt werden (Abb. 106b). Untersuchungen über den Wasserhaushalt der beiden Unterarten ergeben, daß die unterschiedlichen Blattformen für jede Unterart an ihrem Standort einen Selektionsvorteil haben. Die weniger gegliederten breitzipfligen Blätter der Ostrasse verdunsten erheblich weniger Wasser (bezogen auf das Frischgewicht) als die stark-gegliederten schmalzipfligen Blätter der Westrasse. Damit kann die Ostrasse in ihrem kontinentalen Verbreitungsgebiet die oft heiße und trockene Vegetationszeit besser überstehen.

Das Entstehen von Rassen, die neuen Umweltbedingungen besser angepaßt sind, kann ständig beobachtet werden. Zur Ausrottung von Insektenplagen wurden chemische Substanzen (z. B. DDT) entwickelt, die für Insekten schon in so niedriger Konzentration giftig wirken, daß sie für den Menschen oder höhere Tiere nicht gefährlich sind. Die ständige Anwendung solcher Insektizide hat beispielsweise bei der Stubenfliege zur Selektion von Mutanten geführt, die gegenüber dem DDT resistent sind. Solche resistenten Stubenfliegen sind in verschiedenen Teilen der Welt aufgetreten, und bald hat sich an vielen Orten die Anwendung des DDT zur Bekämpfung der Stubenfliege als nutzlos erwiesen.

Auch **Chromosomenmutationen** können für die Rassenbildung innerhalb einer Art

von Bedeutung sein. In der Sowjetunion durchgeführte Untersuchungen an verschiedenen Populationen von *Drosophila funebris* sind hierfür ein gutes Beispiel. Im Zentrum Moskaus hatten 88,1% der untersuchten Fliegen eine Veränderung an einem Chromosom, in weniger zentral gelegenen Stadtteilen 55,5%, am Stadtrande 42,1% und auf Dörfern nur 18%. 200 bis 500 km nördlich der Stadt fand man diesen Chromosomenmutationstyp überhaupt nicht mehr. In anderen Städten traten solche Mutationstypen ebenfalls gehäuft auf. Die Häufigkeit solcher Typen steht also in einer physiologisch bisher noch nicht erkannten Beziehung zur Industrialisierung, d. h. zu den durch diese hervorgerufenen speziellen Umweltbedingungen. Mit diesen Untersuchungen wurde die Bildung geographischer Rassen auf kleinstem Raum erklärt.

Für die Beteiligung der **Genommutationen** bei der Artbildung im Pflanzenreich liegt ein umfangreiches Untersuchungsmaterial vor. Etwa 50% der höheren Pflanzenarten sind Polyploide oder stammen von polyploiden Arten ab. Es ist interessant, den Anteil polyploider Arten am Artenbestand verschiedener geographischer Breiten in der folgenden Tabelle zu verfolgen.

Polyploide Pflanzenarten verschiedener geographischer Gebiete

Geographisches Gebiet	Anzahl der in der Flora vorkommenden Arten	Anteil von polyploiden Arten in Prozent
Nordsahara	300	37,8
Cykladen	1186	37,0
Rumänien	3365	46,8
Ungarn	2039	48,6
Zentraleuropa	2909	50,0
Schleswig-Holstein	1081	54,6
Dänemark	1306	53,5
England	1778	53,3
Schweden	1526	56,9
Norwegen	956	57,6
Finnland	1285	57,3
Faröer	252	71,0
Island	394	72,1
Spitzbergen	145	76,2
Franz-Josephs-Land	36	75,0
SW Grönland	222	74,0

Mit zunehmender geographischer Breite nimmt der Anteil polyploider Arten in einer Flora zu. Das gilt sowohl für die zweikeimblättrigen Pflanzen als auch für die einkeimblättrigen. Offenbar können sich polyploide Pflanzen unter bestimmten neuen ökologischen Bedingungen besser durchsetzen als die diploiden. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, daß nach Rückgang des Festlandeises der letzten Eiszeit Zentraleuropa, Großbritannien und Skandinavien wieder neu von Pflanzen besiedelt werden mußten und dabei polyploide Formen einen Selektionsvorteil hatten.

Durch zytologische Untersuchungen an verschiedenen Arten der Gattung *Brassica* ist von verschiedenen Forschern der Nachweis erbracht worden, daß der Abessinische Kohl (*B. carinata*), der Sareptasenf (*B. juncea*) und der Raps (*B. napus*) durch Polyploidie (s. S. 152) aus den drei Grundarten, dem Schwarzen Senf (*B. nigra*), dem Kohl (*B. oleracea*) und dem Rübsen (*B. rapa*), entstanden sind.

Schwarzer Senf	*B. nigra*	(n = 8)	= AA
Kohl	*B. oleracea*	(n = 9)	= BB
Rübsen	*B. rapa*	(n = 10)	= CC
Abessinischer Kohl	*B. carinata*	(n = 17)	= AABB
Sareptasenf	*B. juncea*	(n = 18)	= AACC
Raps	*B. napus*	(n = 19)	= BBCC

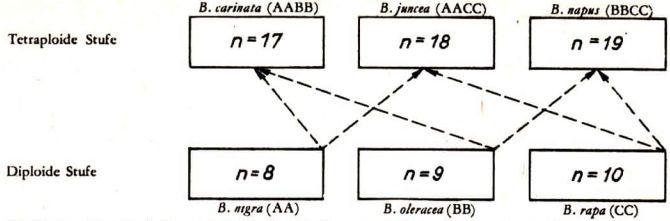


Abb. 107 Die zytologischen Beziehungen der drei Grundarten der Gattung *Brassica* (*B. nigra*; *B. oleracea*; *B. rapa*) zu den aus ihnen durch Allopolyploidie entstandenen Arten (*B. carinata*, *B. juncea*; *B. napus*)

Die drei Grundarten *B. nigra* (AA), *B. oleracea* (BB) und *B. rapa* (CC) sind diploid. Sie sind untereinander kreuzbar, ergeben aber auf Grund ihrer Genomverschiedenheit keine fortpflanzungsfähigen Bastarde. Erst die Genommutation eines solchen Bastards führt zur Entstehung der konstanten neuen Arten *B. carinata* (AABB), *B. juncea* (AACC) und *B. napus* (BBCC) (Abb. 107). Daß die natürliche Entstehung der genannten Arten tatsächlich so abgelaufen ist, bestätigen Experimente, bei denen nach Kreuzung der Grundarten und anschließender Polyploidisierung die tetraploiden Arten „synthetisch" hergestellt werden konnten. Da aber experimentell hervorgerufene Polyploide durchaus noch nicht ihren Ausgangsformen überlegen sind, müssen die gut anpassungsfähigen natürlichen polyploiden Arten durch lange Selektionsvorgänge entstanden sein.

Die Mutationen sind bisher als einzige Quelle der Evolution erkannt worden. Durch sie kommt die Mannigfaltigkeit der Genotypen und Phänotypen innerhalb von Rassen, Arten und Gattungen zustande, aus der die Umwelt die Formen mit der besten Lebenseignung ausliest. Bei der Art- und Rassenbildung spielen aber auch noch andere Faktoren eine Rolle.

Die Isolation

Die starke Zersplitterung mancher Arten in viele Unterarten kann häufig damit erklärt werden, daß in einer ursprünglich einheitlichen Population die freie Kreuzbarkeit (Panmixie) zwischen den Individuen eingeschränkt oder verhindert wird. Ein weiterer gegenseitiger Austausch von Erbanlagen kann nicht mehr stattfinden, und es kommt zur **Isolation** der betreffenden Teilpopulation. Die Ursachen hierfür können sehr verschieden sein. Unterarten können geographisch voneinander getrennt sein, wie das beispielsweise beim Fliegenfänger *(Monarcha castaneo-venertis)* auf den Salomonen im Stillen Ozean der Fall ist (Abb. 108). Auch in voneinander abgesonderten Gebirgstälern oder auf Berggipfeln kann es bei Pflanzen und Tieren zur Bildung neuer Unterarten kommen.

Unterschiedliche Fortpflanzungszeiten, unterschiedlicher Bau der Geschlechtsorgane oder rein mechanische Schwierigkeiten bei der Begattung können Folgeerscheinungen solcher Isolationsvorgänge sein. Beispiels-

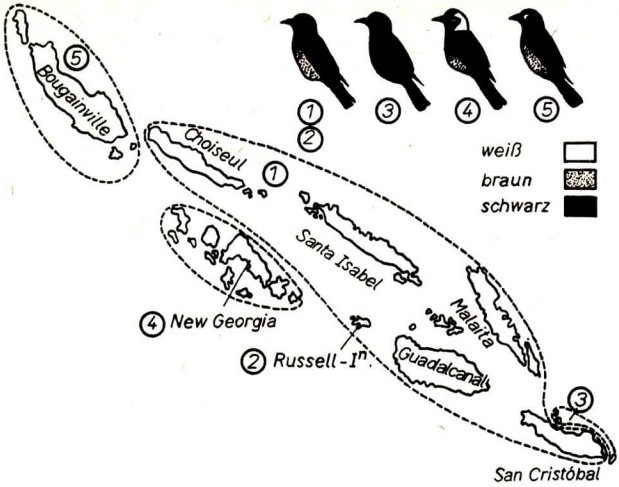


Abb. 108 Die vier Hauptfarbmuster der Unterarten des Fliegenfängers (*Monarcha castaneo-venettis*) auf den Salomonen als Folge geographischer Isolation

weise verläuft die stammesgeschichtliche Entwicklung geographisch voneinander isolierter Populationen unabhängig voneinander weiter. Berühren sich dann nach einem längeren Zeitraum die Populationen wieder, kann die Unterschiedlichkeit bereits ein Ausmaß erreicht haben, das die Vermischung verhindert, beispielsweise durch das Fehlen des Paarungstriebes oder durch Sterilität der Bastarde. Es sind selbständige Rassen beziehungsweise Arten entstanden.

Aufgabe

Belegen Sie diese Aussage durch Beispiele, die Ihnen aus der Tier- und Pflanzengeographie bekannt sind! Berücksichtigen Sie dabei auch die Reiseberichte von CHARLES DARWIN!

Populationswellen

Der zahlenmäßige Bestand einer Population ist nicht immer gleich. Günstige Lebensbedingungen können die räumliche Ausdehnung einer Population über ein größeres Areal und das zahlenmäßig vermehrte Auftreten innerhalb eines gegebenen Areals zur Folge haben. Besonders auffällig sind solche Schwankungen in Populationen von Schadinsekten wie beispielsweise bei der Nonne oder den Borkenkäfern. Auch ein gehäuftes Auftreten von Pilzkrankheiten an Pflanzen unter bestimmten Umwelt-

bedingungen hat eine starke Vermehrung der Erreger zur Ursache.

Solche Schwankungen in der Individuenzahl innerhalb von Populationen sind für ihre stammesgeschichtliche Entwicklung sehr wichtig. Ist beispielsweise durch bestimmte Umweltbedingungen ein Merkmal einer Rasse ausgemerzt worden, so ist die Wahrscheinlichkeit seiner Neuentstehung durch Mutation in einer kleinen Population viel geringer als in einer großen.

Kleine Populationen werden deshalb schnell einheitlicher, weniger anpassungsfähig und können schließlich aussterben. In großen Populationen dagegen ist die Wahrscheinlichkeit des mutativen oder erneuten Entstehens bestimmter Gene größer. In ihnen können mit größerer Wahrscheinlichkeit Mutanten enthalten sein, die an veränderte Umwelteinflüsse besser angepaßt sind. Die experimentelle Bestätigung für diese Überlegung lieferten genetische Untersuchungen an Mikroorganismen. Bei ihnen entstehen genügend große Individuenzahlen, um die Häufigkeit der Mutanten zu schätzen.

Bei dem Darmbakterium *Escherichia coli* können Mutanten entstehen, die gegen bestimmte Bakteriophagen resistent sind. Die Häufigkeit ihres Auftretens schwankt von 10^{-7} bis 3×10^{-9}. Benutzt man nun einen Stamm von Colibakterien, der gegenüber einem Bakteriophagenstamm empfindlich ist, um daraus einen resistenten Bakterienstamm zu züchten, so hängt Erfolg oder Mißerfolg des Versuchs von der Anzahl der Bakterienzellen ab, die den Bakteriophagen ausgesetzt werden. Wenn die Zahl klein ist, etwa 10^8 oder kleiner, wird die Kultur nur selten resistente Mutanten enthalten. Wenn dagegen eine große Kultur mit 10^9 oder mehr Zellen mit dem Bakteriophagenstamm beimpft wird, kann viel eher mit dem Auftreten einer resistenten Mutation gerechnet werden.

Ähnliches gilt auch für die höheren Organismen. Ändern sich die Umweltbedingungen, so erhalten bestimmte Mutanten einer Population einen höheren Selektionswert (im Bakterienbeispiel die resistenten Mutanten). Ist die Anzahl der Individuen in dieser Population groß, so treten derartige Mutanten mit großer Wahrscheinlichkeit auf.

Die Population kann überleben oder sich den neuen Umweltbedingungen besser anpassen. Ist die Population klein, kann eine Art, Rasse oder Varietät aussterben.

Die Kombination

Die Mannigfaltigkeit der Genotypen in einer Population gewährleistet ihre große Anpassungsfähigkeit an wechselnde Umweltbedingungen. Durch die freie Kreuzbarkeit findet eine Umkombination der vorhandenen Gene in der Population statt, deren Folge unübersehbar viele neue Genkombinationen und damit Genotypen sind. Sie erhöht zugleich die Variabilität der Populationen, weil viele Mutationen homozygot werden und damit auch phänotypisch in Erscheinung treten.

Wenn wir annehmen, daß der „Genbestand" einer Population zwischen 50 und 100 (in Wirklichkeit sind es natürlich viel mehr) Genen liegt und jedes Gen nur durch 2 Allele vertreten ist, so könnten in den Spaltungen nach Kreuzung 3^{50} bis 3^{100} Genotypen auftreten, unter denen zwischen 2^{50} bis 2^{100} Homozygote sein würden. Wenn wir bedenken, daß auf der Erde gegenwärtig etwa 2^{21} bis 2^{22} Menschen leben, dann wird klar, daß die Anzahl der möglichen Genkombination noch bedeutend höher liegt, als es die Individuenzahlen einer Population zulassen.

Die Meiose (s. S. 109) und die sexuelle Fortpflanzung sind in der Erzeugung neuer Genotypen außerordentlich wirksam. Innerhalb sich frei kreuzender und sexuell fortpflanzender Arten kommen die meisten

Genotypen auf Grund des oben dargelegten Tatbestandes nur einmal vor. Es ist beispielsweise wenig wahrscheinlich, daß irgendein Mensch (ausgenommen eineiige Zwillinge) den gleichen Genotyp wie der Leser dieser Zeilen hat.

Das Zusammenwirken der Evolutionsfaktoren

Die Kenntnisse über die Vorgänge bei der Übertragung der Erbanlagen und das Wissen über die Veränderlichkeit des Erbanlagenbestandes aller Organismen haben zum Erkennen der Evolutionsfaktoren und ihrer Wirksamkeit geführt. Die Übertragung der Erbanlagen von Generation zu Generation und ihre Modifizierbarkeit im Rahmen der Reaktionsnorm erklärt die relative Konstanz der Arten über Jahrtausende. Das spontane, relativ seltene und richtungslose Auftreten der verschiedenen Mutationstypen bewirkt die Mannigfaltigkeit der Genotypen in einer Population, die durch die freie Kreuzbarkeit noch gesteigert wird. Nur durch Mutationen können neue Merkmale entstehen. Die Möglichkeiten zum Entstehen der seltenen Genotypen mit höherer Lebenseignung werden durch Populationswellen noch erhöht.

Die Isolation kann die Abtrennung von Teilen einer Population und deren unterschiedliche Entwicklung bewirken. Das große Sieb, in dessen Maschen alle ungeeigneten Phänotypen hängenbleiben, ist die Selektion durch die Umwelt. Durch ständige Selektion bekommt die stammesgeschichtliche Entwicklung ihre Richtung, das heißt, von ihr werden die veränderten Phänotypen einer Population ausgelesen, deren Lebenseignung gegenüber den Artgenossen verbessert ist. Die Art der Veränderungen, die zu einer besseren Anpassung führen, wird dagegen von der Selektion nicht exakt bestimmt. Sonst gäbe es keine Mannigfaltigkeit der Organismen unter gleichen Umweltbedingungen.

Die Selektion kennt keine Vorausschau. Sie „weiß" nichts über die zukünftigen Anforderungen an eine lebenstüchtige Population. Sie wählt vielmehr „blind" alle augenblicklich geeignetsten Individuen aus. Den Beweis hiefür liefern die vielen im Verlauf der Erdgeschichte ausgestorbenen Arten und Gattungen von Tieren und Pflanzen.

Die verschiedenen Evolutionsfaktoren wirken bei der Differenzierung von Rassen und Arten zusammen. Da sie aber in verschiedenem Ausmaß wirksam werden können, kann die Art- und Rassenbildung auf verschiedenen Wegen zustande kommen, wobei dieser oder jener Evolutionsfaktor bestimmend hervortritt.

Aus der Lehre DARWINS, die noch durch die Kenntnis der Ursachen der Variabilität der Organismen bereichert wurde, entwickelte sich die **Selektionstheorie.** Sie schöpft ihre Beweise aus dem Verlauf der Evolution innerhalb der gegenwärtig lebenden Rassen und Arten, der sogenannten **Mikroevolution.**

Kann nur mit den Erkenntnissen der Selektionstheorie das Entstehen von Rassen und Arten und größerer systematischer Kategorien vergangener erdgeschichtlicher Perioden erklärt werden? Oder waren zu diesen Zeiten andere Evolutionsfaktoren wirksam? Nach unseren bisherigen Kenntnissen von der Mutationsforschung und Populationsgenetik kann auch das Entstehen der Unterschiede größerer systematischer Gruppen wie Familien, die **Makroevolution,** mit den gegenwärtig wirksamen Evolutionsfaktoren erklärt werden.

Die teilweise erheblichen Lücken in den durch Funde belegten Entwicklungsreihen vieler Organismen haben zu der häufig geäußerten Ansicht geführt, daß die Bauplanänderungen, die zu verschiedenen Gattungen, Familien oder Stämmen führten, nicht durch Mutationen im üblichen Sinne erklärbar sind. Diese verändern in den meisten Fällen nur Merkmale, die nicht über den Bereich der Art hinausgehen (**Kleinmutationen**). Deshalb nehmen manche Evolutionsforscher besondere **Groß-** oder **„Schlüssel"-Mutationen** als Ursache der Makroevolution an. Hinweise für das tatsächliche Auftreten von Großmutationen sind besonders aus dem Pflanzenreich bekannt.

Es sind aber auch bei einer Reihe von Arten, besonders beim Garten-Löwenmaul, Genmutationen beobachtet worden, die Merkmalen anderer Gattungen ähneln. So sind die Symmetrieverhältnisse der Blüten, die Zahl der Blütenblätter und Antheren, die wichtige Gattungsmerkmale darstellen, mutativ verändert worden. Besonders auffällig ist eine dominante Mutante beim Löwenmaul, an deren Blütenröhre ein Sporn hervortritt (Abb. 109), wie er bei vielen Gattungen der Braunwurzgewächse *(Scrophulariaceae)* in verschiedener Größe und Stellung vorkommt. Diese Mutation bewirkt gleichzeitig eine Veränderung von Wuchshöhe, Verzweigung und Blattform. Der Übergang von Kleinmutation zu Großmutation ist fließend, und es ist mehr oder weniger subjektiv, eine Mutation dieser oder jener Gruppe zuzurechnen. Es ist aber denkbar, daß solche Großmutationen den Beginn der Abzweigung einer neuen Gattung bildeten. Daß in den genetischen Experimenten noch keine Modellfälle für wesentliche Bauplanänderungen gefunden wurden, ist durch die Jahrmillionen langen Zeiträume bedingt, die nachweislich dazu notwendig sind. Ferner ist zur Ausbildung eines neuen zusammengesetzten Organs das Zusammenwirken zahlreicher Erbanlagen erforderlich, deren gleichzeitiges mutatives Entstehen und harmonisches Zusammenwirken nicht wahrscheinlich ist. Die Unvollständigkeit der paläontologischen Überlieferung beweist keineswegs ein Auftreten großer „Sprünge" in der stammesgeschichtlichen Entwicklung. Die Lücken in den Entwicklungsreihen können auf der Nichtablagerung von Schichten und damit ihrer Leitfossilien beruhen oder auch durch Zuwanderung von Tieren oder Pflanzen entstehen, die in dem betreffenden Gebiet vorher nicht lebten. Wenn solche Lücken oft auch recht groß sind, so gibt es doch keinen paläontologischen Beleg dafür, daß die Bauplanänderungen der verschiedenen Organe nicht kontinuierlich verlaufen sind. Im Gegenteil, durch neue Funde werden immer wieder Zwischenformen erkannt, und bei gut untersuchten Entwicklungsreihen, wie beispielsweise der des Pferdes, kann an einer kontinuierlichen Entwicklung nicht gezweifelt werden.

Abb 109 Mutante des Garten-Löwenmauls *(Antirrhinum majus)* mit gespornten Blüten

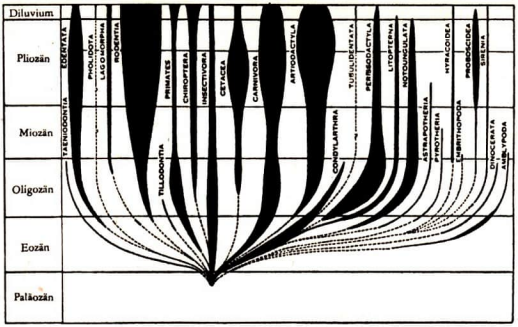


Abb. 110 Die Entfaltung der Säugetiere in der Tertiärzeit. Die Breite der Äste entspricht der jeweiligen Formenmannigfaltigkeit der Ordnung.

