

ERWEITERTE OBERSCHULE

4



BIOLOGIE

Gliederfüßer

Ringelwürmer

Rundwürmer

Weichtiere

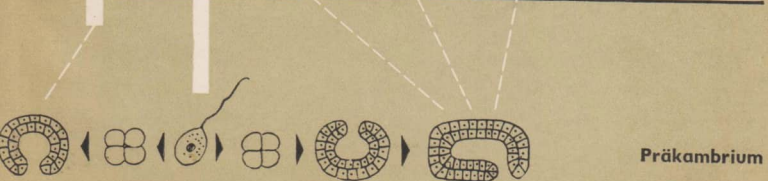
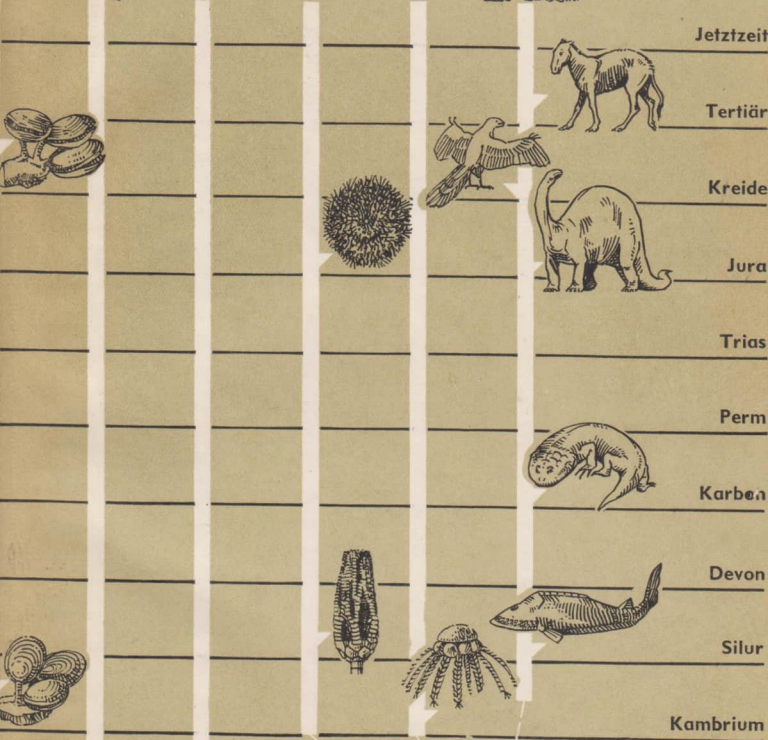
Plattwürmer

Hohltiere

Kr...



föhler Schwämme Stachelhäuter Eichelwürmer Chordata



# BIOLOGIE

## IV

EIN LEHRBUCH FÜR DIE ERWEITERTE OBERSCHULE

12. KLASSE

DIE LEHRE VON DER EVOLUTION DER ORGANISMEN



VOLK UND WISSEN

VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1965

Das Lehrbuch wurde verfaßt von  
Dr. habil. Herbert Bach (Abstammung und Entwicklung des Menschen),  
Dr. Dieter Bernhardt (Wesen und Entstehung des Lebens),  
Dr. Wolfgang Crome (Tatsachen aus der vergleichenden Anatomie; Tatsachen aus der Ontogenie;  
Stammesgeschichte und System der Organismen),  
Dr. Rolf Löther (Zur Geschichte der Abstammungslehre),  
Dr. habil. Helmut Nestler (Die Paläontologie und die Stammesgeschichte der Organismen),  
Dr. Martin Zacharias (Genetik, Evolution und Züchtung).  
Redaktion: Gertrud Kummer

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik  
als Lehrbuch für die zwölfklassige allgemeinbildende polytechnische Oberschule  
(erweiterte Oberschule) bestätigt.

Mit 159 Abbildungen im Text, 4 Farbtafeln, 4 Kunstdrucktafeln und 2 Tafeln  
Redaktionsschluß: 15. Januar 1965  
Einband: Günther Klaus  
Vorsatz: Roland Jäger/Rainer Zieger  
Ausstattung: Atelier Volk und Wissen, Berlin  
ES 11 H · Bestell-Nr. 01 12 52-1 · 4,60 MDN · Lizenz-Nr. 203 · 1000/65 (DN)  
Vervielfältigungsgenehmigung Nr. 1/15/65  
Satz und Druck: VEB Leipziger Druckhaus (III/18/203)

## INHALTSVERZEICHNIS

Die Paläontologie und die Stammesgeschichte der Organismen . . . . .	5
Tatsachen aus der vergleichenden Anatomie . . . . .	18
Entwicklung der Lunge . . . . .	19
Blutkreislauf und Atmungsorgane der Wirbeltiere . . . . .	20
Das Gehirn der Wirbeltiere . . . . .	25
Homologe Organe . . . . .	28
Analoge Organe . . . . .	32
Konvergenzen und Divergenzen . . . . .	34
Rudimentäre Organe . . . . .	35
Homologe, analoge und rudimentäre Organe bei Pflanzen . . . . .	37
Tatsachen aus der Ontogenie . . . . .	39
Die Biogenetische Grundregel . . . . .	39
Die stammesgeschichtliche Bedeutung der Gastrula . . . . .	43
Vergleich von Wirbeltierembryonen . . . . .	48
Wesen und Entstehung des Lebens . . . . .	50
Das Wesen des Lebens . . . . .	50
Stoffliche Zusammensetzung des Lebens . . . . .	50
Eigenschaften des Lebens . . . . .	51
Das Leben als spezifische Bewegungsform der Materie . . . . .	54
Die historische Entwicklung der Kenntnis vom Leben . . . . .	57
Die Entstehung des Lebens . . . . .	61
Die weitere Entwicklung der Uroorganismen . . . . .	69
Überholte Vorstellungen von der Entstehung des Lebens . . . . .	70
Abstammung und Entwicklung des Menschen . . . . .	72
Die Stellung des Menschen im System der Organismen . . . . .	72
Die Abstammung des Menschen . . . . .	75
Die Menschwerdung war nicht nur ein biologischer Vorgang . . . . .	86
Die biologische Entwicklung des Homo sapiens . . . . .	87
Die heutigen Menschenrassen . . . . .	88
Biologische Entwicklungsvorgänge beim heutigen Menschen . . . . .	91
Zur Geschichte der Abstammungslehre . . . . .	94
Schöpfung oder Entwicklung . . . . .	94
Die naturwissenschaftlichen Voraussetzungen für die Abstammungs- lehre . . . . .	96
Vorläufer der wissenschaftlichen Abstammungslehre . . . . .	101
Die Begründung der wissenschaftlichen Abstammungslehre . . . . .	107
Die Verbreitung und Weiterentwicklung des Darwinismus . . . . .	114

Stammesgeschichte und System der Organismen . . . . .	121
Grundlagen der Vererbungslehre . . . . .	131
Die Kombination der Erbanlagen . . . . .	148
Beweise für die Lokalisation der Gene in den Chromosomen . . . . .	155
Die Vererbung des Geschlechts . . . . .	160
Natürliche und experimentelle Veränderungen der Erbanlagen . . . . .	161
Der Anteil des Zytoplasmas am Vererbungsgeschehen . . . . .	171
Die Beeinflussung der Merkmalsausbildung bei Pfropfpartnern . . . . .	174
Die Wirkungsweise der Erbanlagen . . . . .	175
Die Natur der Erbanlagen . . . . .	181
Faktoren der stammesgeschichtlichen Entwicklung . . . . .	189
Die Selektion . . . . .	190
Die Mutation . . . . .	191
Die Isolation . . . . .	195
Die Kombination . . . . .	197
Das Entstehen von Haustieren und Kulturpflanzen . . . . .	204
Aufgaben, Leistungen und Methoden der Tier- und Pflanzenzüchtung . . . . .	218
Die Pflanzenzüchtung . . . . .	219
Die Tierzüchtung . . . . .	226
Worterklärungen . . . . .	231
Sachwörterverzeichnis . . . . .	246

## Die Paläontologie und die Stammesgeschichte der Organismen

Die Paläontologie ist die Wissenschaft von den Organismen und deren Lebensspuren, die vor der gegenwärtigen erdgeschichtlichen Periode gelebt haben. Sie beschäftigt sich mit den Fossilien, das heißt mit all dem, was an Resten von Lebenserscheinungen früherer erdgeschichtlicher Perioden gefunden wird.

### Aufgabe

Informieren Sie sich noch einmal über die Geschichte der Erde! Benutzen Sie dazu das Lehrbuch „Allgemeine physische Geographie“ der 9. Klasse der erweiterten Oberschule!

Die Untersuchung der in den verschiedenen alten, nacheinander entstandenen Erdschichten eingebetteten Fossilien ergibt, daß sich die Organismen im Verlauf der Zeit allmählich verändert haben. Dabei treten am Anfang einfache, später komplizierter gebaute Lebewesen auf. Je jünger die Erdschichten sind, desto größer wird die Ähnlichkeit der fossilen Lebewesen mit den heutigen. Die Kenntnis der ständigen Entwicklung der Lebewesen ist die wichtigste Grundlage für die zeitliche Gliederung der Erdgeschichte (relative Zeitgliederung; Abb. 2). Das absolute Alter geologischer Schichten wird vor allem mit Hilfe der Zerfallsprodukte radioaktiver Elemente (zum Beispiel Uranblei) bestimmt, die sich in Mineralien dieser Schichten finden.

Die Aufeinanderfolge immer komplizierter gebauter Pflanzen und Tiere in der Erdgeschichte ist durch Fossilien eindeutig belegt (Abb. 1).

**Fossilien.** Die Weichteile abgestorbener Organismen werden vor allem unter der Einwirkung von Bakterien sehr schnell zersetzt. Je nachdem, ob die Zersetzung unter Sauerstoffzutritt oder Sauerstoffabschluß vor sich geht, sprechen wir von Verwesung

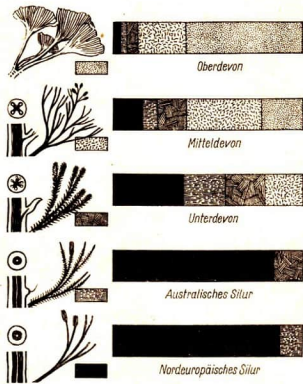
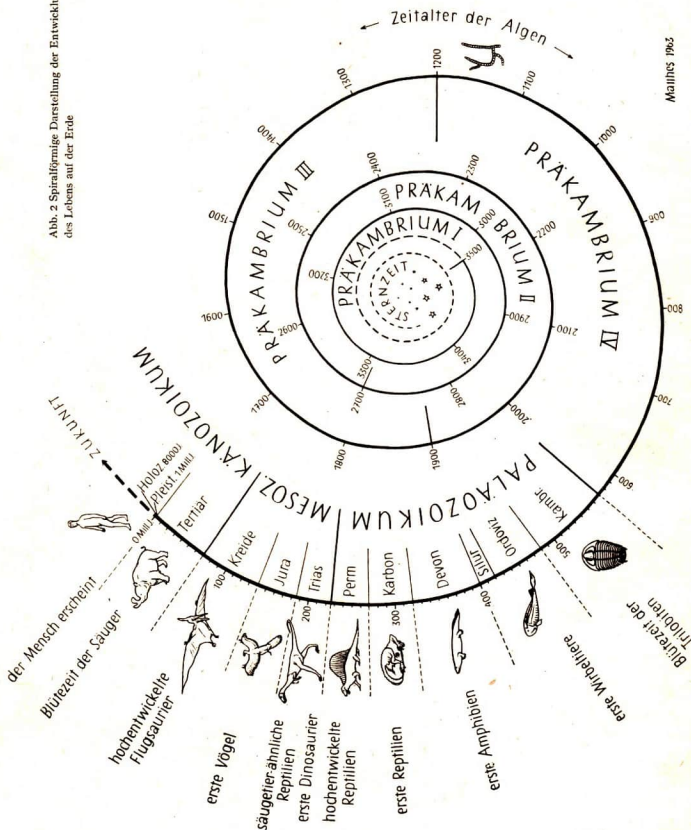


Abb. 1 Zunahme jüngerer Formen im Verlauf der Stammesentwicklung. Links verschiedene aufeinanderfolgende Typen von Landpflanzen, rechts Veränderung des Anteils dieser Formen (festgestellt an der Artenzahl) in den aufeinanderfolgenden Formationen.

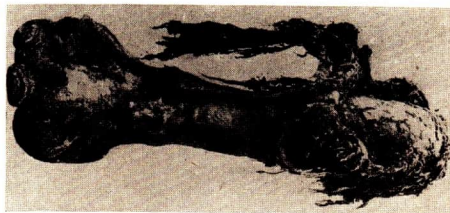


Abb. 2 Spiralförmige Darstellung der Entwicklung des Lebens auf der Erde



Meinings 1963

Abb. 3 Mammutrest,  
aus dem sibirischen Eis



oder Fäulnis. Wird die Tätigkeit der Bakterien verhindert, so findet keine Zersetzung statt, und der Weichkörper kann über Jahrmillionen erhalten bleiben. Dafür liefern die Mammutkadaver, die im sibirischen Eis gefunden wurden, ein gutes Beispiel (Abb. 3). Die niedrigen Temperaturen haben hier die zersetzende Tätigkeit der Bakterien verhindert. Auch Austrocknung (Mumien) und Durchtränkung mit Salzlösungen (Einpökelung; Nashorn von Starunia) können zur Erhaltung des Weichkörpers führen (Abb. 4). Funde erhaltener Weichteile sind ausgesprochen selten. Meist hat es der Paläontologe nur mit den Hartteilen der Organismen zu tun, die allerdings auch eine weitgehende Veränderung durchgemacht haben können. Die von den Weichteilen befreiten Knochen oder Schalenreste können durch Tiere, Wasser oder Wind verschleppt und dabei beschädigt werden. Voraussetzung für ihre Erhaltung ist eine Einbettung in Absatzgesteinen (Sedimenten). Das ist sowohl im Wasser (z. B. Schlick, Sand) als auch auf dem Festland (Dünensande) möglich.

Sowohl durch den Verlust der oftmals in den Hartteilen eingelagerten organischen Substanzen (z. B. Knochenleim) als auch durch Lösungserscheinungen werden die Hartteile porös. In den dadurch entstehenden Lücken können neue Mineralien ausgeschieden werden (Versteinerungen im eigentlichen Sinne). Oft wird die Substanz der Hartteile auch vollständig durch neue Mineralien ersetzt (Substitution). Werden die Hartteile im bereits verfestigten Gestein gelöst, so hinterlassen sie einen Hohlraum, dessen Wände die Skulptur der Hartteile tragen (Abdruck, Abb. 5). Die Innenausfüllung der Hartteile wird als Steinkern erhalten (Abb. 6). All diese Überreste, aber auch die erhaltenen Spuren der

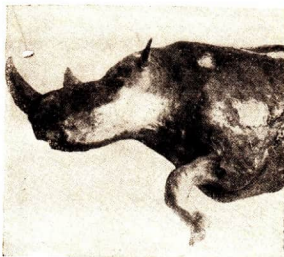


Abb. 4 Das Nashorn von Starunia.  
Das Tier wurde im Erdwachs gefunden.

Die Erhaltung der Weichteile  
ist auf die Durchtränkung mit Salzlösungen zurückzuführen.

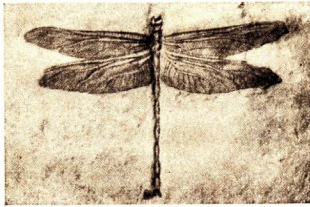


Abb. 5 Abdruck einer Libelle aus dem Jura von Solnhofen

Organismen (Fährten), werden als **Fossilien** bezeichnet.

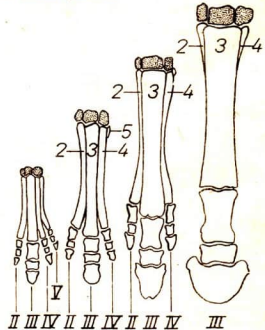
**Entwicklungsreihen.** Die Paläontologie untersucht an Hand nicht zu widerlegender Beweise – der Fossilien – das Nacheinander der Organismen auf der Erde. Sie liefert damit grundlegende Erkenntnisse für die Abstammungslehre. Größte Bedeutung haben Funde, die es gestatten, an zeitlich aufeinanderfolgenden Fossilien die Entstehung und Umbildung von Organen einzelner Lebewesen zu verfolgen. Nicht immer werden solche Entwicklungsreihen durch Vorfahren- und Nachkommenarten gebildet; aus nahen Nachfahren verschiedener Stufen echter Entwicklungsreihen läßt sich diese Entwicklungsreihe selbst rekonstruieren.

Recht genau ist die Entwicklung des Pferdes bekannt, die sich zum größten Teil im Tertiär vollzog. Sie begann mit etwa 25 cm hohen mehrzehigen Tieren mit kurz-kronigen Mahlzähnen und deutlich abgesetzten Vordermahlzähnen in einem verhältnismäßig kurzen Schädel. Mit der Anpassung dieser Tiere zunächst an das Leben im Walde, dann in der Buschsteppe und schließlich in der Steppe bildeten sich die seitlichen Zehen zurück (Abb. 7). Gleichzeitig paßten sich Gebiß und Kiefer von weicher Laubnahrung an harte Gras-



Abb. 6 Steinkerne von Schnecken aus dem Muschelkalk (mittlere Trias)

Abb. 7 Stammesgeschichtliche Entwicklung des Vorderfußes des Pferdes. 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.



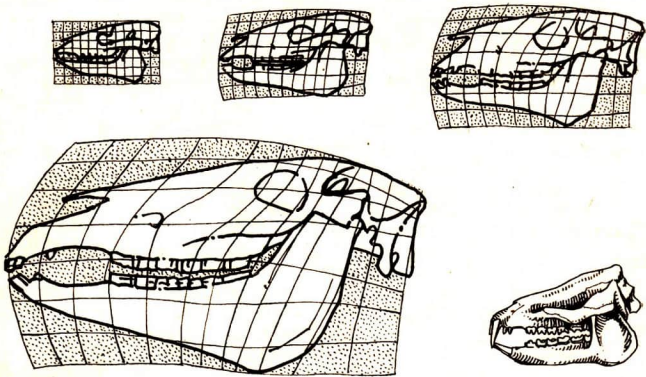


Abb. 8 Entwicklung des Pferdeschädels. Die Veränderung der Proportionen wird an der Verzerrung der Koordinaten deutlich.

nahrung an: der Schädel wurde länger, das Mahlgebiss setzte sich deutlich von den Schneidezähnen ab, die Backenzähne bilden sich zu Mahlzähnen mit längerer Krone um (Abb. 8). Die gesamte Entstehungsgeschichte des Pferdes war mit einer Zunahme der Körpergröße verbunden.

Bei den Rüsseltieren lassen sich Entwicklungsreihen verfolgen, bei denen die Umstellung der Backenzähne, die Umbildung der Schneidezähne zu Stoßzähnen, die Verlängerung der Nase und Oberlippe zum Rüssel, die Vergrößerung der Säulenbeine charakteristisch sind (Abb. 9). Derartige Entwicklungsreihen sind noch bei einer ganzen Anzahl anderer Lebewesen bekannt.

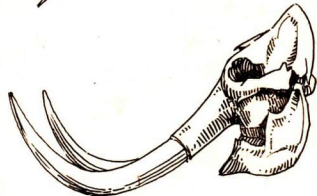
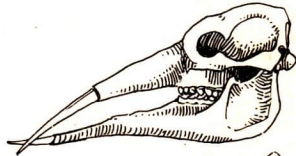


Abb. 9 Entwicklung des Mammutschädels.

Die Ausgangsformen der Mammute lebten im oberen Eozän und im unteren Oligozän. Die letzten Mammute starben während der Eiszeit aus.

Die Cephalopoden, eine Klasse der Weichtiere, sind in ihrer phylogenetischen Entwicklung ebenfalls sehr gut untersucht worden. An ihrer Stammesgeschichte lassen sich mehrere Gesetzmäßigkeiten der Evolution nachweisen.

Die Cephalopoden sind bereits aus den Ablagerungen des Oberkambriums bekannt. Heute leben nur relativ wenige Formen dieser Klasse. Die Unterklasse der Nautiloidea ist rezent nur noch durch die im indopazifischen Raum lebende Gattung *Nautilus* vertreten (s. Lehrbuch Biologie 2, 10. Kl.). Die Unterklasse der Ammonoidea wies im Mesozoikum einen gewaltigen Formenreichtum auf, starb aber bereits an der Grenze Mesozoikum/Känozoikum (Erdmittelalter/Erdneuzeit) vollständig aus. Aus der Unterklasse der Dibranchiata (Zweikiemer) – hierzu gehören die eigentlichen Tintenschnecken – leben heute noch mehrere Gattungen.

Wir wollen uns hier speziell mit der Unterklasse der Nautiloidea beschäftigen, deren Blütezeit im Paläozoikum (Erdaltertum) lag. Um ihre Phylogenie zu verstehen, müssen wir uns zuerst mit ihrer Morphologie vertraut machen.

Die Gehäuse der Nautiloidea sind allmählich an Durchmesser zunehmende Röhren, die entweder gerade gestreckt, eingekrümmt oder mehr oder weniger stark eingerollt sein können (Abb. 10). Die ganze Röhre wird von Septen, das sind senkrecht zur Längsachse stehende Scheidewände, in einzelne Kammern aufgegliedert (Abb. 11). Das Tier bewohnt lediglich die letzte, nach vorn offene Kammer des Gehäuses. Wächst der Weichkörper, so baut er die Röhre nach vorn weiter aus, wobei deren Durchmesser allmählich zunimmt. Der Weichkörper zieht sich nunmehr nach vorn in den neu angelegten Röhrenabschnitt und scheidet hinter sich eine neue Kammer-scheidewand, ein Septum, ab. Sämtliche Kammern eines Gehäuses waren also im Laufe der individuellen Entwicklung des Tieres einstmals Wohnkammern. Mit den verlassenen Kammern steht der Weichkörper noch durch einen hohlen, häutigen

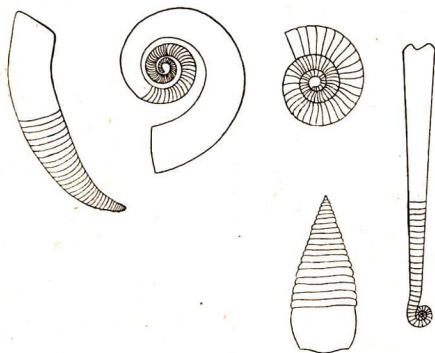
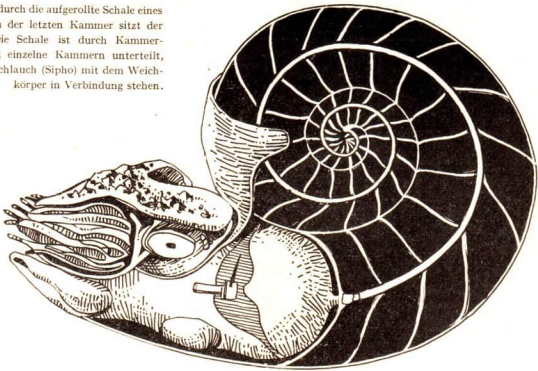


Abb. 10 Verschiedene Formen der Gehäusegestalt bei den Nautiloidea

Abb. 11 Schnitt durch die aufgerollte Schale eines Schiffsbootes. In der letzten Kammer sitzt der Weichkörper. Die Schale ist durch Kammerscheidewände in einzelne Kammern unterteilt, die durch den Schlauch (Siphon) mit dem Weichkörper in Verbindung stehen.



Strang, den Siphon, in Verbindung. Durch ein inneres Kanalsystem kann der Siphon noch weitestgehend kompliziert werden. Dort, wo er durch die Kammerscheidewände hindurchtritt, zeigen sich diese Ausstülpungen, die als Siphonalduten bezeichnet werden.

Die Nautiloidea bilden die Ausgangsform sämtlicher Cephalopoden. Daraus gingen sowohl die im Mesozoikum so vielgestaltigen Ammoniten als auch die 8- und 10armigen Tintenschnecken (Octopoda und Decapoda) hervor. Über die Herkunft der Nautiloidea selbst kann allerdings nur wenig gesagt werden. Ihre Wurzel ist sicher bei einem primitiven Molluskentyp zu suchen. Verbindungsglieder zu dieser Wurzel sind jedoch nicht bekannt.

Im Oberkambrium taucht der erste Vertreter der Nautiloidea, die Gattung *Plectronoceras* auf. *Plectronoceras* ist eine sehr kleine Form mit dichtstehenden Kammerscheidewänden. Das Gehäuse ist schwach gekrümmt, der Siphon liegt am Rande der Kammer. Die Siphonalduten sind bauchig aufgebläht und sehr kurz.

Während *Plectronoceras* am Ende der Kambriums die einzige bekannte Nautiloidea-Gattung ist, zeigt sich zu Beginn des Ordoviziums eine große Mannigfaltigkeit von Nautiloidea-Bauplänen (Abb. 12). Neben den bereits bekannten *Plectronocera*-tiden erscheint jetzt die große Gruppe der Endoceratiden. Bei ihnen kommen völlig neue Bauelemente vor. Die Siphonalduten werden nunmehr so lang, daß sie von einer Kammer in die andere reichen und den gesamten Siphon als kalkige Stütze umgeben. Im Siphon selbst bilden sich zum Teil Querböden. Zu Beginn der Entfaltung der Endoceratiden sind diese Merkmale jedoch noch keinesfalls fixiert. So können durchaus noch kurze Siphonalduten vorkommen. Der Siphon kann sowohl randlich als auch zentral liegen. Die Gehäuseform schwankt sehr stark. Gestreckte Formen



In diesem nahezu erstarrten Bauplan verharren dann die Orthoceracea über Jahrmillionen hinweg bis zu ihrem Aussterben in der Trias.

In der Ausbildung des Siphos nimmt der Entwicklungszweig der Actinoceracea (Abb. 12) eine Sonderstellung ein. Im Siphos ist ein hochkompliziertes Kanalsystem mit Ring- und Radialkanälen entwickelt. Innerhalb der Kammern treten zusätzliche Kalkausscheidungen auf. Diese Merkmale erscheinen urplötzlich im unteren Ordovizium, ohne daß irgendwelche Übergangsformen bestehen.

Eine andere Spezialisierung des Siphos finden wir in der Entwicklungsreihe der Cyrtoceracea. Der Siphos wird hier durch zahlreiche radiale Lamellen in einzelne Sektoren unterteilt. Dieser Siphonalbau, bereits im Ordovizium angelegt, wird unverändert während der gesamten Entwicklung dieser Gruppe beibehalten. Geringe Variationen treten bei den Cyrtoceracea nur in der Lage des Siphos, in dessen Stärke und im Grad der Gehäuseeinkrümmung auf.

Die noch heute im Indopazifik lebende Gattung *Nautilus* gehört dem Entwicklungszweig der Nautilacea an. Das Typische dieses bis in das tiefere Ordovizium zurückzuverfolgenden Bauplanes ist die in einer Ebene erfolgte Einrollung des Gehäuses. Die unvermittelt auftretende Einrollung scheint sich als ausgesprochen zweckmäßig erwiesen zu haben. Die vom Weichkörper freien Kammern verleihen den schwimmenden Tieren einen Auftrieb. Dadurch, daß bei den eingerollten Formen das Zentrum des Auftriebs mehr oder weniger mit dem Gehäusezentrum zusammenfällt, werden vor allem die Voraussetzungen für eine aktive Bewegung verbessert. Das Gehäuse wird in seiner Form gedrungener, der Wasserwiderstand wird herabgesetzt. Die plötzlich im unteren Ordovizium auftretende Einrollung umfaßt anfangs noch nicht die ganze Röhre. Sie beginnt von der Röhrenspitze, dem ontogenetisch ältesten Teil, her. Dadurch begegnen wir in diesem Entwicklungszweig zuerst bischofsstabähnlichen Formen. Die Einrollung schreitet jedoch allmählich fort, bis auch die ontogenetisch jüngsten Röhrenteile mit einbezogen werden. Von dieser totalen Einrollung wird nun nicht mehr abgewichen. Die rezente Gattung *Nautilus* hat sich seit der Trias, also seit etwa 200 Millionen Jahren, nur in unwesentlichen Merkmalen verändert.

Diese Entwicklung der Nautiloidea läßt eine Reihe von allgemeinen Erscheinungen erkennen, die auch bei der Entfaltung anderer Tiergruppen auftreten. Wir finden in diesem Entwicklungsablauf die folgenden Gesetzmäßigkeiten:

1. In der Stammesgeschichte läßt sich ein phasenhafter Verlauf erkennen: Bei den Nautiloideen liegt im unteren Ordovizium eine **Aufblühzeit**. Sprungartig treten hier mehrere Baupläne nebeneinander auf, die in der darauffolgenden **Blühzeit** weiter verfestigt werden. Daran schließt sich – in dem Entwicklungsschema auf Abb. 12 nicht dargestellt – eine Zeit an, in der häufig eine gesteigerte Variabilität der einzelnen Baupläne und Riesenwuchs auftreten und die mit dem Aussterben der Formen endet. Es ist die **Verblühzeit** des Entwicklungszweiges.
2. Zu Beginn war das Undifferenzierte: Bei den im tieferen Ordovizium während der Aufblühzeit entstandenen Typen der Nautiloideen sind die Merkmale noch außerordentlich ungefestigt und ermöglichen die verschiedenartigsten Richtungen im Entwicklungsprozeß.



3. Allmähliche Steigerung der Ähnlichkeit: Während der Blühzeit der Nautiloideen werden die morphologischen Merkmale einer Stammesreihe konstant. Die gemeinsamen, verbindenden Merkmale treten immer schärfer hervor. Die Formen innerhalb der Stammesreihe nehmen an Ähnlichkeit zu.
4. Einheit zwischen fossilem und rezemtem Material: Zwischen dem heute lebenden *Nautilus* und den fossilen Formen der Nautiloideen bestehen enge verwandtschaftliche Beziehungen. Der *Nautilus* ist das jüngste Glied in einer langen Kette von Entwicklungsprozessen. Fossile und rezente Formen gehören systematisch zu einer Einheit.

**Übergangsformen.** Bei der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Nautiloideen mußten wir immer wieder feststellen, daß die während der Aufblühzeit entstandenen Formen unvermittelt nebeneinander erschienen, ohne daß Übergangsglieder vorhanden waren. Untersuchen wir die höheren taxonomischen Einheiten, so wird das



Abb.13  
Rekonstruktion des Urvogels  
*Archaeopteryx*

noch deutlicher. Wo finden wir die Übergangsglieder, die zwischen Reptilien und Säugetieren, zwischen Amphibien und Fischen vermitteln? Derartige Zwischenformen, die bereits von DARWIN geforderten „missing links“, sind überaus selten. Das kann nur daran liegen, daß die Entwicklung zu einem neuen Bauplan in sehr schnellen Schritten vor sich gegangen ist. Grundlegende Veränderungen müssen sprunghaft in einem frühontogenetischen Zustand vor sich gegangen sein. Nur so kann etwas vollkommen Neues entstehen. Die durch diesen Prozeß entstandenen Formen sind, wie uns das Beispiel der Nautiloidea zeigte, noch undifferenziert. Häufig handelt es sich dabei um Formen, die zwar bereits die neuen Merkmale tragen, aber dabei noch Überreste ihrer Vorfahren zeigen. Das klassische Beispiel dafür ist der Urvogel *Archaeopteryx* aus dem Jura von Solnhofen. *Archaeopteryx* mit ihrer Befiederung, dem Schädel mit der großen Hirnkapsel und mit der Verschmelzung ihrer Knochen-elemente ist bereits ein echter Vogel (Abb. 13 und Tafel 2). Andererseits haften ihr aber noch eine Reihe von Merkmalen an, die auf ihre Herkunft von den Reptilien hinweisen. So sind die Kiefer noch bezahnt, wobei die Zähne in echten Zahngruben stecken. Während bei den heutigen Vögeln die Brustwirbel weitgehend verschmolzen sind, ist deren Verbindung bei *Archaeopteryx* noch locker. An den Flügeln treten bei ihr drei freie, bekrallte Finger auf, die sicher zum Greifen benutzt wurden.

Altertümliche Merkmale sind hier im neuen Bauplan überliefert.

#### Aufgabe

Nennen Sie andere Übergangsformen! Begründen Sie die Zwischenstellung der von Ihnen gewählten Beispiele!

**Irreversibilität.** Kaum ein Wissenschaftler zweifelt heute daran, daß die rezente Flora und Fauna das Produkt einer langen Entwicklung sind, daß die Entwicklung vom Niederen zum Höheren fortschreitet. Jeder neu entstandenen Form haften die Spuren ihrer Vergangenheit an. Zu den alten Qualitäten kommen neue hinzu, die sowohl das Erbbild als auch das Erscheinungsbild des Organismus zu verändern in der Lage sind. Schon rein logisch ergibt sich daraus die Schlußfolgerung, daß die Rückkehr zu einer bereits dagewesenen Form nicht möglich ist.

Der belgische Paläontologe LOUIS DOLLO (1857 bis 1911) leitete rein erfahrungsgemäß aus dem ihm vorliegenden fossilen Material den für die Stammesgeschichte so grundlegenden Satz ab: „Die Entwicklung ist nicht umkehrbar, sie ist irreversibel.“ Diese Erkenntnis wurde später von OTHENIO ABEL als die DOLLOSche Irreversibilitätsregel bezeichnet. DOLLOS klassische Untersuchungen gehen auf die Stammesgeschichte der Lederschildkröte (*Dermochelys*) zurück. Die Ausgangsformen dieser Stammesreihe waren Bewohner des Festlandes. Ebenso wie unsere heute lebenden Landschildkröten trugen sie einen starren Knochenpanzer, der lediglich Öffnungen im Bereich der Gliedmaßen, des Kopfes und des Schwanzes frei ließ. Dieser Panzer gewährte den unbeholfenen Landbewohnern einen idealen Schutz. Erst im Jura eroberten die Schildkröten die Meere. Bei ihren Schwimmbewegungen, die nach dem Prinzip des Ruderbootes erfolgten, war dieser schwere Panzer hinderlich. Allmählich,

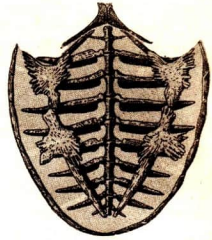
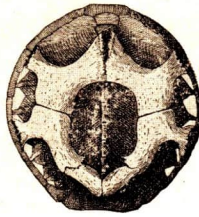
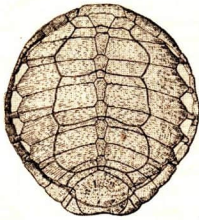


Abb. 14 Panzer einer Meeresschildkröte aus dem Jura von oben (links) und unten (rechts). Die ersten Durchbrüche sind zu erkennen.

Abb. 15 Panzer der Meeresschildkröte *Protosphargis veronensis* CAPELL. aus der Oberkreide. Der Panzer besteht nur noch aus einzelnen Knochenstangen.

durch Fossilien aber gut zu belegen, wurde der Panzer reduziert. Es bildeten sich Durchbrüche, die sich vom Rand des Rückenpanzers zu dessen Zentrum hin immer weiter ausdehnten (Abb. 14). Im Bauchschild entstand ein zentraler Durchbruch, der sich immer mehr erweiterte. Diese fortschreitende Reduktion führte in der Oberkreide zu Formen, bei denen der einstige Panzer nur noch aus dünnen Knochenstangen besteht (*Protosphargis veronensis* CAPELL; Abb. 15). Mit Beginn der Erdneuzeit, im Tertiär, änderte sich die Lebensweise dieser durch ihre Panzerreduktion typischen Meeresschildkröten. Sie kehrten auf das Festland, ihren einstigen Lebensraum, zurück. Die praktisch ungepanzerten Formen waren hier ihren Feinden schutzlos ausgeliefert. Unter diesen Lebensbedingungen wurde erneut ein Panzer angelegt. Er entstand jedoch nicht durch die Verbreiterung der noch vorhandenen Knochenstangen. Dieser Entwicklungsweg war durch die einmal vollzogene Reduktion im Jura und in der Kreide verschlossen. Der alte „Spangenpanzer“ verharrte in seinem Entwicklungszustand. Nunmehr entwickelten sich dicke, polygonale Knochenplatten in der Haut, die sich zu einem geschlossenen Panzer zusammenfügten und die Stangen des ursprünglichen Panzers mit umschlossen. Hier zeigt sich eindeutig, daß die Entwicklung nicht rückläufig wird, sondern neue Wege sucht, die zu funktionell ähnlichen Gebilden führen. Am Ende des Tertiärs kehrten diese Landformen erneut ins Meer zurück. Wieder wird der schwere, behindernde Panzer reduziert und durch eine Lederhaut ersetzt. Nur in der Bauchhaut bleiben noch einige Knochenkerne des zweiten Panzers als Rudimente übrig. Diesen Entwicklungszustand haben wir in der rezenten Lederschildkröte *Dermochelys coriacea* L. vor uns. Die Form zeigt noch heute die Überreste ihrer wiederholten Umwandlung. Unter der Lederhaut liegen noch die beiden rudimentären Panzer (Abb. 16).

Das Irreversibilitätsgesetz ist wiederholt angegriffen worden. Als Gegenbeweis führte man die Rückmutationen an. Es kann nicht angezweifelt werden, daß eine einfache Mutation über wenige Generationen hinweg wieder umschlagen und zu

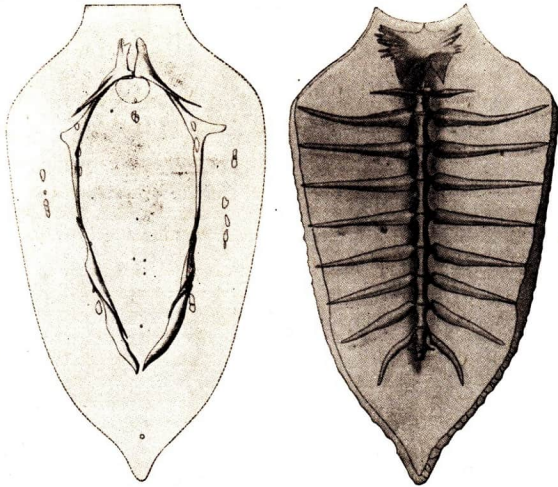


Abb. 16 Bauchpanzer von *Dermochelys coriacea* L., der Lederschildkröte. Die einen Ring bildenden Spangen sind die Reste des ersten, die verstreut liegenden, winzigen Platten die Reste des zweiten Panzers.

einem ursprünglichen Zustand führen kann. Eine derartige Mutation kann aber nur eine einfache, für die Stammesgeschichte unbedeutende Veränderung hervorrufen. Bei einer **komplexen** Mutation ist dagegen ein derartiger Rückschlag kaum zu erwarten. Das verbieten schon die Gesetzmäßigkeiten der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Bis heute ist das Irreversibilitätsgesetz nicht widerlegt worden.

#### Aufgaben und Fragen

1. Die Entwicklung der Pflanzen ist ebenfalls durch zahlreiche fossile Funde belegt. Stellen Sie anhand der Beispiele im Lehrbuch Biologie 1 (9. Klasse) eine ähnliche Übersicht zusammen, wie sie Abbildung 2 für Tiere zeigt!
2. Stellen Sie die Entwicklung von Pflanzen und Tieren innerhalb der verschiedenen Erdzeitalter nebeneinander dar. Benutzen Sie dazu auch die Abbildungen auf den inneren Umschlagseiten dieses Buches!
3. Lesen Sie zur Erweiterung Ihrer Kenntnisse über Fossilien und ihren Aussagewert das Heft „Lebensspuren im Stein“ (Bestell-Nr. 01 18 56, Verlag Volk und Wissen, Berlin 1964)!

## Tatsachen aus der vergleichenden Anatomie

Zahlreiche Beweise für die phylogenetische Entwicklung lassen sich durch Vergleiche des äußeren und inneren Baues heute lebender Organismen erbringen. Deshalb kann auch die vergleichende Morphologie und Anatomie wichtige Beiträge zur Evolutionsforschung liefern.

Besonders gut geeignet für solche vergleichend anatomischen Betrachtungen sind die Tiersippen, die im Verlaufe der Erdgeschichte das Land besiedelt haben. Bei ihnen mußten sich jeweils mehrere Organsysteme gleichzeitig und in Abhängigkeit voneinander weiterentwickeln (verändern), wenn die Landerobung erfolgreich sein sollte.

Eine erfolgreiche Landerobung und sogar die Besiedelung des Luftraumes ist vor allem zwei Tiergruppen gelungen: den Gliedertieren (*Articulata*) und den Chordatieren (*Chordata*). In beiden Fällen ist die Umgestaltung und Anpassung an die neuartigen Lebensbedingungen in der gleichen Richtung erfolgt:

1. Für die Atmung wurde statt des im Wasser gelösten Sauerstoffs die atmosphärische Luft nutzbar gemacht (Übergang von der Kiemenatmung zur Tracheen- oder Lungenatmung);
2. die ursprünglich feuchte, schleimige und dünne Haut mußte derart umgestaltet werden, daß ein dauernder Aufenthalt in trockener Luft möglich wurde (Panzerung bzw. Verhornung als Verdunstungsschutz);
3. es wurden leistungsfähige Gliedmaßen entwickelt (größere Beweglichkeit);
4. am Vorderende wurde ein Kopf ausgebildet, der die wichtigsten Sinnesorgane trägt und außerdem einen Teil des Nervenzentrums umschließt.

### Aufgaben und Fragen

1. Nennen Sie wichtige Vertreter der Gliedertiere und Chordatiere, die als Beispiele für die stufenweise Anpassung an das Landleben anzusehen sind, und kennzeichnen Sie die jeweilige Entwicklungsstufe, für die das betreffende Beispiel gelten soll! (Benutzen Sie zu Ihrer Orientierung die Biologielehrbücher der 6., 7. und 10. Klasse!)
2. Was wissen Sie über den Aufbau der Haut bei verschiedenen Gruppen der Gliedertiere und Chordatiere? Fertigen Sie zum Vergleich schematische Zeichnungen an!
3. Beschreiben Sie die Fortbewegungsweise bei Fischen, Schwanzlurchen oder Eidechsen und Säugetieren!
4. Setzen Sie den Bau der Gliedmaßen bei Fischen, Schwanzlurchen oder Eidechsen und Säugetieren zur Fortbewegungsweise dieser Tiere in Beziehung!
5. Fertigen Sie schematische Zeichnungen an, aus denen die Verbindung zwischen Gliedmaßen- und Achsenskelett bei Fischen, Schwanzlurchen oder Eidechsen und Säugetieren ersichtlich ist!

## Entwicklung der Lunge

Erwachsene Lurche besitzen Lungen mit sehr geringer Leistungsfähigkeit. Ihre Atemorgane haben die Form einfacher Blasen, an deren Innenwand höchstens kurze Septen vorspringen (Abb. 17, 1 und 2). Diese einfach gebauten Lungen dienen in der Hauptsache als Vorratsbehälter für Atemluft beim Tauchen. Den lebensnotwendigen Sauerstoff nehmen die Lurche hauptsächlich direkt durch ihre dünne, feuchte Haut auf (Hautatmung). Außerdem dient noch die reich durchblutete Haut der Mundhöhle als Atemorgan (Mundhöhlenatmung; Abb. 17, 5 bis 10).

Die Kriechtiere atmen kaum durch die Haut. Deshalb werden auch venöses und arterielles Blut strenger geschieden; die Lungen sind infolge einer Vergrößerung ihrer inneren Oberfläche leistungsfähiger. Ihr Innenraum ist stärker gekammert als bei den Amphibien (Abb. 17, 3).

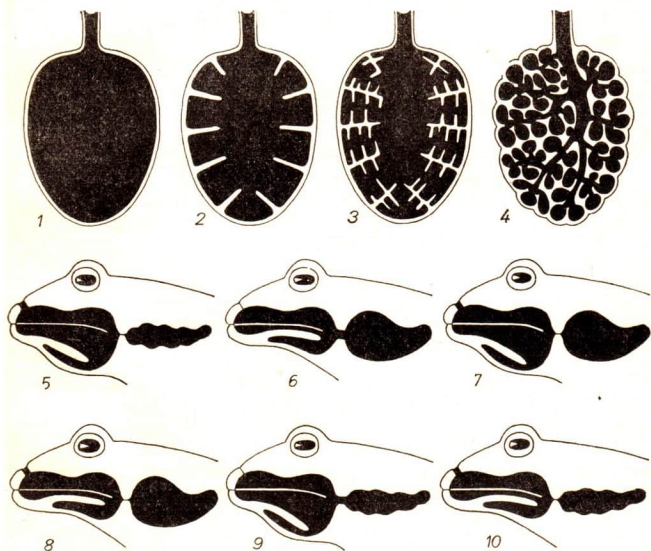


Abb. 17 Bau der Lungen bei Lurchen, Kriechtieren und Säugern (1 bis 4). Beziehungen zwischen Mundhöhlen- und Lungenatmung beim Frosch (5 bis 10)

Bei Vögeln und Säugern ist diese innere Kammerung der Lungen schließlich so weit fortgeschritten, daß die Atemorgane ganz und gar aus kleinen Bläschen aufgebaut sind (Abb. 17, 4).

#### **Aufgaben und Fragen**

1. Beobachten Sie die Mundhöhlenatmung eines Lurches bei wechselnder Temperatur und Luftfeuchtigkeit!
2. Stellen Sie Ihre Beobachtungsergebnisse in Form einer Tabelle und in einer graphischen Darstellung zusammen!
3. Vergleichen Sie Ihre Tabellen und Kurven mit denen Ihrer Klassenkameraden! Versuchen Sie, etwaige Unterschiede zu erklären!
4. Beobachten Sie, wie lange ein Lurch ohne Luftholen unter Wasser bleiben kann!
5. Weshalb hechelt ein Hund bei großer Hitze mit heraushängender Zunge, und weshalb geht unser Puls im Hochgebirge schneller als im Flachland?

#### **Blutkreislauf und Atmungsorgan der Wirbeltiere**

Alle Chordatiere besitzen einen geschlossenen Blutkreislauf. Das in den Blutgefäßen (Adern) fließende Blut transportiert Nährstoffe an die Orte ihres Verbrauchs (z. B. Muskeln) und sorgt gleichzeitig für den Abtransport der anfallenden Schlackenstoffe in aufbereitende und ausscheidende Organe (z. B. Leber und Nieren). In ähnlicher Weise befördert das Blut auch den Sauerstoff an die Orte seines Verbrauchs und sorgt für die Ableitung des Kohlendioxids. Deshalb steht die Ausbildung der Kreislauforgane bei allen Wirbeltieren in einer engen Wechselbeziehung zur Entwicklung der Atemorgane.

Im Verlaufe ihrer Stammesgeschichte sind die Chordatiere von der Kiemenatmung zur Lungenatmung übergegangen. Dabei haben sich auch ihre Kreislauforgane beträchtlich verändert. Weil noch heute Chordatiere aller bedeutungsvollen stammesgeschichtlichen Entwicklungsstufen leben, können wir die einzelnen Ausbildungsformen der Kreislauforgane genau untersuchen.

Die urchlichsten Kreislauforgane besitzt das Lanzettierchen (Abb. 18, 1 u. 2). Als Atmungsorgan dient der Kiemendarm. Zwischen dessen etwa 180 Paaren Kiemenspalten wird das Blut mit Sauerstoff angereichert. Das sauerstoffreiche Blut fließt über dem Kiemendarm in zwei Längsadern nach hinten. Hinter dem Kiemendarm vereinigen sich beide Längsadern zu einem unpaarigen Rückengefäß, das nach unten sich verzweigende Seitenadern abgibt. Diese bringen den im Blut gelösten Sauerstoff an die Organe heran, nehmen dafür das Kohlendioxid auf und münden sämtlich in ein Bauchgefäß ein, in welchem das Blut wieder nach vorn fließt. Es durchströmt zunächst ein enges Kapillarnetz in der Leber und gelangt schließlich wieder in die Kiemendarmregion. Hier gibt das Bauchgefäß Seitenadern ab, die zwischen den Kiemenspalten nach oben ziehen. Darin wird das Blut wieder mit Sauerstoff angereichert und gelangt, von muskulösen Anschwellungen der Kiemenadern vorwärts getrieben, abermals in die beiden dorsalen Längsadern. Hier beginnt der Kreislauf von neuem.

Auch bei den Fischen ist der Vorderdarm von Kiemenspalten durchbrochen (Abb. 18, 3 u. 4). Im Vergleich zum Lanzettierchen aber sind die Atemorgane viel

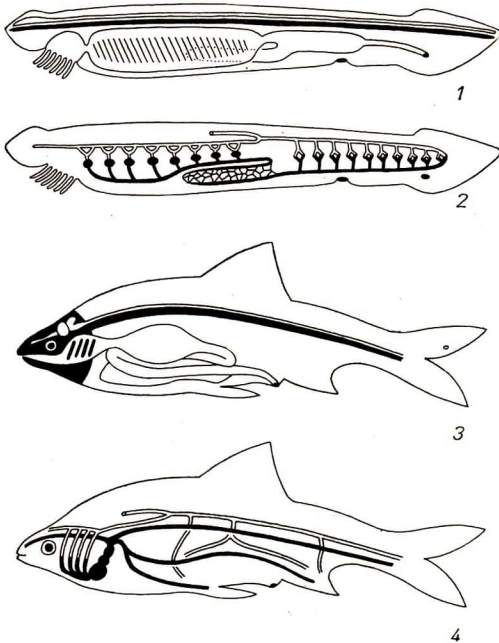


Abb. 18 Längsschnitte durch ein Lanzettierchen und eine Plötze. In 1 und 3 sind das Zentralnervensystem (weiß), das Achsenskelett (schwarz) und der Darm (mit Kiemenpalten) eingezeichnet. 2 und 4 zeigen das Kreislaufsystem; Adern mit venösem Blut schwarz, solche mit arteriellem Blut weiß.

stärker lokalisiert; der Kiemendarm nimmt nicht mehr fast die halbe Körperlänge ein und trägt jederseits statt etwa 180 höchstens 7 (meist 4) Kiemenpalten. Dieser Konzentrierung der Atemorgane entspricht die Ausbildung des Adernetzes, das eine Weiterentwicklung der Kreislauforgane des Lanzettierchens darstellt.

Die Bewegung des Blutes in den Adern besorgen beim Fisch nicht mehr muskulöse Anschwellungen der Kiemenadern. Als Motor des ganzen Kreislaufs dient das Herz, und es können zum Herzen hinführende (Venen) und vom Herzen kommende Blutgefäße (Arterien) unterschieden werden (Abb. 19, 1).



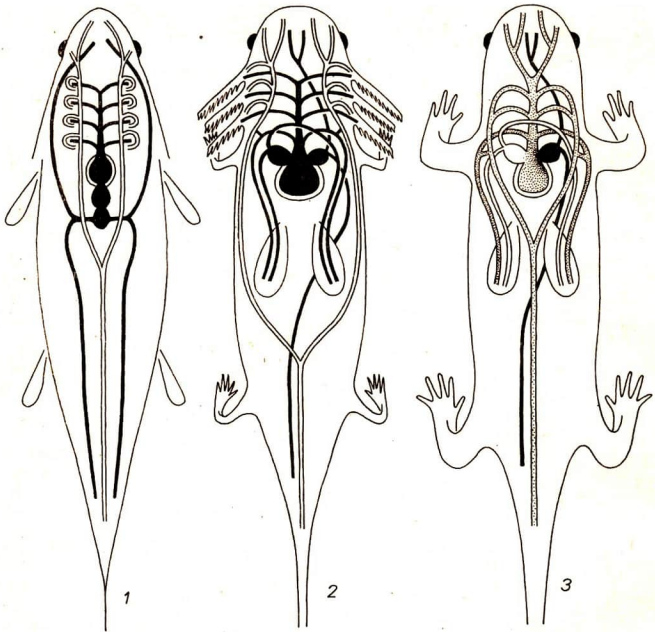


Abb. 19 Kreislauforgane der Fische, Amphibienlarven und Schwanzlurche (Rückenansichten)

Das Herz der Fische liegt unter und hinter dem Kiemendarm ventral gleich hinter dem Kopf. Es besteht aus vier hintereinander liegenden Abschnitten:

Hinten, in den Venensammelraum, münden alle Venen ein, die das sauerstoffarme Blut aus dem Körper zum Herzen zurückbefördern; dieses gelangt von hier aus in die schwach muskulöse Vorkammer des Herzens und weiter in die stark muskulöse Herzkammer, die als Pumpapparat dient und das Blut weiterleitet in das Herzrohr (Kiemenarterie), in dem Ventilkappen ein Zurückfließen des Blutes zum Herzen verhindern.

Zwischen den Kiemen gabelt sich die Kiemenarterie in meist vier paarige Äste. Ebensoviele Kiemenenen leiten das mit Sauerstoff angereicherte Blut in zwei dorsal

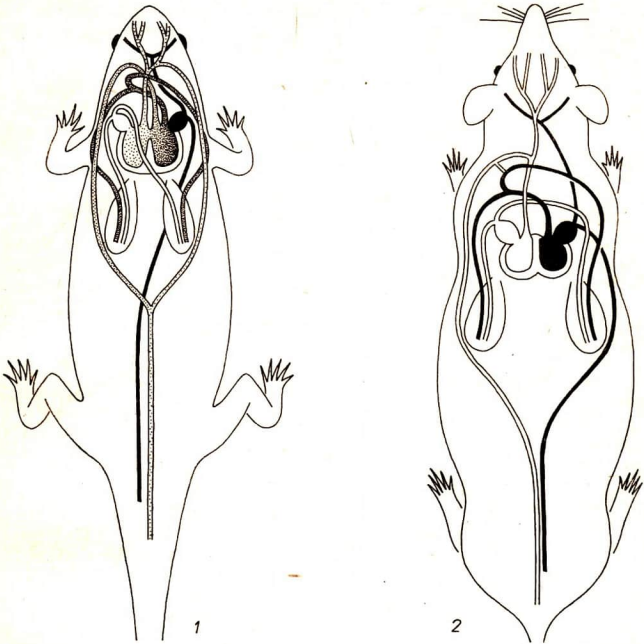


Abb. 20 Kreislauforgane der Kriechtiere und Säuger (Rückenansichten)

gelegene Aortenwurzeln, die sich weiter hinten zur Aorta vereinigen. Nach vorn geben die Aortenwurzeln je zwei Kopfarterien ab.

Alle landbewohnenden Wirbeltiere atmen durch Lungen. Deshalb sind bei ihnen ein Lungenkreislauf und ein Körperkreislauf entwickelt. Sauerstoffreiches (arterielles) und kohlendioxidreiches (venöses) Blut werden immer stärker gesondert, indem die einzelnen Abschnitte des Herzens in zunehmendem Maße gegeneinander abgegrenzt werden.

Dadurch kommt es schließlich zu der komplizierten Anordnung der Adern bei Vögeln und Säugetieren (Abb. 20, 2), die wir kaum noch aus dem übersichtlichen

Kreislauf der Fische herleiten können (Abb. 19, 1). Verständlich wird diese Entwicklung nur, wenn wir auch die Kreislauforgane der Lurche (Amphibien) und Kriechtiere betrachten.

Die Bezeichnung Amphibien kommt aus dem Griechischen und bedeutet so viel wie „die Doppel-lebigen“. „Doppelt“ leben diese Tiere auch wirklich. Als Larven sind sie wie die Fische kiemenatmende Wassertiere; erwachsen dagegen leben sie überwiegend auf dem Lande und atmen mit Lungen. Wenn die Larve in der Metamorphose die Kiemen abwirft und zum lungenatmenden Landleben übergeht, findet im Innern ein Umbau der Kreislauforgane statt (Abb. 31).

Die Blutgefäße der Amphibienlarven (Abb. 19, 2) sind ganz ähnlich angeordnet wie die der Fische, sofern man davon absieht, daß am Herzen der Venensammelraum fehlt und bereits zwei Vorkammern ausgebildet sind. Vorn führt das Herz jedoch immer noch in einen Arterienstamm, der sich in vier paarige Bögen gabelt. Davon sind die vorderen drei Paare noch wirkliche Kiemenarterien, während das vierte Paar bereits die Lungenarterien bildet, die allerdings noch nicht funktionieren, weil auch die Lungen selbst noch nicht arbeiten.

Nach der Metamorphose atmet der Lurch mit seinen Lungen. Jetzt beginnen die Lungenarterien zu arbeiten. Die funktionslos gewordenen vorderen Bogenpaare der Kiemenarterie münden nun gleich in die Aortenwurzeln ein (Abb. 19, 3).

Die Kreislauforgane erwachsener Lurche zeigen bereits den Grundbauplan der Kreislauforgane aller übrigen Landwirbeltiere. Ihre weitere Entwicklung erfolgt vornehmlich in zwei Richtungen:

die Herzkammer wird bei den Kriechtieren unvollkommen, bei den Vögeln und Säugern vollständig durch eine Mittelwand geteilt (Abb. 20, 1 u. 2); die zwei Paare Aortenbögen werden weiter zurückgebildet. Bei Kriechtieren ist davon nur das vorderste Paar ausgebildet. Bei Vögeln und Säugern geht sogar noch die Paarigkeit verloren, so daß nur ein rechter (Vögel) oder nur ein linker Aortenbogen (Säuger) entwickelt ist.

Die Tabelle auf Seite 25 soll die Entwicklung der Kreislauforgane in den einzelnen Klassen der Wirbeltiere noch einmal gegenüberstellend veranschaulichen.

Die Kreislauforgane liefern einen anatomischen Beweis für die Verwandtschaft der Wirbeltiere untereinander; das darin fließende Blut wird auch zu physiologischen Forschungen (Präzipitinreaktion) herangezogen.

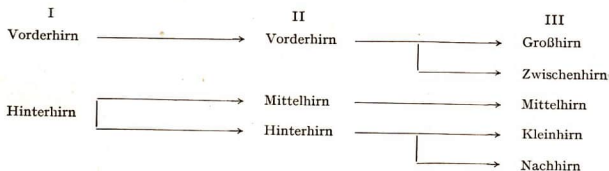
#### Aufgaben und Fragen

1. Wodurch wird in den verschiedenen Wirbeltierklassen die Trennung von venösem und arteriellem Blut erreicht?
2. Bei welchen Wirbeltieren fließt in Venen nur venöses und in Arterien nur arterielles Blut?
3. Enthalten Venen bzw. Arterien stets venöses bzw. arterielles Blut?
4. Zeigen Sie Beziehungen zwischen dem Bau der Kreislauforgane, der Leistungsfähigkeit des betreffenden Kreislaufsystems und der Körpertemperatur eines von Ihnen gewählten Wirbeltieres auf!
5. Stellen Sie in schematischen Zeichnungen den Kreislauf von Fisch, Lurch, Kriechtier und Säuger nebeneinander dar!

Fische	Larven der Lurche	erwachsene Lurche	Kriechtiere	Vögel	Säugetiere
1 Venensammelraum 1 Herzvorkammer 1 Herzkammer 1 Herzrohr	2 Herzvorkammern 1 Herzkammer 1 Herzrohr	2 Herzvorkammern 1 Herzkammer 1 Herzrohr	2 Herzvorkammern 1 unvollständig geteilte Herzkammer 3 Arterienstämme	2 Herzvorkammern 2 Herzkammern 3 Arterienstämme	2 Herzvorkammern 2 Herzkammern 2 Arterienstämme
4 paarige Kiemenarterien	3 paarige Kiemenarterien  1 paarige Lungenarterie	1 paarige Kopfarterie 2 paarige Aortenbögen 1 paarige Lungenarterie	1 paarige Kopfarterie 1 paariger Aortenbogen 1 paarige Lungenarterie	1 paarige Kopfarterie 1 rechter Aortenbogen 1 paarige Lungenarterie	1 paarige Kopfarterie 1 linker Aortenbogen 1 paarige Lungenarterie

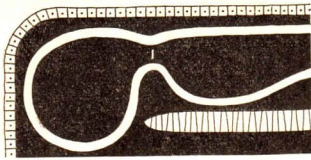
### Das Gehirn der Wirbeltiere

Beim Lanzettierchen endet das Rückenmarkrohr vorn mit einem Bläschen (Abb. 18, 1). Ebenso ist die erste Anlage des Gehirns bei allen Wirbeltierembryonen gestaltet (Abb. 21, 1). Sie entwickelt sich hier jedoch stets über ein zunächst dreiteiliges Stadium weiter zu einem Gehirn mit fünf hintereinanderliegenden Abschnitten (Abb. 21, 2 u. 3):

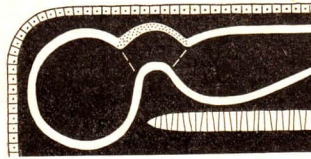


Das fünfteilige Gehirn ist für alle Wirbeltiere kennzeichnend. In den einzelnen Klassen allerdings sind diese fünf Abschnitte sehr unterschiedlich entwickelt (Abb. 21, 4 bis 6 u. Farbtafel 3). Das gilt vor allem für Großhirn, Mittelhirn und Kleinhirn. Diese Gehirnabschnitte haben in den einzelnen Wirbeltierklassen verschiedene Aufgaben zu erfüllen.

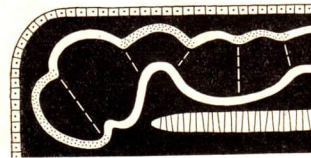
Das Großhirn ist bei Fischen kleiner als das Kleinhirn. Es dient hier nur als Riechhirn. Bei den Landwirbeltieren dagegen wird es zum Sitz der sogenannten Assoziationszentren, denen diese Tiere ihre „höheren geistigen Fähigkeiten“ verdanken. Deshalb ist das Großhirn hier stark vergrößert.



1



2



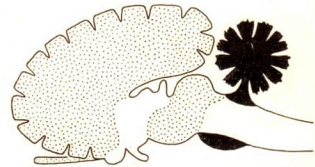
3



4



5



6

Abb. 21 Gehirnentwicklung der Wirbeltierembryonen in Längsschnitten (1 bis 3) und Längsschnitte durch die Gehirne erwachsener Fische, Kriechtiere und Säuger (4 bis 6)

Bei den höheren Säugetieren und beim Menschen ist es sogar in zwei Hälften (Hemisphären) geteilt und seine Oberfläche weist zahlreiche Faltungen in der Hirnrinde auf (Abb. 21, 6).

Das Mittelhirn ist ursprünglich das Zentrum des Sehvermögens. Bei den Kriechtieren, Vögeln und Säugern jedoch werden die optischen Eindrücke fast ausschließlich vom Großhirn verarbeitet, deshalb nimmt die Größe des Mittelhirns hier stetig ab (Abb. 21).

Das Kleinhirn ist bei den Fischen der größte Gehirnabschnitt. Es steuert und koordiniert die Muskelarbeit, ist also vor allem für die Körperbewegungen „zuständig“. Deshalb ist es auch bei den Vögeln gut entwickelt, die ebenfalls schnelle und komplizierte Bewegungen ausführen. Es ist hier aber niemals so groß wie das Großhirn.

Die restlichen beiden Abschnitte des Gehirns (Zwischenhirn und Nachhirn) sind bei allen Wirbeltieren fast gleichmäßig ausgebildet und haben überall auch fast die gleichen Aufgaben zu erfüllen.

Das Zwischenhirn steuert zusammen mit dem Mittelhirn die Augenbewegung und hält den Körper im Gleichgewicht. Außerdem übt es eine Reihe Sonderfunktionen aus: es steuert und regelt den Blutdruck, den Wasserhaushalt des Körpers, die Körperwärme, den allgemeinen Stoffwechsel und den Rhythmus zwischen Wachsein und Schlafen. Einzelne Teile dienen überdies als innersekretorische Drüsen bzw. als drüsenähnliche Organe (Hypophyse, Parietalaugle, Zirbeldrüse).

Das Nachhirn reguliert grundlegende Lebensfunktionen, wie die Atmung und den Kreislauf, es verarbeitet außerdem Geschmacksreize.

#### Aufgabe

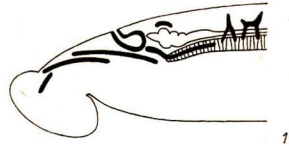
Nennen Sie Wirbeltiere, bei denen bestimmte Sinnesleistungen vorherrschend sind („Augentiere“, „Nasentiere“ usw.) und versuchen Sie, Beziehungen zum Bau des Gehirns zu finden!

Mit der Entwicklung des Gehirns steht bei den Chordatieren die Ausbildung eines Schädels, der das empfindliche Zentrum des Nervensystems schützend umgibt, in engem Zusammenhang.

Einfachste Schädelbildungen treten bei den fischähnlichen Rundmäulern oder Neunaugen (*Cyclostomata*) auf. Knorpelige Spangen und Platten am Vorderende der Chorda stützen das Gehirn hauptsächlich von unten und seitlich (Abb. 22, 1).

Bei den Haien und Rochen ist das Gehirn bereits völlig von ebenfalls noch knorpeligen Skelettstücken umgeben. Außerdem ist ein knorpeliger Kieferapparat (Ober- und Unterkiefer) entwickelt, der mit dem Schädel nur durch elastische Bänder verbunden ist. Hirnschädel und Gesichtsschädel sind also noch voneinander getrennt (Abb. 22, 2).

Alle übrigen Wirbeltiere besitzen eine rundherum vollständig geschlossene, knöcherne Schädelkapsel, an der Hirnschädel und Gesichtsschädel fest miteinander verbunden sind. Nur der Unterkiefer bleibt weiterhin frei bewegbar (Abb. 22, 3).



1



2



3

Abb. 22 Gehirn und Schädelausbildung bei Rundmäulern, Haien und Säugern

## Aufgaben und Fragen

1. Beschreiben und zeichnen Sie verschiedene Schädelformen der Wirbeltiere!
2. Zeichnen Sie schematische Seitenansichten verschiedener Wirbeltiere, aus denen die normale Kopfstellung und die Verbindung des Schädels mit der Wirbelsäule ersichtlich sind!
3. Zeichnen Sie verschiedene Gebißtypen bei Wirbeltieren!
4. Beschreiben Sie die Verankerung der Zähne am Kiefer bei Haien, Lurchen, Kriechtieren und Säugern!
5. Nennen Sie Wirbeltiere, bei denen die Augen und die Nasenlöcher eine verschiedene Stellung am Kopf innehaben! Erklären Sie, welche Auswirkungen diese Verschiedenheiten auf die Lebensweise und das Verhalten der betreffenden Tiere haben!

## Homologe Organe

Beim Flußkrebis tragen die Segmente des Hinterleibes gut ausgebildete Beine. Viele Raupen der Schmetterlinge besitzen ebenfalls Hinterleibsgliedmaßen, die aber stets stummelförmig sind. Bei den Webespinnen schließlich treten am Hinterleib niemals Gliedmaßen auf. Die für diese Tiere kennzeichnenden Atemorgane (Fächertracheen oder Buchlungen) und ihre Spinnwarzen entwickeln sich jedoch ebenfalls aus embryonalen Gliedmaßenanlagen des Hinterleibes (Abb. 23, 1 bis 3).

Die Hinterleibsbeine des Flußkrebises, die stummelförmigen Nachschieber der Schmetterlingsraupen und die Atemorgane und Spinnwarzen der Webespinnen entsprechen also einander, weil sie beim Embryo auf dieselbe Weise angelegt werden (Abb. 23, 4 bis 6). Solche Organe gleichen Ursprungs nennt man **homologe Organe**. Sie haben oft eine ganz verschiedene Funktion und deshalb auch ein sehr unterschiedliches Aussehen.

**Gliedmaßenskelett der Wirbeltiere.** Auch die paarigen Gliedmaßen der Wirbeltiere sind homologe Organe. Die Homologie ist hier noch am Skelett der fertig entwickelten Extremität eindeutig nachzuweisen. Im Bein eines Lurches oder einer Eidechse, im Flügel eines Vogels oder einer Fledermaus, in der Greifhand des Menschen, in der Grabschaukel eines Maulwurfes und in der Flosse eines Wales finden wir überall die gleichen Knochen (Farbtafel 1):

Vordergliedmaße	Hintergliedmaße
Oberarmknochen	Oberschenkelknochen
Elle und Speiche	Schien- und Wadenbein
Handwurzelknochen	Fußwurzelknochen
Mittelhandknochen	Mittelfußknochen
Fingerstrahlen	Zehenstrahlen

Von den Mittelhand- bzw. Mittelfußknochen an sind die Gliedmaßen der Wirbeltiere ursprünglich fünfstrahlig, doch können einzelne Finger- bzw. Zehenstrahlen teilweise oder vollständig rückgebildet sein (Lurche, Paarzeher, Pferde).