Wenn auch die Bauplanänderungen kontinuierlich entstanden sind, so ist die stammesgeschichtliche Entwicklung doch nicht in allen Zeiten gleichmäßig verlaufen. Paläontologische Funde von Säugetieren zeigen zum Beginn der Braunkohlenzeit eine „explosive" Formenaufspaltung (Abb. 110). Die Geschichte der Säugetiere beginnt in der Triaszeit mit Formen, die den Übergang von den Reptilien noch deutlich erkennen lassen. Bis zur Wende von Kreide- und Tertiärzeit, also über eine Zeitspanne von rund 120 Jahrmillionen, verläuft ihre Entwicklung langsam und unauffällig. Nur kleine unscheinbare Formen von der Größe kleiner Nagetiere sind vorhanden. Am Ende der Kreidezeit zeigen aber schon die Blütenpflanzen (Angiospermen) eine erhebliche Ausbreitung und bieten eine Fülle neuer Nahrungsquellen. Das Entstehen neuer Nahrungsquellen kann eine der Ursachen für die beschleunigte Formenbildung der Säugetiere gewesen sein. Ausgehend von den insektenfressenden Urplazentatieren kommt es in relativ kurzer Zeit (einige Millionen Jahre!) zur Ausbildung der meisten Ordnungen der Säugetiere. Die Breite der Äste des Stammbaumes (Abb. 110) entspricht der Formenmannigfaltigkeit innerhalb der verschiedenen Ordnungen.

Während der stammesgeschichtlichen Entwicklung hat eine **Höherentwicklung** vieler Organismengruppen stattgefunden. Darunter versteht man die zunehmende Differenzierung von Bau und Leistung der Lebewesen. Bestimmte Organe übernehmen verschiedene Lebensfunktionen, wie beispielsweise die Wurzeln, die Sprosse und die Blüten höherer Pflanzen im Gegensatz zu den einzelligen Algen, bei denen noch alle Lebensprozesse in einer Zelle ablaufen. Während der Höherentwicklung ändern sich aber auch die Beziehungen der Lebewesen zur Umwelt. Die Organismen sind nicht mehr auf das ständige Vorhandensein bestimmter Umweltbedingungen angewiesen. Sie werden reaktionsfähiger gegen wechselnde Umweltbedingungen.

Die stammesgeschichtliche Entwicklung der Pflanzen über die Psilophyten, Farne und Nacktsamer zu den Bedecktsamern (Abb. 111) und bei den Tieren über die primitiven Kiefermäuler, Knorpelfische, Knochenfische, Lurche und Reptilien zu

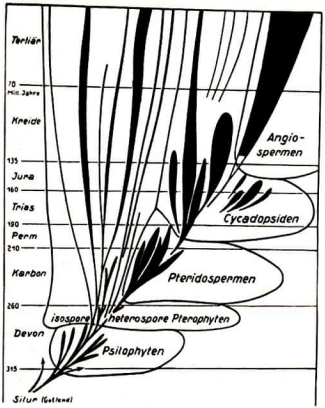


Abb. 111 Der Stammbaum der Angiospermen. Die fünf Hauptstufen auf dem Weg zu den Angiospermen sind hervorgehoben.

den Säugetieren demonstrieren die Höherentwicklung im Pflanzen- und Tierreich, wobei der Gesamtorganismus umgestaltet wurde. Daß die Umgestaltung oder Veränderung einzelner Organe die Gesamtentwicklung entscheidend beeinflussen kann, zeigt uns sehr eindrucksvoll der Erwerb des aufrechten Ganges und die Vergrößerung des Gehirnvolumens bei der Menschwerdung.

Deutliche Fortschritte in der Höherentwicklung der Pflanzen sind beispielsweise die Ausbildung des Leitungssystems, der Epidermis, der Spaltöffnungen und anderer Merkmale. Sie ermöglichten den höheren Pflanzen, das Festland zu besiedeln, während die gleichzeitige Entstehung der Samenanlagen und später des Pollenschlauches auch den Befruchtungsvorgang vom Vorhandensein des Wassers unabhängig machten.

Bei den Tieren waren die Herausbildung und Weiterentwicklung des Zentralnervensystems, die Aufgliederung und Differenzierung des Darmtraktes (Mundhöhle, Magen, verarbeitende und aufnehmende Darmabschnitte), erhöhte Reaktionsfähigkeit durch vielseitigere und bewegliche Gliedmaßen solche Anzeichen einer Höherentwicklung. Auch die zunehmende Fähigkeit des Auges zu Nah- und Fernsicht bei den Wirbeltieren und die relative Unabhängigkeit von der Außentemperatur durch den Erwerb einer gleichmäßigen Körpertemperatur sind in gleicher Weise zu bewerten.

Während der Höherentwicklung der Organismen ist es durch spezielle Anpassungen von Pflanzen und Tieren zu einer zunehmenden **Spezialisation** gekommen. Die Nachkommen einer höher entwickelten anpassungsfähigeren Organisationsgruppe breiten sich aus und passen sich besonderen Umweltbedingungen an.

Die Schutzeinrichtungen der Pflanzen gegen Trockenheit, starken Salzgehalt des Bodens, ständige Beschattung oder die sehr verschiedenen Einrichtungen für die Verbreitung von Samen sind auf ganz bestimmte Umweltbedingungen eingestellte Anpassungsmerkmale. Sie bedeuten für die Organismen eine Einschränkung der Möglichkeiten für die Weiterentwicklung. Eine Veränderung ihres Lebensraumes kann zur Veränderung oder zum Aussterben solcher stark spezialisierter Arten führen.

Die Höherentwicklung geht meist nicht von den jüngeren und spezialisierten Vertretern der Ausgangsgruppe aus, sondern von deren älteren, primitiveren. Die Nacktsamer entstanden aus primitiven Urformen, die Bedecktsamer aus primitiven Nacktsamern (Abb. 111). Im gleichen Sinne stammen die Amphibien nicht von den höheren Knochenfischen ab, sondern von urzeitlichen Quastenflossern und die Reptilien von den primitivsten Amphibien, den Panzerlurchen.

Höherentwicklung und Spezialisation werden häufig auch von der **Rückbildung** einzelner Organe oder bestimmter Organsysteme begleitet.

Aufgabe

Belegen Sie diese Aussage durch Beispiele!

Höherentwicklung, Spezialisation und Rückbildung sind Erscheinungen in der stammesgeschichtlichen Entwicklung, die in engster Wechselbeziehung zueinander ablaufen und nur als Anpassungen der Organismen an ihre Umwelt zu deuten sind. Die LAMARCKsche Hypothese, daß die stammesgeschichtliche Entwicklung durch Vererbung erworbener Eigenschaften (insbesondere durch Erblichwerden individueller Anpassungen) zustande kommt, hat trotz oft wiederholter Versuche bisher noch keine experimentelle Bestätigung gefunden. Dauermodifikationen sind nicht beständig. Die Reaktionsnorm kehrt nach dem Aufhören der modifizierenden Bedingungen nach einer kürzeren oder längeren Reihe von Generationen wieder zur ursprünglichen Merkmalsausbildung zurück. Die Stammesgeschichte kann sich nur durch die stufenweise Umbildung des Erbgefüges einzelner Arten vollzogen haben. Die Populationsgenetik und Evolutionsforschung haben die Wechselbeziehungen der Organismen innerhalb von Populationen und ihrer Umwelt aufgezeigt und im verschiedenartigen Zusammenwirken der Evolutionsfaktoren den Verlauf der Rassen- und Artbildung erkannt. Die stammesgeschichtliche Entwicklung ist nicht umkehrbar und kann experimentell nicht wiederholt werden. Die Selektionstheorie läßt mit einem hohen Grad an Wahrscheinlichkeit den Schluß zu, daß die stammesgeschichtliche Entwicklung in den vergangenen Zeiten der Erdgeschichte ebenso abgelaufen ist, wie es für die Gegenwart nachgewiesen wurde.

Die Züchtung von Pflanzen und Tieren

Von der Wildform zur Kulturpflanze und zum Nutztier

Unsere heutigen Kulturpflanzen und Nutztiere sind das Ergebnis einer sehr langen Entwicklung. Sie haben ihren Ursprung in Wildformen, die teilweise heute noch zu finden sind. Von einigen Kulturpflanzen sind die Ursprungsformen nicht bekannt (z. B. vom Mais).

In vielen Fällen entwickelten sich aus den für Nahrungszwecke gesammelten Pflanzen die Kulturpflanzen und aus Wildtieren über die Nutztiere unsere Haustiere. Dieser Prozeß ist auch heute noch nicht abgeschlossen und wird ebensolange fortdauern, wie die Menschheit existiert.

Der Mensch stellte schon sehr früh fest, daß beispielsweise einige Wildpflanzen Eigenschaften aufwiesen, die ihm besonderen Nutzen brachten. Diese Pflanzen wurden bevorzugt von ihm gesammelt. Mit der Seßhaftwerdung des Menschen wurde es für ihn notwendig, diese Pflanzen anzubauen, um so einen genügend großen Vorrat für diejenigen Jahreszeiten zu haben, in denen die Natur ein Sammeln dieser Pflanzen unmöglich machte. Solche direkt vom Menschen in Kultur genommenen Pflanzen bezeichnet man als **primäre Kulturpflanzen.** Zu ihnen gehören unter anderem Weizen, Gerste, Hirse und Lein.

Wildformen besitzen oft Eigenschaften, die zur Erhaltung der Art unter normalen Umweltbedingungen notwendig sind. Hierzu gehören beim Getreide beispielsweise eine sehr brüchige Ährenspindel, stark begrannte Ähren, ungleichmäßige Reife, leichtes Ausfallen der reifen Körner, kleine Körner, lange Keimruhe, ungleichmäßige Keimung. Beim Anbau wirkten viele dieser Eigenschaften störend und verhinderten eine volle Nutzung der Pflanzen. Der Mensch begann daher, unter den Wildformen solche Pflanzen auszulesen, die ihm besonders geeignet erschienen. Nur diese baute er weiter an. Mit der Inkulturnahme setzte also eine Auslese durch den Menschen (künstliche Auslese) ein, die nach dem Gesichtspunkt der wirtschaftlichen Nützlichkeit durchgeführt wurde. Bei manchen Eigenschaften wurde dieser Prozeß durch die natürliche Auslese beschleunigt. Häufig jedoch wurde die künstliche Auslese durch eine entgegengesetzt wirkende natürliche Auslese gehemmt.

Mit den primären Kulturpflanzen und ihrem stetig zunehmenden Anbau traten aber auch vermehrt Unkräuter auf. Durch gute Anpassung an den Lebensrhythmus der Kulturpflanze wurden einige dieser Unkräuter zu neuen Kulturpflanzen. Diese bezeichnet man heute als **sekundäre Kulturpflanzen.** Zu ihnen gehören der Roggen und der Hafer. Andere sekundäre Kulturpflanzen sind Möhre, Hanf und Betarübe sowie viele Gemüse- und Obstarten. Ihr Wert wurde vom Menschen erkannt, und geeignete Formen wurden in Kultur genommen.

Die ersten, uns heute in Einzelheiten be-

kannten Maßnahmen der Pflanzenzüchtung gehen auf die Zeit vor etwa 4500 Jahren zurück. Die Babylonier nahmen zu dieser Zeit bereits künstliche Befruchtungen an Datteln vor. Das bedeutet, daß ihnen die Blütenbiologie und die Funktion der einzelnen Teile der Blüte bekannt waren. Die römischen Schriftsteller berichten von Auslesemaßnahmen bei Getreide. In Amerika reicht die Pflanzenzüchtung ebenfalls sehr weit zurück. Bei der Entdeckung Amerikas waren bereits ertragreiche Mais- und Baumwollformen im Anbau. In Europa kann man nach der Zeitenwende von einem gewissen Stillstand in der Pflanzenzüchtung sprechen, abgesehen von den Züchtungen im Obst- und Weinbau der Klöster. Große Fortschritte in der Pflanzenzüchtung finden wir seit Ende des 18. Jahrhunderts. Maßgeblich waren daran der Engländer KNIGHT (1785 bis 1838), der Franzose VILMORIN (1872 bis 1917), der Augustinermönch JOHANN GREGOR MENDEL (1822 bis 1884) mit seinen Erbgesetzen, CHARLES DARWIN (1809 bis 1882) mit seinen Erfahrungen und Beobachtungen, der Österreicher ERICH V. TSCHERMAK (1871 bis 1962), die Deutschen WILHELM RIMPAU (1842 bis 1903), FERDINAND V. LOCHOW (1849 bis 1924), ERWIN BAUR (1875 bis 1933), THEODOR ROEMER (1883 bis 1951), WILHELM RICHTER (um 1900), der Schwede NILSSON-EHLE (1873 bis 1949), der sowjetische Züchter MITSCHURIN (1855 bis 1935), der Amerikaner CARLETON (vor 1900), der Kanadier SOUNDERS (vor 1900) und die heutigen Pflanzenzüchter beteiligt. Es konnten nur einige wenige Namen genannt werden. Sie zeigen aber bereits, daß die Fortschritte in der Entwicklung der Kulturpflanzen durch Züchter und Wissenschaftler vieler Nationen erreicht wurden.

Auch heute noch werden neue Kulturpflanzen aus Wildpflanzen entwickelt (z. B. verschiedene Zierpflanzen, Heil-, Duft- und Gewürzpflanzen, Zuchtchampignons). Selbst sehr primitive Pilze (z. B. *Penicillium*) werden heute zur Herstellung von Antibiotika kultiviert. In der Landwirtschaft züchtet man neue Futterpflanzen und technische Kulturpflanzen (z. B. Steinklee, Crambe, Roggentrespe).

Mitte des 18. Jahrhunderts entdeckte JOHANN SIGISMUND MARGGRAF, daß in der Runkelrübe der gleiche Zucker wie im Rohrzucker vorhanden ist. Sein Schüler ACHARD entwickelte daraus die „Weiße schlesische Rübe" und baute 1802 auch die erste Rübenzuckerfabrik. Die „Weiße schlesische Rübe" ist die Stammutter aller **Zuckerrübensorten**. Während die Zuckerausbeute der Formen um 1850 nur 7 bis 8% und die Zuckerernte etwa 18 dt/ha betrug, wurde durch intensive Arbeit der Pflanzenzüchter der Zuckergehalt der Rüben mehr als verdoppelt und der Zuckerertrag je Hektar etwa verdreifacht.

In den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts fand REINHOLD V. SENGBUSCH (geb. 1898) in Müncheberg unter 1,5 Millionen Lupinenpflanzen, die er auf ihren Alkaloidgehalt untersuchte, 5 Pflanzen, die bitterstoffarm waren. Sie bildeten die Grundlage einer neuen Futterpflanze, der **Süßlupine**. 1938 baute man bereits 110 000 ha Süßlupinen an. So wurde aus einer Gründüngungspflanze eine neue wertvolle Futterpflanze.

Für viele andere Kulturpflanzen wurden in den letzten 50 Jahren neue Anbaugebiete erschlossen. Pflanzenzüchtung und Industrialisierung der Landwirtschaft schaffen bereits heute die Grundlagen für die Sicherung der menschlichen Ernährung. Hungersnöte in manchen Gebieten der Erde haben ihre Ursachen vor allem in den dort herrschenden gesellschaftlichen Verhältnissen, sie sind oft die Folge jahrhundertelanger kolonialer Ausbeutung.

Ähnlich wie aus Wildpflanzen Kulturpflanzen hervorgingen, entwickelten sich aus Wildtieren Nutztiere. Eines der ältesten Haustiere ist der **Hund.** Der Mensch der mittleren Steinzeit lebte als Jäger in einfachen Hütten und Erdgruben. Durch seine Waffen und das Feuer war er auch starken Tieren überlegen. Von den gemeinsamen Jagdzügen brachte er das erlegte Wild zu seiner Behausung. Wölfe hielten sich in der Nähe dieser Behausungen auf, da sie in den Resten der menschlichen Mahlzeiten reichlich Futter vorfanden. Diese Tiere begleiteten den Menschen auch auf seinen Jagdzügen. Einzelne Tiere, wahrscheinlich Jungtiere, schlossen sich enger an den Menschen an. Der Mensch fütterte oder duldete sie zumindest in seiner Umgebung. Gelegentlich nahm er Jungtiere in Pflege, zog sie auf und nutzte sie als Fleischlieferanten. Erst später erkannte der Mensch die Bedeutung des Wolfshundes als Wach- und zuletzt auch als Jagdtier. Mit der Zeit bemerkte der Mensch, daß eine sichere Versorgung mit Nahrung viel leichter ist, wenn er sich in der Nähe seiner Behausung Tiere hält. So wurden junge Wildtiere gefangen und gezähmt. Wir sprechen heute von einer **Domestikation** der Tiere, einer Häuslichmachung der Tiere.

Mit dem Seßhaftwerden und dem Anbau von Nutzpflanzen lernte der Mensch auch den Wert einzelner Tiere bei der Bearbeitung der Felder erkennen. Gleichzeitig war ihm durch die Tierhaltung eine sichere Gewinnung von Fellen zur Bekleidung sowie von Milch und Fleisch zur Nahrung möglich.

Es sind relativ wenige Tierarten gezähmt und zu Nutztieren geworden. In der Regel sind es Herdentiere. Einen Ausschlag für die Auswahl der Arten dürfte vor allem die unterschiedliche Domestikationsfähigkeit der Tiere gegeben haben. Viele Tierarten pflanzen sich in der Gefangenschaft nicht fort und wurden dadurch nicht zu echten Haustieren, beispielsweise die in Indien als Arbeitstiere genutzten Elefanten. Deshalb werden auch heute noch ständig Jungelefanten gefangen und zur Arbeit abgerichtet. Nach dem Hund, der vom Wolf abstammt, wurden in der jüngeren Steinzeit das Rind in Europa aus dem Ur, das Schwein aus dem Wildschwein und dem asiatischen Bindenschwein, das Schaf aus dem Kreishornschaf, dem Mufflon und dem Argali, die Ziege aus der Bezoarziege, der Esel aus dem Nubischen- und dem Somali-Wildesel und das Pferd aus dem Przewalskipferd gezähmt und zu Nutztieren gemacht. Auch Katze, Kaninchen, Taube, Huhn, Gans, Ente und sogar einige Insekten wurden zu Nutztieren (z. B. Bienen, Seidenraupen). In klimatisch anderen Gegenden wurden andere Tiere gezähmt und als Nutztiere verwendet (Rentier, Kamel, Lama, Büffel). In neuester Zeit sind es besonders Pelztiere, die vom Menschen als Nutztiere gehalten und gepflegt werden (z. B. Nutria, Nerz, Fuchs und Marder).

Durch Domestikation traten bei einzelnen Tierarten größere morphologische und physiologische Veränderungen auf. Sofern sie dem Menschen nützlich waren, wurden sie weiterentwickelt und bei der bewußten Paarung berücksichtigt. Es entstanden so an verschiedene Bedingungen besonders gut angepaßte Rassen. Bei fast allen domestizierten Tieren sind die Wildmerkmale verlorengegangen.

Bei früher ausgesprochenen Fleischfressern wie Hund und Katze hat sich mit der Aufnahme von pflanzlicher Nahrung der Darm verlängert. Durch die bessere Ernährung der Nutztiere ist eine frühere Geschlechtsreife und eine Erhöhung der Leistung eingetreten. Die Brunstzeit, die bei den Wildtieren in der Regel nur einmal im Jahr zu

einem bestimmten Zeitpunkt auftritt, ist bei dem Haustier mehrere Male im Jahr vorhanden, da die Geburt des Jungtieres nicht unbedingt in eine für das Jungtier günstige Jahreszeit fallen muß. Teilweise ist auch eine Verkürzung der Trächtigkeitsdauer eingetreten (z. B. Schwein). Besonders hervorzuheben sind starke Veränderungen in der Mastfähigkeit, der Milchleistung, der Legeleistung, der Wolleistung usw. Die Leistungen unserer heutigen Nutztiere gehen weit über das von der Natur aus notwendige Maß hinaus und haben ein starkes Abhängigkeitsverhältnis der Nutztiere vom Menschen zur Folge.

Durch die züchterisch hervorgerufenen Veränderungen haben unsere heutigen Kulturpflanzen und Nutztiere in einer vom Menschen nicht gelenkten und beherrschten Umwelt oft keine Möglichkeit mehr, sich durchzusetzen. So wie der Mensch von ihnen abhängig ist, sind sie auch vom Menschen abhängig geworden.

Aufgaben

1. Sammeln Sie Wildpflanzen und stellen Sie die Unterschiede gegenüber Kulturpflanzen fest (z. B. Möhre, Apfel, Birne, Lupinen)!
2. Stellen Sie nach einem Besuch eines Tierparkes oder Zoos die Unterschiede zwischen Wildtier und Nutztier heraus.

Aufgaben und Ziele der Züchtung

Die Landwirtschaft hat die Aufgabe, den Bedarf an pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln für die in rascher Zunahme begriffene Menschheit zu decken, die Industrie mit zahlreichen Rohstoffen zu versorgen und die Nahrung für die wachsenden Nutztierbestände bereitzustellen.

Die Züchtung hat an der Lösung dieser Aufgabe wesentlichen Anteil. Durch die Arbeit der Pflanzenzüchter werden neue Sorten von Kulturpflanzen geschaffen, die ertragreicher oder ertragssicherer als die bisher im Anbau befindlichen Sorten sind. Weiterhin werden neue Pflanzenarten zu Kulturpflanzen entwickelt, und der Anbau ertragreicher Kulturpflanzen wird erhöht. Außerdem werden für einzelne Kulturpflanzenarten neue Anbaugebiete erschlossen.

Bei der Tierzucht steht neben der Züchtung neuer Nutztierarten und Rassen die Erhöhung der Leistung bei den Tieren der bestehenden Rassen im Vordergrund. Diese Aufgaben können nur in voller Übereinstimmung mit der Entwicklung der Produktionsmittel und in Übereinstimmung mit der Entwicklung der gesamten Gesellschaft gelöst werden. In erster Linie bezwecken alle modernen Züchtungsmaßnahmen durch Veränderung der bestehenden Sorten einen vermehrten Nutzen für die Gesellschaft.

Pflanzenzüchtung

Bei jeder Pflanzenart werden andere Zuchtziele verfolgt. Da der Ertrag oder die Leistung sich aus vielen Teilfaktoren zusammensetzen, muß auch die Züchtung diese Teilfaktoren berücksichtigen. Die Züchtung verändert also einzelne Eigenschaften. Die Grundlage hierfür ist die Vererbung der Eigenschaften und die Möglichkeit einer Veränderung derselben durch züchterische Maßnahmen. Dabei werden verschiedene Zuchtziele verfolgt.