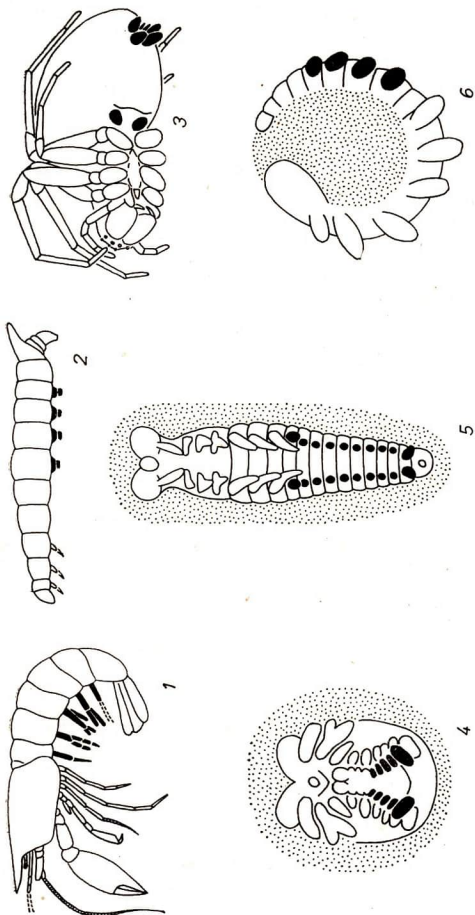


Abb. 23 Ausbildung und Umwandlung der Hinterleibssegmente beim Fließkrebs, einer Schmetterlingsraupe und einer Spinne (1 bis 3). Darunter jeweils die vollständig segmentierten Embryonen (4 bis 6); Hinterleibssegmente und deren embryonale Anlagen schwarz, Eidotter punktiert.



Der Aufbau der Gliedmaßenskelette beweist somit, daß die vierfüßigen Landwirbeltiere von gemeinsamen Vorfahren abstammen. Bereits die ältesten Landwirbeltiere (urtümliche Lurche aus dem Devon) besaßen ebensolche Gliedmaßenskelette wie die heute lebenden Formen.

Lange Zeit bereitete es große Schwierigkeiten, die fünfstrahlige Extremität der Landwirbeltiere aus der vielstrahligen paarigen Flosse der Fische abzuleiten. Heute wissen wir, daß diese vierstrahlige Fischflosse selbst eine Sonderentwicklung darstellt. Als Vorfahren der Landwirbeltiere kommen auch nicht die Fische schlechthin in Frage, sondern nur eine einzige Verwandtschaftsgruppe der Knochenfische: die Quastenflosser (*Crossopterygii*). Die Quastenflosser aber besaßen bereits ein deutlich fünfstrahliges Skelett in ihren Brust- und Bauchflossen; es fehlten ihnen lediglich die Finger bzw. Zehen. Wie sich allerdings dieses Flossenskelett aus der vielstrahligen paarigen Flosse der übrigen Fische entwickelt hat, ist auch heute noch nicht endgültig geklärt.

Bis vor etwa 30 Jahren galten die Quastenflosser als gänzlich ausgestorben; die paläontologisch jüngsten Funde stammten aus der Kreidezeit. Dann fand man erstmals vor der ostafrikanischen Küste aus knapp 100 m Meerestiefe heute lebende Formen. Diese Meeresbewohner stellen jedoch einen Seitenzweig der stammesgeschichtlichen Entwicklung dar. Die paläozoischen Quastenflosser-Ahnen der Landwirbeltiere lebten ganz überwiegend in zeitweilig austrocknenden tropischen Binnengewässern. Wenn solch eine Austrocknung des Wohngewässers bevorstand, krochen sie vermutlich über Land zum nächsten Tümpel, der noch genug Wasser führte. Fand sich kein geeignetes Wohngewässer mehr, gruben sie sich offenbar in den Bodenschlamm des ausgetrockneten Tümpels ein und atmeten die Trockenzeit hindurch atmosphärische Luft. Der Bau ihrer Schwimmblase und das Vorhandensein eines Nasenrachenganges (Choane) ermöglichte diese zeitweilige Umstellung von Kiemen- auf Lungenatmung. Das gelegentliche Über-Land-Kriechen jedoch könnte der „Umweltreiz“ gewesen sein, der die Ausbildung einer fünfstrahligen Extremität veranlaßt hat. Lebensweise und Körperbau bilden also auch hier einen engen Zusammenhang und beeinflussen sich gegenseitig.

In den einzelnen Klassen der Wirbeltiere sind die homologen Gliedmaßenskelette verschiedentlich abgewandelt, wenn man die Einzelheiten ihres Bauplanes vergleicht. Als Beispiel dafür kann das Flügelskelett der seit Jahrmillionen ausgestorbenen Flugsaurier, der Vögel und Fledermäuse dienen. Überall bilden die Vordergliedmaßen die Flügel. Die Flügel werden aber auf ganz verschiedene Weise gespannt (durch verschiedene Knochen des Armskeletts; Farbtafel 1).

### Aufgaben und Fragen

1. Betrachten Sie die Farbtafel 1 Ihres Lehrbuches!  
Erläutern Sie, welche Knochen bei den einzelnen Gliedmaßen stark rückgebildet oder besonders auffällig entwickelt sind!
2. Vergleichen Sie den Bau und die Entwicklung von Vorder- und Hintergliedmaßen bei verschiedenen Wirbeltieren mit unterschiedlicher Lebensweise!
3. Versuchen Sie, die dabei gefundenen Bauplanunterschiede durch die jeweilige Lebensweise zu erklären!

4. Suchen Sie Beziehungen zwischen der Größe der Hand- bzw. Fußfläche, mit der Wirbeltiere beim Laufen auftreten, und der Laufgeschwindigkeit dieser Tiere!
5. Vergleichen Sie Bewegungsformen und Gliedmaßenbau bei verschiedenen Wirbeltieren, und erläutern Sie Ihre Beispiele sehr ausführlich! Ziehen Sie auch heute ausgestorbene Tierformen zum Vergleich mit heran!

**Schwimmbase und Lunge der Wirbeltiere.** Die Atemorgane entstehen bei allen Wirbeltieren embryonal aus einer paarigen Ausstülpung und Abschnürung des Vorderdarmes (Abb. 24, 1 u. 2). Beim fertig entwickelten Wirbeltier liegen die beiden Lungenflügel stets unter dem Darm (ventral).

Die Fische besitzen als Atemorgane Kiemen. Manche Arten, wie beispielsweise die Lungenfische (*Dipnoi*) in Afrika, Südamerika und Australien können in ihren Schwimmbasen auch atmosphärische Luft veratmen. Normalerweise jedoch dient die Schwimmbase als Schwebelinne, die einen Aufenthalt in unterschiedlichen Wassertiefen ermöglicht. Embryonal entsteht die Schwimmbase ebenfalls als (unpaarige) Ausstülpung des Vorderdarmes. Beim fertig entwickelten Fisch liegt sie aber immer über dem Darm (dorsal; Abb. 24, 5 u. 6).

Bei den lungenatmenden Wirbeltieren kommt die enge Beziehung zwischen dem Vorderdarm und den Atemorganen noch darin zum Ausdruck, daß beide Organe dicht nebeneinander in die Mundhöhle einmünden (Speiseröhre und Luftröhre). Auch bei manchen Fischen (Hecht und Karpfen) steht die Schwimmbase zeitlebens durch einen Gang mit dem Darm in Verbindung (Abb. 24, 5). Bei anderen Fischen dagegen ist dieser Verbindungsgang nicht ausgebildet; die Schwimmbase liegt völlig isoliert und abgeschlossen über dem Darm (Barsch und Stichling; Abb. 24, 6).

Weil Lungen und Schwimmbasen auf die gleiche Weise (als Ausstülpungen des Vorderdarmes) entstehen, handelt es sich hierbei ebenfalls um homologe Organe. Die

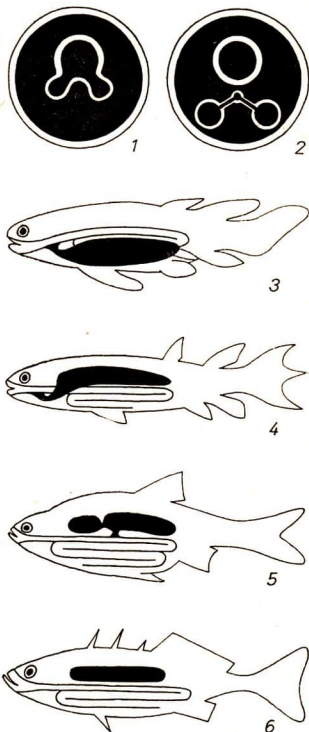


Abb. 24 Embryonale Entstehung der Wirbeltierlunge (1 und 2), Verlagerung der lungenähnlichen Schwimmbase bei Quastenflossern des Erdalters (3 und 4) und Lage der Schwimmbase bei heute lebenden Knochenfischen (5 und 6)

mit ihrer Schwimmblase (wenigstens zeitweilig) auch atmenden Lungenfische be- weisen sogar die ursprünglich gleiche Funktion dieser homologen Organe.

Gerade die heute lebenden Lungenfische tropischer Länder haben lange Zeit hin- durch die Versuche zur Erklärung stammesgeschichtlicher Vorgänge irregeleitet. Früher glaubte man nämlich, daß die Lungen von den Schwimmblasen der Fische abzuleiten sind, weil die Lungenfische ihre Schwimmblasen mitunter wie Lungen benutzen. Heute wissen wir, daß Schwimmblasen und Lungen homologe Organe sind, ja daß wahrscheinlich sogar die Schwimmblasen aus primitiven Lungen entstanden sind. Bei den als Vorfahren der Landwirbeltiere in Frage kommenden ausgestor- benen Quastenflossern nämlich lag das gleichzeitig als Lunge und Schwimmblase dienende, paarige Organ ventral vom Darm und war durch einen offenen Verbindungs- gang mit dem Darm verbunden (Abb. 24, 3). Dorsal wanderte die Schwimmblase erst im Verlaufe ihrer Stammesgeschichte. Dabei ist die Schwimmblase zunächst unpaarig geworden und hat sich dorsal verlagert, während ihr Verbindungsgang noch ventral in den Darm einmündete (Abb. 24, 4). Später verlagerte sich auch diese Einmündung dorsal (Abb. 24, 5).

Solche Verlagerungen von Organen sind oftmals zu beobachten, sie können deshalb für die Charakterisierung homologer Organe nicht von ausschlaggebender Bedeutung sein. Als Beispiel seien nur die Flunder, die Scholle und der Steinbutt genannt. Alle drei Arten sind in der Jugend normal gebaute Fische mit einem rechten und einem linken Auge. Erst wenn sie zur ständigen Lebensweise am Meeresboden übergehen, wird die eine Körperseite zur Ober- und die andere zur Unterseite. Dann erst wandert auch das eine Auge zur ursprünglich anderen Körperseite über, so daß beim fertig entwickelten Fisch beide Augen scheinbar an der Oberseite des Körpers liegen.

#### Aufgaben und Fragen

1. Wie verhalten sich Fische mit unterschiedlich ausgebildeten Schwimmblasen, wenn sie plötzlich ganz verschiedenen Druckverhältnissen ausgesetzt werden?  
Erklären Sie, weshalb viele Fischarten, die dauernd in der Tiefsee oder am Meeresboden leben, überhaupt keine Schwimmblase besitzen?
3. Welche Beziehungen bestehen zwischen dem 4. Paar Kiemenarterien der Fische und den Lungenarterien der Landwirbeltiere? Begründen Sie Ihre Ansicht ausführlich!
4. Weshalb ertrinken Lurchlarven nach erfolgter Metamorphose, sofern man ihnen im Aqua- rium nicht die Möglichkeit bietet, das Wasser zu verlassen?

#### Analoge Organe

Homologe Organe sind stets gleichen Ursprungs (werden embryonal auf dieselbe Weise angelegt), dienen aber vielfach ganz verschiedenen Aufgaben. Wesentliches Kennzeichen ist der gleiche (embryonale) Ursprung. Er deutet bereits an, daß solche Organe überwiegend bei Tieren auftreten, die miteinander verwandt sind (von denselben Vorfahren abstammen). Bei nicht miteinander verwandten Tieren dagegen treten oftmals Organe auf, die die gleiche Funktion haben, jedoch verschiedenen Ursprungs sind. Solche Organe nennt man **analoge Organe**.

Vögel und Insekten fliegen mit als Tragflächen dienenden Flügeln. Die Flügel beider Tiergruppen sind aber analoge Organe. Während die Vogelflügel umgewandelte Vordergliedmaßen sind, stellen die Insektenflügel eine doppelwandige Hautausstülpung des Mittel- und Hinterbruststückens dar.

Auch die auffälligen Grabschaukeln des Maulwurfs und der Maulwurfsgrille sind analoge Organe (Abb. 25). Das ist vielleicht nicht ohne weiteres einzusehen, weil es sich in beiden Fällen um die umgestalteten Vordergliedmaßen handelt. Säugetiere und Insekten sind jedoch nicht miteinander verwandt, sie haben verschiedene stammesgeschichtliche Vorfahren. Deshalb können auch ihre Gliedmaßen nicht homolog (gleichen Ursprungs) sein.

Mitunter sind zu vergleichende Organe gleichzeitig homolog und analog. Das ist bei den Flügelbildungen der Wirbeltiere der Fall. Nach ihrem Skelett sind die Flügel der Flugsaurier, Vögel und Fledermäuse homologe Organe. Alle werden von den gleichen – allerdings unterschiedlich entwickelten – Knochen der Vordergliedmaßen gestützt und gespannt. Vergleicht man jedoch auch die Flügelflächen, so sind nur die Flugorgane der Flugsaurier und Fledermäuse homolog, weil ihre Tragflächen von der enorm vergrößerten und zwischen den Fingerknochen ausgespannten Haut der Körperseiten gebildet werden. Im Vogelflügel dagegen bilden Schwungfedern die Flügelfläche, die an Unterarm und Mittelhandknochen ansetzen. Deshalb handelt es sich hierbei um eine zu den Flügeln der Flugsaurier und Fledermäuse analoge Bildung (Farbtafel 1).

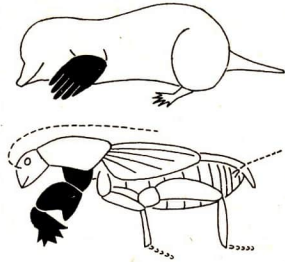


Abb. 25 Maulwurf und Maulwurfsgrille in Seitenansichten

### Aufgaben und Fragen

1. Sind die verschiedenen Typen der Mundwerkzeuge bei Insekten homologe oder analoge Organe? Begründen Sie Ihre Ansicht ausführlich (Zeichnungen)!
2. Handelt es sich bei den folgenden Vergleichen um homologe oder analoge Organe?
  - a) Tracheen der Gliederfüßer – Lungen der Wirbeltiere;
  - b) Fischschuppen – Eidechschuppen;
  - c) Eidechschuppe – Vogelfeder.
3. Vergleichen Sie die Kiemen im Wasser lebender Wirbelloser und Wirbeltiere! Stellen Sie fest, wo homologe und analoge Kiemenbildungen auftreten! Zeichnen Sie schematisch die Lage und Anordnung der Kiemen bei den von Ihnen gewählten Beispielen und bringen Sie durch Verwendung verschiedener Farben alle Homologien und Analogien zum Ausdruck!

## Konvergenzen und Divergenzen

Das Auftreten analoger Organe stellt stets eine Anpassung an gleichartige Lebensweisen (Umweltfaktoren) dar. So wird verständlich, daß Tiere verschiedener Verwandtschaftsgruppen mit gleichartiger Lebensweise oft einander sogar zum Verwechseln ähnlich sehen. Derartige äußerliche Ähnlichkeiten nennt man **Konvergenzen**. Konvergenzen sind als Parallelentwicklungen bei nicht miteinander verwandten Tiergruppen unabhängig voneinander entstanden.

Maulwurf und Maulwurfsgrille leben unterirdisch grabend, beide verwenden als Grabschaufeln ihre Vordergliedmaßen (Abb. 25). Deshalb sind diese Vordergliedmaßen auch in gleicher Weise umgebildet, und dadurch wiederum entsteht die äußerliche Ähnlichkeit zwischen dem Insekt und dem Säugetier. In diesem Fall betrifft die Konvergenz nur ein Organ.

In anderen Fällen führt eine tiefere Konvergenz mitunter sogar zur fast völligen Übereinstimmung in der äußeren Körpergestalt. Beispiele dafür bieten die Funktionsgestalten des Fisches und des Wurm.

Die Fischgestalt ist im Verlaufe der Stammesgeschichte bei den Chordatiern mehrmals unabhängig voneinander ausgebildet worden: beim Lanzettierchen, bei den Fischen selbst, bei Kriechtieren (Fischsaurier), Säugetieren (Wale) und zu einem gewissen Grade auch bei den Vögeln (Pinguine). Überall stellt sie die zweckmäßigste Anpassung der Körperform an ein dauerndes schnelles Schwimmen dar (Abb. 26).

Ähnlich verhält es sich mit der Wurmgestalt, die als eine vorzügliche Anpassung an das Kriechen auf und in der Erde anzusehen ist. Auch sie ist unabhängig voneinander bei den verschiedenen Tiergruppen entstanden: bei mehreren Stämmen wirbelloser Tiere, bei Fischen (Aal), Lurchen (Blindwühlen) und Kriechtieren (Schlangen).

Daß es sich bei den genannten Gestaltstypen um analoge Funktionsgestalten des Schwimmens und Kriechens handelt, ist erst verhältnismäßig spät erkannt worden. Noch vor wenigen Jahrzehnten hat man in der übereinstimmenden Körperform einen äußerlichen Ausdruck enger Verwandtschaft gesehen. Deshalb gab es früher

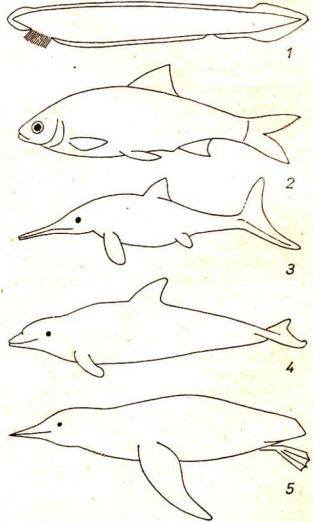


Abb. 26 Fischgestaltige Wirbeltiere

einen Tierstamm „Würmer“, der inzwischen in mindestens acht verschiedene Tierstämme aufgelöst wurde, und deshalb gab es früher auch eine Klasse „Fische“, aus der im heute gebräuchlichen System drei verschiedene Klassen der Wirbeltiere gebildet wurden (s. S. 127 ff.).

Auch homologe Organe werden in Anpassung an die Lebensweise verändert (umgestaltet). Weil hier aber stets ein aus gleichem Ursprung hervorgehender Grundtyp des betreffenden Organs in Anpassung an teilweise sehr verschiedenartige Lebensweisen (Umweltfaktoren) in ganz verschiedenen Richtungen abgewandelt oder weiterentwickelt wird, spricht man von **Divergenzen**. Divergenzen sind also verschiedenartige Weiterentwicklungen eines und desselben Organs innerhalb einer Verwandtschaftsgruppe von Tieren.

Die Greifhand des Menschen, das Grabbein des Maulwurfs, der Flügel einer Fledermaus und die Flosse eines Wales sind bekannte Beispiele für divergente Entwicklung eines Organs. Mit den Hinterleibsgliedmaßen der Krebse und den Fächertracheen beziehungsweise Spinnwarzen der Webspinnen haben wir ein weiteres Beispiel bereits früher kennengelernt (Farbtafel 1 und Abb. 23).

#### Aufgaben und Fragen

1. Suchen Sie weitere Beispiele für Konvergenzen und Divergenzen!
2. Vergleichen Sie Höhlen-, Wüsten- und Tiefseebewohner aus möglichst vielen verschiedenen Tiersippen. Welche für den jeweiligen Lebensraum kennzeichnenden und häufigen Konvergenzen können Sie feststellen? Zeigen Ihre Beispiele auch Divergenzen zu normal gestaltigen Vertretern derselben Tiersippen aus weniger extremen Lebensräumen?
3. Nennen Sie Konvergenzerscheinungen bei Parasiten!

#### Rudimentäre Organe

Wo Organe im Verlaufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung rückgebildet wurden oder sogar gänzlich verlorengegangen sind, bleiben oft noch Reste erhalten, die die frühere Existenz dieser Organe beweisen. Solche Organreste nennt man **Rudimente**.

Wale, fußlose Eidechsen (Blindschleichen) und Riesenschlangen besitzen im hinteren Abschnitt ihrer Wirbelsäule noch einen Beckenrest. Er beweist, daß diese Tiere durchweg von vierfüßigen Vorfahren abstammen (Abb. 27).

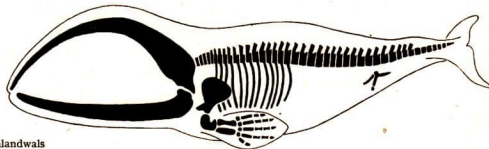


Abb. 27 Skelett eines Grönlandwals

Unter den Huftieren haben die Paarzeher nur 2, die Unpaarhufer sogar nur 1 Zehe (Finger) voll ausgebildet. In beiden Sippen sind jedoch neben diesen entwickelten Zehen noch Reste der beiden einstmals benachbarten Zehen vorhanden (Griffelbeine der Pferde, Afterklauen der Schweine). Sie beweisen, daß diese Tiere Vorfahren mit fünfstrahligen Extremitäten hatten.

Am hinteren Ende der Wirbelsäule des Menschen bilden 3 oder 4 verkümmerte Wirbel das Steißbein, das den Rest des rückgebildeten Schwanzes darstellt. Es beweist, daß der Mensch und die Affen auf gemeinsame tertiäre Vorfahren zurückgehen.

Bei Straußen, Kiwis und anderen flugunfähigen Laufvögeln sind die Flügel zwar noch vorhanden und ganz normal gebaut, jedoch so klein, daß diese Tiere damit nicht mehr fliegen können. Die Rudimentation ist hier also nicht so weit fortgeschritten wie beim Steißbein des Menschen oder beim Beckenrest der Wale. Immerhin beweisen die verkümmerten Flügel, daß die flugunfähigen Strauße von fliegenden Vorfahren abstammen.

In einigen Fällen können wir bei heute lebenden Tieren alle Stufen der Rückbildung eines Organs beobachten. Unter den einheimischen Laufkäfern der Gattung *Carabus* gibt es Arten, deren Weibchen stets flugunfähig sind, deren Männchen aber zu einem gewissen Prozentsatz noch fliegen können. Untersucht man nun eine hinreichend große Anzahl solcher Männchen, so findet man unter ihren Flügeldecken die häutigen (allein zum Fliegen geeigneten) Hinterflügel in allen nur denkbaren Ausbildungsformen. Einige Männchen besitzen normal entwickelte Flügel mit kompletter Aderung. Bei anderen dagegen sind diese Flügel zu kaum erkennbaren, winzigen und aderlosen Schuppen rückgebildet. Dazwischen findet man zahlreiche Übergangsstadien. Diese Arten scheinen gerade im Begriffe zu stehen, auch im männlichen Geschlecht ihr Flugvermögen gänzlich zu verlieren.

• Gelegentlich werden rudimentäre Organe unter ganz normalen Bedingungen plötzlich wieder voll ausgebildet. So werden beispielsweise gelegentlich Pferdefohlen geboren, die an einem Bein 2 oder sogar 3 Hufe tragen (Abb. 28). Oder es werden Schollen gefangen, die auf beiden Körperseiten gefärbt sind. Im Experiment lassen sich derartige Erscheinungen häufiger hervorrufen. Künstlich kann man sogar vierflügelige Taufliegen (*Drosophila*) züchten; das beweist, daß die Schwingkölbchen der Fliegen das umgewandelte hintere Flügelpaar dieser Tiere verkörpern.

Man nennt solche „Rückschläge“ der Entwicklung **Atavismen**. In der Stammesgeschichte traten des öfteren Atavismen auf. Um einen Atavismus handelt es sich beispielsweise auch, wenn sich aus Quastenflossern Lurche und daraus eidechsenähnliche Kriechtiere entwickeln, die dann neuerlich ins Meer zurückkehren und sich dem ständigen Schwimmleben im Wasser derart anpassen, daß sie sogar wieder eine Fischgestalt annehmen (Fischsaurier, Wale unter den Säugern; Abb. 26).



Abb. 28 Atavistischer Pferdehuf

## Aufgaben und Fragen

1. Nennen Sie weitere Beispiele für Rudimentationen! Wie weit lassen sich Ihre Beispiele aus der Lebensweise der betreffenden Arten erklären?
2. Vergleichen Sie in möglichst mehreren Tiergruppen freilebende und parasitische Arten! Untersuchen Sie, ob bei den von Ihnen gewählten Parasiten rudimentäre Organe auftreten und möglicherweise auch Neuerwerbungen gegenüber den freilebenden Verwandten!
3. Welche rudimentären Organe kennen Sie beim Menschen? Begründen Sie Ihre Ansicht ausführlich!

## Homologe, analoge und rudimentäre Organe bei Pflanzen

Alle in den letzten vier Abschnitten behandelten Erscheinungen lassen sich auch bei Pflanzen beobachten und feststellen. Durch vergleichende Untersuchungen können dabei oftmals ebenfalls stammesgeschichtliche Zusammenhänge aufgeklärt werden.

Die Farne und die Samen- oder Blütenpflanzen bestehen aus der Wurzel und dem in Stengel und Blätter gegliederten Sproß. Von Umbildungen können sämtliche genannten Teile betroffen werden.

Homologe Organe sind beispielsweise alle normal entwickelten oder umgewandelten Blätter, also sämtliche Laub- und Blütenblätter (Kelch-, Kron-, Staub- und Fruchtblätter), sowie alle Blatt-ranken und Blattdornen (Abb. 29).

Analoge Organe liegen vor, wenn Gebilde ganz ähnlichen Baues und gleicher Funktion bei einzelnen Pflanzengruppen aus ganz verschiedenen Grundformen entstanden sind. Beispielsweise können Dornen und Ranken aus Umbildungen von Wurzeln, Stengelteilen oder Blättern entstehen, und Knollen können ebenso von Teilen der Wurzel wie des Stengels gebildet werden (Abb. 29).

Auch für Konvergenzen und Divergenzen liefern die Pflanzen zahlreiche gute Beispiele. Beides zusammen können wir bei den Wolfsmilch-arten beobachten (Abb. 30). Unsere einheimischen Vertreter sind krautige, grüne Pflanzen. Viele afrikanische Arten dagegen tragen nur wenige verkümmerte Blätter, während die

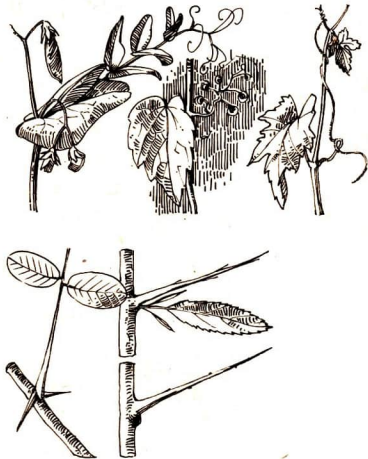


Abb. 29 Homologie und Analogie bei Pflanzen



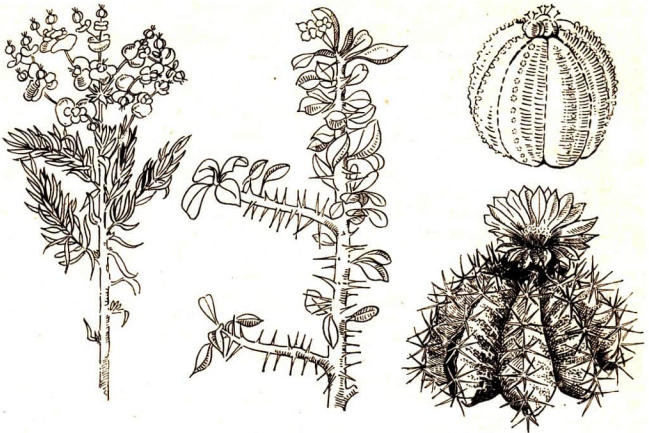


Abb. 30 Konvergenzen bei Wolfsmilchgewächsen. Rechts unten zum Vergleich ein Kaktus

meisten Blätter zu spitzen Dornen umgewandelt sind, sie geben ein Beispiel für divergente Entwicklung der Blätter.

Andere afrikanische Wolfsmilcharten besitzen überhaupt keine Blätter mehr. Die Assimilation wird vom dickfleischigen Stengel selbst besorgt. Dieser Stengel ist vielfach säulen- oder kugelförmig und oft noch mit Stacheln besetzt (Abb. 30). Dadurch sehen diese Arten äußerlich amerikanischen Kakteen zum Verwechseln ähnlich (ein Beispiel für Konvergenz!).

Die afrikanischen Wolfsmilcharten liefern mit ihrer zunehmenden Reduktion der Blätter zugleich ein Beispiel für rudimentäre Organe bei Pflanzen. Noch besser zeigen manche einheimischen Braunwurzgewächse diese Erscheinung in ihrem Blütenbau:

- |   |             |
|---|-------------|
| Blüte fünfstrahlig, mit 5 Staubblättern:          | Königskerze |
| Blüte zweiseitig-symmetrisch mit 4 Staubblättern: | Löwenmaul   |
| mit 2 Staubblättern:                              | Ehrenpreis  |

Beim Gnadenkraut sind zwar 4 Staubblätter ausgebildet, doch tragen davon nur 2 Staubbeutel. Das Vorhandensein der beiden übrigen Staubblattrudimente könnte man sich ohne die aufgeführte stammesgeschichtliche Entwicklungsreihe überhaupt nicht erklären.

## Tatsachen aus der Ontogenie

Kann die vergleichende Anatomie auf manche Fragen der Evolution Antwort geben, so ist dies erst recht von der Embryologie zu erwarten. Indem die Embryologie die individuelle Entwicklung vom befruchteten Ei zum fertigen Tier (Ontogenese) verfolgt, erforscht sie die Entstehung eines einzelnen tierischen Bauplanes. Gleichzeitig kann sie aber auch einander entsprechende Entwicklungsstadien verschiedener Tiergruppen miteinander vergleichen. Im Zusammenwirken beider Untersuchungsmethoden besteht der eigentliche Wert dieser Forschungsrichtung für die Beantwortung stammesgeschichtlicher Fragen.

### Die Biogenetische Grundregel

Zwischen der Embryonalentwicklung und der Stammesgeschichte besteht ein enger Zusammenhang. Bei den meisten Tiergruppen zeigt nämlich wenigstens die Ausbildung der Körpergrundgestalt, wie der betreffende Bauplan einstmals im Verlaufe von Jahrmillionen entstanden ist. Die Individualentwicklung (Ontogenese) spiegelt also in ihren Grundzügen vielfach die Stammesentwicklung (Phylogenese) wider. Auf diesen Umstand hat zuerst ERNST HAECKEL hingewiesen, als er 1866 seine „Biogenetische Grundregel“ formulierte:

„Die Ontogenese ist die kurze und schnelle Rekapitulation der Phylogenese, bedingt durch die physiologischen Funktionen der Vererbung (Fortpflanzung) und Anpassung (Ernährung). Das organische Individuum wiederholt während des raschen und kurzen Laufes seiner individuellen Entwicklung die wichtigsten von denjenigen Formveränderungen, welche seine Voreltern während des langsamen und des langen Laufes ihrer paläontologischen Entwicklung nach den Gesetzen der Vererbung und Anpassung durchlaufen haben.“

Die Biogenetische Grundregel erklärt beispielsweise auch die Entwicklungsweise der Frösche und Kröten (Abb. 31). Ihre Kaulquappen sind vollständig an das Wasserleben angepaßt. Insbesondere durch die Kiemen und den Ruderschwanz erinnern diese Kaulquappen schon äußerlich an Fische, aus denen sich vor Hunderten von Jahrmillionen die ersten Landwirbeltiere entwickelt haben. Dieser Umwandlungsprozeß aber, der selbst Jahrmillionen gedauert hat und aus kiemenatmenden Fischen Quastenflosser und später Urlurche entstehen ließ, ist bei heute lebenden Froschlurchen auf die wenigen Tage der Metamorphose zusammengedrängt. Den tiefgreifenden Umbau der Kreislauforgane, der mit dem Übergang vom Wasserleben (Kiemenatmung) zum Landleben (Lungenatmung) verbunden ist, haben wir bereits ausführlich behandelt.

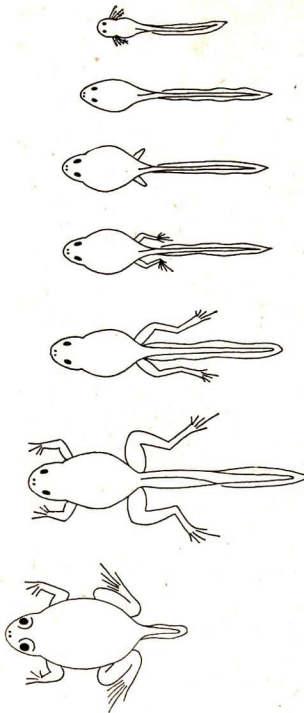


Abb. 31 Metamorphose eines Frosches

Unter den Vorfahren der heutigen Insekten lebten sicherlich keine zeitlebens als Puppe. Vielmehr handelt es sich hier um eine Sonderbildung, die den Umbau des einfachen Larvenkörpers in den viel komplizierteren Körperbau der Vollkerfen ermöglicht. Außerdem werden im Puppenstadium oft besonders ungünstige Jahreszeiten überlebt (Trockenheit, Kälte).

Solchen Ausnahmefällen stehen viele andere gegenüber, bei denen gerade mit Hilfe der Biogenetischen Grundregel Verwandtschaftsverhältnisse zwischen Tiergruppen aufgeklärt werden konnten.