Verbraucher-Zuchtziele. Die Zuchtziele verfolgen eine Verbesserung der Qualität der für den Menschen, für die Industrie und die Haustiere zum Verbrauch kommenden Produkte. Hierzu gehören beispielsweise die Veränderung der Eiweißzusammensetzung der Futterpflanzen, die Beseitigung von schädlichen oder bei industrieller Ver-

arbeitung hindernden Inhaltsstoffen, die Erhöhung der Backfähigkeit beim Getreide, die Erhöhung des Vitamingehaltes; die Änderung der Fettsäurezusammensetzung bei Ölpflanzen, die Verbesserung der Faserqualität bei Faserpflanzen oder die Differenzierung bei der Kartoffel in Konsum-, Futter- und Industriekartoffeln. Um diese Zuchtziele zu erreichen, ist eine enge Zusammenarbeit mit der Chemie, der Lebensmittelindustrie, der Tierernährung und der Medizin erforderlich.

Pflanzenbauliche Zuchtziele. Hierunter fallen alle Zuchtziele, durch die eine erhöhte Sicherheit im Anbau erreicht wird, die sich aus den klimatischen und Standortfaktoren ergeben und durch die Industrialisierung der landwirtschaftlichen Produktion neu bedingt sind.

Zur Anbausicherheit gehört bei überwinternden Pflanzen die Steigerung der Winterfestigkeit und die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten und Schädlingen. Krankheiten und Schädlinge können nicht in allen Fällen durch die oft teuere Anwendung chemischer Mittel bekämpft werden. Besonders gegen Pilzkrankheiten wie Rost und Mehltau ist eine Verbesserung der Sorten durch die Züchtung fortwährend notwendig, weil die Erreger dieser Krankheiten ständig neue Rassen bilden, die dann auch die bisher widerstandsfähige Kulturpflanzensorten schwer schädigen können.

Einer Erhöhung der Anbausicherheit und damit der Steigerung des Ertrages dient ferner die Züchtung auf Widerstandsfähigkeit gegenüber Dürre in Trockengebieten. Manche neuen Sorten können hohe Düngergaben besser ausnutzen und ermöglichen dadurch einen höheren Ertrag. In anderen Fällen wird durch die Arbeit des Züchters ein vorzeitiger Samenausfall, das Aufplatzen der Früchte und beim Getreide die Auswuchsneigung bei feuchtem Wetter beseitigt.

Völlig neue Zuchtziele ergeben sich auch aus der Industrialisierung der Produktion. Der Einsatz von Maschinen beim Anbau und bei der Ernte verlangt eine weitgehende Anpassung der Sorten an die Erfordernisse der Maschinen. So wurden zum Beispiel beim Raps die Erhöhung der Platzfestigkeit der Schoten und beim Getreide die Erhöhung der Ausfallfestigkeit erforderlich, da der Mähdrescher die Ernte erst in der Vollreife durchführen kann. Einem produktiven Einsatz des Mähdreschers stehen bei der Gerste die langen Grannen entgegen. Hier gilt es, Sorten mit kürzeren oder ohne Grannen zu züchten. Die Sorten müssen gleichmäßiger reifen, und die Standfestigkeit muß ebenfalls erhöht werden. Daneben muß ein Absterben des Sprosses gleichzeitig mit der Samenreife erreicht werden. Der Einsatz der Kartoffelkombine erfordert eine gleichmäßige flache Lage der Knollen direkt an der Staude. Die Knollen müssen rund geformt sein und eine festere Schale besitzen.

Mitunter machen es klimatische Standortfaktoren notwendig, Kulturpflanzen an eine neue Umwelt anzupassen. Hierzu gehören weitgreifende Veränderungen im lichtperiodischen Verhalten (z. B. Sojabohne). Oft gilt es, die Vegetationsperiode zu verkürzen, um in einer kürzeren Zeit den gleichen Ertrag zu erhalten oder um die Anbaumöglichkeit bestimmter Pflanzen auf Gebiete mit kürzerer Vegetationsperiode auszudehnen.

Diese Beispiele lassen erkennen, welche Möglichkeiten der Pflanzenzüchter hat und wie vielseitig die Aufgaben der pflanzenbaulichen Zuchtziele sind.

Zur Verwirklichung dieser Zuchtziele ist eine sehr enge Zusammenarbeit der Pflanzenzüchter mit den Pflanzenbauern,

Pflanzenphysiologen, Phytopathologen, der Landmaschinenindustrie, den Ökonomen, den Meteorologen, den Physikern und Technikern sowie den Bodenkundlern erforderlich.

Vermehrungstechnische Zuchtziele. Vermehrungstechnische Zuchtziele haben eine besonders große Bedeutung für Futterpflanzen. Oftmals stehen optimales Wachstum und optimale Samenausbildung in einem Widerspruch zueinander. Günstig für ein schnelles Wachstum ist in der Regel ein großes Samenkorn. Große Samenkörner bedingen jedoch eine größere Aussaatmenge als kleine Samen, wenn die gleiche Anzahl von Pflanzen auf der gleichenFläche wachsen soll. Bei großsamigen Pflanzen ist also häufig die Vermehrungsrate geringer. Hier muß der Züchter das optimale Maß für jede Pflanzenart finden.

Zu den vermehrungstechnischen Zuchtzielen gehört weiter die gleichmäßige Samenreife, die Erhöhung der Fruchtstandzahl je Pflanze und die Erhöhung der Samenzahl je Fruchtstand sowie die Möglichkeit der Gewinnung einwandfreien Saatgutes.

Oftmals bereiten grüne Sproßteile bei der Saatguterzeugung Schwierigkeiten. Hier kann als Zuchtziel ein natürlicher Blattabwurf bei der Samenreife erforderlich werden. In anderen Fällen müssen biologische Faktoren verändert werden (z. B. Hartschaligkeit der Samen). Diese Hartschaligkeit der Samen verhindert nämlich vielfach eine gleichmäßige Keimung. Derartige Zuchtziele sind nur durch eine besonders enge Zusammenarbeit der Züchter mit Botanikern, Physiologen, Zytologen und Pflanzenbauern zu verwirklichen.

Futterwirtschaftliche Zuchtziele. Futterwirtschaftliche Zuchtziele ergeben sich außer bei ausgesprochenen Futterpflanzen auch bei solchen Arten, von denen Abfallprodukte und dergleichen verfüttert werden (z. B. Kleie, Extraktionsschrot, Rübenblatt und -schnitzel).

Bei ausgesprochenen Futterpflanzen – beispielsweise Gräsern, Klee, Luzerne, Mais oder Futterrüben – gilt es, neben großer Massenwüchsigkeit auch eine gute Verdaulichkeit und günstige Nährstoffzusammensetzung zu erreichen. Daneben muß das Futter auch schmackhaft und vitaminreich sein.

Oftmals sind grundsätzliche Eigenschaften von Futterpflanzen noch ungeklärt. Die Ackerbohne wird zum Beispiel als Grünfutter vom Vieh nicht gefressen, obwohl in der grünen Pflanze eine günstige Nährstoffzusammensetzung vorliegt. Der Rot-Klee dagegen wird auch feucht gefressen, obwohl dann bei den Tieren Blähungen auftreten, die oft tödlich ausgehen.

Mehrschnittige Futterpflanzen müssen ein gutes Nachwuchsvermögen aufweisen. Oftmals ist die optimale Nährstoffzusammensetzung in den Futterpflanzen nur kurze Zeit vorhanden. Diese Zeit muß dann auf züchterischem Wege verlängert werden.

Die Verwirklichung dieser Ziele ist ebenfalls nur möglich durch eine gemeinsame Arbeit von Pflanzenzüchtern, Tierzüchtern, Biochemikern und der Futtermittelindustrie.

Tierzüchtung

Die Hauptaufgabe der Tierzüchtung ist weniger die Züchtung neuer als vielmehr eine Verbesserung der bestehenden Rassen sowie die Steigerung des Leistungsvermögens (z. B. höhere Fleischleistung, höhere Milchleistung, höhere Legeleistung bei Hühnern). Eng damit verbunden ist eine Verbesserung der Gesundheit der Tiere sowie eine Steigerung der Fruchtbarkeit und Futterverwertung.

Die meisten landwirtschaftlichen Nutztiere dienen direkt der Befriedigung menschlicher Bedürfnisse. Deshalb muß die Tierzüchtung besonders die sich ändernden Bedürfnisse berücksichtigen. Während in den ersten Jahren nach dem zweiten Weltkrieg fettes Schweinefleisch mehr gefragt war, wird heute mageres Fleisch bevorzugt. Auch ein gesteigerter Verbrauch von Kalbfleisch, Rindfleisch und Geflügelfleisch ist eingetreten. Auf diese Dinge muß der Tierzüchter rechtzeitig achten, denn durch entsprechende Zuchtwahl kann er die Entwicklung einer Rasse stark beeinflussen.

Aufgaben

1. Erkundigen Sie sich in einer LPG nach den angebauten Kulturpflanzensorten und stellen Sie Unterschiede zwischen den Sorten einer Art fest!
2. Fragen Sie nach den Eigenschaften der angebauten Arten und danach, was nach der Meinung der Genossenschaftsbauern verbessert werden muß!
3. Informieren Sie sich über die Arbeit des Pflanzenzüchters und besuchen Sie eine Zuchtstation oder ein Versuchsfeld!
4. Stellen Sie in einem Landwirtschaftsbetrieb die durch die Tierzüchtung erzielten Leistungssteigerungen der letzten 10 Jahre fest!

Methoden der Pflanzenzüchtung

Auslesezüchtung

Durch die vom Züchter gelenkte Auslese werden nur diejenigen Pflanzen selektiert, die für den beabsichtigten Verwendungszweck am besten geeignet sind. Zu Beginn der züchterischen Tätigkeit reichte noch der Formenreichtum in den Wildherkünften und Landsorten (natürliche Population) aus, um durch Auslese neue Sorten zu züchten. Später mußte man dazu übergehen, durch Auswahl (künstliche Zuchtwahl) und Kreuzung geeigneter Pflanzen künstliche Populationen zu schaffen. Heute können züchterische Fortschritte fast nur noch durch solche künstlichen Populationen erzielt werden.

Methoden der Auslese

Je nach den Befruchtungsverhältnissen müssen verschiedene Ausleseverfahren angewendet werden. Im allgemeinen sind Selektionserfolge (Ausleseerfolge) bei Fremdbefruchtern geringer. Außerdem muß hier die Auslese ständig wiederholt werden, um stets die leistungsfähigsten Individuen zu vermehren. Bei den Selbstbefruchtern dagegen ist die Auslese bereits mit der Ermittlung der leistungsfähigsten reinerbigen Pflanzen beendet.

In der praktischen Züchtung lassen sich die **natürliche** und die **künstliche Auslese** kaum trennen. Die natürliche Auslese kommt vor allem in der Auswahl des Zuchtbetriebes bzw. des Zuchtgartens zur Wirksamkeit, indem Standorte ausgewählt werden, auf denen die gewünschten natürlichen Selektionsfaktoren alle untauglichen Individuen ausmerzen oder doch wenigstens so deutlich unterdrücken, daß sie bei der künstlichen Auslese durch den Züchter erkannt werden können (s. S. 148). Zum Beispiel wird Roggen, der für leichte Böden geeignet sein soll, nur in Zuchtgärten auf sehr armem Sandboden gezüchtet. Für die Züchtung winterfester Sorten suchen die Züchter Standorte aus, die regelmäßig von strengen Frösten heimgesucht werden.

Auslese bei Selbstbefruchtern. Eine Nachkommenschaftsreihe, die von einer einzelnen absolut selbstbefruchtenden reinerbigen (homozygoten) Pflanze abstammt, bezeichnet man nach JOHANNSEN als **reine Linie.** Die Auslese aus reinen Linien

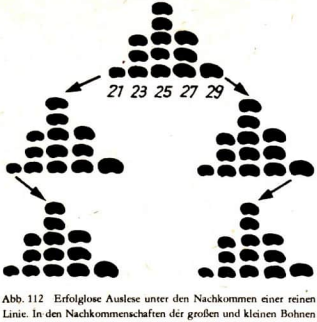


Abb. 112 Erfolglose Auslese unter den Nachkommen einer reinen Linie. In den Nachkommenschaften der großen und kleinen Bohnen kommt immer wieder die gleiche Variabilität zustande. Die Zahlen geben die Samenlänge in Millimeter an.

bringt keinen züchterischen Fortschritt. Als Beispiel soll uns die reine Linie einer Bohnensorte dienen. Wie die Abbildung 112 zeigt, besitzen die Nachkommen der ausgewählten großen und kleinen Bohnen die gleiche Variationsbreite. Die großen und kleinen Bohnen der reinen Linie besaßen also die gleichen Erbanlagen für die Bohnengröße. Die in den Erbanlagen festgelegte Samengröße war lediglich durch verschiedene Umwelteinflüsse modifiziert worden. In **„natürlichen" Selbstbefruchterpopulationen** (Landsorten, Wildherkünfte) sind die meisten Individuen reinerbig. Mit der Auslese kann deshalb sofort begonnen werden. Bei alternativen Merkmalen (s. S. 100) kann dabei schon nach einmaliger Auslese und Prüfung der Nachkommenschaft der gewünschte Selektionserfolg erzielt werden. Wesentlich schwieriger ist es dagegen, ein fluktuierendes Merkmal (z. B. Samengröße) sicher zu erkennen. Hier werden erst mehrere Nachkommenschaftsprüfungen Auskunft darüber geben, ob das selektierte Merkmal erblich war. Als bewährtes Verfahren für entsprechende Prüfungen kennen wir die **Stammbaumzüchtung**.

Die Stammbaumzüchtung hat für die züchterische Bearbeitung von Weizen, Hafer, Gerste und Kartoffeln große Bedeutung erlangt.

Das der Stammbaumzüchtung zugrunde liegende züchtungstechnische Verfahren ist die Auslese von Einzelpflanzen (Individualauslese) mit anschließender Prüfung ihrer Nachkommenschaft. Besondere Bedeutung hat die Prüfung der Nachkommenschaft einer Einzelpflanze. Nur durch sie kann über den Erbwert der ausgelesenen Einzelpflanzen Sicheres ausgesagt werden.

Dieser Einzelpflanzenauslese steht methodisch die Massenauslese gegenüber. Bei der **positiven** Massenauslese werden aus dem gegebenen Pflanzenbestand alle dem Zuchtziel entsprechenden Individuen ausgelesen und dann für die weitere Züchtung verwendet. Bei der **negativen** Massenauslese werden aus dem gegebenen Pflanzenbestand alle Individuen entfernt, die dem Zuchtziel nicht entsprechen. Dieses Verfahren wird heute vorwiegend in der Erhaltungszüchtung angewendet. Negative Massenauslese wird zum Beispiel bei der Selektion viruskranker Stauden aus einem Kartoffelfeld oder bei der Entfernung von Roggenpflanzen aus dem Vermehrungsfeld einer Wintergerstenhochzucht (zur Gesund- und Reinerhaltung von Zuchtsorten) durchgeführt.

Stehen für die Auslese keine geeigneten natürlichen Populationen zur Verfügung, muß der Züchter versuchen, durch Kreuzung von besonders ausgewählten Sorten das geeignete Auslesematerial zu schaffen. Die Ausleseverfahren sind die gleichen wie die in natürlichen Populationen.

Auslese bei Fremdbefruchtern. Bei den Fremdbefruchtern entsteht jedes Individuum durch Verschmelzung einer Samenzelle mit einer Eizelle mit jeweils unterschiedlichen Erbanlagen. Individuen mit gleichen Erbanlagen kommen nicht vor. Jede einmal erreichte Variabilität bleibt bei ungestörter Fremdbefruchtung erhalten. Für eine erfolgreiche Auslese ist es nun wichtig, einerseits die besten Individuen zu erkennen und andererseits durch eine Befruchtungslenkung zu versuchen, die Erb-

anlagen dieser Elitepflanzen vor der Vermischung mit Erbanlagen minderwertiger Individuen zu bewahren.

Große Schwierigkeiten bereitet besonders die Selektion fluktuierender Merkmale. Man versucht deshalb, die Fremdbefruchter künstlich zur Selbstbefruchtung zu zwingen, um dann wie bei den Selbstbefruchtern verfahren zu können. Dieses Vorhaben gelingt aber nur bei einigen fakultativen Fremdbefruchtern (z. B. Raps). Bei obligatorischen Fremdbefruchtern (z. B. Roggen, Mais) entstehen dadurch Inzuchtdepressionen und geringere Fruchtbarkeit(s. S.148), die eine sichere Beurteilung der Eigenschaften und die Durchführung der Zuchtarbeiten verhindern können. Es müssen deshalb Verfahren angewendet werden, die die Besonderheiten der Fremdbefruchter berücksichtigen und dennoch züchterische Fortschritte erlauben. Geeignete Verfahren sind hierfür die **Mutterstammbaumzüchtung** und die **Restsaatgutmethode**. Beiden Verfahren liegt das Prinzip der Einzelpflanzenauslese mit Prüfung der Nachkommenschaft zugrunde. Da hier aber die Bestäubung der Mutterpflanzen durch das Pollengemisch der verschiedenen Vaterpflanzen des Bestandes erfolgt, ist die väterliche Abstammung nie festzustellen. Gute Mutterpflanzen können also immer wieder durch Pollen minderwertiger Vaterpflanzen bestäubt werden. Ein Selektionserfolg (leistungsfähige heterozygote Pflanzen) kann bei diesem Verfahren deshalb nur durch ständig wiederholte Auslese erzielt werden. Ein Beispiel für den Erfolg langjähriger beharrlicher züchterischer Tätigkeit sind die weltbekannten Petkuser Roggenzuchtsorten.

Kombinationszüchtungen

Die Gesetzmäßigkeiten der Vererbung bilden die Grundlage für eine Reihe von Zuchtmethoden, bei denen durch künstliche oder gelenkte natürliche Kreuzung Merkmale und Eigenschaften verschiedener Elternformen in einer neuen Sorte oder Rasse vereinigt werden sollen. Bei der Auswahl der einzelnen Zuchtmethoden müssen gewisse Gesichtspunkte, wie beispielsweise die Art der Bestäubungsverhältnisse (Selbst- oder Fremdbestäubung), Berücksichtigung finden.

Auswahl der Kreuzungspartner. Zunächst ist es bei der Kombinationszüchtung wichtig, eine richtige Auswahl der Elternformen vorzunehmen. Zur Kreuzung werden in der Regel nur solche Elternformen herangezogen, die in möglichst vielen Eigenschaften, besonders aber in den zu kombinierenden, reinerbig sind. Bei Selbstbefruchtern werden deshalb reine Linien, bei Fremdbefruchtern vielfach Inzuchtlinien gekreuzt. Es ergeben sich hierdurch einfachere Spaltungsverhältnisse, die spätere Selektion wird erleichtert und der erwartete Selektionserfolg stellt sich schneller ein.

Kombinationszüchtung bei Selbstbefruchtern. Zur künstlichen Kreuzung müs-

Abb. 113 Methodik bei der Kreuzung von Wintergerste

a) Ähre noch teilweise von der Blattscheide umschlossen; richtiges Entwicklungsstadium zur Kastration

b) Vorbereitung der Ähre zur Kastration. Von der sechszeiligen Ähre werden vier Zeilenreihen entfernt

c) Die langen Grannen werden so weit gekürzt, daß sie die gleiche Länge wie die Ähre aufweisen

d) Fertig zur Kastration vorbereitete Ähre

e) Mit Hilfe einer Pinzette werden die Spelzen aufgeschlitzt

f) Die drei Staubgefäße werden entfernt

g) Nach der Kastration aller Ährchen wird die Ähre in einer Pergamenttüte eingeschlossen

h) Die Staubgefäße der ausgewählten Vaterform werden in einer Petrischale gesammelt

i) Am Tage nach der Kastration wird je 1 Staubgefäß der Vaterform in jedes kastrierte Ährchen gebracht

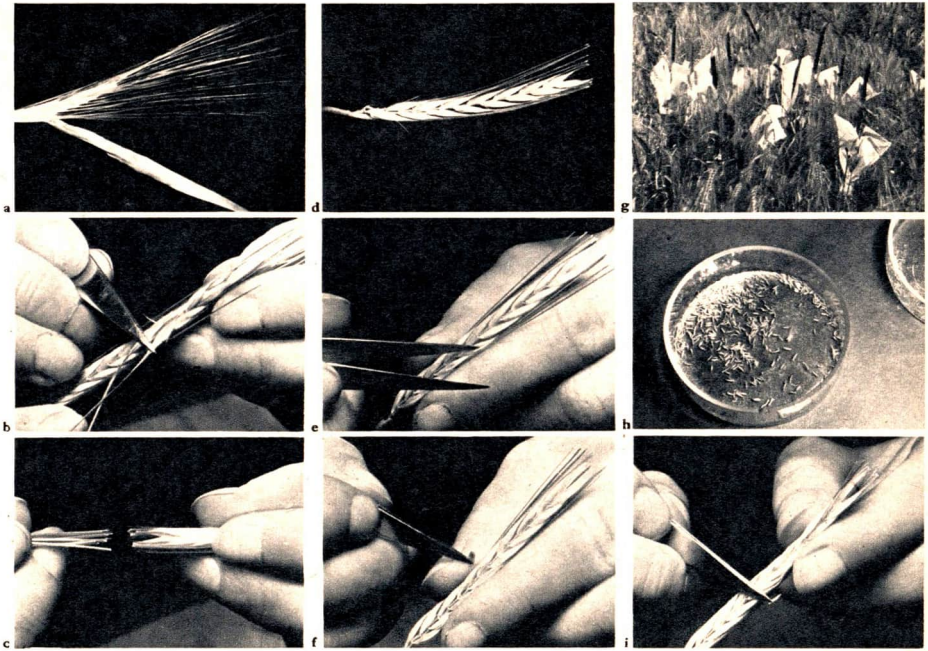


Abb. 113

sen bei allen Selbstbefruchtern die Staubgefäße so rechtzeitig entfernt werden, daß kein Pollen auf die Narbe gelangt. Die künstliche Bestäubung erfolgt meistens am Tage nach der Kastration. Der Pollen der ausgewählten Vaterpflanze wird auf die Narben der Mutterpflanzen aufgetragen, worauf die Blütenstände sofort wieder in Pergamenttüten eingeschlossen werden, damit kein fremder Pollen auf die Narben gelangt (Abb. 113a bis i). Mit Beginn der Vollreife werden die Ähren geerntet. Die Samen werden einzeln gesammelt und als F_1-Generation angebaut.

Die Auslese der erwünschten Typen kann frühestens in der F_2-Generation beginnen. Die Nachkommenschaft der ausgelesenen Elitepflanzen werden aber noch stark spalten, da die meisten F_2-Pflanzen noch nicht reinerbig sind, so daß in der F_3-Generation eine erneute Auslese notwendig wird. Bei Selbstbefruchtern läßt sich dieser Nachteil vermeiden, wenn das **Ramschverfahren** angewendet wird. Bei diesem Verfahren werden die Pflanzen zunächst einige Generationen vermehrt. Die reinerbigen Pflanzen nehmen hierbei im Verlaufe der Generationen zu, die mischerbigen gehen im gleichen Verhältnis immer mehr zurück. Erfolgt die Auslese dann erstmalig in späteren Generationen (z. B. in der F_4 oder F_5), so ist die Wahrscheinlichkeit groß, nur reinerbige Pflanzen auszulesen. Die weitere Bearbeitung der ausgelesenen Elitepflanzen erfolgt dann in gleicher Weise wie bei der Stammbaumzüchtung.

Kombinationszüchtung bei Fremdbefruchtern. Bei Fremdbefruchtern ist eine Kreuzung einzelner Pflanzen schon natürlicherweise gegeben. Von einer Kombinationszüchtung kann man aber nicht sprechen, da keine bewußte Paarung bestimmter Genotypen stattfindet. Fremdbefruchterpopulationen bestehen fast ausschließlich aus mischerbigen Pflanzen, so daß nach einer Kreuzung unübersichtliche Spaltungsverhältnisse herrschen. Durch vorherige Inzucht ist es bei bestimmten Fremdbefruchtern möglich, die Mischerbigkeit (Heterozygotie) weitgehend zu beseitigen, so daß Kreuzungen mit mischerbigen und reinerbigen Elternformen vorgenommen werden können.

Methode der Heterosiszüchtung. Durch mehrfach erzwungene Selbstbefruchtung (Inzucht) ist es auch bei Fremdbefruchtern möglich, zu einem gleicherbigen Ausgangsmaterial zu kommen. Bei allen Selbstbefruchtern ist Inzucht die Regel und wird auch ohne Schaden vertragen. Bei Fremdbefruchtern treten nach Inzucht dagegen vielfach Störungen auf (Inzuchtdepressionen). Diese äußern sich in Wuchshemmungen, Schwächung der Lebensfähigkeit, geringerem Samenansatz usw. und verstärken sich mit der Anzahl der Inzuchtgenerationen bis zu einem Tiefpunkt, der als Inzuchtminimum bezeichnet wird. Solche Inzuchtschäden treten aber nicht bei allen Fremdbefruchtern in gleichem Ausmaß auf. Roggen, Mais und Rüben reagieren stark auf Inzucht, während bei Kohlrüben und Raps Inzuchtschäden kaum zu beobachten sind.

Kreuzt man bestimmte Inzuchtlinien miteinander, entsteht eine F_1-Generation, die im Ertrag und in der Grünmasseleistung den Ausgangsformen beträchtlich überlegen ist. Diese Erscheinung wird als **Heterosis** bezeichnet, wenn diese Leistungssteigerung in den folgenden Generationen wieder abfällt. Für einen Großanbau muß deshalb ständig neues Heterosissaatgut erzeugt werden. Die Herstellung des Heterosissaatgutes ist von der Blütenbiologie der betreffenden Kulturpflanzenarten abhängig. Besonders einfach liegen die Verhältnisse bei ein- und zweihäusigen Arten. Durch

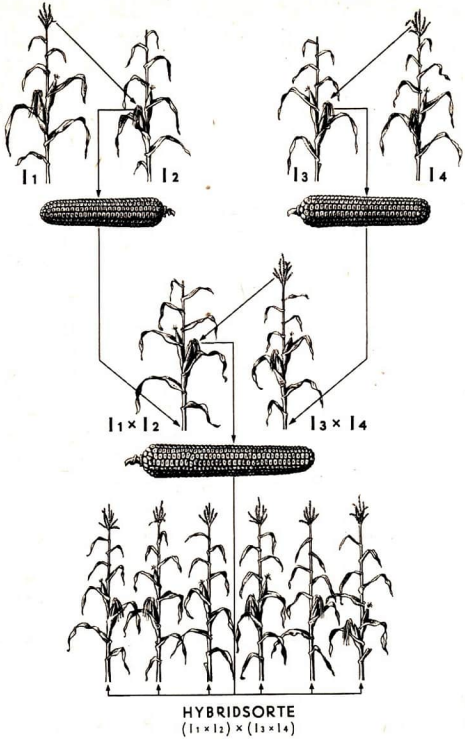


Abb. 114 Erzeugung von Doppellinienhybridsaatgut beim Mais

einen geringen Arbeitsaufwand ist es beispielsweise beim Mais möglich, Heterosissaatgut zu erzeugen und dadurch eine Ertragssteigerung um 20% zu erzielen (Abb. 114).

Heterosiszüchtung ist nicht nur bei Fremdbefruchtern möglich. Sie kann auch bei bestimmten zwittrigen Selbstbefruchtern erfolgreich sein. Heterosiszüchtung hat nur bei solchen zwittrigen Selbstbefruchtern Bedeutung, bei denen durch Kastration weniger Blüten eine große Menge Saatgut gewonnen werden kann und beim praktischen Anbau nur eine geringe Pflanzenzahl je Flächeneinheit erforderlich ist. Diese Voraussetzungen werden beispielsweise bei

Tabak, Tomaten und einigen Zierpflanzenarten erfüllt, bei denen durch Anwendung der Heterosiszüchtung schon beachtliche Leistungen erzielt werden konnten.
Die Heterosiszüchtung hat bei Mais, Tomaten, Gurken, Melonen, Zwiebeln, Zuckerrüben, einigen Zierpflanzen und anderen Kulturpflanzen zu beträchtlichen Ertragssteigerungen geführt.

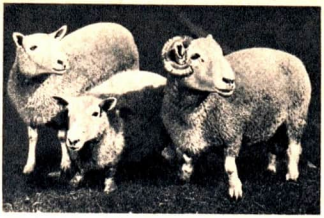


Abb. 115 Die Ancon-Mutation beim Schaf. Links: Mutterschaf mit normalen Beinen; Mitte und rechts: Mutterschaf und Bock mit stark verkürzten Beinen.

Mutationszüchtung

Da spontane Mutationen nur selten auftreten, bemüht man sich, die Mutationsrate künstlich zu erhöhen, um die Mutanten als Ausgangsmaterial für die praktische Züchtungsarbeit zu verwenden. 1927 gelang es erstmalig dem Genetiker MULLER, durch Behandlung der Taufliege *(Drosophila melanogaster)* mit Röntgenstrahlen einen starken Anstieg der Mutationsfähigkeit zu erreichen.

Neben Röntgenstrahlen führen auch andere Strahlenarten wie Alpha-, Beta-, Gamma- und Neutronenstrahlen sowie verschiedene Chemikalien zu einer starken Erhöhung der Mutationsrate. Als mutationsauslösende Mittel verdient auch die Temperatur Be-

Abb. 116 Links normal begrannte Gerstenähren, rechts Ähren einer grannenlosen Mutante

achtung. Temperaturerhöhungen und besonders Temperaturschocks können Mutationen auslösen. Die Temperatur muß auch als einer der Faktoren angesehen werden, der in der Natur die spontanen Mutationen bewirkt.

Ebenso wie durch spontane Mutationen können auch auf experimentellem Wege Mutationen bei allen morphologischen und physiologischen Merkmalen erzeugt werden (Abb. 115 und 116). Durch experimentelle Mutationsauslösung werden die in einer Art liegenden Entwicklungsmöglichkeiten aktiviert. Dies betrifft insbesondere Merkmale und Eigenschaften, die bei der betreffenden Art bisher noch nicht spontan auftreten, auf deren Vorhandensein aber geschlossen werden kann, weil sie bei nahe verwandten Arten bekannt sind.

Von allen bisher geprüften Mitteln zur künstlichen Mutationsauslösung haben die Röntgenstrahlen die meiste Anwendung gefunden. In neuerer Zeit werden jedoch auch bestimmte Chemikalien immer mehr angewendet, die eine verhältnismäßig hohe Mutationsrate ergeben.

Eine Bestrahlung der Pflanzen kann in jedem Entwicklungsstadium erfolgen. Es ist möglich, Pollen, Keimlinge, Samen und auch einzelne vegetative Organe zu bestrahlen. Am einfachsten ist aber die Behandlung von trockenen Samen. Arbeitstechnisch ergeben sich ebenfalls Vorteile, da die Bestrahlung in den Wintermonaten möglich ist, denn die Wirkung verliert sich nicht durch eine längere Lagerung.

Ausschlaggebend für den Erfolg der Bestrahlung ist die Wahl der richtigen Strahlenmenge (Dosis), die in Röntgeneinheiten (*r*) gemessen wird. Die von den Strahlen verursachte Schädigung darf nicht so groß sein, daß die Samen absterben. Sie muß aber eine genügende Anzahl von Veränderungen auslösen. Meist wird angestrebt, daß sich aus 20 bis 25 % der bestrahlten Samen Pflanzen entwickeln, die bis zur Reife überleben und auch Samen ausbilden. Dieser Grad der Schädigung verspricht die höchste Mutationsausbeute. Von den meisten Kulturpflanzenarten ist heute der wirksamste Dosisbereich bekannt. Samen der Ölpflanzen sind sehr widerstandsfähig. Bei Senf und Raps müssen 80000 bis 90000 Röntgeneinheiten zur Wirkung kommen, während bei Getreide nur 10000 bis 12000 und bei Lupinen 15000 bis 18000 *r* erforderlich sind.

Die Mehrzahl der künstlich neu erzeugten Formen hat einen negativen Selektionswert, sie weisen keine Verbesserungen gegenüber den bisher bekannten Formen auf. Häufig ist sogar ihre Lebenskraft herabgesetzt. Das ist verständlich, wenn man bedenkt, daß die Ausgangsformen durch ständige Auslese besonders gut angepaßt sind. Unter vielen wertlosen Mutanten findet sich jedoch auch ein geringer Prozentsatz, der für die praktische Züchtung von Nutzen ist.

Von den Getreidearten wurde die Gerste bisher am häufigsten zur Auslösung künst-

Abb. 117 Frühreife Mutanten der Wintergerste
Mittlere Parzelle: Ausgangssorte, rechts danebenliegende Parzelle: frühreife Mutante.

licher Mutationen benutzt, so daß bei dieser Art auch die meisten positiven Ergebnisse vorliegen. Formen mit höherer Standfestigkeit, größerer Frühreife (Abb. 117), höherer Tausendkornmasse, größerer Kornzahl je Ähre und auch höherem Ertrag sind nur einige der aufgefundenen züchterisch wertvollen Mutanten. Daneben wurden aber auch Resistenzfaktoren gegen verschiedene Pilzkrankheiten ausgelesen.

Polyploidiezüchtung

Zur Erzeugung polyploider Formen findet heute fast ausschließlich die Kolchizinmethode Anwendung. Das Kolchizin verhindert bei der Kernteilung die Ausbildung des Spindelapparates, so daß keine Trennung der Chromosomenspalthälften erfolgen kann und polyploide Zellen entstehen. Voraussetzung für den Erfolg der Kolchizinmethode ist, daß Gewebe behandelt werden, die sich in lebhafter Teilung befinden. Keimende Samen, Keimlinge und auch Vegetationspunkte sind geeignet, wobei es erforderlich ist, die Lösung in unmittelbare Nähe der sich teilenden Gewebe zu bringen. Kleine, mit der Kolchizinlösung getränkte Wattebausche werden zum Beispiel direkt auf die Vegetationspunkte gelegt, nachdem die den Vegetationspunkt schützenden kleinen Blätter entfernt wurden. Der Erfolg zeigt sich zunächst in Wachstumsstörungen und Mißbildungen. Nicht alle Zellen werden gleichmäßig von der Lösung getroffen. Neben normalen diploiden Gewebspartien befinden sich solche, die polyploid sind.

Die aus den Vegetationspunkten wachsenden Triebe können diploid oder auch polyploid sein, was beispielsweise durch Vergleiche der Spaltöffnungen im mikroskopischen Bild festzustellen ist. Alle normalen Triebe werden zurückgeschnitten, so daß nur die gewünschten polyploiden Triebe zur Entwicklung kommen. Das Saatgut dieser Triebe ergibt dann das Material für die weitere Auslese, wobei aber laufende Kontrollen des Polyploidiegrades durch

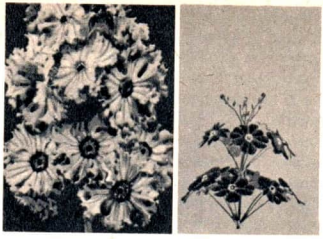


Abb. 119 Fliederprimel. Links: Blütenstand einer tetraploiden Zuchtsorte, rechts: diploider Blütenstand

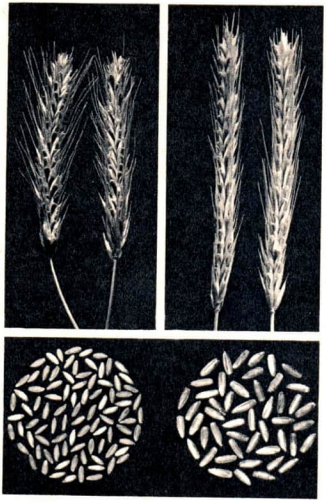


Abb. 118 Links: Ähren und Körner einer diploiden Roggensorte, rechts: Ähren und Körner einer tetraploiden Roggenform

Chromosomenzählungen erforderlich sind. Besondere Bedeutung für die Züchtung haben bisher tetraploide Pflanzen erlangt (Abb. 118). Die normale diploide Chromosomenzahl ist bei diesen Formen verdoppelt. Ungünstig erweist sich allerdings, daß die Fruchtbarkeit mehr oder weniger stark herabgesetzt wird, was in bestimmten Grenzen durch Auslese und andere züchterische Maßnahmen beseitigt werden kann. Außer bei Futterpflanzen wurde die Polyploidisierung auch sehr häufig in der Blumen-, Heil- und Gewürzpflanzenzüchtung angewendet. Polyploide Formen zeichnen sich oft durch große schöne Blüten bzw. durch eine Vermehrung der Inhaltsstoffe aus (Abb. 119).

Methoden der Tierzüchtung

Die vererbungswissenschaftlichen Grundlagen der Pflanzenzüchtung gelten auch für die Tierzüchtung. Auch hier setzt jede planmäßige Züchtung voraus, daß der Züchter ein Ziel hat und sich ein Idealbild von dem künftigen Züchtungsprodukt vorstellt, das sowohl den gegebenen natürlichen Verhältnissen als auch den wirtschaftlichen Belangen Rechnung trägt.

Tierzüchtung und Tierhaltung

Der Mensch hat auf die Leistungen der Haustiere einen großen Einfluß. Nur bei guter Fütterung, Haltung und Pflege sind im Zusammenwirken mit günstiger erblicher Veranlagung Höchstleistungen zu erzielen.

Die Haustiere haben jeweils nur wenige Nachkommen, so daß die Auslesemöglichkeit begrenzt ist. Auch Tiere mit verhältnismäßig zahlreicher Nachkommenschaft (z. B. Hühner, Schweine) erreichen bei weitem nicht die Vermehrungszahlen der Pflanzen. Darüber hinaus erfordert die Aufzucht eines Tieres erheblich mehr Kosten als die Aufzucht einer Pflanze. Dadurch besitzt das einzelne Tier einen beträchtlich höheren Wert als eine Pflanze. Ferner sind alle Haustiere eingeschlechtlich. Es ist demzufolge schwieriger, die einzelnen wertvollen Merkmale unverändert zu erhalten, als das bei sich oft selbstbefruchtenden Kulturpflanzen der Fall ist. Deshalb hat bei den Haustieren die Neuzüchtung einen wesentlich geringeren Umfang als bei den Kulturpflanzen; im Vordergrund steht die ständige Weiterentwicklung und Verbesserung der vorhandenen Rassen.

Oft treten bei Haustieren wirtschaftlich wichtige Leistungen nur in einem Geschlecht auf (z. B. Milchleistung der Rinder, Ziegen, Schafe; Eierleistung der Hühner, Legeenten). An ihrem Zustandekommen sind aber auch die Anlagen des jeweils anderen Elters beteiligt. Dadurch wird aber die Auswahl der zur Fortpflanzung vorgesehenen Individuen beträchtlich erschwert. Die Verwendung schriftlicher Unterlagen über die Leistung der Vorfahren der zu paarenden Tiere, ihr Stammbaum (Ahnentafel), gewinnt damit entscheidende Bedeutung.

Das Zuchtmaterial

Die Art. Eine Art besteht aus Tieren, die sich in ihren Merkmalen weitgehend ähneln beziehungsweise gleichen und untereinander gepaart fruchtbare Nachkommen erzeugen. Eine Paarung zwischen verschiedenen Arten ist nur selten möglich.

In der Haustierzüchtung gibt es für Kreuzungen verschiedener Arten nur wenige Beispiele. Am bekanntesten ist die Kreuzung zwischen Pferd und Esel. Sie sind miteinander fruchtbar und erzeugen auch lebensfähige Nachkommen. Die Nachkommen sind jedoch meist steril und können daher nicht zur Weiterzucht verwendet werden. Aus einer solchen Paarung entstehen

Eselstute × Pferdehengst = Maulesel,

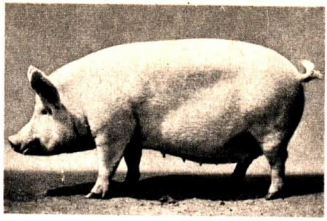
Pferdestute × Eselhengst = Maultier.

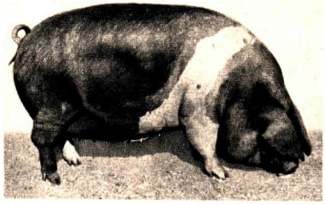
Das Maultier sieht dem Pferd ähnlicher als dem Esel, von dem es nur die langen Ohren, den kurzbehaarten Schwanz und die Stimme hat. Es ist größer und stärker als der Maulesel. Maultiere und Maulesel sind sehr genügsame sowie ausdauernde Trag- und Zugtiere und werden wegen der Trittsicherheit besonders im Gebirge geschätzt. Man findet sie daher vor allem in Gebirgsgegenden im Mittelmeerraum und Mittelasien.

Die Rasse. Von größerer Bedeutung für die Arbeit des Tierzüchters sind die Rassen. Die Rasse ist eine Unterteilung der Art. Sie besitzt bestimmte Merkmale, die sie auf ihre Nachkommen vererbt und die anderen Rassen fehlen. Rassen sind untereinander fruchtbar und erzeugen auch fruchtbare Nachkommen. Äußerlich unterscheiden sie sich in Form, Farbe und Leistung oft sehr wesentlich (Abb. 120).

Die Bildung von Rassen ist noch nicht abgeschlossen. Aus wirtschaftlichen Gründen können alte Rassen aberkannt und neue Züchtungen, die die entsprechenden jetzt gewünschten Eigenschaften aufweisen und wirtschaftlich erscheinen, als Rassen anerkannt werden.

Der Schlag. Schläge sind Unterteilungen der Rassen. Durch die unterschiedlichen Klimabedingungen und Bodenverhältnisse der einzelnen Gebiete werden die Tiere einer Rasse geformt. Es entstehen innerhalb einer Rasse verschiedene Schläge.





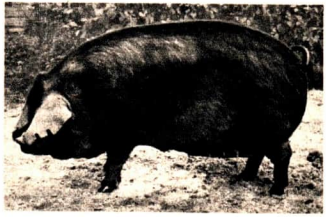


Abb. 120 Verschiedene Schweinerassen. Oben: Edelschwein, Mitte: Sattelschwein, unten: Cornwallschwein

Die Zuchtmethoden

Die Arbeitsmethoden der Tierzucht sind denen der Pflanzenzucht im allgemeinen gleich. Die Züchter wählen solche Tiere zur Zucht, die die gewünschten Merkmale bereits in hohem Maße besitzen (Auslesezüchtung, in der Tierzucht als Zuchtwahl bezeichnet). Auslese- und Kombinations-

züchtung sind vorherrschend, während die Mutationszüchtung außer in der Pelztierzucht bisher wenig Bedeutung erlangt hat.

Da Haustiere eingeschlechtlich sind, ist jede Paarung zugleich auch eine Kreuzung. Die Kreuzungspartner unterscheiden sich aber in ihrem Verwandtschaftsgrad; daher unterscheidet man zwei Zuchtverfahren: Reinzucht und Kreuzungszucht.

Die Reinzucht

In der Reinzucht werden Tiere der gleichen Rasse gepaart. Die Variabilität in allen Formen und Leistungsmerkmalen gibt innerhalb der Rassen noch sehr viele Möglichkeiten zur Leistungssteigerung. Die gesamte Herdbuchzucht beruht auf Reinzucht. Sie soll garantieren, daß die Tiere ein möglichst gleichmäßiges Erbgefüge aufweisen und damit in der Vererbung sicherer sind. Die Abbildung 121 zeigt, welche Erfolge durch Reinzucht und Auslese beim Angler-Rind erzielt wurden. Folgende Verfahren der Reinzucht sind unter anderem gebräuchlich:

Die Blutlinienzucht. Die Blutlinie umfaßt die von einem Stamm-Vater sich ableitende, meist nach Generationen geordnete männliche Nachkommenschaft innerhalb einer Rasse. Der Blutlinienbegründer, das heißt das Vatertier, nach dem die Blutlinie benannt ist, soll seine hervorragenden Anlagen auf die Nachkommen übertragen.

Die Familienzucht. Sie ist im Prinzip der Blutlinienzucht gleich, nur daß hier das Ausgangstier eine Stamm-Mutter ist, von der man die weiblichen Nachkommen verfolgt. Die größten Erfolge werden erzielt, wenn beste Nachkommen der Blutlinie mit besten Nachkommen der Familie gepaart werden.