Jahrzehnte hindurch wurde HAECKELS Erkenntnis fälschlicherweise als „Biogenetisches Grundgesetz“ bezeichnet. Es ist aber in Wirklichkeit eine Grundregel, weil es auch zahlreiche Ausnahmen von dieser Regel gibt. Bei einigen Tiergruppen nehmen nämlich spezialisierte Sonderprozesse im Entwicklungsablauf einen so breiten Raum ein, daß dadurch die phylogenetischen Überlieferungen weitgehend verdeckt oder zumindest stark verwischt werden. Darauf hat bereits HAECKEL selbst hingewiesen, indem er an anderer Stelle sagt:

„Die Keimesentwicklung ist eine gedrängte und verkürzte Wiederholung der Stammesentwicklung, die Wiederholung ist um so vollständiger, je mehr durch beständige Vererbung die ursprüngliche Ausgangsentwicklung beibehalten wird; hingegen ist die Wiederholung um so unvollständiger, je mehr durch wechselnde Anpassungen die spätere Störungsentwicklung eingeführt wird.“

In manchen Fällen werden nicht alle wichtigen Stadien der Phylogenese wiederholt. So treten etwa im Schnabel der Vogelembryonen niemals Zähne auf, obwohl das wichtigste Bindeglied zwischen den Kriechtieren und Vögeln (der Urvogel *Archaeopteryx*) Zähne besaß.

In anderen Fällen sind bedeutsame Erscheinungen der Individualentwicklung überhaupt nicht als stammesgeschichtliche Überlieferung zu deuten. Das gilt beispielsweise für das Puppenstadium der Insekten mit vollständiger Verwandlung.

Heute besteht kein Zweifel daran, daß der Tierstamm Ringelwürmer eine uralte Tiergruppe verkörpert. Im Verlaufe der Stammesgeschichte sind aber aus den ausgestorbenen Vorfahren der heute lebenden Ringelwürmer auch ganz anders gebaute Tierformen entstanden, die im modernen System als selbständige Tierstämme geführt werden, wie beispielsweise die Weichtiere und die Stachelhäuter. Daß jedoch die Weichtiere und Stachelhäuter mit den Ringelwürmern verwandt sind, beweist eben die Biogenetische Grundregel. Beide Tierstämme besitzen nämlich Larvenformen, die als weiterentwickelte und abgewandelte Reifenträgerlarven (Trochophora) der Ringelwürmer aufzufassen sind (Abb. 32).

Manche Tiere können überhaupt nur dank ihrer typischen Larven an der richtigen Stelle im System eingeordnet werden, weil sie als Erwachsene ganz erheblich vom Körperbau ihrer nächsten Verwandten abweichen. Das ist beispielsweise bei manchen Krebsen der Fall (Abb. 33).

Entenmuscheln (Abb. 33, 2) und Seepocken (Abb. 33, 3) leben festsitzend im Wasser und strudeln mit rankenartig zwischen ihren Schalen hervorgestreckten Gliedmaßen die Nahrung herbei. Nach ihrem äußeren Bau hielt man diese Tiere lange Zeit für Weichtiere (Muscheln). Überhaupt keiner bestimmten Tiergruppe zuordnen konnte man lange Zeit die Wurzelfüßer, die parasitisch an und in Krabben leben. Ihr Körper besteht aus 2 Teilen: Außen an der Bauchseite des Wirtshinterleibes haftet ein etwa 10 mm langer ungliederter Sack, von dem ein Wurzelgeflecht ausgeht, das wie ein Pilzmyzel den ganzen Körper des Wirtes bis in die Antennen hinein durchzieht (Abb. 33, 4).

Die Zugehörigkeit zu bestimmten Tiergruppen stand bei allen drei Vertretern erst fest, als ihr Entwicklungsgang erforscht war. Dabei entdeckte man ihre Larven, die birnförmig gestaltet sind und je 1 Stirnauge sowie 3 Paar Gliedmaßen besitzen (Abb. 33, 6 bis 8). Dieser Nauplius aber ist die

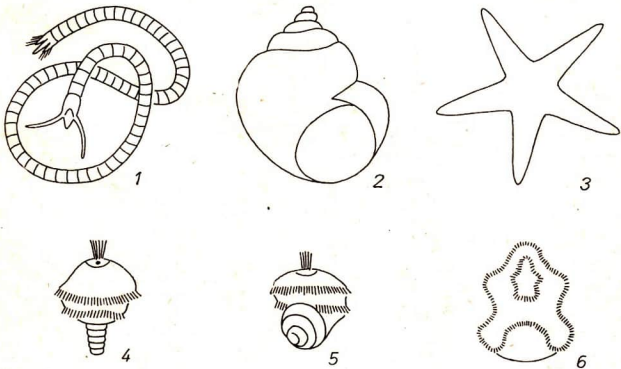


Abb. 32 Ringelwurm, Meeresschnecke und Seestern (1 bis 3). Darunter befinden sich jeweils die Larven (4 bis 6).

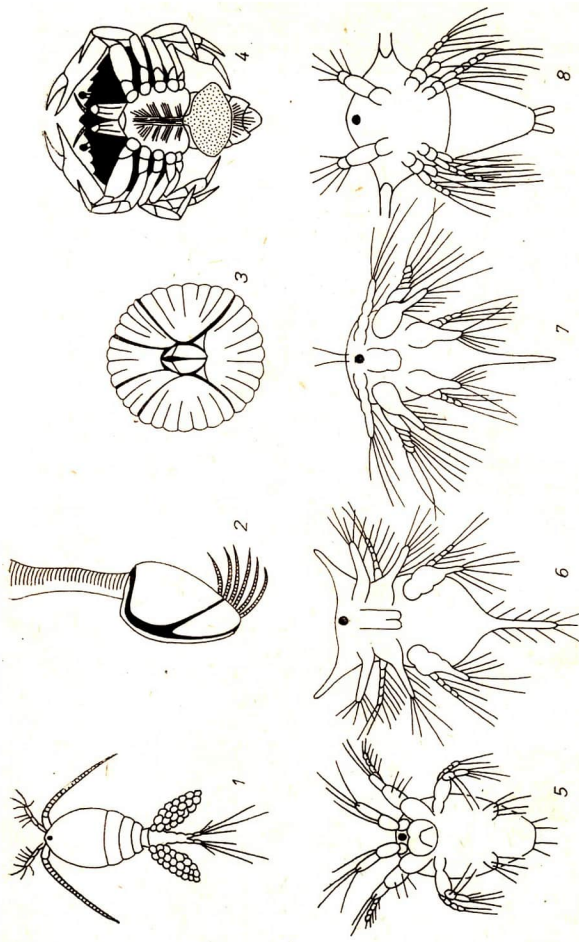


Abb. 33 Hüpfeling, Entemuschel, Seepocke und Wurzelfüßer (1 bis 4). Darunter befinden sich jeweils die Naupliuslarven (5 bis 8).

kennzeichnende Larvenform aller niederen Krebse (Abb. 33, 1 und 5). Deshalb bilden auch die Entenmuscheln, Seepocken und Wurzelfüßer zusammen innerhalb der niederen Krebse die aus mehreren Ordnungen bestehende Unterklasse der Rankenfüßer.

### Aufgaben und Fragen

1. Nennen Sie weitere Beispiele für die Biogenetische Grundregel aus der Embryonalentwicklung der Wirbeltiere!  
Erläutern Sie in diesem Zusammenhang kennzeichnende Vorgänge der Embryonalentwicklung des Menschen!
2. Welche anderen Beispiele für die Biogenetische Grundregel kennen Sie von wirbellosen Tieren?
3. Suchen Sie nach weiteren, hier nicht genannten Ausnahmen von der Biogenetischen Grundregel, und begründen Sie Ihre Beispiele ausführlich!

### Die stammesgeschichtliche Bedeutung der Gastrula

Bei allen vielzelligen Tieren entsteht der in Gewebe und Organe differenzierte Körper auf die prinzipiell gleiche Weise (Abb. 34). Das einzellige, befruchtete Ei teilt sich während der Furchung rasch nacheinander auf verschiedene Weise viele Male. Dadurch entsteht ein massiver, mosaikartiger Zellhaufen (Maulbeerkeim oder Morula). Diese Zellen ordnen sich zu einer einschichtigen Kugelwand an, die einen großen, zentralen Hohlraum umgibt (Hohlkeim oder Blastula). Daraus entwickelt sich der zweischichtige Becherkeim (Gastrula).

Diese Zweischichtigkeit kann auf dreierlei Weise hervorgerufen werden:

Durch Einstülpung der Blastula von einem Pol her, wobei sich der eingestülpte Wandteil von innen her der bleibenden Außenwand ganz und gar anlegt, so daß eine doppelwandige Halbkugel entsteht (z. B. Ringelwürmer, Abb. 34, 6 und 7);

durch gleichzeitige Querteilung sämtlicher Zellen der Blastulawand, wodurch diese schlagartig nach innen eine Lage Tochterzellen absondern (manche Medusen, Abb. 34, 4 und 5);

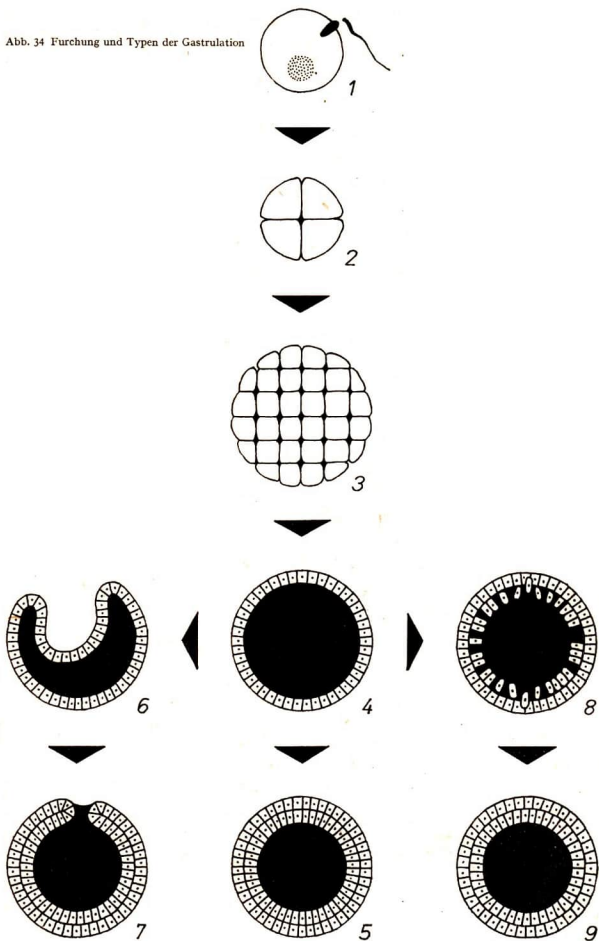
durch frühzeitige Einwanderung einzelner Zellen an den Polen der meist deutlich langgestreckten Blastula, die sich rasch teilen und unter der Blastulawand zu einer zweiten Zellenlage anordnen (z. B. Süßwasserpolyp, Abb. 34, 8 und 9).

Alle Vielzeller durchlaufen in ihrer Entwicklung das Gastrula-Stadium. Die Zweischichtigkeit dieses Stadiums verkörpert die einfachste und ursprünglichste Sonderung von Geweben: das äußere Keimblatt (Ektoderm) bildet die Körperwand, das innere Keimblatt (Entoderm) den Darm.

Eine Sonderstellung nehmen die Schwämme ein. Zwar tritt auch bei ihnen ein gastrulaähnliches Entwicklungsstadium auf. Darin sind jedoch keine Keimblätter ausgebildet, und auch am fertigen Schwamm treten keine Gewebe und Organe auf. Deshalb werden die Schwämme innerhalb der Vielzeller den Gewebetieren (*Histozoa*) als Zellaggregattiere (*Parazoa*) gegenübergestellt.

Die am einfachsten gebauten *Histozoa* sind die Hohltiere (*Coelenterata*). Sie zeigen zeitlebens den Bauplan einer Gastrula. An dem zweischichtigen Körper ist nur ein

Abb. 34 Furchung und Typen der Gastrulation



Vorder- und Hinterende ausgebildet. In der Längsrichtung lassen sich durch diesen Körper beliebig viele Symmetrieebenen legen, von denen jede das Tier in zwei spiegelbildliche Hälften zerlegt.

Bei allen anderen *Histozaa* dagegen ist eine rechte und linke Körperseite sowie eine Bauch- und Rückenseite ausgebildet. Ihr Körper kann nur durch eine einzige Symmetrieebene in zwei spiegelbildliche Hälften zerlegt werden. Aus diesem Grunde werden sie den radiärsymmetrischen *Coelenterata* als Zweiseitentiere (*Bilateria*) gegenübergestellt.

Die Ausbildung der zweiseitigen Symmetrie beginnt bereits auf dem Entwicklungsstadium der Gastrula. In der einen Gruppe der *Bilateria* wird der Urmund der Gastrula von hinten nach vorn bis auf eine winzige Öffnung verschlossen, und dieser Urmundrest wird zum bleibenden Mund (Abb. 35, 2 bis 4). Alle Tierstämme, die sich auf diese Weise entwickeln, werden als Urmünder (*Protostomia*) zusammengefaßt (s. vordere innere Umschlagseite!).

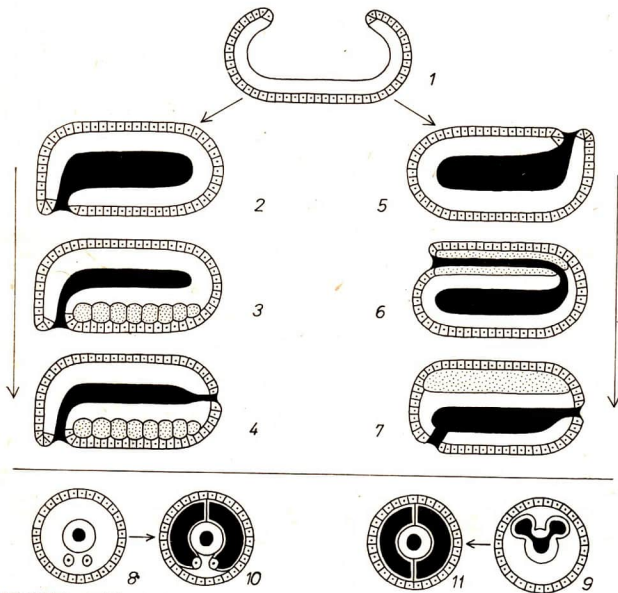


Abb. 35 Weiterentwicklung der Gastrula bei Urmündern (linke Seite) und Neumündern (rechte Seite)



In der zweiten Gruppe der *Bilateria* wird der Urmund der Gastrula von vorn nach hinten verschlossen, und etwa an der Stelle des winzigen Urmundrestes entsteht der After, während der Mund später gänzlich neu gebildet wird (Abb. 35, 5 bis 7). Die sich so entwickelnden Tierstämme faßt man als Neumündler (*Deuterostomia*) zusammen.

Bei allen *Bilateria* entwickelt sich die Gastrula auf oft sehr komplizierte Weise zum fertigen Tier weiter. Schon die wurmförmigen Tiere entsprechen als Erwachsene im Körperbau nicht mehr einer einfachen Gastrula. Bei den Plattwürmern ist der Raum zwischen Körperwand und Darm mit einem bindegewebigen Füllgewebe ausgefüllt (Abb. 36, 1). Bei den Rundwürmern ist an dieser Stelle ein Hohlraum ausgebildet (Abb. 36, 2). Das ist auch bei den Ringelwürmern der Fall, doch ist hier dieser Hohlraum mit einer eigenen Wand ausgekleidet, die innen dem Darm und außen der Hautinnenseite anliegt. Außerdem ist diese ausgekleidete Leibeshöhle (Coelom) in der Längsrichtung des Körpers gekammert (Abb. 36, 3).

Die Auskleidung der Coelomkammern liefert ein drittes Keimblatt (Mesoderm), das beim Gastrulastadium ausgebildet wird.

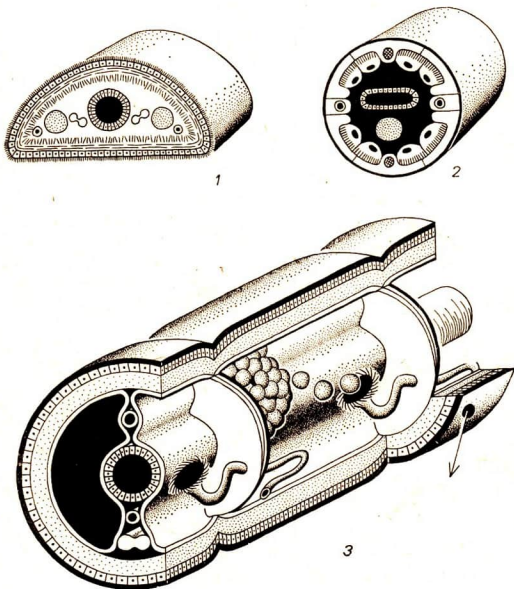


Abb. 36 Querschnitte durch einen Strudelwurm, einen Rundwurm und einen Ringelwurm

In die Gastrula der *Protostomia* wandern frühzeitig sogenannte Urmesodermzellen nach innen, die durch rege Zellteilung jederseits einen Strang bilden, der sich unter und neben dem Urdarm nach vorn und gleichzeitig rückenwärts schiebt. Weiter vorn werden diese Stränge hohl und gliedern sich in hintereinanderliegende Abschnitte (Abb. 35, 8 und 10).

Bei den *Deuterostomia* dagegen entstehen die paarigen Coelomkammern aus einfachen, bläschenförmigen Abschnürungen des Urdarmes der Gastrula (Abb. 35, 9 und 11). Nur der kleine, zu den Gliedertieren gehörende Tierstamm der Bärtierchen besteht aus *Protostomia*, die ihr Coelom ebenso bilden. Auf dem Entwicklungsstadium der Gastrula sondert sich bei allen *Bilateria* bereits vom Ektoderm das Zentralnervensystem ab. Bei den *Protostomia* geschieht dies an der Bauchseite, bei den *Deuterostomia* dagegen an der Rückenseite. Deshalb werden auch die *Protostomia* als Bauchmarktiere (*Gastroneuralia*) und die *Deuterostomia* als Rückenmarktiere (*Notoneuralia*) bezeichnet (s. vordere innere Umschlagseite!).

Ausnahmen davon bilden einige kleinere Tierstämme, von denen die Stachelhäuter die bekanntesten sind. Diese Tierstämme sind *Deuterostomia* mit einem Bauchmark. Ihnen allen gemeinsam ist aber, daß während der Embryonalentwicklung nur drei hintereinanderliegende Coelomhöhlen auftreten, weshalb diese Stämme im modernen zoologischen System als Urcoelomtiere (*Archicoelomata*) zusammengefaßt werden.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, daß bei den Vielzellern gerade die Embryonalentwicklung einen wesentlichen Aufschluß über das Verwandtschaftsverhältnis der einzelnen Tierstämme untereinander bietet. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Weiterentwicklung der Gastrula. Diese Gastrula tritt bei allen Vielzellern auf. Sie verkörpert selbst den einfachsten Bauplan eines Vielzellers.

### Aufgaben und Fragen

1. Beschreiben und zeichnen Sie verschiedene, Ihnen bekannte Furchungstypen der Vielzeller!
2. Vergleichen Sie die Ausbildung des Grundbauplanes bei Ringelwürmern und beim Läuertierchen während des Gastrulastadiums! Halten Sie die wesentlichsten Unterschiede in gegenübergestellten schematischen Zeichnungen fest (farbig)!
3. Fertigen Sie schematische Zeichnungen von der Keimblattanordnung und -sonderung bei Vögeln oder Säugetieren an, und vergleichen Sie die entsprechenden Vorgänge mit der Embryonalentwicklung bei Ringelwürmern!
4. Vergleichen Sie die frühe Embryonalentwicklung
  - a) bei Land- und Wassertieren,
  - b) bei freibeweglichen und festsitzenden Wassertieren,und stellen Sie die wichtigsten Unterschiede in einer Tabelle zusammen!
5. Bei welchen Tieren spielen die Entwicklungsstadien der Blastula und Gastrula eine Rolle für die Verbreitung?
6. Betrachten Sie die Abbildung 37 und stellen Sie fest, bis zu welchem Entwicklungsstadium sich die Embryonen der abgebildeten Wirbeltiere gleichen!
7. Wann setzt bei den einzelnen Klassen die Spezialentwicklung ein, die den einzelnen Embryonen schon äußerlich als Vertreter der betreffenden Klasse erkennen läßt?
8. Beschreiben Sie diese Spezialentwicklungen und versuchen Sie, dieselben stammesgeschichtlich zu erklären!

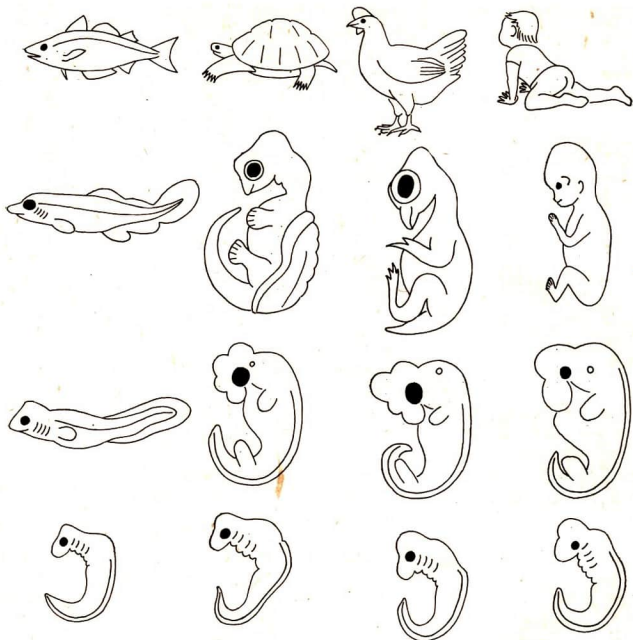
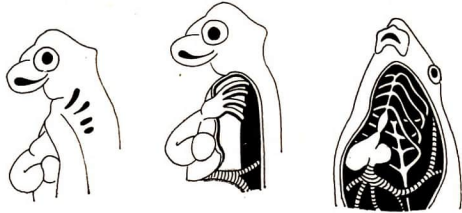


Abb. 37 Vergleichende Gegenüberstellung einander entsprechender Entwicklungsstadien bei verschiedenen Wirbeltieren

### Vergleich von Wirbeltierembryonen

In einem 4 Tage bebrüteten Hühnerei befindet sich ein Embryo, der äußerlich sichtbare Kiemenspalten besitzt. Wenn wir diesen Embryo sezieren, finden wir, daß seine Halsregionen auch im inneren Bau sehr weitgehend der Kiemenspaltenregion eines Fisches entspricht (Abb. 38). Selbstverständlich atmet der Hühnerembryo niemals durch diese Kiemen, und demzufolge dienen auch die Kiemenarterien niemals dem gleichen Zweck wie bei den Fischen. Das Auftreten dieser Organe ist lediglich eine

Abb. 38 Vergleich der Halsregion bei einem Vogelembryo und einem Fisch



stammesgeschichtliche Überlieferung. Sie weist auf die fischartigen Vorfahren aller Landwirbeltiere hin, ist also ein Beweis für die Biogenetische Grundregel.

Solche Kiemenspalten und solcher innere Bau der ganzen Halsregion treten während der frühen Embryonalentwicklung bei allen Kriechtieren, Vögeln und Säugern auf, auch beim Menschen. Und nicht nur die Kiemenspalten sind für die Embryonen der Landwirbeltiere kennzeichnend. Auch in der Entwicklung der Wirbelsäule, des Gehirns und der Gliedmaßen stimmen die Embryonen aller Klassen der Landwirbeltiere überein. Alle stammen ja auch von paläozoischen Quastenflossern ab.

## Wesen und Entstehung des Lebens

### 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. Es ist die Frage nach den spezifischen Gesetzen, die im Unterschied zu den Gesetzen der unbelebten Natur in den Lebewesen wirksam sind. Meist bereitet es keine besonderen Schwierigkeiten, Lebendes von Leblosem 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 aber nun gerade dieses Gemeinsame, das das Leben ausmacht?

### Stoffliche Zusammensetzung der Lebewesen

Wenn wir das Wesen des Lebens erkennen wollen, müssen wir zunächst 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 nichtlebenden Natur vorkommen.

#### Aufgabe

Stellen Sie die wichtigsten Elemente zusammen, die in Lebewesen nachgewiesen wurden, und erläutern Sie, wie sie nachgewiesen werden können! Benutzen Sie zu Ihrer Information das Lehrbuch Biologie 3 (11. Klasse) und das Lehrbuch „Organische Chemie“!

Eine Reihe von Grundstoffen ist in den Lebewesen nur in sehr geringer Menge enthalten, sie werden als Spurenelemente bezeichnet und spielen zum Teil eine wichtige Rolle in den Fermenten und Hormonen. Bisher wurden etwa 60 Elemente in den Lebewesen nachgewiesen. Der prozentuale Anteil der einzelnen Elemente an der nichtlebenden 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, Fette, Glykoside und Alkaloide. 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 sowie verschiedene Salze enthalten. Der menschliche Muskel besteht zum Beispiel zu 76% aus Wasser.

## Eigenschaften des Lebens

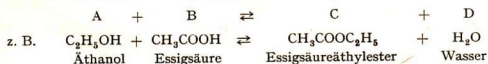
Um das Wesen des Lebens zu erfassen, muß man seine Eigenschaften studieren. Ihre Erforschung ermöglicht es, die Gesetzmäßigkeiten und die Spezifik der lebenden Materie zu erkennen. Eigenschaften des Lebens sind Stoffwechsel, Individualität, Reizbarkeit und Bewegung, Wachstum, Entwicklung, Fortpflanzung, Vererbung und Anpassung.

**Stoffwechsel.** Die wichtigste Eigenschaft des Lebens ist der Stoffwechsel. Er besteht in der ständigen Aufnahme, Umwandlung und Ausscheidung von Stoffen durch die Lebewesen unter Energieumwandlung. Die heterotrophen Organismen nehmen energiereiche organische Stoffe aus der Umwelt auf und scheiden energieärmere aus. Die autotrophen Lebewesen bauen die energiereichen organischen Verbindungen (Zucker) aus anorganischen ( $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$ ) selbst auf und verwenden hierfür die Energie des Sonnenlichts (Photosynthese) oder chemischer Verbindungen (Chemosynthese). Die gewonnene Energie wird zum Aufbau körpereigener Stoffe verwendet. Im Organismus finden also Stoff- und Energieumwandlungen statt. Alle Stoff- und Energiewechsellvorgänge lassen sich auf einfache chemische, nicht für das Leben spezifische Reaktionen, wie Oxydation, Reduktion, Hydrolyse oder Kondensation zurückführen. Im Lebewesen sind diese Reaktionen jedoch räumlich und zeitlich 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. Hört der Stoffwechsel auf, so bedeutet das in der Regel den Tod des Organismus.

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 er von Wasser „durchströmt“ wird. Der Gegensatz eines offenen Systems ist das geschlossene System. Es ist nur stabil, weil mit der Umwelt kein Stoffaustausch erfolgt; seinen Gleichgewichtszustand nennen wir statisch. Werden in ein geschlossenes System aus der Umwelt Stoffe hineingegeben, so wird das Gleichgewicht gestört, und es tritt ein neuer statischer Gleichgewichtszustand ein.

Ein Beispiel hierfür ist das Gleichgewicht einer chemischen Reaktion:



Das Gleichgewicht in diesem System existiert nur so lange, wie keine Komponenten des Systems herausgenommen oder hinzugegeben werden.

Im Unterschied zu den nichtlebenden offenen Systemen in der Natur können die Lebewesen ihren optimalen inneren Zustand selbst aufrecht erhalten; sie verfügen durch das Vorhandensein von Rückkopplungsmechanismen (Regulationsmechanismen) über die Fähigkeit zur Autoregulation. Hierdurch sind sie in der Lage, ungünstige Einflüsse (Störgrößen) zu kompensieren und damit das Weiterbestehen des

ganzen Systems zu gewährleisten. Durch Autoregulation wird zum Beispiel der Blutzuckerspiegel konstant gehalten.

Erhöht sich durch starke Zuckeraufnahme der Glukosegehalt im Blut, so schüttet die Bauchspeicheldrüse das Hormon Insulin aus. Unter seiner Wirkung wird in der Leber Glukose in Glykogen umgewandelt, bis der Blutzuckerspiegel seinen normalen Wert erhalten hat. Sinkt dagegen der Zuckergehalt im Blut, so bewirkt ein Hormon der Nebenniere, das Adrenalin, den Abbau des Glykogens zu Glukose, und der Blutzuckerspiegel steigt wieder. Verliert die Bauchspeicheldrüse die Fähigkeit, Insulin aufzubauen, so erkrankt der Mensch an *Diabetes mellitus* (Zuckerkrankheit).

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

#### Aufgabe

Suchen Sie andere Beispiele für die Autoregulation bei Organismen!

**Individualität<sup>1</sup>.** Im Gegensatz zur nichtlebenden 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 würde (ohne daß es dadurch aufhören würde das zu sein, was es zuvor war). Die Einheit der Teile des Organismus beruht auf den bereits besprochenen Regulationsmechanismen, die insgesamt ein Regulationssystem bilden.

**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. Stärke, Ort und Art der Reaktion werden durch die inneren Gegebenheiten (Stoffwechselformen, Nervensystem usw.) des Lebewesens bestimmt. 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. Bei den Tieren beruhen sie auf der Eigenschaft von Protoplasmaeiweißen, sich durch chemisch-energetische Umwandlungen verkürzen und ausdehnen zu können. Die Bewegungen der Pflanzen beruhen auf einseitig verstärktem Zellwachstum oder auf plötzlichen Änderungen des Zellurgors. Die Ursache der Protoplasmaströmungen in den Zellen ist noch nicht eindeutig geklärt.

#### Aufgabe

Lesen Sie im Lehrbuch Biologie 3 (11. Klasse) über Reizphysiologie bei Pflanzen und Tieren nach!

<sup>1</sup> individuus (lat.) unteilbar

**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 natürlichen 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 Stoffwechselgehen identisch<sup>1</sup> 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. In der individuellen Entwicklung erfolgt auf Grund der vorhandenen Erbanlagen die Merkmalausbildung. Der wichtigste Träger der Erbanlagen in der Zelle ist die Desoxyribonukleinsäure des Zellkerns.

Die aufsteigende Phase der Ontogenese (bis zur Fortpflanzungsreife) ist mit dem Wachstum, der 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 besonderen inneren Aufbau, ihre äußere Gestalt und ihre Verhaltensmöglichkeiten erhalten.

**Anpassung an die Umwelt.** Auf jedes Lebewesen wirken viele abiotische 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 der 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 ihrer 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 ihre 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. Die Daseinsweise aller Materie ist die Bewegung; alle materiellen Dinge und Erscheinungen befinden sich in Bewegung, sie verändern sich, entstehen und vergehen, bedingen einander, gehen auseinander hervor und stehen miteinander in Wechselwirkung. Dabei zeigen große Gruppen materieller Dinge und Erscheinungen Gemeinsamkeiten, sie bilden verschiedene Bewegungsformen, die sich qualitativ, also ihrem Wesen nach voneinander unterscheiden. Jede Bewegungsform vollzieht sich nach eigenen Gesetzen. 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 weiter, sie sind aber nicht mehr bestimmend, sie machen nicht das Wesen der höheren Bewegungsform aus, sondern das 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 bestehen, so sind in den Lebewesen, im Protoplasma, bestimmte hochpolymere Moleküle, sind viele Tausende einzelner physikalischer und chemischer Vorgänge zu einer höheren Einheit, zum Leben, zur biologischen Bewegungsform 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 Bewegung entstanden, und mit der Entstehung des menschlichen Bewußtseins ging aus ihm eine noch höhere, die gesellschaftliche Bewegungsform hervor.

**Mechanismus und Vitalismus.** In der Betrachtung des Wesens des Lebens gab und gibt es zwei voneinander verschiedene Deutungsversuche, die beide wegen ihrer Einseitigkeit, wegen ihrer Verabsolutierung einzelner Seiten des Lebens diese Frage nicht richtig beantworten können. Die Vertreter des Mechanismus behaupteten, daß das Leben gegenüber der nichtlebenden Materie überhaupt nichts besonderes darstellt, daß das Leben voll und ganz auf dem Wirken von Gesetzmäßigkeiten beruht, die auch in der unbelebten Natur wirksam sind. Sie leugneten damit die Existenz einer spezifischen Eigengesetzlichkeit des Lebens. Indem der Mechanismus das Leben auf

physikalisch-chemische Gesetzmäßigkeiten reduzierte, betonte er, daß das Leben natürlichen Ursprungs ist und daß für seine Erklärung keine Zuhilfenahme übermaterieller, göttlicher Kräfte notwendig ist. Diese Ansicht ist materialistisch. Gleichzeitig erkannte der Mechanismus aber nicht den qualitativen Unterschied zwischen der unbelebten und belebten Natur – die Tatsache, daß das Leben eine höhere Bewegungsform der Materie mit spezifischen Gesetzmäßigkeiten im Vergleich zur Bewegung der nichtlebenden Natur darstellt. Seine Erklärung des Lebens ist einseitig. Ein Anhänger der mechanistischen Lebensauffassung war der berühmte deutsche Biologe ERNST HAECKEL (1834 bis 1919).

Der Vitalismus (von „vita“ – das Leben) dagegen erkannte, daß das Leben nicht nur durch das Wirken physikalisch-chemischer Gesetze erklärt werden kann, sondern über eine spezifische Eigengesetzlichkeit verfügt. Diese Eigengesetzlichkeit besteht nach Auffassung der Vitalisten im Wirken einer nichtmateriellen und unerkennbaren „Lebenskraft“ oder „Entelechie“. Damit wurde eine unüberbrückbare Kluft zwischen Leblosem und Lebendigem behauptet und der Erforschung des Lebens Schranken gezogen. Die Entstehung des Lebens aus Unbelebtem auf natürlichem Wege, ohne Zuhilfenahme der „Lebenskraft“, hielt der Vitalismus für unmöglich. Die Eigengesetzlichkeit des Lebens beruht beim Vitalismus auf nichtmateriellen Kräften, und damit wird der enge Zusammenhang der einzelnen Bewegungsformen der Materie geleugnet. Der Vitalismus erklärte das Wesen des Lebens idealistisch. Ein bedeutender Vertreter des neueren Vitalismus war der deutsche Biologe HANS DRIESCH (1867 bis 1941).

Der Streit zwischen neuem Mechanismus und Vitalismus dauerte viele Jahrzehnte und erstreckt sich bis in die Gegenwart. Er stellt aber auf Grund der Einseitigkeit beider Ansichten eine Scheinalternative dar; eine Lösung des Problems des Wesens des Lebens ist durch die Fragestellung Mechanismus oder Vitalismus nicht zu erreichen. Wir können das Wesen des Lebens nur erkennen, wenn wir das Leben als eine spezifische Bewegungsform der Materie sehen, die auf natürlichem Wege aus einer niedereren, der chemischen Bewegungsform hervorgegangen ist.