Die Inzucht. Inzucht ist die Paarung verwandter Tiere mit gemeinsamen Vorfahren in der ersten bis fünften Generation. Der Zweck der Inzucht ist eine Festigung bestimmter Erbanlagen. Die Nach-

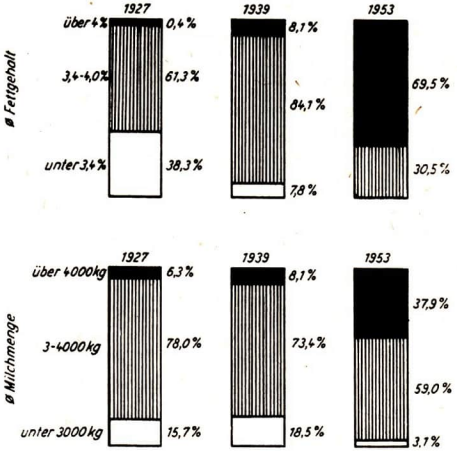


Abb. 121 Ergebnisse der Zuchtwahl auf 4% Fett und 4000 l Milch

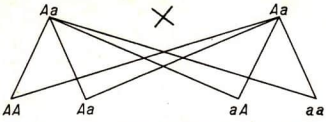


Abb. 122 Auftreten rezessiver Eigenschaften bei der Inzucht (schematisch)

kommen sollen in ihren Anlagen möglichst reinerbig werden. Leider tritt bei der Inzucht nicht nur eine Reinerbigkeit in den erwünschten, sondern auch in den unerwünschten Eigenschaften ein, die bestimmte Krankheiten, Mißbildungen oder gar Lebensunfähigkeit der Tiere zur Folge haben. Waren diese Anlagen in beiden Elternteilen rezessiv vorhanden, so können sie durch Inzucht in Erscheinung treten (Abb. 122).

Der krankheitserregende Faktor tritt bei solchen Tieren in Erscheinung, die von beiden Elternteilen „a" mitbekommen haben. Auch leistungsmindernde Faktoren können so zusammentreten, daß statt einer höheren eine niedrigere Leistung der Nachkommen zu verzeichnen ist.

Bei der großen Vielzahl der Erbanlagen treten Inzuchtschäden recht oft auf, besonders auch in Form allgemeiner Konstitutionsschwächen. Nur ein erfahrener Züchter kann mit dieser Methode große Erfolge erzielen.

Die Kreuzung

Unter Kreuzung versteht der Tierzüchter die Paarung von Tieren zweier Rassen. Je nach dem zu verfolgenden Zweck – entweder eine vorhandene Rasse völlig durch eine neue zu ersetzen oder nur einige Eigenschaften der Rasse zu verbessern oder völlig neue Rassen zu züchten – unterscheiden wir besondere Verfahren der Kreuzung.

Verdrängungskreuzung. Sie hat das Ziel, eine vorhandene Rasse aus wirtschaftlichen Gründen durch eine andere mit besseren Eigenschaften zu ersetzen. Vatertiere einer neuen Rasse mit den gewünschten Eigenschaften werden mit den Muttertieren der vorhandenen Rasse so lange gepaart, bis das erstrebte Ziel erreicht ist. Der Erfolg dieses Zuchtverfahrens ist von der Unterschiedlichkeit der Rassen und besonders von den Lebensbedingungen, die die neue Rasse vorfindet, abhängig.

Veredlungskreuzung. Hierbei kommt es darauf an, einige gute Merkmale einer Kulturrasse in eine Landrasse einzukreuzen, wobei die guten Eigenschaften der Landrasse, ihre Bodenständigkeit, Fruchtbarkeit, Widerstandsfähigkeit, Anspruchslosigkeit und Gesundheit erhalten bleiben sollen. So sind unser weit verbreitetes veredeltes Landschwein und das Landschaf entstanden.

Kombinationskreuzung. Sollen verschiedene gute Eigenschaften aus zwei oder mehreren Rassen in einer Rasse vereint werden, paart man Tiere dieser beiden Rassen. Aus der Nachzucht liest man den gewünschten Typ aus. Dabei ist zu beachten, daß sich nicht alle Eigenschaften kombinieren lassen. So ist es zum Beispiel nicht möglich, höchste Milchleistung mit höchster Mastleistung zu kombinieren, während sich Milchmenge und Fettgehalt der Milch kombinieren lassen.

Gebrauchskreuzung. Versuche, die Wirkung des Heterosiseffektes auszunutzen, wurden in Form der Gebrauchskreuzung durchgeführt. Die unmittelbare Gebrauchskreuzung hat das Ziel, für einmaligen Gebrauch Tiere mit höherer Leistung zu erzeugen. Solche Kreuzungstiere dürfen nicht zur Weiterzucht verwendet werden, weil sie dann in ihren Eigenschaften wieder aufspalten. Die Gebrauchskreuzung wird mit unterschiedlichem Erfolg in der Schweine-, Geflügel- und Pferdezucht angewendet.

Die praktische Zuchtarbeit

Große Kenntnisse und Erfahrungen sind notwendig, um die wertvollen Tiere zu erkennen und zur Weiterzucht auszuwählen. Die Auslese der Tiere beruht auf einer sorgfältigen Prüfung. Man versucht, durch Beurteilung der Leistungen der Vorfahren (Ahnentafel) darauf zu schließen, welche Veranlagungen das Tier mitbringen könnte. Auch wird das Erscheinungsbild des Jungtieres mit herangezogen. Man stellt fest, ob die Rassen- und Geschlechtsmerkmale ty-

pisch ausgeprägt sind, beurteilt den Körperbau und schließt aus seiner Beschaffenheit auf die Leistung der Tiere. So deutet bei der Kuh ein weit nach vorn reichendes, fein behaartes Euter mit deutlich sichtbaren Adern auf hohe Milchleistungen. Eine tiefe und breite Brust lassen vermuten, daß Herz und Lunge leistungsfähig sind. Ein geräumiger Bauch läßt auf gute Futterverwertung schließen. Das Ergebnis der äußeren Beurteilung allein reicht jedoch nicht aus, da es die Leistung nicht mit Sicherheit nachweist. Den sichersten Rückschluß auf den Erbwert eines Tieres gibt immer die Eigenleistung, die in Leistungsprüfungen ermittelt wird. Beim männlichen Zuchttier können bestimmte Leistungsanlagen oft nur über die Leistung der Nachkommen geprüft werden. Hierfür gibt es viele, zum Teil recht komplizierte Prüfungsmethoden, in denen die Töchter mit ihren Müttern, die Töchter mit ihren Stallgefährtinnen oder auch alle weiblichen Nachkommen eines Vatertieres miteinander verglichen werden.

In der praktischen Zuchtarbeit werden also Ahnentafel, Tierbeurteilung und Leistungsprüfung herangezogen, um die wertvollen Tiere zur Nachzucht herauszufinden.

Aufgaben

1. Erkundigen Sie sich nach den Zuchtzielen, die gegenwärtig in der Tierzüchtung vorrangig sind!
2. Ordnen Sie ein bestimmtes Tier (z. B. Rind, Schwein), das in einer Ihnen nahe gelegenen LPG oder in einem anderen Betrieb gehalten wird, in die genannten Gruppen ein (s. S. 153)!
3. Nennen Sie die Unterschiede zwischen der Familie im zoologischen Sinne und im züchterischen Sinne!
4. Erkundigen Sie sich in einem Tierzuchtbetrieb über die dort angewendeten Zuchtmethoden!

Die Organisation der Züchtung

Eine zweckmäßige Organisation der Züchtung bietet die Gewähr dafür, daß in einer echten kollektiven Arbeit bei größtmöglicher Ausnutzung der ökonomischen Mittel auch diejenigen Zuchtaufgaben erfüllt werden, die in der Vergangenheit vernachlässigt wurden. Andererseits kann durch eine gute zentral gelenkte Organisation unnötige Doppelarbeit vermieden werden. Neben den Grundlagen und Methoden ist die Organisation der Züchtung daher eine weitere Voraussetzung zur Lösung aller Aufgaben auf dem Gebiet der Züchtung.

Pflanzenzüchtung

In unserer Republik gibt es eine generelle Trennung von Neuzüchtung, Erhaltungszüchtung, Vermehrung und Vertrieb. Die Neuzüchtung erfolgt in den Instituten für Pflanzenzüchtung der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin und in den Universitätsinstituten für Pflanzenzüchtung sowie in einer kleinen Anzahl von VEG-Saatzucht. Die Institute für Pflanzenzüchtung der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften sind nicht nur für die Züchtung, sondern jeweils für die Koordinierung der Forschung auf ganz bestimmten Komplexgebieten verantwortlich.

Institut für Pflanzenzüchtung Groß-Lüsewitz:

für Kartoffeln, Ölpflanzen und Futterpflanzen der besseren Böden in feuchten Lagen

Institut für Pflanzenzüchtung Gülzow-Güstrow mit Zweigstelle Kloster Hadmersleben und Zuchtstation Petkus:

für Getreide

Institut für Pflanzenzüchtung Bernburg:
für Futterpflanzen der besseren Böden in trockenen Lagen

Institut für Acker- und Pflanzenbau Müncheberg:
für Futterpflanzen der leichten Böden

Institut für Pflanzenzüchtung Quedlinburg:
für Gemüse und Zierpflanzen

Institut für Pflanzenzüchtung Klein-Wanzleben:
für Rüben

Die Pflanzenzuchtinstitute der Universitäten sowie die Neuzuchtstellen in den VEG-Saatzucht lösen ganz bestimmte Teilaufgaben in Zusammenarbeit mit den verantwortlichen Akademieinstituten. Für sämtliche zu verwirklichenden Zuchtziele bestehen Forschungsaufträge, die vom zentralen Forschungsrat bestätigt werden.

Die in den Instituten gezüchteten neuen Sorten und die bisher im Anbau befindlichen Sorten müssen in ihrem Wert erhalten bleiben. Wenn möglich, sollen sie ohne Veränderungen des Sortencharakters in ihren Leistungen verbessert werden. Dieses ist die Aufgabe der Erhaltungszüchtung, die in den Erhaltungszuchtstationen der VEG-Saatzucht durchgeführt wird. Jede dieser Zuchtstationen ist für die Erhaltung einiger Sorten und gleichzeitig für die Vermehrung der hohen Anbaustufen verantwortlich.

Die hohen Anbaustufen werden dann in den Saatbau-LPG sowie in den volkseigenen Gütern weiter vermehrt und kommen nach einer Anerkennung als Saatgut über die Deutschen Saatgut Handelsbetriebe (DSG) in den Handel. Auf den Feldern der Genossenschaften wird dieses Saatgut ausgesät und die Ernte gelangt dann an die Verbraucher.

Um den Leistungsstand der bestehenden Sorten kontrollieren zu können, werden diese in jedem Jahr an vielen Orten der DDR einer Kontrollprüfung unterzogen. Bevor eine neue Sorte zum Anbau zugelassen wird, muß sie ebenfalls in vielen Prüfjahren ihre Überlegenheit gegenüber einer bereits bestehenden Sorte beweisen.

Nachdem ein Züchter in seinem Zuchtgarten bei einem neuen Zuchtstamm verbesserte Eigenschaften und hohe Leistungen festgestellt hat, wird dieser Stamm durch das verantwortliche Institut an 4 bis 10 Orten der DDR mit einer oder mehreren der bestehenden Sorten geprüft. Nur diejenigen Zuchtstämme, die sich hier überlegen erweisen, kommen in die zentralen Prüfungen der Zentralstelle für Sortenwesen. Hier werden sie in der Regel 2 bis 3 Jahre an 8 bis 12 Orten der Republik einer Vorprüfung unterzogen. Die besten Zuchtstämme kommen dann für weitere 2 bis 3 Jahre in die Hauptprüfung, die an 20 bis 50 Orten der DDR gemeinsam mit der Kontrollprüfung durchgeführt wird. Hier müssen die neuen Zuchtstämme ihre Überlegenheit im Vergleich mit allen zur Zeit in der DDR zum Anbau zugelassenen Sorten der gleichen Art beweisen. Gleichzeitig werden Prüfungen unter den Bedingungen der Großproduktion durchgeführt und der Neuzuchtstamm durch den Züchter vermehrt. Auf Grund der Prüfungsergebnisse entscheidet dann die Sortenkommission zusammen mit dem zentralen Landwirtschaftsrat, welcher neue Stamm als Sorte für den Anbau zugelassen wird und welche der bestehenden Sorten den erhöhten Anforderungen nicht mehr entsprechen. Diese werden dann als Sorte gestrichen und nicht mehr vermehrt. Damit ist die Gewähr gegeben, daß tatsächlich jede neue Sorte eine Verbesserung gegenüber bisher bestehenden Sorten darstellt.

Der Weg vom Beginn einer Züchtung bis zur Zulassung als Sorte dauert mindestens 10 Jahre, oft jedoch 15 bis 20 Jahre und länger. Der Pflanzenzüchter muß daher

genau wissen, welche Forderungen in Zukunft an unsere Nutzpflanzen gestellt werden. Hierzu wurde als Richtschnur ein zentrales Forderungsprogramm erarbeitet. Unsere Genossenschaftsbauern haben in jedem Jahr Gelegenheit, die Züchtungsinstitute zu besuchen, die zentralen Prüfungen zu begutachten sowie an Hand von Lehr- und Leistungsschauen auf der Landwirtschaftsausstellung in Markkleeberg sich über den Leistungsstand zu informieren. Durch Veröffentlichungen der Zentralstelle für Sortenwesen sowie durch Sortenratgeber erhalten sie einen Überblick über die bestehenden Sorten und Züchtungen und sind so in der Lage, die für ihren Betrieb geeigneten Sorten anzubauen.

Tierzüchtung

Die Organisation der Tierzucht ist wegen der geringeren Vermehrbarkeit des Tieres im Vergleich zu einer Pflanze notwendigerweise anders gestaltet. Neben zentralen Forschungs- und Tierzuchtinstituten, die ebenfalls der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften unterstellt sind, ist in jedem Bezirk unserer Republik eine Tierzuchtinspektion vorhanden. Diese übernimmt die Anleitung der Züchtung in allen Zuchtbetrieben und lenkt durch eine zielgerichtete Verteilung von Zuchttieren die Entwicklung der Zuchtbetriebe nach volkswirtschaftlichen Erfordernissen.

Die Entwicklung und Förderung der Tierzucht wird maßgeblich durch das Herdbuchwesen bestimmt. Dieses setzt eine ständige Leistungskontrolle der einzelnen Tiere voraus. Für die Aufnahme in das Herdbuch sind ganz bestimmte Leistungen, die über mehrere Generationen nachweisbar vorhanden sein müssen, die Voraussetzung. Dabei ist auch der Nachweis in der väterlichen Linie erforderlich. Nur so kann gesichert werden, daß die von einem Tier gezeigten hohen Leistungen nicht allein durch gute Fütterung hervorgerufen wurden, sondern erblich sind.

Bei der Schweinezucht geben Mastleistungsprüfungen und Schlachtleistungsprüfungen eine größere Sicherheit für die Aufnahme in das Zuchtregister.

Da ein Vatertier in der Tierzucht eine größere Zahl von Nachkommen erzeugt als ein Muttertier, sind für die Zulassung eines Vatertieres zur Zucht besondere Bestimmungen vorhanden. Vatertiere müssen grundsätzlich von leistungsgeprüften Herdbuchtieren abstammen und werden auf besonderen Zuchtveranstaltungen auf Grund ihrer Abstammung und ihrem dem Zuchtziel entsprechenden Körperbau gekört. Sie werden nach ihrem voraussichtlichen Zuchtwert in verschiedene Gruppen eingeteilt und dann den Züchtern zur Verbesserung ihrer Zuchten zugeteilt.

Die Herdbuchzucht gibt für die breite Landeszucht die Richtung an und stellt zur Verbesserung der Landeszucht wertvolle Vatertiere und Muttertiere zur Verfügung. Besonders wertvolle Vatertiere werden auf Besamungsstationen gehalten und können von hier aus durch Anwendung der künstlichen Besamung einen großen Einfluß auf die Entwicklung der Leistung unserer Tierbestände ausüben.

Wie in der Pflanzenzüchtung werden auch in der Tierzüchtung allen Genossenschaftsbauern auf Leistungsschauen und Ausstellungen die Fortschritte und die Richtung der weiteren Entwicklung gezeigt.

Nur durch straffe Organisation und kollektive Arbeit ist es möglich, zu neuen Erkenntnissen der Forschung und zu neuen Methoden der Züchtung zu gelangen, um auf diesem Wege in kürzester Zeit die ständig neu auftretenden Anforderungen und Aufgaben zu lösen.

Worterklärungen

(→ : siehe auch)

Abdruck: → Fossilien

abiogen: (Bildung organischer Verbindungen) außerhalb von Lebewesen; Gegensatz: biogen

Abstammungslehre: Wissenschaft von der auf gemeinsame Abstammung beruhenden Verwandtschaft der einzelnen Tier- und Pflanzengruppen untereinander

Alkaloid: stickstoffhaltige, meist stark giftige Pflanzenbasen, die vielfach als Heilmittel Verwendung finden (z. B. Chinin, Koffein, Nikotin, Morphium, Strychnin)

Allele: identische oder unterschiedliche Zustandsformen eines → Gens, die in homologen → Chromosomen am gleichen Ort lokalisiert sind. Unterschiedliche Allele (→ rezessiv, → dominant) entstehen durch Genmutation aus einem Ausgangsallel und können zu neuen → Phänotypen führen

Allopolyploidie: die Kombination der Chromosomensätze verschiedener Arten (Spezies) durch Kreuzung und deren zahlenmäßige Verdoppelung oder Vervielfachung (Genommutation) → Autopolyploidie

Analogie: auf Anpassung an gleiche Funktionen beruhende äußerliche Ähnlichkeit von Organen unterschiedlicher phylogenetischer und ontogenetischer Herkunft; z. B. Kiemen der Muscheln und Fische; Gegensatz: Homologie

Anatomie: Lehre vom inneren Bau der Lebewesen; Gegensatz: Morphologie

Anthropologie: Lehre von der Entstehung und Entwicklung des Menschen und der menschlichen Kulturen

Antikörper: → Präzipitine

Aorta: Hauptschlagader, große Körperarterie

Archaikum (auch Azoikum): Urzeit der Erdgeschichte. Begann vor mindestens 2100 Millionen Jahren und dauerte etwa 900 Millionen Jahre. Bildung der Urgebirge und Urozeane. In den Urozeanen Entstehung des Lebens. (→ Erdzeitalter)

Arterien: vom Herzen kommende und zu den Organen hinführende Blutgefäße; Gegensatz: Venen

arterielles Blut: sauerstoffreiches Blut. Gegensatz: venöses Blut

Assoziationszentren: Teile des Zentralnervensystems (Gehirns), in denen frühere Sinneseindrücke gespeichert werden, die bei wiederkehrenden ähnlichen Situationen die Reaktion des betreffenden Tieres bestimmen. Ohne Assoziationszentrum ist kein Lernen und keine Dressur möglich

Atavismus: Rückschlag, Wiedererscheinen von Merkmalen der Vorfahren; z. B. überzählige Hufe bei Pferdefohlen

Aufblühzeit: → Entwicklungsphasen

Auslese: → Selektion

Autopolyploidie: Vervielfachung arteigener (strukturell gleichartiger) Chromosomensätze bei Mutationen (Genommutationen); Gegensatz: Allopolyploidie

Autoregulation: Fähigkeit der Lebewesen, einen optimalen physiologischen Zustand selbst zu regulieren und ungünstige Einflüsse zu kompensieren, indem durch ein kompliziertes System von Regulationsmechanismen beispielsweise die Stoffwechselvorgänge zeitlich und räumlich geordnet ablaufen

Autoreproduktion: Fähigkeit der Lebewesen, den Eltern gleichende Nachkommen hervorzubringen.

Diese Fortpflanzung (Vermehrung) beruht auf Vererbung. Durch das Stoffwechselgeschehen werden im Zellkern die Desoxyribonukleinsäuren identisch reproduziert. Sie sind die Träger der Erbanlagen. In der Zellteilung übertragen die Erbanlagen ihre Erbinformation auf die Tochterzellen (Anlagenübertragung) und während der Eiweißsynthese erfolgt dann die Weitergabe dieser Informationen an spezifische Eiweiße (Merkmalsausbildung bei den Nachkommen)

autotroph: sind Organismen, die aus anorganischen Bausteinen alle lebensnotwendigen organischen Verbindungen selbst herstellen können. Die hierzu erforderliche Energie kann mit Hilfe von Farbstoffträgern (Chloroplasten) dem Sonnenlicht entnommen werden (Photosynthese) oder wird aus dem Abbau organischer Verbindungen gewonnen (Chemosynthese); Gegensatz: heterotroph

Bastard: Aus der Kreuzung zweier genetisch unterschiedlicher Elternformen hervorgehender Nachkomme

Bauchmark: → Zentralnervensystem; Gegensatz: Rückenmark

Bauplan: Eigentümlichkeit des gesamten inneren und äußeren Baues einer Art oder Gruppe von Tieren oder Pflanzen. Früher glaubte man, daß die Grundbaupläne (Typen) der Tier- und Pflanzenstämme auf übernatürliche Weise entstanden seien (Stufenfolge der Lebewesen); noch CUVIER unterschied vier Grundbaupläne der Tiere

Becherkeim: → Gastrula

binäre Nomenklatur: → Nomenklatur

biogen: sind im Stoffwechsel entstehende chemische Verbindungen; Gegensatz: abiogen

Biogenetische Grundregel: Von E. HAECKEL 1866 formulierte Entwicklungsregel, nach der die wichtigsten stammesgeschichtlichen Entwicklungsschritte während der Ontogenese eines Tieres wiederholt werden

Biokatalysatoren: → Fermente

Blasenkeim: → Blastula

Blastula: Hohlkeim. Blasenförmiges Entwicklungsstadium mit einfacher Wand aus einem Zellepithel, das am Ende der Furchung aus der Morula entsteht und sich zur Gastrula weiterentwickelt

Blühzeit: → Entwicklungsphasen

Braunkohlenzeit: → Känozoikum (Tertiär)

Chemosynthese: → autotroph

Chiasma: kreuzförmige Verbindung zwischen den gepaarten homologen Chromosomen in der → Meiose. Die Chiasmata sind die Folge des reziproken Segmentaustausches (Crossing-over) und damit auch Allelenaustausches zwischen den am Paarungsverband beteiligten Chromosomen

Chimäre: ein Individuum, das aus idiotypisch verschiedenen Zellen bzw. Zellsystemen besteht

Choane: vom Nasenrachengang gebildete offene Verbindung zwischen der Mund- und Nasenhöhle der Wirbeltiere

Chorda: Rückensaite; elastischer Längsstab als Achsenskelett der Chordatiere. Wird bei den Wirbeltieren in zunehmendem Maße durch Wirbelbildungen in den Chorda-Hüllen verdrängt (Wirbelsäule).

Chromatiden: die beiden funktionellen Untereinheiten des Chromosoms, die im Verlauf der → Mitose auf entgegengesetzte Zellpole verteilt und in verschiedene Tochterkerne eingeschlossen werden

Chromomeren: durch Färbung sichtbar werdende Einheiten der Längsgliederung der Chromosomen, die sich besonders stark anfärben; in ihnen ist die Desoxyribonukleinsäure lokalisiert

Chromosom: sich identisch vermehrende, im wesentlichen aus Nukleinsäuren und Eiweiß bestehende, im Zellkern enthaltene fadenförmige Strukturen, die im Verlauf der Zellteilung einem regelmäßigen Formwandel unterliegen und Träger der Gene sind; während der Kernteilung in einer für jede Art charakteristischen Zahl, Größe und Längsgliederung (→ Chromomeren, Zentromer) erkennbar

Chromosomenmutation: → Mutation

Chromosomensatz: die für das Individuum, die Rasse oder Art charakteristische → haploide Chromosomenzahl. Die Chromosomen des Chromosomensatzes sind genetisch verschieden, d. h. jedes ist Träger einer anderen, aber immer spezifischen Gruppe von Genen (der Koppelungsgruppe)

Coelom: → Leibeshöhle

Cytoplasmonmutation: → Mutation

Darwinismus: wissenschaftlich begründete Lehre DARWINS von der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Lebewesen

Dauermodifikation: → Modifikation

Deletion: der Verlust eines interkalar oder endständig (= Defizienz) lokalisierten Chromosomen- oder Chromatidensegmentes nach Eintritt von Chromosomenbrüchen (Chromosomenmutation)

Desoxyribonukleinsäuren: → DNS

Deszendenztheorie: Abstammungslehre

Devon: → Paläozoikum

dichotomische Gliederungsmethode: von LAMARCK eingeführter und noch heute allgemein gebräuchlicher Aufbau von Bestimmungsschlüsseln zur Bestimmung von Tieren und Pflanzen nach gegenübergestellten, gegensätzlichen Merkmalen

diffuses Nervensystem: meist netzförmiges Nervensystem, das den ganzen Körper überzieht und in dem keine besonderen Zentren ausgebildet sind (z. B. Süßwasserpolyp); Gegensatz: Zentralnervensystem

dihybrid: Bastard, dessen Eltern sich in zwei Merkmalspaaren unterscheiden

diploid: sind Zellen, Gewebe und Individuen mit 2 Chromosomensätzen, wie sie im Normalfall durch die Vereinigung zweier → haploider Gameten bei der Befruchtung entstehen

direkte Entwicklung: die aus den Eiern schlüpfenden Jungtiere gleichen im Aussehen weitgehend den Eltern und sind keine Larven; Gegensatz: Metamorphose

Divergenz: verschiedenartige Entwicklung homologer Organe bzw. verwandter Arten infolge Anpassung an unterschiedliche Funktionen oder Lebensweisen; z. B. Greifhand des Menschen und Grabbein des Maulwurfs; Gegensatz: Konvergenz

DNS: Abkürzung für Desoxyribonukleinsäure. Die DNS stellt das genetische Material dar und ist wesentlichster Bestandteil der → Chromosomen. Jedes → Gen ist ein DNS-Abschnitt definitiver Größe, der in chemisch verschlüsselter Form die „Information" zur Steuerung des Aufbaues eines Proteins (meist Enzyms) enthält

Domestikation: allmähliche Umbildung wildlebender Tiere zu Haustieren unter vom Menschen geschaffenen Bedingungen (künstliche Zuchtwahl)

dominant: sind → Allele bzw. Merkmale eines Elters, die im Bastard die rezessiven Allele oder Merkmale des anderen Elters an der Ausprägung verhindern

dorsal: auf der Rückenseite gelegen oder zumindest dem Rücken zugekehrt; Gegensatz: ventral

dynamisches Gleichgewicht: → offene Systeme

Einpökelung: Konservierung ganzer abgestorbener Tiere oder Pflanzen über Jahrmillionen hinweg durch vollständige Durchtränkung des Körpers mit Salzlösungen. Die eindringende Salzlösung verhindert eine Zersetzung durch Bakterien usw. (→ Fäulnis und Verwesung)

Einschachtelungslehre: → Präformationslehre

Eiszeiten: → Känozoikum (Quartär)

Eiweißsynthese: Aufbau hochkomplizierter spezifischer Eiweiße in der lebenden Zelle durch die →Ribosomen

Ektoderm: → Keimblätter

Embryo: der sich aus der Eizelle im Verlauf von Zellteilungen und Differenzierungsprozessen entwickelnde Keim oder Keimling, solange er sich in den Eihüllen, im mütterlichen Organismus oder bei Pflanzen im Samen befindet

Embryologie: Wissenschaft von der Embryonalentwicklung der Tiere oder Pflanzen

Entelechie: → Vitalismus

Entoderm: → Keimblätter

Entwicklungsphasen: aufeinanderfolgende Abschnitte der → Ontogenese bzw. aufeinanderfolgende Epochen der Stammesgeschichte einer Tier- oder Pflanzengruppe. In der „Aufblühzeit" entfalten sich oft mehrere sprunghaft entstandene Baupläne; in der „Blütezeit" erreicht die betreffende Gruppe ihre maximale Häufigkeit und Artenzahl; in der „Verblühzeit" erlischt sie allmählich oder plötzlich ganz oder bis auf wenige Restarten

Entwicklungsreihen: zeitlich aufeinanderfolgende (meist ausgestorbene) Tier- oder Pflanzenarten, an denen die Entstehung und Umbildung von Organen verfolgt werden kann. Beispiel: Entwicklungsreihe des Pferdes

Enzym: → Fermente

Epigenese: Deutung der Ontogenese als Aufeinanderfolge von Neubildungen; Gegensatz: Präformationslehre

Erbanlage: → Gen

Erdaltertum: → Paläozoikum

Erdmittelalter: → Mesozoikum

Erdneuzeit: → Känozoikum

Erdzeitalter: aufeinanderfolgende Epochen der Erdgeschichte. Auf die Entstehung der Erde folgen die Urzeit der Erdgeschichte (→ Archaikum), die Vorzeit der Erdgeschichte (→ Proterozoikum), das Erdaltertum (→ Paläozoikum), das Erdmittelalter (→ Mesozoikum) und die Erdneuzeit (→ Känozoikum). Die hier verwendeten Bezeichnungen sind von der Entwicklung der Tierwelt abgeleitet. Eine ganz ähnliche Entwicklung haben auch die Pflanzen durchlaufen (Paläophytikum, Mesophytikum usw.). Im wesentlichen decken sich die einzelnen Epochen der Tier- und Pflanzenentwicklung

Evolution: alle jene unter dem Einfluß der Evolutionsfaktoren (Mutabilität, Selektion, Isolation und Zufallswirkung) ablaufenden Prozesse, durch deren Wirksamwerden die jetzt lebenden Organismen sich aus früher existierenden entwickelt haben und weiterhin in Gestalt und Lebensweise umgeformt werden

Fäulnis: unter der Einwirkung von Bakterien usw. stattfindende Zersetzung von Tieren oder Pflanzen ohne Sauerstoffzutritt; Gegensatz: Verwesung

Fauna: Tierwelt (meist eines bestimmten Gebietes)

Fermente: von lebenden Zellen gebildete Wirkstoffe, die in kleinsten Mengen Stoffwechselvorgänge veranlassen oder beschleunigen (Biokatalysatoren)

Fertilität: Fruchtbarkeit; Fähigkeit der Organismen, fortpflanzungsfähige Nachkommen hervorzubringen

Flora: Pflanzenwelt (meist eines bestimmten Gebietes)

Fließgleichgewicht: → offene Systeme

Fortpflanzung: → Autoreproduktion

fossil: in früheren Erdzeitaltern lebende, nur als Fossilien erhaltene Tiere und Pflanzen; Gegensatz: rezent

Fossilien: erhaltene und überlieferte Reste von Organismen und Lebenserscheinungen früherer Erdzeitalter. Fossilien können auf verschiedene Weise entstehen; in die Lücken porös gewordener Hartteile werden andere Mineralien abgeschieden (Versteinerung); die Substanz der Hartteile wird vollständig durch andere Mineralien ersetzt (Substitution); Hartteile werden im bereits verfestigten Gestein aufgelöst und hinterlassen einen Hohlraum, der die ursprüngliche Skulptur als Negativ wiedergibt (Abdruck); dieser Hohlraum kann selbst gänzlich ausgefüllt sein (Steinkern). Auch Kriechspuren usw. von Tieren können als Fossilien erhalten sein.

Furchung: erste Entwicklungsphase des Eies während der Embryonalentwicklung bei Mehrzellern. Durch fortgesetzte Zellteilung entsteht dabei aus dem Ei die vielzellige Morula

Gamet: Geschlechtszelle

Gärung: Zersetzung organischer Verbindungen durch Fermente

Gasträ-Theorie: noch heute im Prinzip anerkannte Herleitung aller vielzelligen Tiere aus dem Bauplan der Gastrula, die auf gemeinsame Abstammung hindeutet (HAECKEL)

Gastrula: Becherkeim. Kennzeichnendes; doppelwandiges Entwicklungsstadium aller vielzelligen Tiere, das auf verschiedene Weise aus der Blastula entsteht und in dessen beiden Zellschichten die erste Differenzierung von Geweben zum Ausdruck kommt. Die innere Lage Zellen bildet den Urdarm, der durch den Urmund nach außen mündet. Dieser Urmund wird später weitgehend verschlossen. Der Urmundrest kann zum bleibenden Mund werden (Urmündler oder Bauchmarktiere) oder an seiner Stelle entsteht später der After (Neumündler oder Rückenmarktiere); → Keimblätter

Gen: Teil des genetischen Materials, der die Information zur Ausbildung einer spezifischen Eigenschaft enthält. Durch Veränderungen in der Struktur des Genmaterials (Nukleinsäuren) wird die Funktion des Gens verändert, es entsteht ein neues Allel des Gens. Allele sind also verschiedene Zustandsformen ein und desselben Gens. Sind von einem Gen mehrere Allele bekannt, wird von einer Serie multipler Allele gesprochen → DNS

Generationswechsel: für manche Tiere und Pflanzen kennzeichnender, gesetzmäßiger Wechsel von geschlechtlicher und ungeschlechtlicher Vermehrung

Genetik: Vererbungswissenschaft

Genmutation: → Mutation

Genom: einfacher Chromosomensatz zusammen mit den in ihm lokalisierten Genen

Genommutation: → Mutation

Genotyp: Gesamtsumme der im Kern lokalisierten Erbträger. Seine Festlegung erfordert die Untersuchung der Vorfahren oder Nachkommen oder beider → Phänotyp

Geologie: Lehre von der Entwicklung und vom Aufbau der Erde

geschlechtliche Zuchtwahl: → natürliche Zuchtwahl

geschlossene Systeme: Systeme (z. B. chemische Verbindungen), die nur so lange existieren, wie kein Stoffaustausch mit der Umwelt stattfindet, die sich also in einem statischen Gleichgewicht befinden. Findet ein Stoffaustausch statt, entsteht ein neues System (chemische Reaktion); Gegensatz: offene Systeme

Gewebe: → Keimblätter

haploid: mit einem einfachen Chromosomensatz ausgerüstete Zellen; z. B. Keimzellen diploider Organismen nach der Reduktionsteilung; Gegensatz: diploid

heterogen: ungleichartig zusammengesetzt; Gegensatz: homogen

Heterosis: Merkmalssteigerung bei Bastarden, d. h. diese übertreffen beide Elternrassen in bestimmten Eigenschaften. In der Tier- und Pflanzenzüchtung vielfach zur Ertragssteigerung ausgenutzt (Heterosiszüchtung): z. B. Schnellwüchsigkeit bei Schweinen und Steigerung des Kornertrags beim Mais

heterotroph: Entnahme der für die Ausübung aller Lebensfunktionen erforderlichen Energie aus energiereichen organischen Verbindungen der Umwelt; Gegensatz: autotroph

heterozygot: ist eine befruchtete Eizelle oder ein Individuum, das aus der Vereinigung zweier Gameten hervorgeht, die sich in Qualität, Quantität und struktureller Anordnung aller oder eines Teils ihrer Gene unterscheiden; Gegensatz: homozygot

Histologie: Bau der Gewebe im Tier- und Pflanzenkörper

Hohlkeim: → Blastula

homogen: gleichartig zusammengesetzt; Gegensatz: heterogen

Homologie: auf phylogenetisch und ontogenetisch gleichem Ursprung beruhende morphologische Übereinstimmung von Organen unterschiedlicher Funktion; z. B. Vorderbein eines Pferdes und Vogelflügel; Gegensatz: Analogie

homozygot: ist eine befruchtete Eizelle oder ein Individuum, das aus der Vereinigung zweier Gameten hervorgeht, die sich in Qualität, Quantität und struktureller Anordnung ihrer Gene gleichen. → heterozygot

Hormone: in Drüsen gebildete Wirkstoffe, die mit dem Blut oder der Lymphe zu den Orten ihres Verbrauches transportiert werden und wichtige Lebensfunktionen steuern bzw. die Tätigkeit mancher Organe anregen

Hybride: → Bastard

Hypophyse: innersekretorische Drüse der Wirbeltiere, die embryonal aus Teilen des Zwischenhirnbodens und des Mundhöhlendaches entsteht. In ihr gebildete Hormone beeinflussen den Stoffwechsel, fördern das Wachstum, steuern zahlreiche Geschlechtsfunktionen und sorgen für eine gleichmäßige Spannung der Blutkapillaren

Idiotypus: das gesamte Erbgefüge eines Organismus. Der Idiotypus besteht aus der Gesamtheit aller Gene in den Chromosomen (Genotypus), aus Trägern von Erbanlagen im Zellplasma (Plasmon, Plasmotypus) und bei grünen Pflanzen noch aus den ebenfalls am Vererbungsgeschehen teilnehmenden Plastiden (Plastidotypus). → Phänotypus

indirekte Entwicklung: → Metamorphose

Individualität: artweise bestimmt festgelegte und räumlich begrenzte Gestalt der Organismen. Die Individualität bezieht sich aber auch auf den inneren Bau, denn alle voneinander abhängigen Teile (Zellen, Gewebe, Organe) sind artweise verschieden angeordnet (Baupläne)

intermediär: ist eine Merkmalsausbildung, wenn sie mit der Merkmalsausbildung keiner der beiden zur Kreuzung verwendeten Elternformen übereinstimmt (rot × weiß → rosa)

Inversion: eine Chromosomenmutation, in deren Verlauf ein Chromosomensegment um 180° gedreht wird, womit sich die Gen-Reihenfolge im Chromosom ändert

Irreversibilität: ohne Umkehrbarkeit, etwas ist nicht wieder rückgängig zu machen. Stammesgeschichtliche Entwicklungen sind irreversibel (DOLLO); Gegensatz: Reversibilität

Isolation: Absonderung geschlossener Populationen vom übrigen Wohngebiet einer Art (durch Gebirge, Meere und in Höhlen usw.), die vielfach selektiv wirkt und zu Sonderentwicklungen führt (Artbildung)

Jungfernzeugung: → Parthenogenese

Jura: → Mesozoikum

Kambrium: → Paläozoikum

Känozoikum: Erdneuzeit. Begann vor etwa 55 Millionen Jahren und gliedert sich in die beiden Epochen Tertiär oder Braunkohlenzeit (Dauer etwa 54 Millionen Jahre) und Quartär oder Jetztzeit (Dauer etwa 1 Million Jahre). In das Tertiär fällt die Ausbildung und Entfaltung der Säugetiere, ins Quartär die stammesgeschichtliche Entwicklung des Menschen. Das Tertiär gliedert sich in die aufeinanderfolgenden Abschnitte Paläozän, Eozän, Oligozän, Miozän und Pliozän; das Quartär umfaßt die Eiszeiten (Pleistozän) und die heute noch andauernde Nacheiszeit (Holozän)

Karbon: Steinkohlenzeit, → Paläozoikum

Katastrophentheorie: heute überholte Erklärung der fossilen Tierwelt in den einzelnen Erdschichten (Erdzeitaltern) durch plötzliche Katastrophen (CUVIER). Wenige überlebende Formen sollten jeweils in der nachfolgenden Epoche die Neubesiedlung vorgenommen haben.

Keimbahn: heute überholte, jedoch die Genetik und Evolutionsforschung ungemein fördernde Vorstellung vom Vererbungsgeschehen (WEISMANN). Danach beruht die Vererbung ausschließlich auf der Weitergabe stofflicher Träger von Erbanlagen in den Chromosomen von einer Generation auf die andere. Die Kernsubstanz soll sämtliche Erbanlagen enthalten (Keimplasma) und diese über eine ganz bestimmte Zellenfolge (Keimbahn) von der befruchteten Eizelle auf die neu gebildeten Geschlechtszellen übertragen. Allphylogenetischen Entwicklungen sollten auf Veränderungen des Keimplasmas durch Umwelteinflüsse beruhen (Neodarwinismus)

Keimblätter: epitheliale Zellschichten der Gastrula, in denen eine erste Sonderung von Geweben zum Ausdruck kommt. Ursprünglich sind nur zwei Keimblätter ausgebildet. Das äußere Keimblatt (Ektoderm) liefert die Haut, die Sinnesorgane und das Zentralnervensystem des fertigen Tieres. Aus dem inneren Keimblatt (Entoderm) geht der Darm mit allen seinen Anhangsorganen hervor. Bei den höheren Vielzellern ist dazwischen noch ein mittleres Keimblatt (Mesoderm) entwickelt; das ursprünglich die Leibeshöhle auskleidet (Coelom), meistens jedoch Muskeln, Bindegewebe sowie die Ausscheidungs- und Geschlechtsorgane aus sich hervorgehen läßt

Keimplasma: → Keimbahn

Kernmonopol der Vererbung: → Keimbahn

Kiemendarm: vorderer Abschnitt des Darmes der Chordatiere, der von paarigen Kiemenspalten durchbrochen ist. Fischgestaltige Wasserbewohner besitzen zeitlebens 4 bis 180 Paare Kiemenspalten; Landwirbeltiere legen embryonal 4 Paar Kiemenspalten an.

Klon: erbgleiche Individuen einer Art, die durch ungeschlechtliche Vermehrung oder Parthenogenese von einem Ausgangsindividuum abstammen; → Reine Linie, Reine Kette

Koazervate: zu größeren Einheiten vereinigte Kolloidteilchen, die als scharf abgegrenzte Tröpfchen in der Lösung schwimmen ohne sich mit dem Lösungswasser zu vermischen. Sie nehmen Stoffe aus ihrer Umgebung auf, setzen sie im Innern chemisch um, geben Abbauprodukte an die Umgebung ab und können sich unter bestimmten Bedingungen auch teilen (vermehren). Nach OPARIN waren Koazervate für die Entstehung des Lebens von großer Bedeutung. (→ molekulare Entstehung des Lebens)

Kolloide: fein zerteilte Stoffe

Konstanz: Unveränderlichkeit; früher (noch von LINNÉ) wurden die Arten für unveränderlich gehalten (Konstanz der Arten; → Präformationslehre); Gegensatz: Variation, Variabilität

Konvergenz: sekundäre Ähnlichkeit zwischen Organen oder ganzen Organismen, die darauf

beruht, daß nicht homologe Organe bzw. nicht miteinander verwandte Arten an gleiche Funktionen oder Lebensweisen angepaßt werden; z. B. Fischgestalt der fossilen Fischsaurier und rezenten Delphine; Gegensatz: Divergenz

Kosmozoentheorie: überholte Vorstellung, der zufolge das Leben überhaupt nicht auf der Erde entstanden, sondern mit Keimen einfachster Organismen von anderen Planeten usw. auf die Erde gelangt sein soll

Kreide → Mesozoikum

Kreuzung: die natürliche oder künstliche Vereinigung zweier genotypisch verschiedener Gameten bei der Befruchtung („Bastardisierung")

künstliches System: → System; Gegensatz: natürliches System

künstliche Zuchtwahl: Herauszüchten neuer, leistungsfähiger Haustierrassen und Kulturpflanzensorten durch ständige Auswahl der am besten geeigneten (angepaßten) Nachkommen, Kreuzungen usw. (DARWIN); Gegensatz: natürliche Zuchtwahl; → Selektion

Larven: Jungtiere mit andersartigem Körperbau als die Eltern (→ Metamorphose)

Leben: eine besondere, qualitativ von der anorganischen Welt unterschiedene Bewegungsform der Materie. Den lebenden Organismen sind besondere, spezifisch biologische Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten (Bau- und Betriebsstoffwechsel, Reizerscheinungen, Formwechsel u. a.) eigentümlich, die sich nicht nur mit den in der anorganischen Natur herrschenden Gesetzen erklären lassen (OPARIN) und mit der Struktur und Funktion der biologischen Makromoleküle (Nukleinsäuren, Eiweiße) in enger Beziehung stehen

Lebenskraft: → Vitalismus

Leibeshöhle: Hohlraum des Körpers zwischen der äußeren Körperwand und dem Darmrohr. Dieser Hohlraum kann mit Körperflüssigkeit oder einem schwammigen Bindegewebe angefüllt sein (primäre Leibeshöhle). Bei den höheren Vielzellern ist er wenigstens embryonal mit einer eigenen, vom Mesoderm gebildeten Wand ausgekleidet (sekundäre Leibeshöhle oder Coelom)

Leitfossilien: für Ablagerungen aus einer bestimmten geologischen Epoche der Erdgeschichte jeweils kennzeichnende Fossilien

letal: tödlich

Letalfaktoren: Gene oder Chromosomenstrukturveränderungen, die den Tod eines Individuums vor Erreichen seiner Fortpflanzungsfähigkeit bewirken

Makroevolution: Entwicklung höherer taxonomischer Einheiten (Phylogenie); Gegensatz: Mikroevolution

materialistische Theorie: betrachtet das Leben als etwas Natürliches, Erkennbares, Materielles, als „Bewegungsform der Materie" (ENGELS); Gegensatz: idealistische Theorie

Maulbeerkeim: → Morula

Mechanismus: heute überholte materialistische Auffassung vom Wesen des Lebens, die eine Eigengesetzlichkeit des Lebens leugnet und dieses allein auf das Wirken physikalischer und chemischer Gesetzmäßigkeiten zurückzuführen versucht (HAECKEL); Gegensatz: Vitalismus

Meiose: eine in zwei Etappen (Meiose I und II) ablaufende, modifizierte Form der Kernteilung (→ Mitose), in deren Verlauf jede Tochterzelle nur die Hälfte der ursprünglichen Chromosomenzahl zugeteilt erhält (Reduktionsteilung, Reifeteilung). Die Meiose ist obligat mit der geschlechtlichen Fortpflanzung verknüpft und kann in Abhängigkeit von der jeweiligen Organismengruppe an verschiedenen Stellen in den Entwicklungszyklus eingefügt sein. Sie führt zur Entstehung der Keimzellen (Gameten)

Merkmalsausbildung: die Entstehung einer morphologischen, physiologischen oder biochemischen Eigenschaft als Ergebnis der Genwirkung (Realisation der im Gen enthaltenen Information) und der herrschenden Umweltbedingungen

Metamorphose: indirekte Entwicklung, Verwandlung. Die aus den Eiern schlüpfenden Jungtiere sind Larven mit einem anderen Körperbau als die Erwachsenen. Sie nehmen erst (über mehrere Stadien hinweg) allmählich das Aussehen der Eltern an; Gegensatz: direkte Entwicklung

Mikroevolution: Rassen- und Artbildung unter dem Einfluß der Evolutionsfaktoren (Mutabilität, Selektion, Isolation) im Gegensatz zur Entstehung der höheren taxonomischen Kategorien (= Makroevolution). Die Prozesse der Mikroevolution lassen sich experimentell untersuchen,

diejenigen der Makroevolution entziehen sich der experimentellen Analyse. Einiges spricht dafür, daß der Mikro- und Makroevolution gleiche Prozesse unterliegen

Mineralien: alle nicht zum Organismenreich gehörenden Bestandteile der Erdrinde, wie z. B. Kalk, Ton, Basalt usw. Manche Mineralien sind jedoch durch Zersetzung aus tierischen und pflanzlichen Stoffen entstanden (Kohle; Harz; Bernstein, Erdöl)

Miozän: → Känozoikum

missing link: → Übergangsform

Mitochondrien: für die Zellatmung unentbehrliche Strukturgebilde in den Zellen

Mitose: im Gegensatz zur → Meiose ein Kernteilungsmodus, in dessen Verlauf die beiden Chromatiden jedes Chromosoms voneinander getrennt und auf die Tochterkerne und -zellen verteilt werden. Die Mitose stellt sicher, daß die Tochterzellen eine untereinander und mit der Ausgangszelle identische chromosomale und genetische Ausrüstung erhalten.