**Das Verhältnis von Struktur und Funktion.** Bereits die einfachsten Lebewesen verfügen über eine sehr komplizierte innere Struktur. So enthalten die Zellen neben der Differenzierung in Zellkern und Zellplasma noch zahlreiche Strukturgebilde wie Plastiden, Mitochondrien und Ribosomen. Diese Strukturierung der Zelle ist Voraussetzung für den Ablauf eines räumlich und zeitlich geordneten Stoffwechselsystems und für dessen Autoregulation. So verlaufen in den Mitochondrien die Prozesse der Zellatmung, während die Ribosomen für die Eiweißsynthese verantwortlich sind, und in den Chloroplasten der grünen Pflanzen gehen die Photosynthesereaktionen vorstatten. 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 (Aminosäuren bzw. Mononukleotide) im Makromolekül.

Diese hochorganisierten und spezifischen Strukturen ermöglichen die vielfältigen, geordneten und miteinander koordinierten Lebensprozesse (Autoregulation). Struktur und Funktion stehen also in engem Zusammenhang; die komplizierte Struktur ist

Voraussetzung für die hohe Organisation der Lebensprozesse, durch deren Ablauf die Struktur immer wieder erneuert wird.

FRIEDRICH ENGELS schrieb: „Leben ist die Daseinsweise der Eiweißkörper, und diese Daseinsweise besteht wesentlich in der beständigen Selbsterneuerung der Bestandteile 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. Lebewesen leben nur, wenn und indem sie Stoffe und Energie umsetzen, der Stoff- und Energiewechsel liegt allen anderen Lebenserscheinungen – Reizbarkeit, Wachstum, Fortpflanzung usw. – zugrunde; der Stoffwechsel ist nur Lebewesen eigen. 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 (Autoreproduktion) der Nukleinsäuren des Zellkerns und in der durch sie gesteuerten Eiweißsynthese. Durch die Autoreproduktion der Nukleinsäuren des Zellkerns (Desoxyribonukleinsäuren) wird die Erbinformation auf die Nachkommen übertragen (Anlagenübertragung), und bei der Eiweißsynthese erfolgt die Weitergabe dieser Information auf die spezifischen Eiweiße, wodurch es zur Merkmalsausbildung kommt.

**Die Historizität des Lebens.** Für die Erkenntnis der Spezifik des Lebens ist seine historische Betrachtung wichtig. Das Leben hat eine echte Geschichte; jedes Lebewesen oder jede genetische Gruppe von Lebewesen stellt das Ergebnis einer langdauernden biologischen Evolution dar. Diese Entwicklung ist einmalig und nicht umkehrbar (irreversibel). 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.

Die Lebewesen sind also komplizierte, autoreproduktive materielle Gebilde mit einem hohen Informationsgehalt und der in der Evolution erworbenen Fähigkeit zur Autoregulation, die über echte Historizität verfügen.

Im Verlaufe der Evolution entstand eine fast unübersehbare Mannigfaltigkeit der Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen, die auf der Existenz vielfältiger Evolutionslinien beruht. 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 und ein durch die einmalige Geschichte ihrer Entstehung entstandenes selbständiges und charakteristisches Areal aufweist. Von allen anderen gleichwertigen Abstammungseinheiten ist sie durch eine mehr oder weniger starke, meist geschlechtliche Isolierung getrennt. Die Lebewesen einer Art sind durch die Fortpflanzung untereinander verbunden und bringen bei der Fortpflanzung artgleiche Nachkommen hervor. Ähnlichkeit und Verschiedenheit im Bau und im Verhalten 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 gestuften Mannigfaltigkeit der Lebewesen.

Bisher sind etwa 1,5 Millionen Tierarten bekannt, darunter über 800 000 Insekten-, 38 000 Knochenfisch-, 10 000 Vogel- und 6 000 Säugetierarten. Es sind nahezu 250 000 Pflanzenarten bekannt; mehr als die Hälfte sind Samenpflanzen, etwa 600 Arten sind nacktsamige Pflanzen, 130 000 Arten zweikeimblättrige und 40 000 Arten einkeimblättrige Pflanzen. Etwa 10 000 Arten gehören zu den Farnpflanzen und etwa 25 000 Arten zu den Moospflanzen. Wir kennen etwa 20 000 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; wir wissen, daß FRIEDRICH ENGELS der erste war, 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. Es gibt wohl kaum Menschen, die keine Meinung dazu hätten; aber da sie nicht wissen, was das Leben ist, glauben viele, 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, 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 Erfahrung nicht begreifbaren Anfang . . . Die Materie, . . . die wir unmittelbar beobachten und durch Erfahrung erforschen, ist . . . an und für sich leblos und träge. Sie dient lediglich als Material, aus dem die Seele oder der Geist die Lebewesen bilden, ihnen die Form und die Zweckmäßigkeit des Baus geben, die Fähigkeit zum Atmen und Bewegen verleihen und sie eben überhaupt lebendig machen“,

so charakterisiert der sowjetische Biochemiker A. J. OPARIN diese Gruppe von Theorien, die – da sie das Wesen als etwas Übernatürliches, der wissenschaftlichen Forschung nicht Zugängliches, Ideelles ansehen – idealistische Theorien genannt werden.

Im folgenden wollen wir verfolgen, wie sich die Vorstellungen der Menschen über das Leben entwickelt haben.

**Altertum.** Der wohl erste Erklärungsversuch erwuchs aus einer einfachen Tatsache: Menschen atmen, solange sie leben; wenn sie sterben, hört der Atem auf. Daraus wurde gefolgert, daß „atmen“ und „leben“ dasselbe sei. Dieser alte Glaube ist noch aus der Geschichte des Wortes „Atem“ erkennbar, das im Althochdeutschen „atum“ hieß und „Hauch“, aber auch „Geist“ bedeutete. Auch das verwandte altindische Wort „atman“ bedeutete zugleich „Hauch“ und „Seele“. Der Mensch stellte sich schon in der Urgesellschaft das Leben als Ausdruck eines selbständigen Etwas vor, das nicht eins ist mit dem Körper, sondern sich nur zeitweilig in ihm aufhält. Der Atem wurde als ein belebender Geist, eine selbständige Seele gedeutet, der Körper als Hülle dieser Seele. 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 vorwissenschaftliche naive Gleichsetzung von Atem, Beseltheit und Belebtheit war untrennbar mit dem Schöpfungsglauben verbunden. Als die Menschen in der Urgesellschaft gelernt hatten, Hütten und Boote, Körbe, Töpfe und andere Gebrauchsgegenstände anzufertigen, glaubten sie auch zu wissen, wo die Pflanzen, Tiere und sie selbst ihren Ursprung hatten: wie die von ihnen angefertigten Gegenstände da waren, weil Menschen sie gemacht hatten, waren die Pflanzen, Tiere und Menschen da, weil einer sie gemacht hatte, der mehr konnte als die Menschen.

So entstand der Glaube, die Lebewesen und die Menschen seien von höheren Wesen, von Göttern geformt und mit dem Lebensatem begabt worden. Diesen Schöpfungsglauben findet man in den alten Sagen vieler Völker, bei Australiern, Eskimos und Indianern wie bei Babyloniern, Hebräern und Griechen.

Einer der bedeutendsten Philosophen des Altertums, DEMOKRIT (etwa 460 bis 370 v. u. Z.; Abb. 39), 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 und des Verhaltens der Lebewesen, aus dem mechanischen Ortswechsel der Atome. DEMOKRIT stellte zahlreiche Tierbeobachtungen an und seziierte 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.



Abb. 39 Demokrit

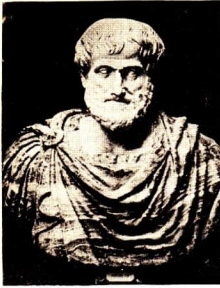


Abb. 40 Aristoteles

Im Gegensatz zu DEMOKRIT lehrte der Philosoph PLATON (427 bis 347 v. u. Z.), die materielle Welt sei ein schlechtes Schattenbild einer anderen, jenseitigen Welt ewiger und unveränderlicher Ideen. Den Lebewesen schrieb er eine selbständige nichtmaterielle Seele zu: den Pflanzen eine vegetative, den Tieren diese und dazu eine animalische, dem Menschen beide und dazu eine unsterbliche vernünftige (rationale) Seele, die aus dem Reich der Ideen stamme und nach dem Tode dorthin zurückkehre.

PLATONS Schüler und Kritiker war der größte Denker und bedeutendste Gelehrte der Antike, ARISTOTELES (384 bis 322 v. u. Z.; Abb. 40). Er kannte rund 500 Tierarten – zum Teil beschrieb er sie erstmalig – und ordnete sie durch Vergleich ihrer Merkmale in ein System. PLATONS Annahme eines Ideenhimmels

verwarf er als nichts erklärende Verdoppelung der Welt. Er faßte jedoch die Materie als völlig passiven Stoff auf und die ideellen Wesenheiten PLATONS wurden von ihm in diesen Stoff verlegt als ihn bewegende und gestaltende ideelle Kräfte, die er „Formen“ nannte. Mit seiner Form war für ARISTOTELES jedem Ding ein inneres Ziel gesetzt, zu dem hin und um dessentwillen es sich entwickelt, die „Zweckursache“ oder Entelechie. Durch die systematische 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 Lebewesen nannte er „Seele“.

**Renaissance.** In der Renaissance begann, verbunden mit der Entstehung und Entwicklung der kapitalistischen Produktionsweise, eine neue Periode der Naturerkenntnis; die moderne Naturwissenschaft entstand. Im Zusammenhang damit bildeten sich neue Auffassungen vom Wesen des Lebens.

Einer der bekanntesten Wissenschaftler dieser Zeit war der Mediziner und Wegbereiter der modernen Chemie Theophrastus Bombast 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. Der Arzt, Naturforscher und Philosoph JOHANN BAPTIST van HELMONT (1577 bis 1644) wurde auf die auch in den anderen Organen stattfindenden chemischen Umsetzungen aufmerksam. Aus dem „Archaeus“ des PARACELSUS wurden bei ihm viele Archæi in den einzelnen Organen.

**Aufkommen des Mechanismus.** Inzwischen hatte sich die Mechanik, bedingt durch die Bedürfnisse der kapitalistischen Produktion und die verhältnismäßig einfache

Auffindbarkeit ihrer Gesetze, rasch entwickelt. Man versuchte, ihre Gesetze auch bei den Lebewesen zu finden. LEONARDO DA VINCI (1452 bis 1519) zeigte, daß die Knochen als Hebel wirken. GALILEO GALILEI (1564 bis 1642) erklärte, daß Elefantenbeine dicker als Insektenbeine sein müssen, weil sie ein größeres Gewicht zu tragen haben und daß die Knochen der Tiere hohl und annähernd zylindrisch geformt sind, weil so maximale Festigkeit und niedriges Gewicht vereinigt sind.

WILLIAM HARVEY (1578 bis 1657) wies nach, daß das Blut einen Kreislauf durchläuft, in dem das Herz als Pumpe funktioniert.

Die Mechanisten faßten die Lebewesen als Maschinen, als Aggregate von Mechanismen auf, als ein System von Hebeln und Rollen (Knochen und Muskeln) und als hydraulisches System (Gefäßsystem). Manche Mechanisten erklärten die Flüssigkeiten für das Wichtigste in den Lebewesen. Hauptvertreter dieser Auffassung war Franz de la Boe, genannt BYLVIUS (1614 bis 1672), ein Schüler VAN HELMONTS. Er lehnte die Archæi seines Lehrers ab und versuchte die Lebenserscheinungen aus der mechanischen Ortsbewegung kleinster Teilchen der Körperflüssigkeit – die er als chemische Umwandlungen ansah – zurückzuführen. Diese Theorien nennt man mechanistisch, weil sie das Leben ausschließlich auf die Gesetze der Mechanik zurückführen.

**Aufkommen des Vitalismus.** Mit fortschreitender Erkenntnis des Lebendigen erkannte man, daß das Leben nur mit den Gesetzen der Mechanik nicht erklärt werden kann. Viele Gelehrte suchten bei vorwissenschaftlichen Vorstellungen Zuflucht, um die Lebenserscheinungen zu deuten. Alles den Lebewesen Eigentümliche erklärte man aus dem Wirken einer immateriellen und unerkennbaren „Lebenskraft“. Dadurch wurde eine unüberbrückbare Kluft zwischen Leblosem und Lebendigem behauptet und der Erforschung des Lebens Schranken gezogen. Diese Theorien nennt man vitalistisch, und die weitere Entwicklung der Erkenntnis des Lebens ist, wie wir bereits gesehen haben, vom Streit der Vitalisten und der Mechanisten gekennzeichnet.

Einer der Begründer des Vitalismus war der Arzt und Chemiker GEORG ERNST STAHL (1660 bis 1734), der den Organismus als passiven, von einer nichtmateriellen Seele bewegten Mechanismus ansah. Diese Seele – der „Anismus“ (von animus – lat. – Seele, Leben, Atem) – sollte Wundheilungen und andere mechanisch nicht erklärbare Lebensvorgänge bewirken und die chemische Zersetzung des Körpers, wie sie nach dem Tod eintritt, verhindern. Manche Gelehrte, so der Arzt JOHANN CHRISTIAN REIL (1659 bis 1713), versuchten auch die Lebenskraft materialistisch als eine mit einer besonderen stofflichen Zusammensetzung der Lebewesen verbundene Kraft zu verstehen, die den mechanischen Kräften gleichartig sei.

**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 widerlegte FRIEDRICH WÖHLER (1800 bis 1882) jedoch diese Behauptung der Vitalisten durch die Synthese des Harnstoffs (nachdem er im Jahre 1824 die Oxalsäure synthetisiert hatte).

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 worden war, ihre natürliche Erklärung. Die „Zweckmäßigkeit“ der Lebewesen ist das Ergebnis ihrer Anpassung, sie ist gleichbedeutend mit Angepaßtheit.

Die großen naturwissenschaftlichen Entdeckungen und die stürmische Entfaltung von Physik, Chemie und Biologie im 19. Jahrhundert erbrachten den unwiderlegbaren wissenschaftlichen Nachweis, daß es keine wie auch immer beschaffene besondere Lebenskraft gibt.

Angesichts der Erfolge der Physik und Chemie gewann nach der Überwindung des klassischen Vitalismus unter den Naturforschern des 19. Jahrhunderts die neue mechanistische Überzeugung Raum, die Lebewesen wären nur, wenn auch besonders verwickelt gebaute, Verbindungen von materiellen Teilchen. Das Leben sei mit physikalischen und chemischen Methoden erkennbar und auf physikalische und chemische Vorgänge, wie sie auch in der unbelebten Natur verlaufen, zurückzuführen (Neomechanismus). Als Reaktion auf die Verbreitung dieser Theorie entstand der Neovitalismus, sein Hauptvertreter war der deutsche Biologe HANS DRIESCH. Wie wir aber bereits sahen, kann das Leben nicht mechanisch und erst recht nicht vitalistisch verstanden werden. Nur die dialektische Betrachtungsweise, die Betrachtung des Lebens als besonderer, auf natürlichem Wege entstandener Bewegungsform der Materie, läßt uns das Wesen des Lebens erkennen. Diese Einsicht findet bei den Naturforschern immer weitgehendere Anerkennung.

### Die Entstehung des Lebens

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



Abb. 41 Alexander Iwanowitsch Oparin

Große Verdienste um die Lösung dieses Problems hat sich der sowjetische Biochemiker ALEXANDER IWANOWITSCH OPARIN (Abb. 41) erworben. Er schreibt: „Heute wird immer deutlicher, daß die Frage nach dem Wesen des Lebens nur im Lichte der Erkenntnis seines Werdens gelöst werden kann. Allein dank der Erforschung der Entstehungsgeschichte des Lebens auf der Erde beginnen wir zu begreifen, wie und warum die für das Leben charakteristischen Merkmale gerade so und nicht anders ausgebildet wurden; nur dadurch können wir verstehen, wie im gleichen Prozeß eine neue, zuvor nicht vorhandene Qualität auftrat.“



OPARIN entwickelte als erster den Gedanken, daß auf der Erde, bevor es zur Entstehung der ersten Lebewesen kam, bereits organische Verbindungen existiert haben müssen, die die Grundlage für die Entstehung des Lebens bildeten. Nach der Theorie von OPARIN bestand die erste Etappe der Entstehung des Lebens in der Entstehung und Entwicklung dieser organischen Verbindungen. Er folgerte weiter, daß die Uroorganismen heterotroph waren, das heißt, daß sie sich von organischen Substanzen ernährten. Auf der Urerde gab es weiterhin noch keinen freien Sauerstoff, so daß die Entwicklung der chemischen Verbindungen unter reduktiven Bedingungen vor sich ging und auch 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.

Ganz entscheidende Hinweise hat in neuester Zeit die Molekularbiologie, die die Lebenserscheinungen auf dem Molekül-Niveau – 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 abiogene Entstehung organisch-chemischer Verbindungen und ihre Entwicklung

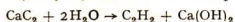
Noch vor verhältnismäßig kurzer Zeit war man der Meinung, daß die Umwandlung anorganischer Kohlenstoffverbindungen in organische unter natürlichen Bedingungen nur in den Lebewesen (biogen) möglich ist. Gründliche Untersuchungen zeigten jedoch, daß die biogene Bildung organischer Stoffe ein Sonderfall ist, der nur auf den gegenwärtigen Zustand unserer Erde zutrifft und ihn kennzeichnet.

Kohlenstoff konnte durch Spektralanalysen auf sämtlichen bisher untersuchten Himmelskörpern nachgewiesen werden. Auf den heißesten Sternen (Oberflächentemperaturen über 20000 °C) kommt er nur in ionisierter und atomarer Form vor. Bei Sternen mit niederen Temperaturen verbindet er sich mit Stickstoff; solche Verbindungen konnten beispielsweise auf der Sonnenoberfläche (Temperatur etwa 6000 °C) nachgewiesen werden. In den kalten Bereichen des Weltalls, beispielsweise in der interstellaren (zwischen den Sternen befindlichen) Gas-Staub-Materie und in den Atmosphären kalter Weltkörper kommt der Kohlenstoff auch in der Form von organischen Verbindungen (Kohlenwasserstoffen) vor. Auf den unbelebten Planeten Jupiter und Saturn gibt es große Mengen von Methan ( $\text{CH}_4$ ), das dort zusammen mit dem Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) eine mächtige Atmosphäre bildet. Auch in den auf die Erde niedergegangenen Meteoriten fand man teilweise hochmolekulare Kohlenwasserstoffe und deren sauerstoff- und schwefelhaltige Derivate. Derartige Verbindungen haben sich auch auf der Erde in der ersten Zeit ihres Bestehens in großen Mengen gebildet.

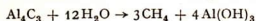
Die Erde ist nach neueren Ansichten zusammen mit der Sonne und den anderen Planeten aus einer gewaltigen kosmischen Gas- und Staubwolke entstanden. Der größte Teil der Wolke verdichtete sich zu einem Zentralkörper. Die bei der Zusammen-

ballung 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. Hierdurch gingen der Erde die leichtflüchtigen Stoffe verloren. Die sich bildende Erde kühlte sich aber infolge ihrer relativ geringen Masse durch Wärmeabstrahlung bald wieder ab, so daß die Urerde schließlich auf ihrer Oberfläche Temperaturen aufwies, die den heutigen nahekommen. Schon seit den frühesten Zeiten ihrer Existenz besaß die Erde eine feste Oberfläche, einen Ozean und eine Atmosphäre. In der Atmosphäre 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 findet. Damals existierte er vor allem in Form von Karbiden, also in Verbindung mit Metallen. Die Karbide reagierten mit Wasser; dabei entstanden die ersten Kohlenwasserstoffe, die in die Atmosphäre eingingen.

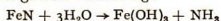
Äthin (Azetylen) bildet sich zum Beispiel aus Kalziumkarbid und Wasser:



Aluminiumkarbid bildet unter den gleichen Bedingungen Methan:



Aus Metallnitriden, die im Prozeß der Erdentstehung durch Vereinigung von Stickstoff mit Metallen entstanden waren, bildete sich Ammoniak, zum Beispiel nach folgender Gleichung:

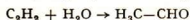


Auf ähnliche Weise wurde aus Metallsulfiden Schwefelwasserstoff frei. Ammoniak und Schwefelwasserstoff sammelten sich ebenfalls in der Uratmosphäre an. Auch Wasserdampf war in ihr enthalten.

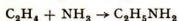
Die ersten organischen Verbindungen auf der Urerde, die Kohlenwasserstoffe, machten in der Folgezeit eine lange chemische Entwicklung durch. Dabei entstand durch verschiedenartige Reaktionen eine große Zahl von komplizierter gebauten Stoffen:

So waren folgende Prozesse möglich: Hydratisierung (Anlagerung von Wasser), Reduktion und Oxydation, Kondensation, Polymerisation, Aminierung (Anlagerung von  $\text{NH}_3$  unter Bildung einer  $\text{NH}_2$ -Gruppe), Ringbildung u. a. Als Ergebnis entstanden auf der Urerde die verschiedensten sauerstoff- und stickstoffhaltigen Derivate der Kohlenwasserstoffe, wie beispielsweise Alkanole (Alkohole), Alkanale (Aldehyde), organische Säuren, Amine, Amide, aromatische Verbindungen. Auch schwefelhaltige Kohlenwasserstoffabkömmlinge konnten so entstehen.

Als Beispiel seien hier zwei Reaktionen angeführt, die Bildung von Äthanal (Azetaldehyd) aus Äthin (Azetylen) und Wasser (Hydratisierung):



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



Ein Teil dieser Reaktionen war exotherm. Andere Reaktionen waren endotherm. Als Energiequellen dienten ihnen die Sonnenstrahlen (vor allem die ultravioletten Strahlen des Sonnenlichts), die elektrischen Entladungen der Atmosphäre und radioaktive Strahlen.

Der Beweis für die Richtigkeit dieser Vorstellungen ist das Experiment, in dem in einer Apparatur Verhältnisse geschaffen werden, wie sie wahrscheinlich auf der Urerde geherrscht haben. Auf diese Weise erzeugte der amerikanische Forscher S. MILLER in einem Gemisch aus Methan, Wasserstoff, Ammoniak und Wasserdampf elektrische Entladungen und erhielt dabei Aminosäuren, also Bausteine der Eiweißmoleküle, und andere organische Verbindungen. Das Experiment von MILLER beweist, daß in der Uratmosphäre unter Gewittereinflüssen verschiedene Aminosäuren entstanden sein konnten, die durch niedergehende Regenfälle in den Urozean gespült wurden.

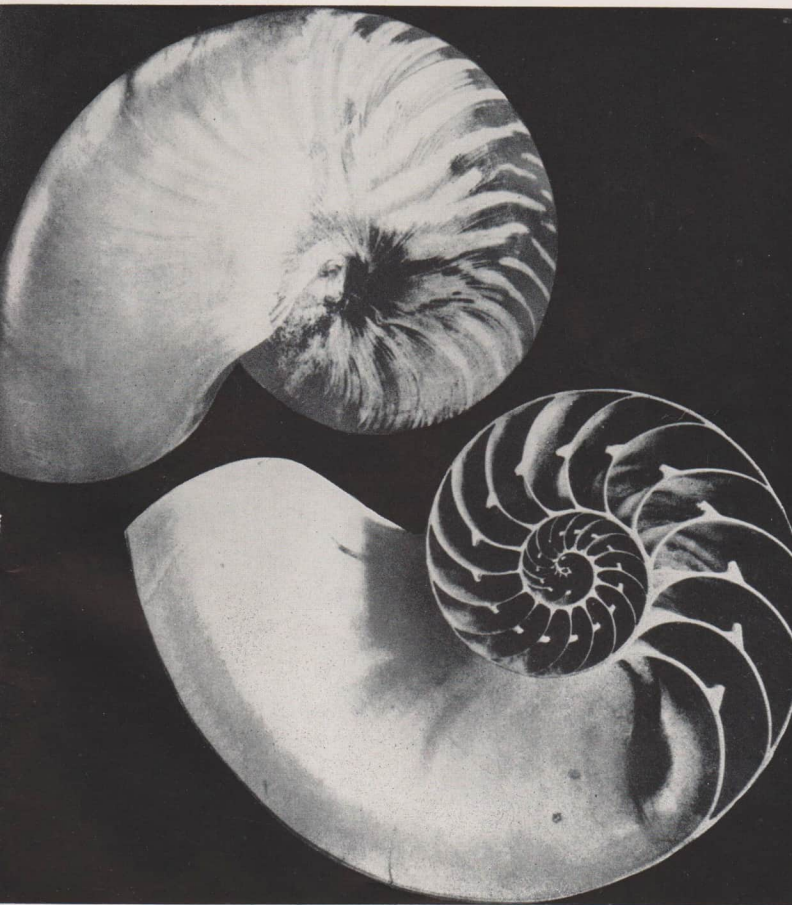
Der indische Chemiker K. BAHADUR zeigte durch ein Experiment, wie sich Aminosäuren im flachen Meer unter dem Einfluß des Sonnenlichts bilden konnten. Er setzte eine Lösung von Paraformaldehyd (polymerisiertes Formaldehyd  $(\text{HCHO})_n$ ), Kaliumnitrat ( $\text{KNO}_3$ ) und Eisen-(III)-chlorid ( $\text{FeCl}_3$ ) achtzig Stunden lang der Sonnenbestrahlung aus und konnte nachweisen, daß sich in dieser Zeit zehn verschiedene Aminosäuren gebildet hatten. Der japanische Wissenschaftler S. AKABORI hat Zwischenprodukte der Aminosäurebildung (Nitrile, z. B.  $\text{CH}_2 = \text{N}-\text{CH}_2-\text{CN}$  oder  $\text{NH}_2-\text{CH}_2-\text{CN}$ ) Bedingungen ausgesetzt, die denen des Urozeans entsprachen, und konnte die Bildung komplizierter hochmolekularer Aminosäurepolymere (Polypeptide) nachweisen, die den Eiweißen in ihrem Aufbau ähneln. Als Katalysatoren dienten bei dieser Polymerisation Silikat- und Tonteilchen. Der englische Physiker J. BERNAL nimmt an, daß im Urozean fein verteilte Tonpartikel an ihrer Oberfläche verschiedenste Stoffe anlagerten und damit eine Wechselwirkung der Moleküle untereinander förderten.

Diese wenigen, aus einer Vielzahl bekannter Tatsachen ausgewählten Beispiele machen deutlich, daß die physikalischen und chemischen Gesetze ausreichen, um die Bildung solch komplizierter organischer Stoffe zu erklären, wie Aminosäuren, Zucker, organischer Basen, Mononukleotide und deren Polymere, der Polypeptide, Polynukleotide usw. Ihre Bildung ermöglichte die Entstehung der ersten Lebewesen.

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 Lebewesen ist aber noch weitgehend ungeklärt. Es gibt hier verschiedene Hypothesen, von denen aber noch keine als bewiesen betrachtet werden kann. Eine von ihnen ist die Koazervathypothese OPARINS.

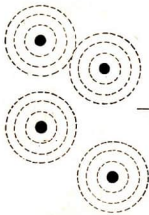
#### Die Koazervathypothese Oparins

OPARIN vertritt die Ansicht, daß sich an die Bildung und Entwicklung der organischen Verbindungen eine Etappe der Bildung und Entwicklung organischer polymolekularer (aus vielen Molekülen bestehender) Systeme anschloß, aus denen schließlich die Uroorganismen hervorgingen.





20 cm



Wasser-  
entzug



Wasser-  
entzug



Koazervat

Kolloidale Lösung

Abb. 42 Schematische Darstellung der Umwandlung von Teilchen einer Kolloidlösung in Koazervatröpfchen

Die im Urozean entstandenen hochmolekularen Verbindungen existierten 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 kleiner Teil des Wassers, das Hydrationswasser, auf Grund elektrostatischer Kräfte an die Kolloidteilchen gebunden; die Wassermoleküle sind streng auf die Kolloidteilchen ausgerichtet (Abb. 42). Unter bestimmten Voraussetzungen wird ein Teil des Hydrationswassers abgegeben. Dabei werden elektrostatische Kräfte frei, die mehrere Kolloidteilchen zu größeren Einheiten vereinigen. Die so entstandenen Gebilde nennen wir Koazervate (von *acervus* – lat. – Haufen). Sie sind noch flüssig und schwimmen als scharf abgegrenzte Tröpfchen in der Lösung, ähnlich wie ein Tropfen Hühnerweiß 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. 43).

Die Untersuchung der Koazervate zeigt, daß sie fast den gesamten Stoff der Lösung enthalten (z. B. 93 % der Gelatine einer Gelatinelösung). Der Zusammenhalt dieser Gebilde beruht vor allem auf den elektrostatischen Kräften der geladenen Kolloidteilchen. Weiter sind Temperatur, pH-Wert und andere Eigenschaften der Außenflüssigkeit für das Bestehen des Tröpfchens entscheidend.

Koazervate haben einige besondere Eigenschaften. Sie absorbieren Stoffe aus der sie umgebenden Lösung. Im Innern des Koazervatröpfchens kommt es zu chemischen Umsetzungen zwischen den absorbier-



Abb. 43 Koazervatröpfchen aus Gelatine und Gummiarabikum

ten Stoffen und den Bestandteilen des Koazervats. Sind diese Prozesse aufbauender Natur, so können sich die Tröpfchen vergrößern, handelt es sich um abbauende Prozesse, so zerfällt das Koazervat nach längerer oder kürzerer Zeit. Es können sich auch gleichzeitig Auf- und Abbauprozesse vollziehen. Der weitere Bestand des Koazervatröpfchens ist dann vom Verhältnis der Geschwindigkeiten dieser entgegengesetzten Prozesse abhängig. Unter bestimmten Bedingungen können sich die Tröpfchen auch teilen.

Die Bildung dieser hochmolekularen, individuellen Systeme führt also zu völlig neuartigen Verhältnissen, die in einer homogenen Lösung nicht auftreten. Im Koazervat wirken neue Gesetzmäßigkeiten. Das ist nach der Hypothese von OPARIN für die Entstehung des Lebens von großer Bedeutung, da nach seiner Ansicht die physikalischen und chemischen (thermodynamischen und reaktionskinetischen) Gesetze, die zur Bildung hochmolekularer Verbindungen (Polypeptide und Polynukleotide) führten, nicht ausreichen, um auch das Entstehen wirklicher Eiweiße und Nucleinsäuren mit ihrer komplizierten Struktur zu erklären.

Nachdem sich im Urozean aus den dort gelösten hochmolekularen Stoffen Koazervatröpfchen gebildet hatten, begann als weitere Etappe die Entwicklung dieser organischen Systeme.

In den Koazervaten wurden die auf der Urerde entstandenen organischen Verbindungen angereichert, das begünstigte den Ablauf chemischer Reaktionen zwischen ihnen. Die Koazervate existierten nicht losgelöst von der Umwelt. Sie nahmen aus dem Urozean Stoffe auf und gaben andere, umgebaute Stoffe an ihn 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 Koazervatröpfchens gestört; es zerfiel. Die der Umwelt am besten angepaßten Koazervatröpfchen blieben bestehen und entwickelten sich weiter. So wurde bereits auf diesem Stadium eine gewisse Konkurrenz, eine erste natürliche Auslese wirksam. Unter den Bedingungen dieser Auslese verlief die weitere Entwicklung der Koazervate im Urozean.

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 Koazervatröpfchen verliefen zunächst langsam. Aus der Umwelt konnten aber Katalysatoren aufgenommen werden, die zur Reaktionsbeschleunigung führten. Die mit solchen Katalysatoren ausgestatteten Tröpfchen konnten sich schneller entwickeln. Die zuerst einfachen Katalysatoren komplizierten sich später, so daß schließlich Fermente und Fermentkomplexe entstanden.

Die Auslese der Koazervatröpfchen führte zum Angepaßtsein des inneren Baues an die Ausübung der Lebensfunktionen unter den gegebenen Umweltsverhältnissen, zu einer Eigenschaft also, die kennzeichnend für alle heutigen Lebewesen ist.

So wurden die Systeme unter der Wirkung der Auslese immer komplizierter und organisierter. 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 Uroorganismen entstanden, die bereits über alle Eigenschaften des Lebens verfügten.

### Die 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 auch eine ganze Reihe von Einwänden.

Diese Einwände beruhen vor allem auf den neuesten Forschungsergebnissen der Molekularbiologie, insbesondere auf den Ergebnissen über die Vermehrung der Nukleinsäure und die Eiweißsynthese. Der Mechanismus der Nukleinsäurevermehrung und der Eiweißsynthese auf der Nukleinsäurematrize ist heute bereits gut bekannt, und es gibt keinen Grund zu der Annahme, daß diese Prozesse auf den ersten Etappen der Entstehung des Lebens grundsätzlich anders verliefen als heute.

Nach OPARIN wurden die Eiweiße und Nukleinsäuren in den zu den Uroorganismen 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 Koazervatröpfchen wäre aber bei jeder einfachen Teilung des Tröpfchens gestört worden. Es ist also gar nicht klar, wie bei den ersten noch sehr labilen Koazervaten durch die Auslese, also durch Ausmerzungen der „nichtgelungenen“ Koazervatröpfchen, ein koordiniertes Reaktionsnetz entstehen und in den folgenden Generationen beibehalten werden konnte.

Ferner ist bekannt, daß Koazervate nur aus sehr hochmolekularen Stoffen entstehen, deren Molekülgröße etwa an die unserer Eiweiße und Nukleinsäuren heranreicht. Die im Urozean abiogen entstandenen Polypeptide müssen also bereits sehr große Moleküle gehabt haben, ehe sie polymolekulare Systeme bilden konnten.

Im Gegensatz zur Koazervathypothese, nach der das Leben durch die Bildung polymolekularer Systeme und deren unter den Bedingungen der Auslese verlaufenden Entwicklung entstanden ist, steht die Ansicht von der molekularen Entstehung des Lebens. Nach dieser Ansicht stellt die Entstehung polymolekularer Gebilde bereits das Ergebnis einer weiteren Entwicklung der ersten Anfänge des Lebens dar, die eigentliche Entstehung des Lebens vollzog sich jedoch auf molekularem Niveau.

Man kann dabei etwa folgenden Weg der Entstehung des Lebens annehmen: Im Urozean waren, wie theoretische Überlegungen und auch experimentelle Angaben vieler Forscher belegen, die verschiedensten organischen Stoffe abiogen entstanden. Aus ihnen konnten auf chemischem Wege Mononukleotide entstehen, die unter der Wirkung anorganischer oder einfacher organischer Katalysatoren in Polynukleotide der verschiedensten Struktur übergingen. Diese waren bei günstigen Bedingungen in der Lage, sich durch Selbstreproduktion zu vermehren und gleichzeitig als Matrize



für die Synthese von Polypeptiden zu dienen. Die Reaktionen erfolgten noch sehr langsam, da Katalysatoren fehlten oder nur eine geringe Aktivität aufwiesen. Einige der gebildeten Polypeptide konnten ihrerseits die Autoreproduktion der Polynukleotide beschleunigen, wodurch wieder mehr Matrizen für die Polypeptidsynthese gebildet wurden. Hier begann schon eine gewisse Auslese. Durch Unregelmäßigkeiten in der Autoreproduktion der Polynukleotide (Mutationen) entstanden manchmal Veränderungen in der Reihenfolge der Basen in den Polynukleotiden, wodurch diejenigen, die die aktivsten Polypeptide auf ihrer Matrize aufbauten, einen Selektionsvorzug bekamen. So entstanden schließlich Nucleinsäuren, die die Synthese eines Ferments bewerkstelligten, das die Vermehrung der Nucleinsäure beschleunigte. Der primitivste Stoffwechsel bestand also in der Selbstreproduktion der Nucleinsäure und der Synthese des Fermenteiweißes.

Den Ursprung des Lebens bildeten nach dieser Vorstellung Moleküle vom Typ der Nucleoproteide, und erst später traten lebende Gebilde auf, in denen mehrere Moleküle vereinigt waren. Dabei entstanden schließlich solche Systeme, die Fermenteiweiße aufbauten, die selbst die Synthese von Mononucleotiden vollzogen. Solche Verbindungen brauchten dann nicht mehr aus dem Urozean aufgenommen zu werden. Damit waren die lebenden Systeme in der Lage, ihren Stoffwechsel wesentlich aktiver und unabhängiger vom Milieu durchzuführen.

Die Entstehung der ersten Spuren des Lebens und ihre weitere Entwicklung erfolgte dabei allein durch das Wirken von Gesetzen, die wir aus der nichtlebenden Natur kennen, unter Mitwirkung der natürlichen Auslese.

#### Vergleich der Koazervathypothese und der Molekularhypothese der Entstehung des Lebens

##### Koazervathypothese

anorganische C-Verbindungen



Kohlenwasserstoffe



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



polymolekulare Systeme, Koazervate



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



Uroorganismen

##### Molekularhypothese

anorganische C-Verbindungen



Kohlenwasserstoffe



Entstehung komplizierter organischer, z. T. hochmolekularer Stoffe, darunter Polynukleotide 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 Nucleinsäuren und Fermenteiweißen



Entstehung polymolekularer lebender Systeme als weiterer Entwicklungsstufe des Lebens

So sehr sich die Koazervathypothese und die Hypothese der molekularen Entstehung des Lebens auch unterscheiden (siehe obenstehendes Schema), 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 sich in der Vergangenheit neue Sterne und Planetensysteme gebildet haben und daß auch in der Zukunft neue Sterne und Planetensysteme entstehen werden. Man muß also annehmen, daß die Entstehung des Lebens auf der Erde keinen Einzelfall im Universum darstellt; die Entwicklung von lebloser Materie zu lebender 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 bilden, 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 Uroorganismen

Die ersten Lebewesen waren heterotroph. Sie ernährten sich von organischen Substanzen, die abiogen 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 abiogen gebildeten organischen Stoffen 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 und Wasser aufzubauen, also die Photosynthese durchzuführen.

#### Aufgabe

Erläutern Sie die Vorgänge bei der Photosynthese!

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 wurden die Lebewesen in pflanzliche und tierische geschieden.

Eine wichtige Folge der Photosynthese war die Anreicherung von freiem Sauerstoff in der Erdatmosphäre. Dadurch konnten die Lebewesen zur Sauerstoffatmung übergehen, bei der die in den organischen Stoffen enthaltene Energie im biologischen Stoff- und Energiewechsel voll ausgenutzt wird.

Die Frage, wie sich die Entstehung des Lebens vollzogen hat, ist also sehr kompliziert und in vielen Teilen noch unbeantwortet. Sie wird erst dann vollständig geklärt sein, wenn es gelungen ist, das allereinfachste Lebewesen im Laboratorium künstlich herzustellen. Damit werden nicht nur Vorstellungen, die sich Menschen über dieses Problem gemacht haben, überprüft und Lücken der wissenschaftlichen Erkenntnis geschlossen; damit beginnt auch eine neue Periode der Herrschaft des Menschen über die Natur. A. I. OPARIN schreibt hierzu: „Natürlich ist diese Aufgabe sehr kompliziert, doch erscheint sie uns heute schon nicht mehr so phantastisch, wie das noch vor kurzer Zeit der Fall war.“

### 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 jemandem angezweifelt. Sie geht nicht auf irgendwelche Überlegungen zurück, sondern auf unmittelbare, aber unkritische Beobachtungen. Weit verbreitet war zum Beispiel die Überzeugung, daß Würmer aus Mist und faulem Fleisch entstünden, Läuse sich aus menschlichem Schweiß bildeten, Glühwürmchen aus den Funken von Lagerfeuern geboren werden und Frösche und Mäuse aus Tau und feuchter Erde hervorgingen. Die Urzeugung galt als Tatsache, sie wurde nur auf verschiedene Weise erklärt: die mechanischen Materialisten sahen in ihr einen natürlichen Vorgang der Selbstbildung von Lebewesen, die Idealisten deuteten sie als göttlichen Schöpfungsvorgang oder – wie die Vitalisten – als Vereinigung des unbelebten Stoffes mit der Lebenskraft. PARACELsus und VAN HELMONT gaben Rezepte für experimentelle Urzeugung an. So schrieb VAN HELMONT, 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 junge Mäuse hervorbringen, die von denen bei der natürlichen Fortpflanzung entstandenen nicht zu unterscheiden seien.

Es ist nicht leicht, durch den Glauben der Jahrhunderte gefestigte Vorurteile aufzugeben. Die Auseinandersetzung über die Urzeugungslehre dauerte rund 200 Jahre, sie wurde durch Versuche des italienischen Arztes FRANCESCO REDi (1626 bis 1697) eingeleitet. Er spannte Mull über eine Schüssel mit Fleisch und stellte fest, daß sich aus dem Fleisch kleine Maden bildeten. Wohl aber sah er, daß Fliegen ihre Eier auf den Mull legten. Gerieten diese Eier auf Fleisch, entwickelten sich aus ihnen Maden. Damit war erwiesen, daß die weißen Fleischmaden nicht, wie behauptet wurde, durch Urzeugung entstanden, sondern Fliegenlarven sind. Trotz dieser Versuche und ihrer richtigen Erklärung ließ REDi für andere Fälle die Urzeugung noch gelten, zum Beispiel glaubte er, daß Holzwürmer von selbst aus faulenden Stoffen entstehen

könnten. Durch immer genauere Beobachtungen und vor allem durch die Erforschung des verwickelten Baues der Lebewesen wurde allmählich der Glaube an die Entstehung höherer Lebewesen aus Schmutz und Fäulnis widerlegt.

Neue Nahrung erhielt die Urzeugungslehre, als ANTON VAN LEEUWENHOEK (1632 bis 1723) mit selbst hergestellten Vergrößerungsgläsern in verschiedenen Flüssigkeiten die dem unbewaffneten Auge unsichtbare Welt der Mikroorganismen entdeckte. Wie vorher ging der Streit der Gelehrten nicht so sehr darum, ob Mikroorganismen von selbst oder nicht von selbst entstehen können, sondern darum, ob bei ihrer Selbstbildung Lebenskräfte mitwirken oder nicht. Erst LOUIS PASTEUR (1822 bis 1895, Abb. 44) erbrachte mit einer Reihe sorgfältig durchgeführter

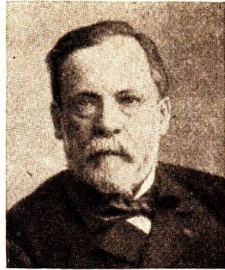


Abb. 44 Louis Pasteur

Versuche den Nachweis, daß Mikroorganismen ebensowenig wie Würmer, Frösche, Mäuse und Maden aus leblosen Stoffen entstehen; sondern durch die in der Luft vorhandenen und überall hingewehten Keime von Mikroorganismen wird Fäulnis und Zersetzung organischer Stoffe verursacht. Schützt man organische Stoffe vor solchen Keimen, etwa durch Erhitzen (Sterilisieren) und anschließendes Zuschmelzen des Gefäßes, so zersetzen sie sich nicht.

Viele Gelehrte folgerten aus den Versuchen PASTEURS, daß Leben überhaupt nicht aus Leblosem entstehen könne. Die Vitalisten und Anhänger der Schöpfungslehre, die zuvor die Urzeugung in ihrem Sinne gedeutet hatten, mißbrauchten nun die PASTEURSchen Experimente als angebliche Bestätigung ihrer Ansicht, daß zwischen Leblosem und Lebendigem eine unüberbrückbare Kluft bestehe und das Leben materialistisch-wissenschaftlich nicht zu erklären sei. Zu Recht bemerkten jedoch klar denkende materialistische Wissenschaftler, daß die von PASTEUR bewiesene Unmöglichkeit einer Urzeugung von Mikroorganismen in Jauche, Fleischbrühe und Heuaufgüssen in keiner Weise dagegen spreche, daß Leben einmal aus lebloser Materie auf der Erde entstanden sei.

**Die Kosmozoentheorie.** Einige Wissenschaftler nahmen an, daß das Leben in Form von Keimen einfachster Lebewesen durch Meteore oder, wie der schwedische Physiker und Chemiker SVANTE ARRHENIUS (1859 bis 1927) behauptete, durch den Druck der Lichtstrahlen von Planeten anderer Sonnen durch den Weltraum auf die Erde befördert worden seien. Sie brachten Argumente dafür, daß solche Lebenskeime die große Kälte sowie den Mangel an Sauerstoff und Wasser auf ihrem Weg überstehen könnten. Aber sie übersahen einen Faktor, der jeden Transport ungeschützter Lebewesen im Weltraum unmöglich macht: Die starke ultraviolette Strahlung im Weltraum zerstört jedes lebende Protoplasma, indem sie die Eiweiße völlig denaturiert. Außerdem beantwortet diese Theorie die Frage nach der Entstehung des Lebens keineswegs, sie verlegt die Entstehung des Lebens lediglich auf andere Himmelskörper.

## Abstammung und Entwicklung des Menschen

Nach den heutigen Kenntnissen der Wissenschaft ist es absolut unmöglich anzunehmen, daß der Mensch durch einen Schöpfungsakt plötzlich auf unsere Erde gekommen ist. Ebenso haben sich alle Vorstellungen als unhaltbar erwiesen, die davon ausgehen, daß der Mensch von den übrigen Organismen völlig unabhängig eine eigene Entwicklung durchlaufen habe. Eingehende Vergleiche zwischen dem Menschen und heute lebenden Tieren sowie zahlreiche Fossilfunde beweisen eindeutig die Abstammung des Menschen aus dem Tierreich.

### Die Stellung des Menschen im System der Organismen

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.



Abb. 45 Spitzhörnchen

Im Verlauf der schnellen und reichen Entfaltung der Säugetiere im frühen Tertiär traten die ersten Primaten in Erscheinung. Es handelte sich um verschiedene Formen von Halbaffen (*Prosimiae*), die sich aus insektenfresserartigen Vorfahren entwickelt hatten. Noch heute leben in Indien, Indonesien und China die unserem Eichhörnchen ähnlichen Spitzhörnchen (zu den *Tupaiiformes* gehörig), die sowohl Merkmale der Insektenfresser wie auch der Halbaffen aufweisen (Abb. 45). Im Zusammenhang mit der Stammesgeschichte des Menschen sind von den Halbaffen neben den Spitzhörnchen die Fußwurzeltiere (*Tarsiiformes*) von besonderem Interesse. Wie aus Fossilfunden zu schließen ist, waren diese im unteren Tertiär in weiten



Abb. 46 Koboldmaki



Abb. 47 Mantelbrüllaffe

Gebieten Europas und Nordamerikas verbreitet. Der Bau des Schädels, des Gehirns, der Plazenta, der äußeren Genitalien und andere Merkmale lassen erkennen, daß es sich um Übergangsformen zwischen den Halbaffen und den echten Affen (*Anthropoidea*) handelt. Die einzigen lebenden Vertreter der Tarsier sind die in Südostasien beheimateten Koboldmakis, die mit ihren übergroßen Augen hervorragend an das Nachtleben angepaßt sind (Abb. 46). Derartige Spezialisierungen haben deren Ahnenformen aber noch nicht aufzuweisen.

Die Unterordnung *Anthropoidea* gliedert sich in die Neuwelt- oder Plattnasenaffen (*Platyrrhina*) und die Altwelt- oder Schmalnasenaffen (*Catarrhina*). Die Plattnasenaffen, zu denen unter anderem der Brüllaffe (Abb. 47) und der Kapuzineraffe gehören, besitzen eine breite Nasenscheidewand, die Nasenlöcher sind nach der Seite gerichtet. Außerdem haben die Plattnasenaffen in jeder Kieferhälfte drei Vormahlzähne. Bei den Schmalnasenaffen dagegen ist – wie beim Menschen – die Nasenscheidewand schmal, 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 im tropischen Amerika eine isolierte Entwicklung durchlaufen, sie kommen als Vorfahren des Menschen nicht in Betracht. Diese müssen unter den Schmalnasenaffen gesucht werden.

Schmalnasenaffen werden systematisch in die Tier- oder Hundsaffen (*Cercopithecoidea*) und in die Menschenaffen und Menschen (*Hominoidea*) unterteilt. Die Tieraffen bewohnen die warmen Gebiete Asiens und Afrikas sowie als einzige rezente europäische Affen den Felsen Gibraltar. Noch in den ersten warmen Perioden des Pleistozäns lebten die Tieraffen auch in Gebieten, die wir heute als mitteleuropäischen Raum bezeichnen. Die bekanntesten lebenden Vertreter sind die Paviane (Abb. 48), Meerkatzen, Makaken und die Rhesusaffen. Zu den *Hominoidea* gehören mehrere Familien: die in den Wäldern Indonesiens lebenden, extrem langarmigen Gibbons (*Hylobatidae*); die Menschenaffen (Abb. 49) im engeren Sinne (*Pongidae*)

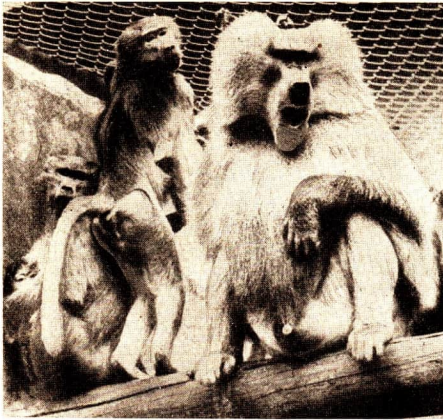


Abb. 48 Bärenpaviane

mit dem auf Borneo und Sumatra heimischen Orang-Utan (*Pongo*), dem Schimpansen (*Pan*) und dem Gorilla (*Gorilla*), die beide in Äquatorialafrika leben; die Menschen (*Hominidae*).

Die Aufzählung der zu den echten Affen gehörigen Formen darf aber – aus Gründen, die wir noch kennenlernen werden – nicht im Sinne einer stammesgeschichtlichen Entwicklungsreihe aufgefaßt werden. Es sind hier nur die Familien und Gattungen der Primaten erwähnt, die für die Abstammung des Menschen von Bedeutung sind.



Abb. 49 Schimpanse

## Die Abstammung des Menschen

Um eine wissenschaftlich begründete Vorstellung davon zu bekommen, wie die Stammesgeschichte des Menschen im einzelnen verlaufen ist, stehen dem Anthropologen grundsätzlich zwei Methoden zur Verfügung. Er muß einmal den Menschen mit den heute lebenden Tieren in möglichst umfassender Weise vergleichen, wobei besonders solche Tiere in Betracht kommen, die in einem engeren Verwandtschaftsverhältnis zum Menschen stehen. Zum anderen muß er die entsprechenden fossilen Tierreste und fossilen Menschenreste untereinander und mit dem rezenten Menschen genau vergleichen.

### Vergleichende Untersuchungen an Menschen und rezenten Tieren

Der Vergleich des Menschen mit den heute lebenden Tieren ergibt zahlreiche Hinweise auf die näheren Verwandtschaftsverhältnisse zwischen dem Menschen und den übrigen Primaten sowie auf den Körperbau der gemeinsamen Ahnenformen. Selbstverständlich kann man die Vorfahren des Menschen nicht unter den rezenten Primaten erwarten, da alle gegenwärtig lebenden Organismen vorläufige Endglieder langer Entwicklungsreihen sind, die sich in mehr oder weniger weit zurückliegender Zeit voneinander getrennt haben. Während der Zeit ihrer selbständigen Entwicklung hat jede Form charakteristische eigene Merkmale ausgebildet; ursprünglich gemeinsame Merkmale wurden in die eine oder andere Richtung abgewandelt. Viele Einzelheiten und vor allem die Grundzüge des Körperbaues stimmen aber bei verwandten Formen noch weitgehend überein, in der Regel um so mehr, je kürzer die Zeit der voneinander isoliert verlaufenden Entwicklung ist.

### Aufgabe

Belegen Sie die Richtigkeit dieser Aussage an Hand von selbstgewählten Beispielen! Beziehen Sie in Ihre Überlegungen auch Ihre Kenntnisse über Entwicklungsreihen mit ein!

In seinem Körperbau zeigt der Mensch die meisten Übereinstimmungen und Ähnlichkeiten mit den Menschenaffen. Die engen Verwandtschaftsbeziehungen zwischen den Menschenaffen und dem Menschen werden nicht nur in der vergleichbaren Körpergröße und in den zahlreichen Gemeinsamkeiten im Bau des Schädels, des Gehirns, der Sinnesorgane, des Skeletts, der Lage und dem Bau der inneren Organe, dem Fehlen eines Schwanzes usw. deutlich, sondern auch in vielen physiologischen Einzelheiten, besonders solchen, die mit der Fortpflanzung in Zusammenhang stehen. Wie weit diese Übereinstimmungen gehen, sollen je ein Beispiel aus der Morphologie und aus der Physiologie erläutern.

Es wurde bereits erwähnt, daß der Mensch die gleiche Zahnformel besitzt wie alle Schmalnasenaffen. Die Menschenaffen unterscheiden sich aber von allen übrigen Primaten durch eine besondere Struktur der Mahlzähne des Unterkiefers. Die Krone dieser Zähne weist fünf Höcker auf, von denen in alternierender Stellung drei wangenwärts und zwei zungenwärts stehen, so daß das zwischen den Höckern stehende





Abb. 50 Unterer Backenzahn mit dem für die Menschenaffen und für den Menschen typischen Kronenmuster

Furchensystem eine Y-Figur bildet (Abb. 50). Dieses Kronenmuster besaßen bereits die ältesten fossilen Menschenaffen. Es tritt aber auch noch beim heutigen Menschen in Erscheinung, besonders am ersten Mahl Zahn. Die Kronenstruktur der Zähne beruht auf einem verhältnismäßig starren und komplizierten Erbmechanismus, so daß es höchst unwahrscheinlich ist, daß der Mensch zufällig das gleiche Höcker-system unabhängig von den Menschenaffen erworben hat. Gerade derartig komplizierte Merkmale, die streng vererbt werden, also von Umweltfaktoren weitgehend unabhängig sind, müssen als deutliche Hinweise auf eine enge stammesgeschichtliche Verwandtschaft angesehen werden.

Von besonderer Bedeutung ist die weitgehende Übereinstimmung im Bau der Eiweißkörper des Menschen und der Menschenaffen. Spritzt man einem Versuchstier, beispielsweise einem Kaninchen, Menschenblut ein, dann bilden sich in dem Tier sogenannte Antikörper aus. Bringt man dann Menschenblut mit dem Blutserum des Kaninchens, das in diesem Fall als Menschen-Anti-Serum bezeichnet wird, zusammen, dann kommt es zu einer Ausfällung von Eiweiß, die in einer Niederschlagsreaktion sichtbar wird (Abb. 51). Man kann auch das Menschen-Anti-Serum mit dem Blut anderer Tiere mischen. Das Blut eines Vogels oder eines Pferdes ergibt aber keine nennenswerte Reaktion. Das gleiche Serum ruft dagegen beim Blut von Halbaffen eine sehr deutliche Reaktion hervor; am stärksten reagiert jedoch das Blut der Menschenaffen, besonders das des Schimpansen. Das erklärt sich daraus, daß die Stärke des Niederschlags von den Unterschieden beziehungsweise Übereinstimmungen in der Struktur der Eiweißkörper abhängig ist. Je ähnlicher die Struktur ist, desto

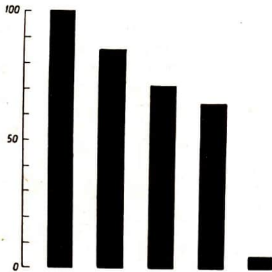


Abb. 51 Maximale Reaktion eines Menschen-Anti-Serums mit den Seren von Mensch, Schimpanse, Orang, Makakus und Igel (von links nach rechts)

deutlicher ist die Reaktion. Die Untersuchungen zeigen eindeutig, daß sich der chemische Aufbau der Eiweißkörper des Menschen und der Menschenaffen weitgehend gleicht. Es ist im höchsten Grade unwahrscheinlich, daß derartig hochkomplizierte Strukturen, wie sie die Eiweiße darstellen, mehrmals unabhängig voneinander in einer derartigen Übereinstimmung zufällig entstanden sind. Sie ist nur so zu erklären, daß sich die Eiweißkörper im Verlauf der Stammesgeschichte verändert haben und insbesondere komplizierter geworden sind. Je länger der gemeinsame Entwicklungsweg war, um so mehr gleichen sich die Eiweißstrukturen.

Die vergleichenden Untersuchungen zwischen den Menschen und den rezenten

höheren Primaten lassen aber nicht nur zahlreiche und zum Teil sehr weitgehende Übereinstimmungen erkennen, sie zeigen auch die Unterschiede deutlich, die zwischen dem Menschen und seinen nächsten tierischen Verwandten in biologischer Hinsicht bestehen! Diese Unterschiede zu erkennen, ist für das Verständnis des Menschen und seiner Entwicklung ebenfalls von großer Bedeutung. Zu den auffälligsten Unterschieden im Körperbau des Menschen und der Menschenaffen gehören die aufrechte Körperhaltung, die verhältnismäßig unspezialisierten Hände und das hochentwickelte, große Gehirn des Menschen. Besonders auffällig ist außerdem die lange Kindheits- und Jugendperiode während der individuellen Entwicklung des Menschen.

Die aufrechte Körperhaltung hat besonders im Bau des Skeletts zu einer ganzen Reihe charakteristischer Eigenheiten geführt (Abb. 52). 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, Laufen und Springen auftretenden Stöße werden gemildert auf den Kopf übertragen. Sehr auffällige Unterschiede bestehen auch im Bau des Beckens. Sind die Hüftbeine der Affen brettartig gestreckt, so sind sie beim menschlichen Becken schaufelartig gekrümmt, so daß sie zusammen mit dem Kreuzbein einen schüsselähnlichen Ring bilden, der weitgehend die Last der Eingeweide und der inneren Organe (bei der schwangeren Frau auch die der Frucht) aufnimmt. Die unteren Extremitäten der Menschenaffen sind im Knie nach vorn und nach der Seite geknickt, dadurch entstehen statisch sehr ungünstige Verhältnisse bei der Aufrichtung des Körpers, dafür aber Vorteile beim Abstemmen vom Baumstamm

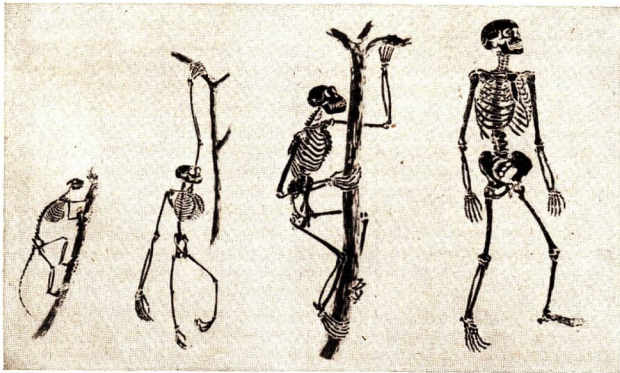


Abb. 52 Primatenskelette

Halbaffe  
(fossil)

Gibbon

Schimpanse

Homo sapiens

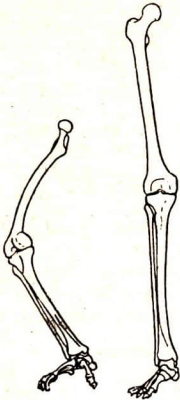


Abb. 53 Untere Extremität von Gorilla und Mensch

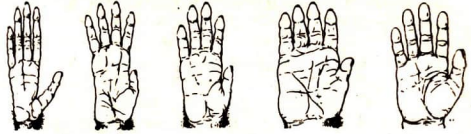


Abb. 54 Hand von Gibbon, Orang, Schimpansen, Gorilla und Menschen

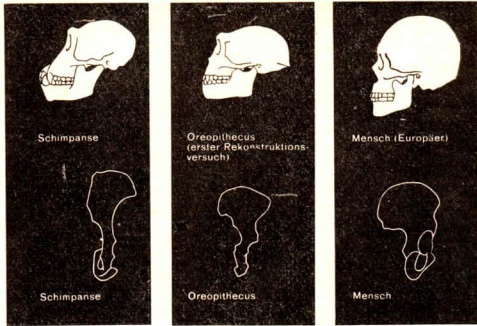
während des Kletterns (Abb. 53). Der Mensch besitzt dagegen ausgesprochene Stand-Schreit-Extremitäten mit nur schwach nach unten-innen geneigten Oberschenkelknochen und fast senkrecht stehenden Schienbeinen, die eine unmittelbare Übertragung der Körperlast auf die Füße ermöglichen!

Im Vergleich mit den ältesten vierfüßigen Landwirbeltieren muß die Menschenhand der Affenhand gegenüber als primitiv bezeichnet werden (Abb. 54). 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. Im Zusammenhang mit den langen Armen wird die Hand dadurch zu einem sehr brauchbaren, hakenartigen Kletterorgan, besonders bei einer schwingkletternden Fortbewegungsweise. Die Hand des Menschen hat hingegen eine derartige Spezialisierung an eine bestimmte Lebensweise nicht aufzuweisen und ist als ausgesprochene Greifhand viel universeller verwendbar.

Auch in der Kopfregion gibt es auffällige Verschiedenheiten zwischen dem Menschen und dem Menschenaffen (Abb. 55). Ist bei den Menschenaffen der Hirnschädel gegenüber dem Gesichtsschädel mit dem großen Kauapparat verhältnismäßig klein, so sind die Schädelproportionen beim Menschen gerade umgekehrt. Der große menschliche Hirnschädel beherbergt ein entsprechend großes Gehirn, das aber nicht nur eine größere Masse, sondern auch qualitative Unterschiede aufweist. Vor allem fällt die Oberflächenvergrößerung der Hirnrinde infolge einer stärkeren Furchung und eine relative Vergrößerung besonders des Vorderhirns und der Schläfenregion auf. Dort liegen für die geistige Tätigkeit wichtige Assoziationszentren und das Sprachzentrum.

Auffällige Unterschiede zwischen den Menschenaffen und dem Menschen bestehen auch in der Individualentwicklung. So verläuft zum Beispiel die Kindheits- und Jugendentwicklung beim Menschen extrem langsam. Dauert es beim Menschenkind im Durchschnitt 28 Monate, bis alle Zähne des Milchgebisses, und 19,9 Jahre, bis alle Dauerzähne durchgebrochen sind, so ist demgegenüber beim Schimpansen durchschnittlich schon mit 12,3 Monaten das Milchgebiß und mit 10,2 Jahren das

Abb. 55 Schädel und Beckenknochen von einem Schimpanse, *Oreopithecus* und Menschen



Dauergeiß vollendet. Auch die Geschlechtsreife und der Abschluß des Körperwachstums erfolgen beim Menschen erst sehr viel später als bei den Menschenaffen. Der Schimpanse ist schon mit 10 Jahren geschlechtsreif und mit 11 Jahren ist sein Wachstum abgeschlossen. Beim Menschen liegen dagegen 5 bis 6 Jahre zwischen dem Eintritt der Geschlechtsreife und dem Aufhören des Wachstums, das beim weiblichen Körper um das 18., beim männlichen um das 20. Lebensjahr zu beobachten ist. Ganz offensichtlich hat die lange Kindheits- und Jugendentwicklung eine ganz besondere Bedeutung, da es sich hierbei um die intensivste Lernperiode im Leben des Menschen handelt.

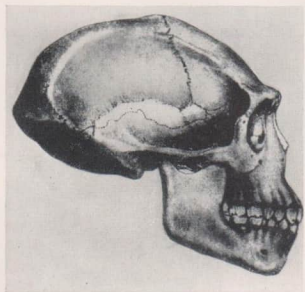
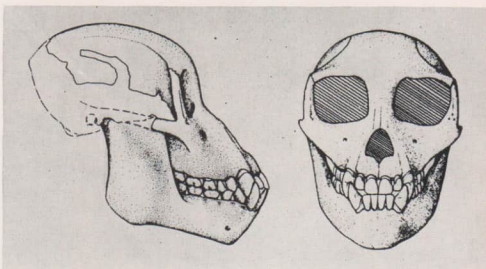
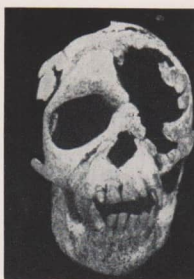
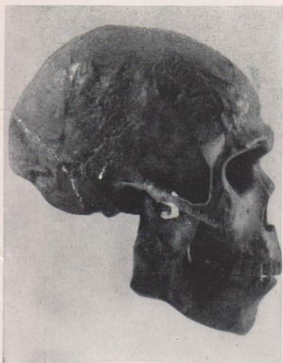
Die zwischen dem Menschen und den Menschenaffen bestehenden Unterschiede sprechen nicht gegen enge stammesgeschichtliche Verwandtschaftsbeziehungen. Vergleicht man nämlich die Menschenaffen mit den anderen Primaten, so ergibt sich, daß die Menschenaffen in sehr vielen Merkmalen dem Menschen näher stehen als den niederen Affen. Dies gilt besonders für die Gehirnentwicklung, doch auch die Kindheits- und Jugendperiode läßt von den niederen zu den höheren Affen schon eine deutliche Tendenz zur Verlängerung erkennen, die nur beim Menschen besonders extrem ausgeprägt ist. Besonderheiten in der Biologie des Menschen muß man aber geradezu erwarten, wenn man berücksichtigt, daß der Mensch und die heutigen Menschenaffen seit der Trennung von ihrer gemeinsamen stammesgeschichtlichen Ausgangsbasis einen mehrere Millionen Jahre langen eigenständigen Entwicklungsweg hinter sich haben. Ausschlaggebend für den Menschen war dabei, daß er sich nicht auf eng begrenzte Umweltverhältnisse spezialisiert hat. Sein hochdifferenziertes Gehirn und die durch den Erwerb der aufrechten Körperhaltung von der Fortbewegungsfunktion freien, vielseitig verwendbaren Hände haben den Menschen befähigt, unter den verschiedensten Umweltbedingungen zu existieren und in zunehmendem Maße aktiv auf die ihn umgebende Natur einzuwirken. Die vielfältigen von der Umwelt – auch von den eigenen Artgenossen – ausgehenden Einflüsse haben im

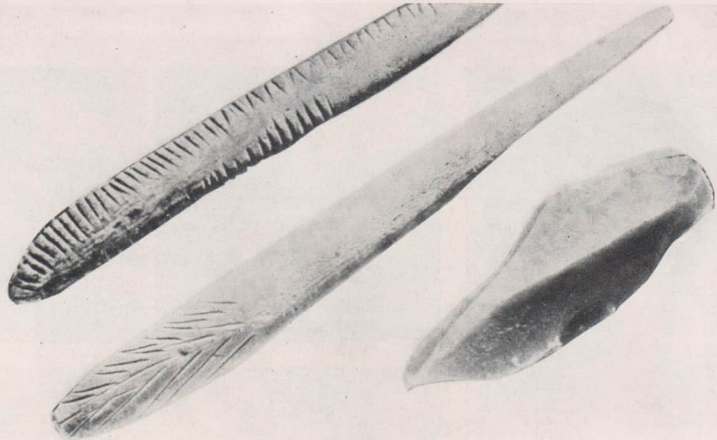
Zusammenhang mit der langen Periode intensiver individueller Lernfähigkeit dazu geführt, daß der Mensch sich in den verschiedenartigsten Situationen zu behaupten lernte. Immer stärker entwickelte sich die Fähigkeit, verändernd auf die Umwelt einzuwirken. In enger Wechselwirkung hiermit hat sich ein hochdifferenziertes Verständigungsmittel, die Sprache, entwickelt. Auch die Menschenaffen verfügen über komplizierte Laute, die sie zu Gefühlsäußerungen, aber offenbar auch zu einfachen Mitteilungen verwenden. Eine dauerhafte situationsgebundene Beziehung zwischen Ding und Wort gibt es aber nur beim Menschen. Die Möglichkeit, an Stelle der Dinge entsprechende Wortsymbole zu gebrauchen, ist die Voraussetzung für das analysierende und zusammenfassende, einsichtige Denken; für die Weitergabe komplizierter Erfahrungsinhalte an die Mitmenschen. Das allein ermöglicht die Entwicklung gesellschaftlicher Beziehungen, die mit keinem tierischen Zustand vergleichbar sind.