Mesoderm: → Keimblätter

Mesozoikum: Erdmittelalter. Begann vor mindestens 190 Millionen Jahren und gliedert sich in die folgenden Abschnitte (in Klammern Dauer in Millionen Jahren): Trias (35), Jura (35) und Kreide (65). Zeitalter der Kriechtiere; Riesensaurier! (→ Erdzeitalter)

Modifikation: eine im Gegensatz zur → Mutation nicht erbliche, durch Umwelteinflüsse im Ontogeneseverlauf ausgelöste Veränderung morphologischer oder physiologischer Art. Bleibt die Modifikation über mehrere Generationen hinweg erhalten, ohne daß der auslösende Einfluß weiter wirksam ist, wird von einer Dauermodifikation gesprochen. Das Ausmaß der Modifikabilität wird durch die genotypische → Reaktionsnorm begrenzt

Molekularbiologie: Forschungsrichtung der Biologie, die elementarste Lebenserscheinungen auf dem Molekül-Niveau untersucht

molekulare Entstehung des Lebens: Auffassung vieler Molekularbiologen, der zufolge die Entstehung des Lebens auf molekularem Niveau erfolgte und die → Koazervate Oparins bereits das Ergebnis einer längeren Entwicklung waren

Molekulargenetik: Forschungsrichtung, die Elementarvorgänge der Vererbung und Wechselbeziehungen von Veränderungen an biologischen Makromolekülen untersucht

monohybrid: ist ein Bastard, dessen Eltern sich nur in einem Allelen- bzw. Merkmalspaar unterscheiden, und der für das betreffende Allelenpaar → heterozygot ist → polyhybrid

Morphologie: die Lehre vom äußeren Bau der Organismen; Gegensatz: Anatomie

Morula: Maulbeerkeim. Massiver Zellhaufen, der sich am Ende der Furchung zur Blastula weiterentwickelt

Mumifizierung: Konservierung ganzer abgestorbener Tiere oder Pflanzen über Jahrmillionen hinweg, die dann eintritt, wenn keine Zersetzung durch Bakterien usw. stattfinden kann

Mutabilität: die Fähigkeit zur → Mutation

Mutation: spontane oder induzierte erbliche Veränderung. Gen- oder Punktmutation – Umbau des Molekulargefüges des Gens; Chromosomenmutation – Veränderung der Chromosomenstruktur; Genommutation – Veränderung der Chromosomenzahl oder des ganzen Chromosomensatzes; Plastommutation – erbliche Abänderung der Plastiden, Plasmonmutation – Veränderung der Erbanlagen im Zellplasma

natürliches System: → System; Gegensatz: künstliches System

natürliche Zuchtwahl: Zusammenwirken der Vererbung, erblicher Veränderung und Auslese unter dem Einfluß der natürlichen Umwelt während der Stammesgeschichte der Organismen (Darwin). Die ständige Auslese wird noch gefördert durch die geschlechtliche Zuchtwahl der Wildtiere, die nur gesunde und gut angepaßte Geschlechtspartner zur Fortpflanzung kommen läßt. Gegensatz: künstliche Zuchtwahl

Nauplius: mit einem unpaaren Auge und drei Paaren Gliedmaßen ausgestattete, kennzeichnende Larvenform der niederen Krebse

Neodarwinismus: → Keimbahn

Neuralrohr: → Zentralnervensystem

Nomenklatur: Benennung und Namensgebung für Tier- und Pflanzenarten. Seit Linné ist die binäre Nomenklatur gebräuchlich, die aus den wissenschaftlichen (latinisierten) Gattungs- und

Artnamen besteht. Dreiteilige Namen bezeichnen Unterarten (trinäre Nomenklatur). Angefügte Personennamen und Jahreszahlen bezeichnen den Autor und den Zeitpunkt der Erstbeschreibung der betreffenden Art oder Unterart

Nukleinsäuren: Makromoleküle, bestehend aus Stickstoffbasen, Phosphorsäure und Desoxyribose (DNS) bzw. Ribose (RNS), die häufig in Verbindung mit Eiweißen als Nukleoproteine vorliegen. Den Nukleinsäuren kommt eine besondere biologische Bedeutung als genetische Informationsträger zu

offene Systeme: Systeme (z. B. Lebewesen), deren Existenzgrundlage ein ständiger Stoff- und Energieaustausch mit der Umwelt ist. Dieser ständige Stoffwechsel hält das System in einem dynamischen Gleichgewicht (Fließgleichgewicht); sein Aufhören zerstört das System (Tod des Organismus); Gegensatz: geschlossene Systeme.

Ökologie: Lehre von den Beziehungen der Organismen zu ihrer Umwelt

Oligozän: → Känozoikum

Ontogenese: individuelle Entwicklung eines Tieres oder einer Pflanze vom Keim bis zur Fortpflanzungsreife; Gegensatz: Phylogenese

Ontogenie: individuelle Entwicklungsgeschichte der Tiere und Pflanzen; Gegensatz: Phylogenie

Ordovizium: → Paläozoikum

Paläobotanik: → Paläontologie

Paläontologie: Wissenschaft von den heute ausgestorbenen Organismen früherer Erdzeitalter. Die Paläozoologie bearbeitet fossile Tiere, die Paläobotanik fossile Pflanzen

Paläozoikum: Erdaltertum. Begann vor mindestens 550 Millionen Jahren und gliedert sich in die folgenden Abschnitte (in Klammern Dauer in Millionen Jahren): Kambrium (70), Ordovizium (60), Silur (70), Devon (50), Karbon oder Steinkohlenzeit (85) und Perm (25). Zeitalter der Wirbellosen Fische und Lurche (→ Erdzeitalter)

Paläozoologie: → Paläontologie

Parallelentwicklung: qualitativ gleichartige Entwicklung nicht miteinander verwandter Tier- oder Pflanzengruppen in verschiedenen Erdgegenden und zu verschiedenen Zeiten, die stets auf Anpassung an gleiche Lebensweise oder Funktion beruht

Parietalauge: Scheitelauge; unpaares Auge unter dem Scheitelloch im Schädel, das bei manchen Fischen und Kriechtieren noch in ursprünglicher Weise als Lichtsinnesorgan dient. Es entsteht embryonal aus einer dorsalen Ausstülpung des Zwischenhirns. Bei den Vögeln und Säugetieren ist an Stelle des Parietalauges eine innersekretorische Drüse ausgebildet (Zirbeldrüse)

Parthenogenese: Entwicklung aus unbefruchteten Eiern, d. h. Vermehrung ohne Mitwirkung von Männchen (z. B. bei Blattläusen)

Perm: → Paläozoikum

Phänotyp: die während der Individualentwicklung verwirklichten, ausgebildeten Merkmale eines Organismus, die mit morphologischen, anatomischen und physiologischen Methoden untersucht werden können; Gegensatz: Genotyp

Photosynthese: Die Bildung von Kohlenhydraten (Zucker, Stärke) in den grünen Pflanzenteilen aus dem Kohlendioxid der Luft, Wasser und Sonnenenergie unter Abgabe von Sauerstoff. Der in mehreren Stufen ablaufende Prozeß ist an das in den Chloroplasten enthaltene Blattgrün (Chlorophyll), das als Energieüberträger wirkt, gebunden

Phylogenese: stammesgeschichtliche Entwicklung der Tiere und Pflanzen durch die verschiedenen Erdzeitalter hindurch bis zur Jetztzeit; Gegensatz: Ontogenese

Phylogenie: Stammesgeschichte der Tiere und Pflanzen; Gegensatz: Ontogenie

Physiologie: Lehre von den Lebensvorgängen der Organismen

plasmatische Vererbung: Vererbung von Merkmalen und Eigenschaften, die nicht an Erbanlagen in den Zellkernen gebunden sind

Plasmon oder Plasmotypus: → Idiotypus

Plastiden: Strukturgebilde der Zellen, die Farbstoffe für die Photosynthese enthalten

plastische Kraft: Lebenskraft, → Vitalismus

Plastommutation: → Mutation

Pleiotropie: vielseitige Wirkung eines Gens auf mehrere Entwicklungsvorgänge gleichzeitig

Pleistozän: → Känozoikum

Pliozän: → Känozoikum

polygonal: vieleckig

polyhybrid: Bastard, dessen Eltern sich in mehreren Merkmalspaaren unterscheiden; Gegensatz: monohybrid

polymer: durch Verknüpfung kleiner Moleküle entstandene Riesenmoleküle

polyploid: sind Zellen oder Organismen mit mehr als zwei vollständigen Chromosomensätzen (→ diploid; Autopolyploidie; Allopolyploidie)

Populationsgenetik: eine Forschungsrichtung, welche die den genetischen Aufbau einer Population beherrschenden Gesetze untersucht und nach den in einer Population wirksamen Evolutionsfaktoren forscht

Präformationslehre: heute überholte, auf dem Schöpfungsglauben und der Konstanz der Arten beruhende Vorstellung, daß Tiere und Pflanzen bereits in den Keimen fertig vorgebildet seien. In der Ontogenese sollten die präformierten Miniaturlebewesen nur zur endgültigen Größe heranwachsen; Gegensatz: Epigenese

Präzipitine: im Körper eines Tieres gebildete Antikörper gegen artfremdes Eiweiß, die eine sofortige Ausfällung des fremden Eiweißes bewirken. Da die Ausfällung meist um so stärker ist, je weniger verwandt die betreffenden Arten sind, können die Präzipitinreaktionen mit zur Verwandtschaftsforschung herangezogen werden

Proterozoikum: auch Archäozoikum; Vorzeit der Erdgeschichte. Begann vor mindestens 1 200 Millionen Jahren und dauerte etwa 650 Millionen Jahre. In den zweiten Abschnitt dieses Erdzeitalters (Algonkium) fällt die Entstehung der meisten wirbellosen Tierstämme (→ Erdzeitalter)

Punktmutation: → Mutation

Puppe: während der Jugendentwicklung auftretendes Ruhestadium, in welchem bei Insekten mit vollständiger Verwandlung der meist einfacher gebaute Larvenkörper zum komplizierter gebauten Vollinsekt umgestaltet wird

Quartär: → Känozoikum

Reaktionsnorm: die gesamten erblichen, im Idiotyp festgelegten Bedingungen, die in Wechselwirkung mit der Umwelt die Entwicklung des Organismus lenken. Keinesfalls wird eine Eigenschaft an sich, sondern stets eine Reaktionsnorm vererbt

Reduktion: Verminderung; z. B. Halbierung der Chromosomenzahl während der Reduktionsteilung. Auch vollständige Rückbildung eines Organs; Gegensatz: Rudimentation

Reduktionsteilung: → Meiose

Regulationsmechanismus: → Autoregulation

Reifenträgerlarve: → Trochophora

Reifeteilung: → Meiose

Reine Kette: erbgleiche Individuen einer Art, die durch fortgesetzte Inzucht von einem erbgleichen Elternpaar abstammen; → Reine Linie, Klon

Reine Linie: erbgleiche Individuen einer zwittrigen Pflanzenart, die durch fortgesetzte Selbstbefruchtung aus einem reinrassigen Individuum entstanden sind; → Klon, Reine Kette

Rekombination: die Bildung neuer Genkombinationen im Verlaufe der Meiose und Mitose auf Grund von Aufspaltung der Allelenpaare und Rekombination gekoppelter Gene (Crossing-over)

Resistenz: Widerstandsfähigkeit

Reversibilität: Umkehrbarkeit, etwas rückgängig machen. Gegensatz: Irreversibilität

rezent: in der geologischen Jetztzeit lebende Tiere und Pflanzen; Gegensatz: fossil

rezessiv: Merkmal eines Elters, das im Bastard durch das entsprechende dominante Merkmal des anderen Elters überdeckt wird → dominant

Ribosomen: aus RNS und Eiweiß bestehende Zellorganellen in oder an denen die Eiweißsynthese in der Zelle vollzogen wird

Rückenmark: → Zentralnervensystem; Gegensatz: Bauchmark

Rudiment: erhalten gebliebener Rest eines weitgehend rückgebildeten Organs

Rudimentation: Rückbildung eines Organs bis auf einen Rest (Rudiment); Gegensatz: Reduktion

Samentierchen: → Spermatozoen

Schöpfungsglaube: heute überholte idealistische Vorstellung, daß das Leben von Göttern erschaffen sei

Schwingkölbchen: zu Sinnesorganen umgestaltete Hinterflügel der Zweiflügler (Fliegen usw.), dienen zur Regulierung des Gleichgewichts beim Fliegen

Sediment: Schichtgesteine, die durch Ablagerungen entstanden sind, z. B. Sandstein, Gips, Ton

Selektion: Auslese. In der Phylogenese erfolgt diese ständige Auslese ungerichtet durch die natürliche Zuchtwahl (Kampf ums Dasein), bei Haustieren und Kulturpflanzen dagegen in vom Menschen bestimmten Richtungen willkürlich (künstliche Zuchtwahl)

Silur: → Paläozoikum

Sintflutsage: frühere, heute überholte Deutung der Fossilien als Reste einstiger Lebewelten, die durch eine oder mehrere Sintfluten vernichtet worden sein sollen

Spermatozoen: männliche Samenzellen der Tiere

Spermien: männliche Samenzellen

Spurenelemente: chemische Elemente, die im lebenden Organismus nur in winzigen Mengen vorhanden sind, jedoch eine bedeutungsvolle Rolle spielen (vor allem in Hormonen und Fermenten)

statisches Gleichgewicht: → geschlossene Systeme

Steinkern: → Fossilien

Steinkohlenzeit: → Paläozoikum (Karbon)

Stoffwechsel: → offene Systeme

Strobilation: Abschnürung der Medusen als Querscheiben von Polypen der Scyphozoen (Hohltiere)

Stufenfolge der Lebewesen: Anordnung der damals bekannten etwa 500 Tierarten nach ihrer abgestuften Ähnlichkeit durch ARISTOTELES. In der Ähnlichkeit sah ARISTOTELES bereits einen inneren Zusammenhang (Verwandtschaft), doch erklärte er die Stufen noch nicht als Entwicklungsschritte

Substitution: → Fossilien

System: Anordnung der Arten und Gruppen des Tier- und Pflanzenreiches nach ihrer natürlichen, phylogenetischen Verwandtschaft (natürliches System). Früher war das System auf äußerlichen Ähnlichkeiten bzw. Unterschieden zwischen den einzelnen Arten und Gruppen begründet (künstliches System)

Taxonomie: auch Taxionomie; Einordnung in das System (Bestimmen von Tieren und Pflanzen)

Teleologie: mit dem Schöpfungsglauben unmittelbar verknüpfte, idealistische Lehre von der unbedingten, vorausbestimmten Zweckmäßigkeit aller Dinge und Geschehnisse in der belebten Natur

Tertiär: Braunkohlenzeit, → Känozoikum

tetraploid: mit vier ganzen Chromosomensätzen ausgestattete Zellen

Tracheen: meist röhrenförmige, in den Körper eingestülpte und mit Chitin ausgekleidete Atemorgane der Gliederfüßer, die ein Veratmen atmosphärischen Sauerstoffs ermöglichen

Translokation: in der Regel reziproker Stückaustausch zwischen den Chromosomen nach Eintritt von Brüchen und „Wiederverheilung" der Bruchflächen in neuer Ordnung (Chromosomenmutation). Durch die Translokation kommt es zu Umgruppierungen von Genen zwischen den beteiligten Chromosomen

Trias: → Mesozoikum

trinäre Nomenklatur: → Nomenklatur

Trochophora: stammesgeschichtlich bedeutungsvolle, charakteristisch gebaute Larvenform mancher im Meere lebender Ringelwürmer mit je einem Wimperkranz vor und hinter der Mundöffnung. Ähnlich gebaute, jedoch weiterentwickelte Larvenformen treten in nahe verwandten Tierstämmen auf (Weichtiere, Stachelhäuter)

Typen: → Bauplan; in der Taxonomie diejenigen Exemplare, die der Beschreibung einer Art zugrunde liegen

Übergangsform: nur selten auftretendes und noch seltener fossil erhaltenes Bindeglied zwischen verschiedenen heute lebenden Tier- oder Pflanzengruppen; Beispiel: Urvogel

Urdarm: → Gastrula

Urmund: → Gastrula

Urzeit der Erdgeschichte: → Archaikum

Urzeugungslehre: älteste Ansicht von der Entstehung des Lebens, der zufolge Lebewesen nicht nur von ihresgleichen abstammen, sondern auch direkt aus leblosen Stoffen hervorgehen sollten

Variabilität: Veränderlichkeit einer und derselben Art oder Gruppe von Pflanzen oder Tieren

Variation: Umwandlung, Veränderung, Abart; Gegensatz: Konstanz

Varietät: Abart

Verblühzeit: → Entwicklungsphasen

Vererbung: das Auftreten gleicher oder ähnlicher Merkmale und Eigenschaften bei Vorfahren und Nachkommen durch die geregelte Weitergabe (→ Mitose, Meiose) der für die Merkmalsaus-

bildungen verantwortlichen Gene während der vegetativen und sexuellen Fortpflanzung. Die Vererbung ist an die identische Reproduktion (Autoreproduktion, Autoreduplikation) der Erbträger (DNS, Chromosomen) gebunden und die Realisation der genetischen Information erfolgt durch die genkontrollierte Synthese spezifischer Eiweiße, denen meist Fermentcharakter zukommt und die den Zellstoffwechsel steuern

Vererbung erworbener Eigenschaften: von LAMARCK angenommene Vererbung individueller Veränderungen, die durch Gebrauch oder Nichtgebrauch von Organen bewirkt werden sollten. Das Wesen der Phylogenese sollte in einer stetigen Addition solcher Abänderungen bestehen. Diese Auffassung konnte nicht bestätigt werden.

Vermehrung: → Autoreproduktion

Versteinerung: → Fossilien

Verwesung: unter der Einwirkung von Bakterien usw. bei Sauerstoffzutritt stattfindende Zersetzung abgestorbener Tiere und Pflanzen; Gegensatz: Fäulnis

Venen: zum Herzen hinführende Blutgefäße; Gegensatz: Arterien

venöses Blut: mit Kohlendioxid angereichertes, sauerstoffarmes („verbrauchtes") Blut; Gegensatz: arterielles Blut

ventral: an der Bauchseite gelegen oder zumindest dem Bauche zugekehrt; Gegensatz: dorsal

Vitalismus: heute überholte idealistische Auffassung vom Wesen des Lebens, die zwar die Eigengesetzlichkeit des Lebens anerkennt, diese jedoch auf das Wirken nicht materieller und nicht erkennbarer Kräfte (Lebenskraft, Entelechie) zurückzuführen versucht (DRIESCH)

Vitalität: Lebenseignung; Gegensatz: letal

Vorzeit der Erdgeschichte: → Proterozoikum

Zellkern: das Steuerungszentrum der Zelle, in dem während der Teilungsruhe die Chromosomen und Gene enthalten sind und ihre Arbeitsfunktionen erfüllen. Im Verlauf von Mitose und Meiose (Kernteilung) erfährt der Zellkern einen regelmäßigen Formwechsel, wobei die Doppelmembran aufgelöst wird und die Chromosomen mikroskopisch erkennbar werden. Nach Ablauf der mit der Kernteilung verbundenen Verteilung der Chromosomen wird an jedem Zellpol ein neuer Zellkern gebildet und dann erfolgt die Durchschnürung des Zelleibes, wobei aus einer Ausgangszelle zwei neue Tochterzellen entstehen

Zentralnervensystem: stark konzentriertes Nervensystem der höheren Vielzeller. Es kann als paariger oder unpaarer Strang an der Bauchseite ausgebildet sein (Strickleiternervensystem, Bauchmark) oder als ursprünglich hohles Rohr an der Rückseite liegen (Neuralrohr, Rückenmark); Gegensatz: diffuses Nervensystem.