Die vergleichende Betrachtung des Menschen und der rezenten Menschenaffen lehrt uns also, daß zwischen ihnen ohne Zweifel enge Verwandtschaftsverhältnisse bestehen, denn nur dann werden die vielen Übereinstimmungen und Ähnlichkeiten in morphologischer und physiologischer Hinsicht verständlich. Sie zeigt aber auch die stammesgeschichtlich entstandenen Unterschiede auf, von denen man nicht ohne weiteres ein einzelnes Merkmal als für den Menschen absolut kennzeichnend herausgreifen kann. Ein hochdifferenziertes Gehirn allein würde uns nicht zum Menschen machen, wenn wir die Hände zur Fortbewegung benötigten, anstatt mit ihnen unsere Ideen in die Tat umzusetzen. Umgekehrt könnten die Möglichkeiten unserer vielseitig brauchbaren Hände nicht ausgenutzt werden, wenn ihre Tätigkeit nicht durch ein leistungsfähiges Gehirn gesteuert und kontrolliert würde. Eine richtige Beurteilung der Stellung des Menschen innerhalb der Primatenordnung ist deshalb nur möglich, wenn seine biologische Struktur im ganzen berücksichtigt wird. Es muß außerdem hervorgehoben werden, daß die charakteristischen Eigenheiten der menschlichen Existenzform nicht allein Gegenstand der Biologie sind. 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 Biologie und der Gesellschaftswissenschaften ist.

#### Aufgaben

1. Lesen Sie ENGELS, „Der Anteil der Arbeit an der Menschwerdung“! Stellen Sie danach noch einmal die Beziehungen zwischen Arbeit, Sprache und Denken heraus!
2. Erarbeiten Sie sich eine tabellarische Übersicht über die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede der Morphologie und Physiologie von Menschen und Menschenaffen!





Planmäßige Forschungen und glückliche Zufälle haben zu einer ansehnlichen Zahl von Fossilfunden geführt, die alle wesentlichen Ergebnisse des Vergleichs von Mensch und rezenten Menschenaffen auf das eindrucksvollste bestätigen. Dabei muß man dergleichen Funden eine ganz besondere Beweiskraft zuerkennen, da sie unmittelbare Zeugnisse des stammesgeschichtlichen Entwicklungsprozesses sind. Sie geben nicht nur Aufschluß über den Formenwandel, sondern – was besonders wichtig ist – 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. Oft ist es jedoch möglich, auch hieraus weitgehende Schlüsse auf den gesamten Körperbau und die Lebensweise zu ziehen, dabei erlangen die durch vergleichende Untersuchung rezenter Formen gewonnenen Erkenntnisse eine besondere Bedeutung. Die Fossilfunde geben darüber hinaus einen äußerst wichtigen Einblick in die durch die geographische Lage, das Klima, die lebende und nichtlebende Umwelt und nicht zuletzt die jeweils erreichte Kulturhöhe gegebenen damaligen Lebensumstände.

#### Die ältesten fossilen menschenähnlichen Affen

Der älteste Fund, dessen Zugehörigkeit zu den menschenähnlichen Affen (*Hominoida*) unzweifelhaft ist, stammt aus dem Unteroligozän Ägyptens. Es handelt sich um einen Unterkiefer mit einer für die Schmalnasenaffen typischen Zahnformel. Die Eckzähne sind noch kleiner als die zweiten Schneidezähne und die aufsteigenden Äste des Unterkiefers sind verhältnismäßig niedrig. Der Fund trägt die wissenschaftliche Bezeichnung *Parapithecus* (Abb. 56). Er stammt von einem primitiven, sehr kleinen Affen, der offenbar den Gibbons, aber auch der Ausgangsform der Menschenaffen im engeren Sinne (*Pongidae*) nahestand. Aus dem unteren Oligozän Ägyptens und dem Miozän Ostafrikas sind weitere Funde bekannt, die der zu den Gibbons führenden Entwicklungslinie zugeordnet werden müssen. Allerdings waren diese frühen Formen nach ihrem Gliedmaßenskelett noch vierbeinige Springer, Läufer sowie Hand- und Fußgreifkletterer. Sie waren also noch nicht so extrem an das schwingkletternde Baumleben angepaßt wie die heutigen Gibbons.



Abb. 56 Unterkiefer des *Parapithecus*

Die bisher ältesten fossilen Menschenaffen wurden in mittelmiozänen Ablagerungen Zentralafrikas gefunden. Sie werden als *Proconsuliden* bezeichnet. Die zahlreichen Fundstücke gehören mindestens zu drei verschiedenen Arten, von denen die kleinste etwa so groß wie die rezenten Zwergschimpansen war, während die größte die Körperhöhe eines Gorillas erreichte. Der Körperbau der Proconsuliden zeigt mancherlei Ähnlichkeit mit dem der Tieraffen. Der Schädel weist 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. Die Tiere lebten in Steppengebieten mit lichten Busch- und Baumbeständen



und in Galeriewäldern an den Hängen der Erosionstäler. In diesem Lebensraum bestanden außerordentlich günstige Voraussetzungen für den Übergang vom Baum- zum Bodenleben. Tatsächlich waren die Proconsuliden auch noch keine extremen Schwingkletterer, so daß die Möglichkeit bestand, daß sich Angehörige dieser Gruppe einerseits ganz an das Baumleben anpassen und dann zu den heutigen Menschenaffen weiterentwickeln konnten, während andere vollständig zum Bodenleben übergangen und damit die zum Menschen führende Entwicklung einleiteten. Die Proconsuliden geben demnach eine Modellvorstellung von den Lebewesen an der Gablungsstelle, von der ab sich die Entwicklungslinien der Menschenaffen und des Menschen voneinander getrennt haben.

Aus der weiteren Stammesgeschichte der Menschenaffen sind zahlreiche Fossilfunde aus dem Miozän und dem Anfang des Pleistozäns aus Europa, Asien und Afrika bekannt, die als **Dryopithecinen** (Baumaffen) zusammengefaßt werden können. Da im tropischen Urwald Skelettreste nur selten lange Zeit erhalten bleiben, bestehen die Funde vorwiegend aus Zähnen und Kieferbruchstücken, die bisher noch keinen eindeutigen Aufschluß über ihre direkte Beziehung zu den einzelnen rezenten Menschenaffengattungen zulassen.

#### Fossilfunde aus der Tier-Mensch-Übergangsperiode

Zwischen den Proconsuliden und den nächsten Funden, die für die Stammesgeschichte des Menschen von Bedeutung sind, liegt ein Zeitraum von rund 10 Millionen Jahren. Die in Italien gefundenen Skelettreste stammen aus der Übergangsperiode vom Miozän zum Pliozän und sind demnach selbst etwa 10 Millionen Jahre alt. Sie tragen die Bezeichnung **Oreopithecinen** und gehören zu einer Gruppe von Lebewesen, die ein sehr menschenähnliches Gebiß hatten. Besonders wichtig sind aber der Bau der Wirbelsäule und des Fußes sowie die verhältnismäßig weit ausladenden Darmbeinschaukeln, die auf eine zumindest zeitweilig aufgerichtete Körperhaltung hinweisen. Andererseits besaßen die Oreopithecinen ein noch relativ kleines Gehirn. Die Befunde machen es wahrscheinlich, daß diese Lebewesen der menschlichen Entwicklungslinie nahe gestanden haben. Zusammen mit den älteren fossilen Menschenaffen bestätigen sie die Ansicht, daß sich bei den Vorfahren des Menschen unter Umgehung einer hochgradigen Anpassung an das Baumleben schon sehr früh eine Tendenz zum aufrechten Gang zeigte, lange bevor die Gehirnentwicklung ein menschliches Leistungsminimum ermöglichte.

Wesentliche Kenntnisse vom Prozeß der Menschwerdung verdanken wir den vor allem in Südafrika gefundenen **Australopithecinen**. Aus Schichten des unteren bis mittleren Pleistozäns hat man bis jetzt die Reste von weit über hundert Individuen beider Geschlechter und verschiedener Altersstufen geborgen, so daß die Variabilität vieler Merkmale verhältnismäßig gut zu beurteilen ist. Es lassen sich mindestens zwei verschiedene Gruppen unterscheiden, die Gattungen *Australopithecus* (Abb. 57) und *Paranthropus*. Ihr Schädel wirkt in seinen Proportionen äffisch, doch ragt die Kieferpartie weniger weit vor und der Überaugenwulst ist schwächer, während das Hinterhaupt mehr ausgerundet ist als beim Schimpansen. Viele Einzelmerkmale sind jedoch

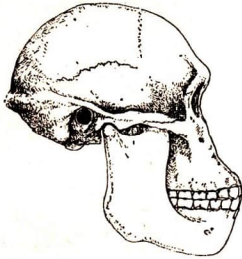


Abb. 57 Schädel eines *Australopithecus*

sehr menschenähnlich, wie zum Beispiel die Ohrregion oder das Gebiß mit seiner geschlossenen, bogenförmigen Zahnreihe, die vom Eckzahn nicht überragt wird. Die stark abgekauten Milchzähne lassen auf eine lange Jugendperiode schließen. Die Hirnschädelkapazität liegt mit 450 bis 750 cm<sup>3</sup> noch teilweise in der Variationsbreite der rezenten Menschenaffen (Maximum 685 cm<sup>3</sup>). Das Hinterhauptloch befindet sich jedoch mehr nach der Mitte der Schädelbasis zu, daraus ergibt sich im Zusammenhang mit den breiten, sehr menschenähnlichen Darmbeinen des Beckens eindeutig, daß die Australopithecinen aufrecht gegangen sind (Abb. 58).

Die Australopithecinen bewohnten keine geschlossenen Waldgebiete, sondern eine Baumsteppe. Zahlreiche aufgeschlagene Knochenreste 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 ist nur mit Hilfe gewisser lautlicher Verständigungsmöglichkeiten denkbar. Es finden sich Hinweise auf Kannibalismus, der bei den Menschenaffen nicht vorkommt. In den Australopithecinen-Schichten wurden außerdem Funde gemacht, die als Knochenwerkzeuge 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 vollzog. Allerdings haben sich die bis heute bekannten Australopithecinen nicht direkt zum heutigen Menschen weiterentwickelt, sondern stellen einen ausgestorbenen, relativ späten Seitenzweig des Tier-Mensch-Übergangsfeldes dar. Unsere direkten Vorfahren mußten den Status der Australopithecinen spätestens in der Übergangszeit vom Tertiär zum Pleistozän erreicht haben, denn im frühen Pleistozän lebten bereits die **Archanthropinen**, die einen wesentlich progressiveren



Abb. 58 Beckenknochen von einem Schimpansen, *Australopithecus* und Menschen (oben)

Typus verkörpern. Von den spätertären Übergangsformen sind bisher noch keine Fossilfunde bekannt. Es dürfte jedoch nur eine Frage der Zeit sein, bis auch von ihnen Reste entdeckt werden. Sie werden dann als Endstadien des eigentlichen Menschwerdungsprozesses anzusehen sein. Sie bildeten die Basis für die Entfaltung verschiedener Menschengruppen während des Pleistozäns, die zum Teil ausstarben, aus denen aber schließlich auch der heutige Mensch hervorging.

#### Fossilfunde aus der humanen Periode der Menschheitsentwicklung

Zu den **Archanthropinen** gehören zahlreiche Fossilfunde, die auch als **Pithecanthropus-Sinanthropus-Gruppe** bezeichnet werden. Die Hauptfundstellen liegen auf der Insel Java und in der Nähe von Peking. Neuerdings werden auch ein Unterkiefer aus Europa (Mauer bei Heidelberg) und mehrere Funde aus Afrika den Archanthropinen zugeordnet. Zeitlich erstrecken sich die Funde vom frühen bis zum späten Pleistozän.

Das Aussehen der Archanthropinen wird durch einen grobprimitiven Schädelbau bestimmt, der vor allem durch einen kräftigen Überaugenwulst, eine stark fliehende Stirn und einen niedrigen Hirnschädel charakterisiert ist, doch sind diese Merkmale nicht so extrem ausgebildet wie bei den Menschenaffen. Die Hirnschädelkapazität schwankt zwischen 775 und 1225 cm<sup>3</sup>. Sie liegt also schon weit außerhalb der Variationsbreite der rezenten Großaffen. Da die meisten Funde nur aus Schädelfragmenten bestehen, weiß man über den Bau des Körperskeletts der Archanthropinen erst verhältnismäßig wenig. Der Oberschenkelknochen eines *Pithecanthropus* ist aber so überraschend menschenähnlich, daß er nur von einem perfekten Aufrechtgänger stammen kann.

Der vollständig menschliche Status der Archanthropinen ist nicht anzuzweifeln, wenn auch nur an zwei Fundstellen ihre knöchernen Überreste im Zusammenhang mit Werkzeugen gefunden wurden. Derartige Fundzusammenhänge sind aus einer Zeit, in der es noch keine regulären Totenbestattungen und erst recht keine Bestattungen mit Beigaben gegeben hat, reine Zufallsfunde und dementsprechend selten. Werden also Skelettreste ohne beiliegende Werkzeuge gefunden, so kann man daraus nicht schließen, daß die betreffenden Lebewesen nicht in der Lage waren, Werkzeuge herzustellen. Da die Fähigkeit, Werkzeuge anzufertigen, das wichtigste Kriterium dafür ist, ob man von einem Tier oder von einem Menschen sprechen muß, ist eine richtige Beurteilung der Fossilfunde nicht immer leicht.

Diese Problematik wird vor allem an der Australopithecinen-Forschung deutlich. Der Name bedeutet „Südafaffe“, während man die Angehörigen dieser Gruppe nach dem heutigen Wissen keinesfalls mehr als Affen bezeichnen kann. Ähnliches trifft aber auch für den *Pithecanthropus* („Affemensch“) zu, der ohne jeden Zweifel den Status des Menschseins voll erreicht hatte. Beim *Sinanthropus* konnte neben der Herstellung von Werkzeugen auch die bisher früheste Benutzung des Feuers nachgewiesen werden. Einige zu den Archanthropinen gehörige Funde lassen vermuten, daß sie Überreste von Kannibalenmahlzeiten darstellen.

Gegen Ende des Pleistozäns, während der letzten Zwischeneiszeit und des ersten Teils der letzten Eiszeit lebte in Europa eine andere Menschengruppe, die unter dem Namen Neandertaler bekannt ist und wissenschaftlich als *Paläanthropus*-Gruppe

bezeichnet wird. Ob einige gleichaltrige Funde aus Afrika und Asien direkte genetische Beziehungen zu den europäischen Paläanthropinen hatten, ist sehr zweifelhaft (Abb. 59).

Die Paläanthropinen besaßen im Durchschnitt einen wesentlich größeren Schädel als die Archanthropinen. Ihr Hirnschädelvolumen schwankte zwischen 1230 und 1720 cm<sup>3</sup>. In der Mehrzahl hatten sie eine größere Schädelkapazität als im Durchschnitt der heutige Mensch. Der Schädel ist sehr lang und breit, aber nicht sehr hoch. Die stark fliehende Stirn ist nur wenig gewölbt. An ihrem 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, allerdings in mancher Hinsicht wenig wendig war.

Die Paläanthropinen konnten vollkommen aufrecht gehen, und es besteht kein Zweifel an ihrer menschlichen Natur. Sie waren in der Lage, sehr verschiedene Werkzeuge herzustellen, benutzten das Feuer und betrieben Großwildjagd, zu der sie sogar schon Fernwaffen, nämlich Holzspeere mit im Feuer gehärteten Spitzen, benutzten. Zum Teil bestatteten sie ihre Toten. In verschiedenen Höhlen der Alpen fand man Kultstätten, die offenbar dem Bären-Jagdzauber dienten. Die Paläanthropinen setzten sich demnach auch schon mit geistigen Mitteln mit ihrer Umwelt auseinander.

Dennoch hat sich der heutige Mensch offensichtlich nicht aus den Paläanthropinen – zumindest nicht aus deren extremen jüngsten Formen der letzten Eiszeit – entwickelt, da zur gleichen Zeit und sogar schon lange vor ihnen Menschen lebten, die dem *Homo sapiens* wesentlich ähnlicher waren als sie, und die mit größerer Wahrscheinlichkeit unsere unmittelbaren Vorfahren sind (s. Tafel 3). Ihre Reste werden deshalb auch als Präsapiensfunde bezeichnet. Sie zeichnen sich unter anderem durch einen hochgewölbten Hirnschädel, einen schwachen oder gar fehlenden Überaugenwulst und ein deutlich entwickeltes Kinn aus. Besonders interessant sind mehrere Funde aus Palästina, die zum Teil typisch paläanthropin sind, während andere gleichaltrige Präsapiensformen darstellen. Manche sind sogar als Mischformen anzusprechen. Es haben demnach Paläanthropinen und Menschen vom Präsapiens-typus zusammen gelebt und sich auch untereinander vermischt. Auch die kulturelle Hinterlassenschaft dieser Menschen läßt auf eine Vermischung primitiver und progressiver Typen schließen, da sich Faustkeil- und Klingenkulturen im gleichen Raum mehrfach abwechseln.

Die Paläanthropinen nahmen demnach in unserer Vorfahrenreihe keine zentrale Stellung ein, sondern stellen einen Seitenzweig dar, der allerdings nicht vollkommen isoliert neben der zum *Homo sapiens* führenden Entwicklungslinie stand. Wer die

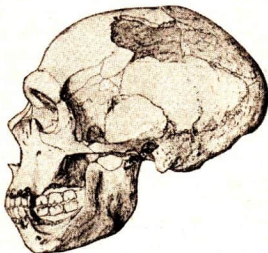


Abb. 59 Neandertaler-Schädel

unmittelbaren Vorfahren des Präsaapiensmenschen waren, kann noch nicht mit Sicherheit gesagt werden. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß sich alle drei großen pleistozänen Menschenformen von einer gemeinsamen frühpleistozänen Ausgangsbasis aus mehr oder weniger getrennt voneinander entwickelt haben. Während die Archanthropinen und die Paläanthropinen gegen Ende des Pleistozäns ausstarben, entwickelte sich der *Homo sapiens* allein aus den Präsaapiensformen.

Noch aus der letzten Eiszeit stammt eine große Zahl von Fossilfunden, über deren Zuordnung zum *Homo sapiens* keine Zweifel bestehen. Dieser eiszeitliche *Homo sapiens* unterscheidet sich von den Archanthropinen und Paläanthropinen vor allem durch einen hohen, gut ausgewölbten Hirnschädel mit einer relativ ansteigenden Stirn, das Fehlen von Überaugenwülsten, eine deutliche Kinnbildung und einen weniger groben Skelettbau. Kulturell gehört er der jüngsten Stufe der Altsteinzeit (Jungpaläolithikum) an, deshalb wird er auch als Jungpaläolithiker bezeichnet. Der jungpaläolithische Mensch war zum Teil schon zur werkstattmäßigen Fertigung seiner Arbeits- und Jagdgeräte übergegangen, wobei er neben Steinwerkzeugen geschliffene Knochengeräte (z. B. Nadeln und Harpunenspitzen) in hoher Vollendung herstellte. Seine Höhlenmalereien, seine Ritzzeichnungen auf Knochen und seine plastischen Darstellungen von Tieren und Menschen sind die ältesten Werke der bildenden Kunst, die wir kennen. Mit dem jungpaläolithischen *Homo sapiens* war der Menschentypus in allen seinen wesentlichen Grundzügen entstanden, der auch heute noch die Erde bewohnt.

#### **Aufgaben**

1. Stellen Sie in einer Übersicht die wichtigsten Fossilfunde aus der Entwicklung des Menschen zusammen! Zeigen Sie die wesentlichsten Zusammenhänge zwischen diesen sowie zwischen den fossilen und rezenten Formen auf!
2. Heben Sie bei der jeweiligen Form die wesentlichen Merkmale besonders hervor!
3. Versuchen Sie, nach den im Text angedeuteten Variationsmöglichkeiten verschiedene Varianten des menschlichen Stammbaumes zu entwickeln! Vergleichen Sie das Ergebnis mit Abbildung 60!

#### **Die Menschwerdung war nicht nur ein biologischer Vorgang**

Die Menschwerdung wurde nicht allein von biologischen Gesetzen bestimmt. Allerdings wäre die Entwicklung des Menschen nicht möglich gewesen, wenn nicht eine Reihe von biologischen Voraussetzungen bestanden hätten beziehungsweise entstanden wären. Hierzu gehört in erster Linie das Fehlen von hochspezialisierten Anpassungen an bestimmte, eng begrenzte Biotope bei unseren tierischen Vorfahren, die in körperlicher Hinsicht so wandlungsfähig sein mußten, daß sie sich zum Menschen weiterentwickeln konnten. Ein wesentliches Ereignis für die Menschwerdung war die Aufrichtung des Körpers, wodurch die vorderen Gliedmaßen von der Fortbewegungsfunktion befreit und für andere Tätigkeiten einsetzbar wurden. Eine produktive Tätigkeit setzt ein hochentwickeltes Gehirn voraus und wird durch eine möglichst lange Periode intensiver individueller Lernfähigkeit gefördert.

Der Mensch war so in die Lage versetzt, sich Mittel und Werkzeuge zu schaffen, die ihm sein Dasein erleichterten. Er war nicht mehr wie das Tier den natürlichen Umweltverhältnissen bedingungslos ausgeliefert. In immer stärkerem Maße lernte er durch seiner Hände Arbeit seine Umwelt so zu verändern, wie es seinen Bedürfnissen entsprach. Hierzu war schon früh eine bewußte Arbeitsteilung nötig, denn auf die Dauer konnte nicht jeder Mensch alles selbst schaffen, was er für seinen Bedarf brauchte. Auch konnten größere Tiere in der Regel nur dann erlegt werden, wenn sich mehrere Menschen an der Jagd beteiligten. Eine derartige Zusammenarbeit ist aber ohne eine ausreichende Verständigungsmöglichkeit nicht denkbar. Die Entwicklung der Sprache ist also eng mit der Menschheitsentwicklung verbunden.

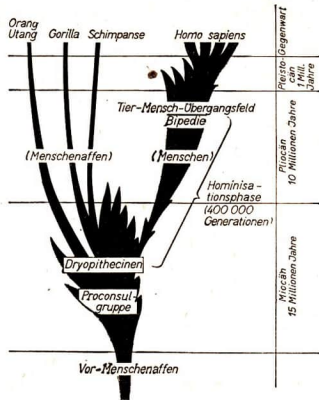


Abb. 60 Stammbaum des Menschen

Die Körpermerkmale werden nach biologischen Gesetzen von den Eltern auf die Kinder vererbt. Die Sprache hingegen muß jeder Mensch selbst erlernen. Nur die Sprachfähigkeit ist angeboren. Auch seine Kenntnisse auf kulturellen, wirtschaftlichen und ähnlichen Gebieten muß sich jeder Mensch selbst erwerben. Hierbei wirken nicht mehr in erster Linie biologische Gesetzmäßigkeiten, sondern die Tradition und die Gesetze des gesellschaftlichen Zusammenlebens, deren Erforschung aber nicht mehr zum Aufgabengebiet der Biologie gehört, sondern Gegenstand der Gesellschaftswissenschaften ist.

### Die biologische Entwicklung des Homo sapiens

Da sich alle Organismen, sowohl als Einzelwesen als auch als Angehörige einer Rasse, Art, Gattung usw. nie in einem statischen Ruhezustand befinden, war auch die biologische Entwicklung des Menschen mit dem Auftreten des *Homo sapiens* am Ende des Pleistozäns nicht beendet. Obwohl der jungpaläolithische Mensch alle wesentlichen Merkmale des *Homo sapiens* aufweist, lassen sich vor allem im Bau seines Gesichtes und in den Proportionen der Gliedmaßen auch noch primitive morphologische Züge erkennen. Besonders auffällig ist dabei, daß der *Homo sapiens* schon von allerfrühester Zeit an in mehreren Varianten auftritt, die man als verschiedene Rassen einer Art auffassen muß. Fachwissenschaftler sind sich vollkommen darüber einig, daß die unterschiedlichen Formen alle zu nur einer einzigen Art (*Homo sapiens*) gehören, während über die Anzahl der zu unterscheidenden Rassen Meinungsverschiedenheiten bestehen.

Die europäischen Jungpaläolithiker gehörten mindestens zwei verschiedenen Rassen an, der Cromagnonrasse (Abb. 61) und der Brünnrasse. Die Angehörigen der Cromagnonrasse (Name nach einem Ort im Vézèreetal der Landschaft Dordogne in Südfrankreich) hatten eine hohe, steile Stirn, aber einen verhältnismäßig niedrigen Hirnschädel, eine kräftige, doch schmale Nase, niedrige rechteckige Augenhöhlen, kräftige Jochbögen, die das Gesicht breit erscheinen lassen und ein stark vorspringendes Kinn. Die Cromagnon-Leute waren kräftige, hochgewachsene Menschen. Demgegenüber ist die Brünnrasse (nach der mährischen Stadt Brünn = Brno) durch eine weniger hohe Stirn, mehr oder weniger kräftige Augenbrauenbögen (keine Überaugenbögen!), ein schmaleres Gesicht, weniger niedrige Augenhöhlen und schwächeren Kinnfortsatz ausgezeichnet. Der Körper ist zum Teil ebenfalls kräftig und hochgewachsen. Es gibt aber auch grazile, kleinere Individuen, die offenbar ebenfalls zur Brünnrasse gehören.

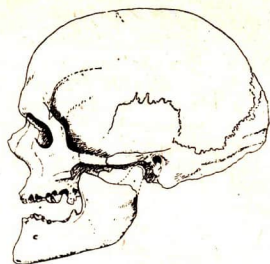


Abb. 61 Cromagnon-Schädel

In Amerika wurden bis jetzt zwar Werkzeuge, aber noch keine jungpaläolithischen Menschenreste gefunden, während aus Afrika und Asien einige wenige derartige Funde vorliegen. Sie ähneln den europäischen Jungpaläolithikern sehr und weisen alle charakteristischen Merkmale der Altform des *Homo sapiens* auf. Es fehlen aber noch solche morphologischen Eigenheiten, die es gestatten würden, den einen oder anderen Fund mit Sicherheit dem heutigen europäischen, mongoliden oder negriden Rassenkreis zuzuordnen. Die Differenzierung in die gegenwärtig bestehenden Rassen setzte demnach offenbar erst nach dem Jungpaläolithikum ein. Sie ist ein sehr später entwicklungsgeschichtlicher Prozeß, der erst sichtbar wurde, als der *Homo sapiens*-Typus schon lange existierte.

### Die heutigen Menschenrassen

Geographische Grenzen, wie beispielsweise Gebirgszüge, Wüsten, große Waldgebiete, Wasserläufe und Meere, lassen verschiedene Fortpflanzungsgemeinschaften entstehen, die sich mehr oder weniger isoliert voneinander entwickeln. Auf einer höheren Entwicklungsstufe des Menschen kamen zu den natürlichen Isolationsfaktoren noch gesellschaftliche, zum Beispiel Sprachgrenzen, aber auch längere Zeit bestehende politische oder auch religiöse Fortpflanzungsschranken, die manchmal sogar mitten durch eine Bevölkerung hindurchgehen. In derartigen Isolaten kann es durch Mutationen und Auslese zu abweichenden Entwicklungen der verschiedenen Fortpflanzungsgemeinschaften kommen, die schließlich dazu führen, daß sich bestimmte Gruppen von Menschen von anderen durch eine Anzahl erblicher Merkmale

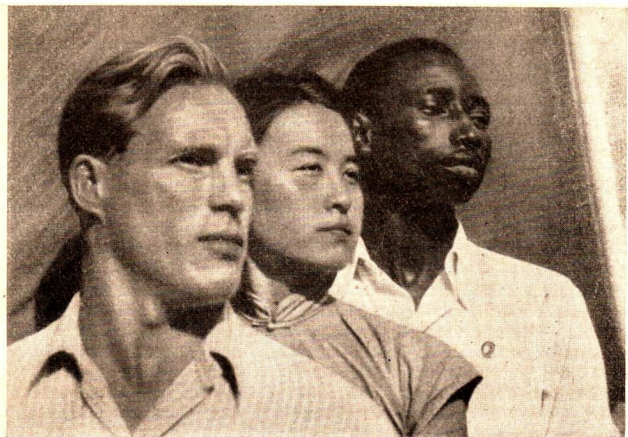


Abb. 62 Vertreter der drei Hauptrassengruppen der heutigen Menschheit; von links nach rechts; europider, mongolider und negrider Rassenkreis

unterscheiden. Auf diese Weise entstehen zuerst Lokaltypen und bei großräumiger, längerer Isolation verschiedene Rassen, aus denen sich bei einem Fortbestehen der Fortpflanzungsschranken über viele Generationsfolgen hinweg schließlich verschiedene Arten entwickeln können. Die Rassenbildung ist demnach eine Vorstufe der Artentstehung, wobei beide Vorgänge grundsätzlich auf den gleichen Ursachen beruhen. Da alle heute lebenden Menschen prinzipiell untereinander fruchtbar sind, gehören sie auch alle nur zu einer Art, der Art *Homo sapiens*, die sich in verschiedene Rassen unterteilen läßt, von denen man jeweils mehrere zu einem Rassenkreis zusammenfassen kann.

Man unterscheidet heute drei Rassenkreise: den europiden, den mongoliden und den negriden Rassenkreis (Abb. 62).

Der europide Rassenkreis ist sehr weit verbreitet und in morphologischer Hinsicht sehr vielgestaltig. Es gibt aber dennoch 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 langsam



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 spiralisches Kopfhaar, sehr schwache Körperbehaarung und sehr starke Pigmentierung von Haut, Haar und Auge.

Die Art und Weise der Rassenentstehung macht es verständlich, daß bei den einzelnen Individuen einer Rasse oft nicht alle rassenkennzeichnenden Merkmale vorhanden sind. Unter Rasse darf man auch keinen statischen, genetisch unveränderlichen Zustand einer Menschengruppe verstehen. Durch die geschlechtliche Fortpflanzung wird der Genbestand einer Bevölkerung ständig neu kombiniert. Außerdem treten andauernd Neumutationen auf, die zum Teil bisher nicht vorhandene Eigenschaften bedingen; sich ändernde Umweltverhältnisse bewirken eine Veränderung der Selektionsbedingungen. Nicht zuletzt greift auch der Mensch selbst in diesen dynamischen Prozeß ein. Durch den technischen, kulturellen und gesellschaftlichen Fortschritt werden Isolationsschranken immer mehr überwunden. Das führt zu einer immer stärkeren Vermischung der Menschheit, die über die Bildung großräumiger Mischbevölkerungen vermutlich einst zu einer weitgehenden Vermischung der ganzen Menschheit, nicht aber zur Entstehung verschiedener Arten, führen wird. Sogenannte „reine“ Rassen hat es auch in früherer Zeit nie gegeben. Jeglicher Rassendünkel ist wissenschaftlich in keiner Weise zu begründen. Es ist auch nicht damit zu rechnen, daß sich der vollziehende Verschmelzungsprozeß der Rassen nachteilig für die Menschheit auswirken wird. Die früher oft vertretene Meinung, daß Rassenmischungen in erhöhtem Maße zu Krankheiten, Funktionsstörungen und Disharmonien führen, wurde durch die experimentelle Genetik überzeugend widerlegt. Entsprechende Untersuchungen an Rassenmischlingen beim Menschen zeigen, daß solche Befürchtungen völlig unbegründet sind. Die einzigen Komplikationen, die bei Rassenmischungen auftreten und die sich für die Betroffenen tragisch genug auswirken können, resultieren aus unsinnigen ideologischen und gesellschaftlichen Vorurteilen.

#### **Aufgaben**

1. Erläutern Sie die politischen Hintergründe der Rassendiskriminierung in den verschiedenen kapitalistischen Staaten!
2. Versuchen Sie zu begründen, warum die Rassendiskriminierung in den USA und Südafrika besonders ausgeprägt ist!
3. Charakterisieren Sie die politischen und wirtschaftlichen Ziele der Schichten und Organisationen kapitalistischer Staaten, die als aktivste Rassenverfolger bekannt sind!
4. Zeigen Sie an Beispielen aus der Geschichte, welche furchtbaren Folgen die Rassenverfolgung für die gesamte Menschheit zeitigte!

Die einzelnen Menschenrassen unterscheiden sich voneinander in Merkmalen, die für das Menschsein völlig belanglos sind. Man kann deshalb auch nicht 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. Die Geschichte zeigt, daß jegliche Rassenpolitik einen machtpolitischen Charakter hat, wenn sie auch oft pseudowissenschaftlich getarnt ist. In einem unvorstellbar unmenschlichen Grade war das auch beim deutschen Faschismus der Fall. Zahlreiche Menschengruppen, ja ganze Völker wurden von ihm als biologisch minderwertig bezeichnet, nur weil sie seinen imperialistischen Bestrebungen im Wege waren. Der scheinwissenschaftliche Rassismus spielte auch eine entscheidende Rolle bei der Rechtfertigung des zweiten Weltkrieges, der allein auf den Schlachtfeldern mehr als 32 Millionen Menschen das Leben kostete. Darüber hinaus sind 15 bis 20 Millionen Männer, Frauen und Kinder durch Luftangriffe umgekommen. 26 Millionen wurden in Konzentrationslagern ermordet. 29,52 Millionen Menschen wurden verwundet, verkrüppelt oder arbeitsunfähig. 31,25 Millionen Menschen haben durch Bombenangriffe Wohnungen und Besitz verloren. 45 Millionen Menschen wurden eingekerkert, deportiert oder evakuiert. 1 Million Eltern haben ihre Kinder und 1 Million Kinder ihre Eltern vermißt. Diese grausige Bilanz haben wir denen zu verdanken, die für sich in Anspruch nahmen, der „edelsten“ Rasse der Menschheit anzugehören.

### Biologische Entwicklungsvorgänge beim 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 darauf, daß unsere biologische Entwicklung weitergeht und nicht etwa zum Stillstand gekommen ist. So wurde in vielen Ländern beobachtet, daß sich die Kopfform seit dem frühen Mittelalter verändert hat. Unabhängig von der Rassenzugehörigkeit sind die Hirnschädel kürzer und vor allem breiter, das heißt im ganzen runder geworden. Die Ursachen des Verrundungsprozesses kennt man bisher noch nicht genau. Offenbar spielen Umwelt- und Ernährungsfaktoren dabei eine Rolle. Seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts hat bei manchen europäischen Bevölkerungen eine gegenläufige Entwicklung eingesetzt, die Köpfe werden wieder schmaler und länger.

Wesentlich auffälliger und bedeutsamer als die Veränderung der Kopfform ist die Körperhöhenzunahme, die in zahlreichen Ländern während der letzten einhundert Jahre festzustellen ist. Schon die Neugeborenen sind heute größer und schwerer als in früheren Jahrzehnten. 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. Der Anstieg der durchschnittlichen Körperhöhe der Erwachsenen beruht zu einem wesentlichen Teil auf einer prozentualen Abnahme kleiner Menschen und einer Zunahme der Hochwüchsigen.