Zentromer: das Bewegungszentrum des Chromosoms, mit dem sich in der → Mitose und → Meiose die Spindelfasern verbinden, die an der Verteilung der Chromosomen im Verlauf der Kernteilung ursächlich beteiligt sind. Das Zentromer ist ein im Chromosom spezifisch lokalisiertes Strukturelement, dessen Verlust zum Ausfall der geregelten Bewegungsfähigkeit des Chromosoms führt

Zentrosom: bei allen vielzelligen Tieren, vielen Protisten, den meisten Thallophyten, nicht aber bei höheren Pflanzen auftretende Zellorganellen mit dem Vermögen zur identischen Reproduktion. Vor Beginn der Kernteilung (Mitose, Meiose) teilt sich das Zentrosom und zwischen den beiden Teilungsprodukten wird ein als Spindel bezeichnetes Fasersystem ausgebildet, das für die geregelten Bewegungsvorgänge der Chromosomen (→ Zentromer) im Verlauf der Kernteilung mitverantwortlich ist und deren Verteilung auf die Zellpole herbeiführt

Zirbeldrüse: → Parietalauge

Züchtung: Entwicklung von Haustierrassen und Kulturpflanzensorten aus Wildformen durch künstliche Zuchtwahl

Zweckmäßigkeit: → Teleologie

Zwischenform: → Übergangsform

Zygote: befruchtete Eizelle mit zwei Chromosomensätzen, von denen einer vom Vater und einer von der Mutter stammt

Zytologie: Lehre vom Feinbau der Zellen im Tier- und Pflanzenkörper

Zytoplasmonmutation: → Mutation

SACHWÖRTERVERZEICHNIS

Das Zeichen * weist auf eine Abbildung hin

Abdrücke 8
Adenin 121
Affen 60
Affenmensch 67
Agnatha 51
Altweltaffen 60
Aminosäuren 25, 42
Ammonit 54*
Anatomie 18f.
Ancon-Mutation 150*
Anemone 128*
Angiospermen 135, 136*
Anpassung 34
Antheridien 56
Anthropoidea 60
Antikörper 25
Antirrhinum 134*
Arbeitskern 107
Archaeopteryx 13*, 14*f.
Archegonien 56
Aristoteles 38*ff.
Arrhenius, Svante 48
Art 37, 153
Atmung 19
Auslese 34, 144ff.
–, künstliche 144
–, natürliche 44, 144
Auslesezüchtung 144ff.
Autoregulation 33
Australopithecinen-Gruppe 65f.
Australopithecus 66*

Basensequenz 121
Bastardierung 112
Bärenpavian 62*
Bärlappgewächse 55*
Baur, Erwin 139
Beagle 90*
Becherkeim 98
Berkshireeber 101*
Biogenetisches Grundgesetz 26
Blasenkeim 98
Blastula 98
Blutkreislauf 19ff., 21*
Blutlinienzucht 155
Brassica 129, 130*
Braunwurzgewächse 24
Buffon 86*

Calamiten 55
Carleton 139
Catarrhina 60
Cercopithecoidea 61
Chloroplasten 35
Chordata 60
Chordatiere 60
Chromosomenstückverlagerung 124*
Cordaiten 12
Cordaitenbaum 57*
Correns 112
Chromatingerüst 106
Chromosomen 107ff., 109*
Chromosomenmutation 124*, 128f.
Cuvier, Georges 89*

Darwin, Charles R. 40, 89, 90*, 95*
Darwin, Erasmus 87*
Darwinfinken 92*
Darwinismus 96
Dauermodifikation 104
da Vinci, Leonardo 39
Demokrit 38*
Depigmentierung 70
Desoxyribonukleinsäure (DNS) 25, 119*ff, 121*
Desoxyribose 121
de Vries 112
Domestikation 140
Donnerkeil 9*
Dreilappiere 51*
Drosophila 105
Dryopithecus-Gruppe 65

Einschachtelungslehre 84f.
Eiszeit 29ff.
Eiweiße 25, 32, 36
Elters 106
Embryo 26, 28
Embryologie 26
Embryonen verschiedener Wirbeltiere 27*
Engels, Friedrich 36, 96
Entelechie 39
Enten„muschel" 28*
Entwicklung der Feder 14*
Entwicklung des Nadelbaumzapfens 12*
Entwicklung des Pferdes 10
Entwicklung der Schuppe 14*
Eohippus 10
Eozän 10
Erbanlagen 100
Erbgang 113
–, dominant-rezessiver 113, 114*
–, intermediärer 113*
Erdaltertum 50, 53
Erdfrühzeit 50, 53
Erdmittelalter 52, 57, 58*
Erdneuzeit 52, 58

Ernährungsfaktoren 101
Eucalyptus 31

Familienzucht 155
Farne 55*
Farnsamer 17
Fauna 30
Fette 32
Fische 20
Fliegenfänger 130, 131*
Fließgleichgewicht 33
Flora 30
Flugsaurier 18
Fortpflanzung 105
–, vegetative 106
–, generative 105
Fossilien 7 ff.
Fußskelett des Pferdes 11*, 23

Galen 83
Gastrula 98
Gebrauchskreuzung 156
Gehirn 22
Genetik 105
Genmutation 123f.
Genommutation 123, 129f.
Genotypus 104
Gesetze der Abänderung 95
Gibbon 63*
Gliedmaßenskelett der Wirbeltiere 18
Graptolithe 51*
Griffelbein 23
Großmutation 134
Guanin 121

Haeckel, Ernst 26
Halbaffen 60, 61*, 63*
Harvey 39
Henslow 90
Herrentiere 60
Herz 20
Heterosis 149
Heterosiszüchtung 148ff.
heterozygot 113
Hominoidea 61
Homo sapiens 63*, 68f.
homozygot 113
Höherentwicklung 135
Humboldt, Alexander von 90
Hundsaffen 61
Huxley, Thomas Henry 96
Hühnerembryo 26*, 88*
Hyracotherium 10*

identisch 34
identische Reproduktion 121*
Idiotypus 104
Individualauslese 145
Individualität 33
Insulin 25
Inzucht 148, 156*
Isolation 130f.

Johannsen 103

Kapuzineraffe 61*
Katastrophentheorie 89
Kaulquappen 26
Känozoikum 58
Kerguelenfliege 94*
Kernlose 50
Kernteilung 107
Kieferlose 51
Kiemenatmung 15
Kiemenspalten 26
Kleinmutation 134
Klimafaktoren 102
Klone 106
Knight 139
Knochenfunde 7
Knochenspitzen 33*
Knospung 106
Koazervate 44
Koazervathypothese 43ff.
Koazervattröpfchen 43*ff.
Kohlenhydrate 32
Kohlenwasserstoffe 42f.
Kolloide 44
Kombination 132f.
Kombinationskreuzung 156
Kombinationszüchtung 146ff.
Kontrollsystem 33
Kosmozoentheorie 48
Kowalewsky, A. O. 98*
Kowalewsky, W. O. 98*
Kreuzung 156f.
Kriechtiere 19*, 21
Kulturpflanzen 138
–, primäre 138
–, sekundäre 138

Lamarck, Jean-Baptiste 87, 88*
Lamarcksche Hypothese 137
Leben 41
Lebewesen 33, 35ff.
–, fossile 13
–, rezente 13
Leitfossilien 8
Linné, Carl von 74f., 86*
Lochow, Ferdinand von 139
Lunge 20*
Lungenfisch 15*
Lurche 15, 17*, 19*, 21
Lyell, Charles 90
Lyginopteris 17*
Lyssenko 104

Makroevolution 133
Mammalia 60
Marggraf, Johann Sigismund 139
Marx, Karl 96
Massenauslese 145
–, negative 145
–, positive 145
Materie 35f.
Maulbeerkeim 98
Mechanismus 39
Meiose, 109f., 110*
Mendel, Johann Gregor 112
Mendelsche Erbgesetze 112ff.
Mensch 61, 63*, 60*
Menschenaffen 61, 62*
Menschenrassen 69
Menschwerdung 64
Mesohippus 11*
Mesozoikum 57
Metamorphose 20
Mikroevolution 133
Mitochondrien 35
Mitose 107f., 108*, 111
Mitschurin 104

Modifikation 103
Molekularbiologie 41
Molekularhypothese 47
Morula 98
Mutante 122
Mutation 122ff.
Mutationszüchtung 150ff.
Mutterstammbaumzüchtung 146

Nacktsprosser 16, 17*
Naturwissenschaft, neuere 40
Nauplius 28
Nautilid 54*
Nautilus 54
Neandertaler 67f., 68*
Neozoikum 58
Neuweltaffen 60
Nilsson-Ehle 139
Nomenklatur 74
Nukleinsäuren 32, 34, 36
Nukleinsäurestrang 121*
Nukleoproteide 45f., 106
Nukleus 106

Ökologie 75
Ontogenese 26
Oparin, Alexander Iwanowitsch 41*
Orang 63*
Oreopithecus-Gruppe 65
Orange
–, analoge 19
–, homologe 19
–, rudimentäre 24

Paläontologie 7
Paläzoikum 50
Panmixie 130
Panzerfisch 17, 54,
Paracelsus 39
Pasteur, Louis 48*
Pflanzenzüchtung 141ff., 157f.
Phänotyp 102f.
Phylogenese 26
Physiologie 24f.
Pithecanthropus 32*, 67*
Pithecanthropus-Sinanthropus-Gruppe 67
Plastiden 107
Plattnasenaffen 60, 61*
Platyrrhina 60
Polypeptide 43
Polyploidie 123
Polyploidiezüchtung 152
Population 126
Populationswellen 131f.
Präformationslehre 84
Präsapiens 32*, 68*
Präzipitine 25
Primatenskelette 63*
Primates 60
Proconsul 32*, 65*
Proconsul-Gruppe 64ff.
Prosimiae 60
Proterozoikum 50
Prothallien 56
Protisten 50
Protoplast 106
Psilophyton 17*, 55*
Punktmutation 124

Quastenflosser 15*f., 17*ff.

Ramschverfahren 148
Rasse 154
Rassenkreis
–, europider 70
–, mongolider 70
–, negrider 70
Reaktionsnorm 103
Redi, Francesco 84
Reduktionsteilung 109, 112*
reine Linie 144
Reinzucht 155
Reizbarkeit 34
Reize 34
Renaissance 39
Restsaatgutmethode 146
Rhamphorhynchus 59*
Rhynia 54, 55*
Ribonukleinsäure (RNS) 120, 122
Ribosomen 35
Richter, Wilhelm 139
Rimpau, Wilhelm 139
Roemer, Theodor 139
Rückbildung 137

Saint-Hilaire, Etienne Geoffroy 87
Saurier 57, 59*
Säugetiere 20ff., 60
Schachtelhalme 55
Schimpanse 62*, 63*, 66*
Schlag 154
Schlüsselmutation 134
Schmalnasenaffen 60
Schöpfungsglauben 38
Schuppenbaum 55, 56*
Schwimmblase 20*
Seeigel 9
Seelilie 9*
Selektion 34, 126
Selektionstheorie 133
Selektionswert 126
Serveto, Miguel 84
Siegelbaum 55, 56*
Sinanthropus pekinensis 32*
Sounders 139
Spaltungsgesetz 115
Spezialisation 136
Spitzhörnchen 61*
Stahl, Georg Ernst 40
Stammbaum 135*
Stammbaum des Menschen 97*
Stammbaumzüchtung 145
Stammesentwicklung 26, 27*
Stammesgeschichte 74
Stegosaurus 59*
Stenopterygius 59*
Stoffwechsel 33
System
–, künstliches 74
–, natürliches 37, 76
Systeme, organische 44
Swammerdam, Jan 84

Taxonomie 74
Thymin 121
Tieraffen 61, 62*
Tierzüchtung 143, 153ff., 159f.
Timirjasew 99
Tintenschnecke 9*
Trilobit 51*
Tschermak 112

Übergangsformen 17
Umweltfaktoren 100
Unabhängigkeitsgesetz 116
Uniformitätsgesetz 113
Uratmosphäre 42
Urerde 41f.
Urorganismen 41, 46
Urozean 42f.
Urpferdchen 7, 10*
Urvögel 13*
Urzeugungslehre 47f.

van Helmont, Jean Baptist 48
van Leeuwenhoek, Anton 48
Variabilität 100, 104
–, alternative 100
–, genetische 122
–, fluktuierende 100
Variation 34
Veränderung 34
Verdrängungskreuzung 156
Veredlungskreuzung 156
Vererbung 105
–, geschlechtsgebundene 119
–, intermediäre 113
Versteinerungen 8
Versteinerungskunde 95
Vertebrata 60
Vesal, Andreas 84
Viren 50
Vitalismus 40
Vögel 20ff.

Wallace, Alfred Russel 93
Wildpferdkopf 33*
Windflüchter 103
Wirbellose 28
Wirbelsäule 24
Wirbeltiere 60
Wirbeltierhormon 24
Wöhler, Friedrich 40
Wolff, Caspar Friedrich 85*
Wolfsmilchgewächse 23*

Zuchtziele 141ff.
Zygote 106
Zytoplasma 106
Zytosin 121

Abbildungsnachweis

Farbtafeln

Dr. Wolfgang Crome, Berlin (Farbtafel 2); Christiane Winkler, Berlin (Farbtafel 1 und 3).

Kunstdrucktafeln

Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Greifswald (Tafel 2); Geologisch-Paläontologisches Museum, Berlin (Tafel 1); Dieter Heimlich, Berlin (Tafel 3 unten rechts); aus Hofer, Schultz, Starck, „Primatologia, Bd. 1, Basel 1956 (Tafel 3, Mitte); Museum für Deutsche Geschichte, Berlin (Tafel 3 oben links und unten links, Tafel 4).

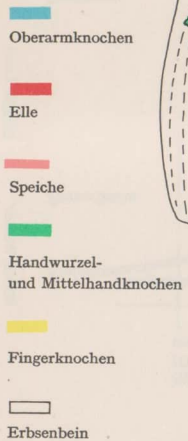
Fotos und Reproduktionen

Aus Abel, O., „Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit" (Abb. 9); aus Alschner, „Woher-Wohin?" (Abb. 12); Archiv des VEB Fachbuchverlags, Leipzig (Abb. 26); aus Augusta-Burian, „Tiere der Urzeit" (Abb. 5, 6, 36, 40, 41); Fritz Bellmann, Weimar (Abb. 120); nach Dawson (Abb. 15); Deutsches Zentralinstitut für Lehrmittel, Berlin, Lichtbildreihe R 284, Abstammungslehre II (Abb. 46); Fotoarchiv des Instituts für Altertumswissenschaften der Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg (Abb. 27); Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität, Greifswald (Abb. 4, 32, 34, 35); aus Grahmann, „Urgeschichte der Menschheit" (Abb. 50); Ernst-Haeckel-Haus, Jena (Abb. 57, 59, 61, 63, 64, 66, 67, 69, 70 bis 73); aus „Handbuch für den Tierzüchter", Bd. 1 (Abb. 75, 121); aus Heberer, G., „Allgemeine Abstammungslehre" (Abb. 104); aus Hofer, Schultz, Starck, „Primatologia", Bd. 1, Basel 1956 (Abb. 42, 44, 47, 48); Institut für Botanik der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät, Berlin (Abb. 56); aus Kühn, A., „Grundriß der Vererbungslehre" (Abb. 84, 86, 105, 106, 108); aus Kurth, H., „Vom Wildgewächs zur Kulturpflanzensorte" (Abb. 101); aus Mertens, R., in „Hundert Jahre Evolutionsforschung", Herausgeber Heberer und Schwanitz (Abb. 110); aus Mc Leish and Snowad, „Looking at Chromosomes", Macmillan, London 1958 (Abb. 82, 85, zusammengestellt von Dr. Martin Zacharias, Gatersleben); aus Müntzing, A., „Vererbungslehre" (Abb. 100); Museum für Deutsche Geschichte, Berlin (Abb. 43, 51 bis 54); aus Oparin, „Die Entstehung des Lebens auf der Erde" (Abb. 30); aus Potonié, „Lehrbuch der Paläobotanik" (Abb. 38); F. W. Richter, Jena (Abb. 28); aus Romer, „Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere" (Abb. 14); aus Schaefer, „Der Mensch in Raum und Zeit mit besonderer Berücksichtigung des Oreopithecus-Problems, Basel 1960 (Abb. 49); aus Schreiber, R., „Praktische Tierernährung" (Abb. 76); aus Sigerist „Große Ärzte" (Abb. 31); aus Simot, Dunn, Dobzhansky, „Principles of Genetics", Graw-Hill Boote Comp. 1958 (Abb. 115); aus Skiebe, K. „Züchter", Bd. 28, 1958 (Abb. 119); aus Stubbe, H. u. P. von Wetterstein, „Über die Bedeutung von Klein- und Großmutation in der Evolution" in „Biologisches Zentralblatt", 61, 1942 (Abb. 109); aus Stubbe, H., Über einige theoretische und praktische Fragen der Mutationsforschung", Abhandlung der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, Bd. 47, 1952 (Abb. 117); aus Traité de Zoologie-Anatomie-Systematique-Biologie, Paris 1958 (Abb. 13); aus Urbanck, „Monograptidae from erratic boulders of Poland (Abb. 33); Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin (Abb. 35, 60, 62); aus Weinert, „Stammesgeschichte der Menschheit" (Abb. 45); Dr. F. Zachow, Gülzow-Güstrow (Abb. 113, 116, 118); Zentralbild, Berlin (Abb. 58); aus Zimmermann, G., „Die Phylogenie der Pflanzen" (Abb. 111).

Zeichnungen

Dr. Wolfgang Crome, Berlin (Abb. 21, 22, 68); Franz Frank-Renée, Berlin (Abb. 17); Eberhard Graf, Berlin (Abb. 11, 20, 74, 77 bis 81, 83, 87 bis 89, 91 bis 99, 102, 107, 112, 122); Irene Hein, Halle/Saale (Abb. 7); Kurt Herschel, Holzhausen bei Leipzig (Abb. 2, 3, 19); Roland Jäger/Rainer Zieger, Berlin (Abb. 65); Naturkunde-Museum, Weimar (Abb. 1); Elena Panzig, Berlin (Abb. 8, 10, 16, 18, 23 bis 25, 29, 37, 39, 90); Herbert Pomsel, Gülzow-Güstrow (Abb. 114).

Vordergliedmaßen der Wirbeltiere



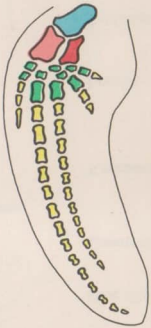
Urzeitlicher Quastenflosser

Urzeitlicher Schwanzlurch

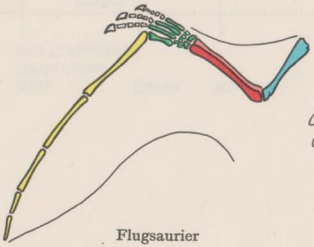
Eidechse

Mensch

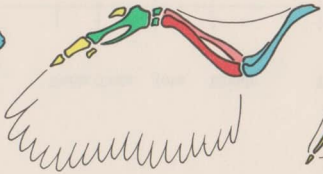
Hund



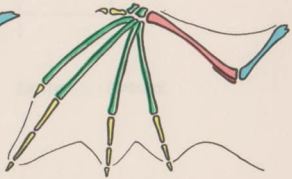
Wal



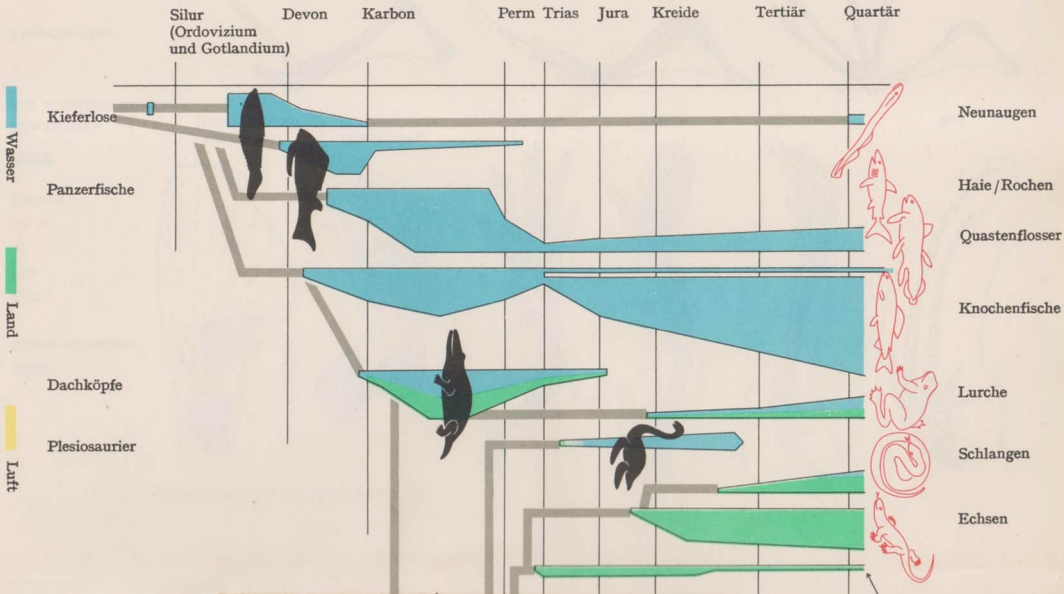
Flugsaurier

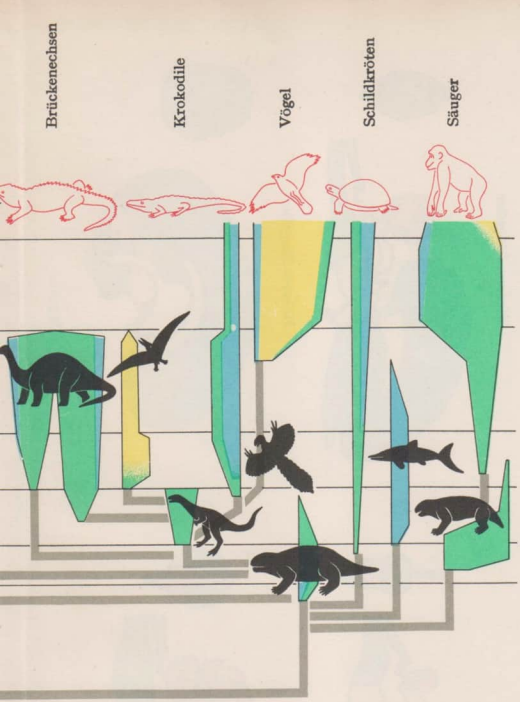


Vogel



Fledermaus


Silur (Ordovizium und Gotlandium)
Devon
Karbon
Perm
Trias
Jura
Kreide
Tertiär
Quartär
Wasser
Land
Luft
Kieferlose
Panzerfische
Dachköpfe
Plesiosaurier
Neunaugen
Haie / Rochen
Quastenflosser
Knochenfische
Lurche
Schlangen
Echsen



Stammbaum der Wirbeltiere

Gehirne der Wirbeltiere

Knochenfisch

Niederes Säugetier

Reptil

Höheres Säugetier

Vogel

Mensch

Vorderhirn

Zwischenhirn

Mittelhirn

Kleinhirn

Nachhirn

Hirnboden

HMS BEAGLE

01 10 01 – 4
2,60