Mit der Körperzunahme ist eine Reihe weiterer Veränderungen eng verbunden. So erfolgt die Verknöcherung des Skeletts und der Durchbruch sowohl der Milch- als auch der Dauerzähne bei den heutigen Kindern früher. Die Geschlechtsreife tritt gegenüber dem Ende des vorigen Jahrhunderts um 2 bis 3 Jahre früher ein. Um die gleiche Zeitspanne ist aber auch das Ende der physiologisch fruchtbaren Lebensperiode der Frau nach oben verschoben. Auch der altersbedingte Leistungsabfall, wie er vor allem beim Sport zu beobachten ist, erfolgt um mehrere Jahre später als in früherer Zeit. Die frühzeitigere Entwicklung bringt also nicht etwa ein früheres Altern des Menschen mit sich. Der Mensch bleibt im Gegenteil länger leistungsfähig; auch das durchschnittliche Todesalter liegt wesentlich höher als im vorigen Jahrhundert. 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 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 Fleisch und Fett 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 Abschaffung der Kinderarbeit und noch manche andere Faktoren sind als wesentliche Ursachen der Entwicklungsbeschleunigung, der Körperhöhensteigerung und zum Teil auch der Verlängerung der körperlichen Leistungsfähigkeit sowie der Lebensdauer anzusehen. Daß der Mensch heute so wesentlich älter wird als früher, ist aber auch den Fortschritten der Medizin zu verdanken sowie der zunehmenden Entlastung von schwerer körperlicher Arbeit und der immer besser werdenden sozialen Sicherung des Lebensabends.

#### Aufgaben und Fragen

1. Stellen Sie an Hand Ihrer Kenntnisse aus der Erdkunde und Geschichte unter Berücksichtigung entsprechender Berichte in der Presse die Ursachen dafür zusammen, daß noch nicht in allen Ländern der Erde diese Errungenschaften der Menschheit wirksam werden!
2. Nennen Sie Länder, in denen die Lebenserwartung noch sehr niedrig ist! Begründen Sie diese Erscheinung.
3. Welche Folgen hatte die oft jahrhundertelange Kolonialherrschaft für die unterdrückten Völker (soziale und kulturelle Entwicklung, Gesundheitszustand, Lebenserwartung u. a.)?

Sowohl die Vorverlegung der Reifeprozesse während der Kindheits- und Jugendentwicklung wie auch die vergrößerte Lebensdauer des Menschen sind weitgehend ein Effekt gesellschaftlicher Veränderungen. Dabei ist nicht zu übersehen, daß diese biologischen Veränderungen rückwirkend auch eine soziale Bedeutung erlangen. Da sich der körperliche Reifevorgang in einem engen Zusammenhang mit der geistigen

und seelischen Entwicklung des Menschen vollzieht, muß zum Beispiel der zeitlichen Verschiebung dieser Prozesse von seiten der Erziehung und der Jugendbildung Rechnung getragen werden, damit in dieser Hinsicht keine Schäden entstehen, die sich im späteren Leben des einzelnen und für die Gesellschaft negativ auswirken können. Die Erhöhung des durchschnittlichen Lebensalters hat 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. Noch im ausgehenden Mittelalter starben in Deutschland mehr als die Hälfte aller Menschen vor der Erreichung des Erwachsenenalters. Die Veränderung der Altersstruktur und die Zunahme der Bevölkerung hat 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 nur für uns selbst, sondern auch für spätere Generationen die Verantwortung mit zu tragen haben. Die Beispiele zeigen aber auch, in welchem hohem Maße der Mensch ein gesellschaftliches Wesen ist, ohne daß man über dieses Erkenntnis vergessen darf, wie tief unser Dasein im Organischen verwurzelt ist.

## Zur Geschichte der Abstammungslehre

Die Lehre von der Evolution der Organismen ist grundlegender Bestandteil eines modernen Weltbildes. Sie entstand durch unermüdliches Forschen und Nachdenken vieler Wissenschaftler und wurde im Kampf gegen unwissenschaftliche Auffassungen zur Anerkennung gebracht. Wir können die Bedeutung der Abstammungslehre für die Biologie und für die wissenschaftliche Weltanschauung erst ganz verstehen, wenn wir auch ihre Geschichte kennen.

### Schöpfung oder Entwicklung?

#### Aufgabe

Stellen Sie dar, wie in der menschlichen Gesellschaft der Schöpfungs Glaube entstand! Lesen Sie dazu noch einmal S. 57 ff.!

**Entstehung des Entwicklungsgedankens.** In jahrtausendlangem Kampf mit der Natur zur Gewinnung ihres Lebensunterhaltes sammelten die Menschen Erfahrungen, die sie an ihre Nachkommen weitergaben. Das war die Voraussetzung dafür, daß beispielsweise im alten Griechenland als Weltanschauung fortschrittlicher gesellschaftlicher Kräfte unter den Sklavenhaltern die materialistische Philosophie entstand, die bereits Anfänge einer wissenschaftlichen Naturerkenntnis enthielt. Materialistische Philosophen des griechischen (und römischen) Altertums vertraten schon die Auffassung, daß Lebewesen ohne die Einwirkung übernatürlicher Kräfte entstanden sind und sich entwickelt haben.

So lehrte der altgriechische Naturphilosoph ANAXIMANDER (etwa 610 bis 546 v. u. Z.), die Menschen seien aus Fischen entstanden, welche das Wasser verließen. Der altgriechische materialistische Naturphilosoph EMPEDOKLES (etwa 490 bis 430 v. u. Z.) meinte, zunächst seien die verschiedenen Gliedmaßen entstanden, die sich durch anziehende und abstoßende Kräfte, die er Liebe und Haß nannte, dann miteinander verbunden hätten, zufällig zueinander passende Teile hätten existenzfähige Lebewesen gebildet. Die Anschauungen des EMPEDOKLES wurden von DEMOKRIT und dem altrömischen Materialisten TITUS LUCRETIVUS CARUS (1. Jh. v. u. Z.) weiterentwickelt. Aber auch in anderen Ländern entstanden ähnliche Auffassungen. So lehrte der alt-

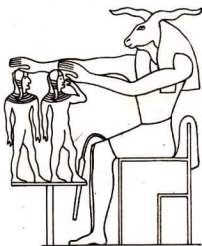


Abb. 63 Der ägyptische Gott Chnumu modelliert die ersten Menschen aus Ton

chinesische Philosoph **TSON TSI** (6. Jh. v. u. Z.), daß sich alle Lebewesen aus einer einzigen Art entwickelt haben. Solche kühnen Annahmen wurden erst viel später im einzelnen berichtet und in ihrem wesentlichen Gehalt bestätigt.

**Stufenfolge der Lebewesen.** Der griechische Philosoph und bedeutende Kenner der Natur **ARISTOTELES** (384 bis 322 v. u. Z., s. auch S. 59) beschrieb rund 500 Tierarten, zum Teil erstmalig, und ordnete sie durch Vergleich ihres Baues in einen von ihm angenommenen Stufenbau der Natur ein (Abb. 64). Nach **ARISTOTELES** „schreitet die Natur in kleinen Schritten von unbelebten zu belebten Dingen vor... Auf das

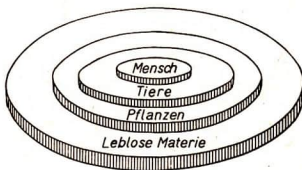


Abb. 64 Stufenbau der Welt nach Aristoteles

Reich der unbelebten Dinge folgt das der Pflanzen... Die Pflanzen erscheinen lebendig im Vergleich zu anderen Dingen, mit den Tieren verglichen aber unbelebt...". Einige Tiere des Meeres sah **ARISTOTELES** als Lebewesen an, die zwischen Pflanzen und Tieren stehen. So sollen die Schwämme noch fast den Pflanzen gleichen, während Austern und Muscheln den Tieren schon etwas ähnlicher seien. Auf sie ließ er die „blutlosen Tiere“ (Wirbellose) folgen und dann die Tiere, die Blut haben (Wirbeltiere). Unter diesen unterschied er Fische, Vögel, eierlegende Vierfüßer (Reptilien) und lebendgebärende Vierfüßer (Säugetiere). Als oberste Stufe sah er den Menschen an. Gleich unter ihm ordnete er die Affen ein, die sowohl mit den Menschen als auch mit den lebendgebärenden Vierfüßern Merkmale gemeinsam haben. In dieser Stufenfolge ist die Erkenntnis enthalten, daß in der Ähnlichkeit oder Verschiedenheit der Lebewesen ein innerer Zusammenhang zum Ausdruck kommt. Die Stufenfolge aber verstand **ARISTOTELES** noch nicht als Entwicklungsvorgang. Sie war für ihn eben vorhanden und immer schon so gewesen.

**Der Schöpfungsglauben im Mittelalter.** Die feudale Gesellschaftsordnung des europäischen Mittelalters stand unter der geistigen Herrschaft der katholischen Kirche, die den Schöpfungsglauben vertrat und die materialistische Weltanschauung bekämpfte. Die Bibel und nach dem Kirchendogma ausgelegte Schriften des Altertums, darunter die des **ARISTOTELES**, galten als absolute Wahrheit. Aus der Bibel hatte man sogar den Zeitpunkt der Schöpfung ermittelt. Noch um die Mitte des 18. Jahrhunderts schrieb Dr. **JOHN LIGHTFOOT** (Vizekanzler der Universität Cambridge): „Himmel und Erde sowie der Mensch wurden von der heiligen Dreieinigkeit im selben Augenblick erschaffen. Dies geschah am 23. Oktober 4004 vor Christi Geburt um 9 Uhr morgens.“

## Die naturwissenschaftlichen Voraussetzungen für die Abstammungslehre

### Aufgaben und Fragen

1. Charakterisieren Sie mittels ihrer Kenntnisse aus dem Geschichtsunterricht die gesellschaftlichen Verhältnisse im 17. und 18. Jahrhundert! Stellen Sie die rückschrittlichen und die progressiven Strömungen heraus und erläutern Sie, welche Schichten und Klassen maßgeblich an den Auseinandersetzungen beteiligt waren!
2. Zeigen Sie die Zusammenhänge zwischen den technischen und wirtschaftlichen Fortschritten jener Zeit und der Entwicklung der Naturwissenschaften auf!
3. Welchen Einfluß hatte die Erschließung neuer Gebiete für den Handel auf die Entwicklung der Naturwissenschaften?

Die Erkenntnis von der Entwicklung der Erde und des Lebens wurde in ständiger Auseinandersetzung mit den kirchlichen Dogmen errungen. Viele Teilgebiete der Naturwissenschaften trugen immer mehr Fakten zusammen, die die wissenschaftliche Grundlage für die Abstammungslehre bildeten.

**Erdgeschichte und Fossilien.** Beim Bergbau, in Steinbrüchen, bei Ausschachtungen, an den Meeresküsten und andernorts stieß man auf zahlreiche Beweise, die darauf hindeuten, daß die Erde älter als 5000 Jahre ist und sich vielfach veränderte. Die Vertreter der Kirche versuchten, solche Erscheinungen durch Auslegungen des Schöpfungsvorganges und mit Hilfe der Sintflutsage zu deuten. Erst im 18. Jahrhundert wurde vor allem durch die französischen Gelehrten DE MAILLET (1665 bis 1738) und DE BUFFON (1707 bis 1788, Abb. 65) die biblische Altersangabe für die Erde bewußt abgelehnt. BUFFON bestritt auch eine die ganze Erde überschwemmende Sintflut. Er sah in den Fossilien die Reste ausgestorbener Arten und nahm eine Umwandlung von Tier- und Pflanzenarten unter dem Einfluß der Umwelt an. Als hoher Beamter des Hofes wurde BUFFON von der Theologischen Fakultät der Pariser



Abb. 65 Georges-Louis Leclerc de Buffon

Universität zum Widerruf seiner Ansichten gezwungen: „Ich hatte nicht die Absicht, dem Wortlaut der Schrift zu widersprechen, ich glaube fest an das dort über die Schöpfung Erzählte, sowohl hinsichtlich der Tatsachen als auch der Zeitangaben. Ich gebe alles auf, was ich in meinem Buche über die Bildung der Erde gesagt habe, namentlich auch das, was der Erzählung von Moses zuwiderläuft.“

Unter den Bergbaufachleuten setzte sich gegen Ende des 18. Jahrhunderts die Ansicht des dänischen Arztes NIELS STENSEN (genannt STENO, 1638 bis 1689) durch, wonach die Schichtenfolge der Erdrinde nicht eine Ablagerung nach dem spezifischen Gewicht der Stoffe bei der Schöpfung ist, sondern Ausdruck einer langen und wechselvollen Geschichte der Erde.

Die Fossilien hatte man lange Zeit für mißlungene Entwürfe des Schöpfers oder Erzeugnisse einer



Abb. 66 Mittelalterliche Darstellung der Arche Noah

Art ein Pärchen auf die Arche Noah gerettet hatte (Abb. 66). Die damals bekannte Artenzahl erlaubte noch, ihre Unterbringung auf einer Arche anzunehmen, und stützte damit die Lehre von der Konstanz der Arten. Die Überreste heute in Europa nicht mehr vorkommender Lebewesen sollte die Sintflut aus anderen Erdteilen herbeigeschwemmt haben.

Der französische Naturforscher GEORGES CUVIER (1769 bis 1832, Abb. 67), der die wissenschaftliche Paläontologie begründete, erkannte SCHEUCHZERS Sintflutmenschen als fossiles Skelett eines Schwanzlurches und gab die Annahme einer einmaligen Sintflut auf. Nach seiner Ansicht sollten die Veränderungen der Erdoberfläche durch plötzliche Katastrophen hervorgerufen worden sein, bei denen auch jedesmal die Lebewesen größtenteils vernichtet wurden. Wenige Überlebende hätten dann jeweils nach Katastrophenende eine Neubesiedlung vorgenommen, wobei für jede Epoche eine andere Tierwelt charakteristisch war. Jede dieser Tierwelten sollte aus vier nebeneinander bestehenden, nicht ineinander umwandelbaren Grundbauplänen bestehen, nämlich den Bauplänen der

„plastischen Kraft“ (ähnlich der „Lebenskraft“) angesehen, obwohl sie bereits verschiedene Philosophen des Altertums, später LEONARDO DA VINCI (1452 bis 1519), GEORG AGRICOLA (1494 bis 1555) und andere als Überreste von Pflanzen und Tieren erkannt hatten. Die Verteidiger des Schöpfungsglaubens deuteten sie nun als Reste von Opfern der Sintflut. So etwa der Züricher Gelehrte JOHANN JAKOB SCHEUCHZER (1672 bis 1733), der ein 1726 von ihm gefundenes fossiles Skelett als das eines „verruichten Sünders, so in der Sintflut ertrunken“ bestimmte und die Abbildung mit dem Verslein versah: „Betrübtes Beingerüst von einem alten Sünder, erweiche Stein und Herz der neuen Bosheitskinder.“

Für die Anhänger der Sintflutsage stimmten alle Fossilien mit heutigen Arten überein, weil sich ja von jeder



Abb. 67 Georges Cuvier



Wirbeltiere, der Mollusken, der Gliedertiere (Arthropoden und Würmer) und der Radiata (alle radiärsymmetrischen Tiere).

CUVIER hatte die in der Umgebung von Paris gefundenen Fossilien studiert. Dort treten jedoch nur sechs geologische Formationen auf, in deren Tierwelt CUVIERS Grundbaupläne nachweisbar waren. Nachrichten über Funde von Rhinozerosen und Mammuten im arktischen Sibirien erklärte CUVIER mit einer über das zuvor tropische Sibirien hereingebrochenen Katastrophe. Die von CUVIER angenommene Vielzahl der Katastrophen widersprach zwar dem biblischen Schöpfungsbericht, ließ sich aber dennoch recht gut mit der Religion verbinden und wurde deshalb von deren Anhängern als eine Aufeinanderfolge von Neuschöpfungen ausgelegt.

Der deutsche Geologe KARL ERNST ADOLF VON HOFF (1771 bis 1837) und der englische Geologe CHARLES LYELL (1797 bis 1875) wiesen nach, daß in der Erdgeschichte die gleichen Kräfte wirksam waren wie in der Gegenwart: Wasser und Wind, Wärme und Kälte, Erdbeben und Vulkanismus. Der englische Ingenieur WILLIAM SMITH (1769 bis 1839) stellte fest, daß gewisse Fossilien für bestimmte Erdschichten kennzeichnend sind. Mit dieser Entdeckung der „Leitfossilien“ wurde es möglich, Ablagerungen verschiedener Zeitabschnitte wiederzuerkennen und in verschiedenen Erdgegenden nachzuweisen. Beim systematischen Vergleich heutiger Lebewesen mit Fossilien nacheinander entstandener Erdschichten wurde festgestellt, daß die Zahl der ausgestorbenen Arten, Gattungen, Familien usw. um so geringer ist, je später die betreffende Schicht entstand. Damit schufen Geologie und Paläontologie das Fundament, auf dem die wissenschaftliche Abstammungslehre aufbauen konnte.

**Artenkenntnis und Taxionomie.** Neben der Paläontologie gewann die zunehmende Kenntnis der gegenwärtig auf der Erde lebenden Organismen große Bedeutung für die Abstammungslehre. Seit dem 16. Jahrhundert wurden zahlreiche Tiere und Pflanzen beschrieben (Abb. 68). Das war unter anderem durch die Entwicklung der Medizin (Heilkräuter!), durch die zunehmende Erforschung der verschiedenen Erdteile und durch den Handel bedingt. Mit der Ansammlung des Materials wuchs das



Abb. 68 Nashorn aus einem Tierbuch des 16. Jahrhunderts nach einer Zeichnung von Albrecht Dürer

Bedürfnis, es übersichtlich zu ordnen. Diese Aufgabe wurde von dem schwedischen Naturforscher CARL VON LINNÉ (1707 bis 1778, Abb. 69) für die damalige Zeit am besten gelöst.

LINNÉ ordnete die Blütenpflanzen nach der Zahl der Staubgefäße und Stempel. Der künstliche Charakter dieses Systems war LINNÉ bewußt. Mit ARISTOTELES' Lehre von der Stufenfolge der Natur vertraut, forderte er ein natürliches System der Pflanzen, wie er es für die Tiere selbst aufzustellen versuchte. Darin ordnete er die 1758 bekannten 4253 Tierarten in die sechs Klassen der Vierfüßer, Vögel, Amphibien, Fische, Insekten und Würmer ein. Jede Art bezeichnete er mit einem Art- und einem Gattungsnamen (binäre Nomenklatur), wie es heute noch geschieht. Seine Zeitgenossen sagten, Gott habe die Welt geschaffen, aber LINNÉ habe sie geordnet.

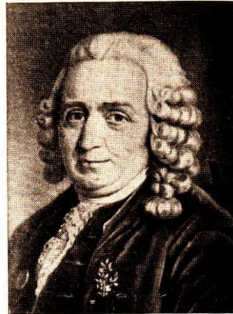


Abb. 69 Carl von Linné

Der junge LINNÉ vertrat noch die Konstanz der Arten und schrieb: „Es gibt so viele Arten, wie der unendliche Eine Gott am Anfang als verschiedene Formen hervorgebracht hat . . .“. In späteren Jahren hat er dann aber mehr und mehr die Auffassung vertreten, daß Arten sich in andere Arten umwandeln können. Weil er den Menschen in sein System der Tiere einbezog und mit den Menschenaffen in eine Gattung stellte, zog er sich die Angriffe reaktionärer Gelehrter zu. Die späteren Taxonomen bauten aber in ihren Arbeiten immer wieder auf LINNÉS Erkenntnissen und auf seinem Ordnungsprinzip auf.

**Präformation, Stufenleiter der Schöpfung und Bauplan.** Bei der Deutung der lebenden Natur spielten seit dem 17. Jahrhundert drei Vorstellungen eine Rolle, deren Grundgedanken trotz mannigfacher Abwandlungen lange Zeit großen Einfluß hatten. Das wären die Vorstellungen von der Präformation der Nachkommen in den Vorfahren, von der Stufenleiter der Schöpfung und von einem verwandten Organismen zugrunde liegenden Bauplan übernatürlicher Herkunft.

Die Präformationslehre war die im 17. und 18. Jahrhundert herrschende Auffassung von der Ontogenese. Sie hatte die Einschachtelungslehre zur Folge, welche das Dogma von der Erschaffung und Konstanz der Arten ergänzte. Bei der Untersuchung der individuellen Entwicklung verschiedener Lebewesen mit den geringen technischen Hilfsmitteln jener Zeit waren einige Naturforscher zu der Annahme gelangt, es handele sich dabei nur um ein Sichtbarwerden, eine Entfaltung dessen, was von Anfang an schon vollkommen fertig vorgebildet, präformiert, in den Eiern oder Spermatozoen der Tiere oder in den Samen der Pflanzen vorhanden war, in ihnen seien die fertig ausgebildeten Lebewesen in Miniaturausgabe enthalten. So hatte der Holländer JAN SWAMMERDAM (1637 bis 1680) den Schmetterling nicht nur in der Puppe, sondern schon in der Raupe vorgebildet gefunden und schloß daraus, daß er schon im Ei vorgebildet sein müsse. Der Holländer ANTON VAN LEEUWENHOEK (1632 bis 1723) hatte mit selbstgebauten Mikroskopen die Welt der Mikroorganismen

entdeckt. Als ihn sein Schüler LUDWIG VAN HAM auf die von ihm zum ersten Mal gesehenen menschlichen Spermatozoen aufmerksam machte, fand er solche „Samentierchen“ bald bei vielen Tieren. LEEUWENHOEK und andere Forscher bildeten sich ein, in ihnen kleine präformierte Lebewesen wahrnehmen zu können. Der Schweizer Naturforscher CHARLES BONNET (1720 bis 1793) entdeckte, daß sich Blattläuse während des größten Teils der wärmeren Jahreszeit ohne jede Mitwirkung eines Männchens fortpflanzen, indem sie Eier legen, aus denen Weibchen entstehen, welche wieder Eier legen, aus denen Weibchen entstehen, usw. (Parthenogenesis). Diese bedeutende Entdeckung schien zu beweisen, daß Tiere tatsächlich im Ei vorgebildet sind. Aus der Präformationslehre ergab sich die Einschachtelungslehre: Wenn sich in den Eiern oder Spermatozoen und in den Samen der Pflanzen fertige Miniaturlebewesen befinden, müssen diese wiederum auch Eier beziehungsweise Spermatozoen beziehungsweise Samen besitzen, in denen sich noch kleinere Miniaturlebewesen befinden und so fort, bis zurück zu den ersten von Gott geschaffenen Lebewesen, in denen alle folgenden Generationen präformiert waren. Im Ausbau der Einschachtelungslehre ging man sogar so weit, zu berechnen, wie viele Menschlein im Eierstock der Stammutter Eva oder in den Hoden des Stammvaters Adam mindestens eingeschachtelt waren, wobei man auf die Zahl von 200 000 Millionen kam. Die Einschachtelungslehre ergänzte und stützte die Dogmen von der Schöpfung und der Konstanz der Arten.

Der erste, der den Präformations- und Einschachtelungslehren entschieden entgegentrat, war der deutsche Arzt und Anatom CASPAR FRIEDRICH WOLFF (1734 bis 1794). Er führte zahlreiche mikroskopische Beobachtungen an Pflanzen und Hühnerembryonen durch. Dabei erkannte er, daß die Teile der Tiere und Pflanzen erst im Verlauf ihrer Entwicklung durch die Bildung und Umgruppierung von „Bläschen“ (Zellen) gebildet wurden. Im Gegensatz zu den Präformisten deutete er die individuelle Entwicklung als „Epigenese“, das heißt als Aufeinanderfolge von Neubildungen. Er nahm allerdings an, die Pflanzen und Tiere gingen mittels einer übernatürlichen „Lebenskraft“ aus einem völlig strukturlosen Saft hervor.

WOLFF arbeitete ab 1767 als Anatom für die Russische Akademie der Wissenschaften in Petersburg. Obwohl er einige Jahre hindurch mit großem Erfolg in Berlin Privatvorlesungen abgehalten hatte, blieb ihm durch die Mißgunst Berliner Professoren in der Heimat eine wissenschaftliche Laufbahn verschlossen. Seine Ansichten hatte WOLFF zum ersten Male in der „Theoria generationis“ (1759) dargelegt. Seine Arbeiten wurden erst lange nach seinem Tode wieder entdeckt und berühmt. Aus nachgelassenen Schriften geht hervor, daß er sich auch mit Problemen der Vererbung und Veränderlichkeit der Organismen beschäftigte und von der Möglichkeit des Entstehens neuer Arten und Gattungen durch allmähliche Umbildung bestehender Formen überzeugt war.

Wie die Einschachtelungslehre wurde auch der auf ARISTOTELES zurückgehende Stufenleitergedanke zur Erhaltung der Dogmen von der Schöpfung und Konstanz der Arten benutzt. Die in der Mannigfaltigkeit der Organismen sichtbaren Zusammenhänge wurden als Ausdruck eines göttlichen Schöpfungsplanes ausgelegt. Auch CHARLES BONNET stellte solch eine Stufenleiter auf. Es ist, so meinte er, kein Wesen vorhanden, das nicht über sich und unter sich andere hätte, welche ihm in einigen Merkmalen gleichen und sich durch andere von ihm unterscheiden.

Die von BONNET aufgestellte Stufenleiter beginnt mit dem „Äther“ und steigt allmählich in linearer Folge durch Steinpflanzen, Korallen und Trüffel von den Mineralien zu den Pflanzen, von diesen durch Seerosen und Polypen zu den Würmern und Schaltieren, von den Schnecken zu den Schlangen, durch die Aale zu den Fischen, durch die fliegenden Fische zu den Vögeln, durch die Fledermäuse zu den vierfüßigen Tieren, durch die Affen zum Menschen, um schließlich in Gott zu enden. Diese Zusammenstellung ist vor allem durch das Streben nach Vollständigkeit bedingt. Gemeinsamkeiten des inneren Baues und Gemeinsamkeiten der äußeren Gestalt wurden als gleichwertig betrachtet. Die Aufeinanderfolge wurde nicht als Entwicklung in der Zeit, sondern als dem angenommenen Schöpfungsvorgang zugrunde liegender Plan verstanden.

Aus vergleichenden Untersuchungen des Baues der verschiedenen Tiere und Pflanzen ergab sich, daß die Lebewesen offensichtlich zu verschieden sind, als daß man sie in einer Reihe von einem untersten bis zu einem obersten anordnen kann. Dafür ergab sich aus diesen Untersuchungen, daß viele Organismen einander so ähneln, als seien sie Abwandlungen einer begrenzten Anzahl von Grundformen. Es wurde festgestellt, daß Organe und Körperteile denselben Grundbauplan haben, obwohl sie im Aussehen und in der Funktion verschieden sein können. Der englische Anatom RICHARD OWEN (1804 bis 1892) schlug 1843 vor, solche Körperteile und Organe als „homolog“ zu bezeichnen, dagegen Organe und Körperteile gleicher Funktion und verschiedenen Baues als „analog“ (s. auch S. 28). Diese Erscheinungen waren bereits ARISTOTELES bekannt, der die Übereinstimmung der Vorderextremitäten des Menschen und der vierfüßigen Säugetiere erkannte.

Die Morphologen deuteten die Homologiebeziehungen in großen Gruppen von Lebewesen vielfach idealistisch als Ausdruck übernatürlicher Baupläne oder Typen. Hierher gehören zum Beispiel die vier Baupläne der Tiere von CUVIER, JOHANN WOLFGANG VON GOETHE (1749 bis 1832), der zu den Mitbegründern der vergleichenden Morphologie der Tiere und vor allem der Pflanzen zählt und zeitweilig dem stammesgeschichtlichen Entwicklungsgedanken sehr nahe kam, schrieb:

„Alle Gestalten sind ähnlich, und keine gleicht der anderen;

Und so deutet das Chor auf ein geheimes Gesetz,

Auf ein heiliges Rätsel.“

Des Rätsels Lösung war die Abstammungslehre.

### Vorläufer der wissenschaftlichen Abstammungslehre

Zwischen der Menge des bei der Erforschung eines bestimmten Naturbereiches gewonnenen Tatsachenmaterials und dem Wahrheitsgehalt der Lehren, welche diese Tatsachen verallgemeinern und erklären, besteht ein gesetzmäßiger Zusammenhang. Mit dem immer tieferen Eindringen der menschlichen Erkenntnis in diesen Naturbereich erfassen die seine Zusammenhänge widerspiegelnden Theorien immer besser die Wirklichkeit, bis schließlich eine wissenschaftliche Theorie entsteht und sich trotz aller Widerstände durchsetzt. Auf dieser Grundlage, die selbst weiter verbessert und ausgebaut wird, verläuft die weitere Forschung. Gerade so vollzog sich die Entstehung der wissenschaftlichen Abstammungslehre auf der Grundlage der Erkenntnisse, die seit der Entstehung der modernen Naturwissenschaften in der

Zeit der Renaissance gewonnen worden waren. So traten im 18. und in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine ganze Reihe von Gelehrten auf, die sich bei der Deutung der Fossilien und der Erklärung des gegenwärtigen Zustandes des Lebens auf der Erde in vielen Punkten der wissenschaftlichen Abstammungslehre näherten. Mit einigen von ihnen wollen wir uns beschäftigen.

**ERASMUS DARWIN.** Der englische Arzt und Naturforscher **ERASMUS DARWIN** (1731 bis 1802 – **CHARLES DARWIN'S** Großvater – Abb. 70), verfaßte eine Reihe von Lehrgedichten („Der botanische Garten“, 1789 bis 1792). 1794 veröffentlichte er ein mehrbändiges Prosawerk „Zoonomia oder die Gesetze des organischen Lebens“, das ins Deutsche,

Französische und Italienische übersetzt wurde. Im „Botanischen Garten“ entwickelte **E. DARWIN** eine Theorie von der Umbildung der Arten, die er in der „Zoonomia“ weiter ausbaute. Als Beweise für die Umbildung der Arten führte **E. DARWIN** die Flügelreste der Zweiflügler, Staubfäden oder Staubbeutel und andere rudimentäre Organe bei Tieren und Pflanzen an, „welche anzudeuten scheinen, daß jene von ihrem Urzustande einem schrittweisen Wechsel unterlegen seien“. Auch die Veränderungen der Haustiere unter den Bedingungen der Domestikation und die Übereinstimmung im Bau vieler Tiere dienten ihm als Beweis für seine Auffassung. Zu gesellschaftlichen Problemen zeigte **E. DARWIN** eine fortschrittliche Haltung, er war Gegner der Sklaverei, die französische Revolution von 1789 begrüßte er im „Botanischen Garten“ als Zeichen für „die Guten und Tapferen aller Länder, die Welt durch das Band der Freiheit zu einen“. Sein Werk wurde von der katholischen Kirche auf den Index gesetzt.

**JEAN BAPTISTE LAMARCK.** Den bedeutendsten Versuch vor **CHARLES DARWIN** zur wissenschaftlichen Erklärung des gegenwärtigen Zustandes der lebenden Natur unternahm der große französische Biologe **JEAN BAPTISTE LAMARCK** (1744 bis 1829, Abb. 71).

**LAMARCK** entstammte einer verarmten Adelsfamilie, wurde in einer Jesuitenschule erzogen, weil er Geistlicher werden sollte. Von der Schule entflohen, trat er als Siebzehnjähriger freiwillig in die Armee ein, wurde im Siebenjährigen Krieg Offizier und stand nach dessen Ende mehrere Jahre im Garnisondienst an der Riviera. In der reichen Pflanzenwelt des Mittelmeergebietes erwachte sein Interesse an der Botanik, seine Freizeit verbrachte er mit dem Sammeln und Bestimmen von Pflanzen. Nachdem er 1768 aus Gesundheitsgründen den Abschied genommen hatte, studierte er in Paris Medizin, seinen Lebensunterhalt während des Studiums bestritt er vor allem durch Gelegenheitsarbeiten.



Abb. 70 Erasmus Darwin



Abb. 71 Jean Baptiste Lamarck

LAMARCKS erste bedeutende wissenschaftliche Leistung war eine dreibändige „Flora von Frankreich“ (1778). BUFFON, den er in Paris kennengelernt hatte, veranlaßte ihren Druck auf Staatskosten. Sie wurde das Vorbild aller späteren Pflanzenbestimmungsbücher, da in ihr erstmalig die dichotomische Gliederungsmethode angewendet wurde. 1781 und 1782 bereiste LAMARCK als Begleiter von BUFFONS Sohn Holland, Deutschland, Österreich und Ungarn. Er sammelte seltene Pflanzen und Mineralien, besuchte Museen und botanische Gärten und lernte namhafte Gelehrte kennen. In der französischen Revolution stellte sich LAMARCK auf die Seite des Volkes. Seinem Vorschlag an die Nationalversammlung gemäß wurde der Königliche Garten in ein großes Naturkunde-Museum umgewandelt. Dort erhielt LAMARCK eine Zoologieprofessur; er hatte die beiden letzten Klassen des LINNÉschen Systems, die Insekten und Würmer zu bearbeiten. Mit großem Elan begann er, der Botaniker, diese Riesenaufgabe zu lösen. Als erstes prägte er die heute allgemein geläufigen Begriffe „Wirbeltiere“ und „wirbellose Tiere“. Die völlig unzureichende LINNÉsche Klassifizierung der Wirbellosen erweiterte er bis 1807 auf zehn Klassen.

Bei seinen umfangreichen botanischen und zoologischen Forschungen fielen LAMARCK drei Tatsachen immer wieder auf:

1. die abgestufte Ähnlichkeit der mehr oder weniger kompliziert gebauten Lebewesen, die er als Ausdruck ihrer abgestuften Verwandtschaft erkannte;
2. das Angepaßtsein der Lebewesen an ihre Umwelt und die darin gegebenen Möglichkeiten der Lebenserhaltung;
3. die individuelle Fähigkeit vieler Lebewesen, sich an ihre jeweils besonderen Umweltverhältnisse anzupassen.

Daraus schloß LAMARCK, daß sich die Lebewesen in der Aufeinanderfolge der Generationen allmählich umgewandelt haben. Als Beweis dafür sah er auch die Veränderungen der Haustiere und Kulturpflanzen bei der Züchtung durch den Menschen an. Die Ursache der Entwicklung sah LAMARCK in der Fähigkeit der Lebewesen, sich vom Einfachen zum Komplizierten entwickeln zu können, und in der Einwirkung der Umwelt auf die Lebewesen. Bei den Pflanzen und den einfachsten Tieren bewirkt die Umwelt nach LAMARCKS Auffassung direkt, bei den höheren Tieren indirekt (indem sie ihr Verhalten beeinflußt) erbliche Veränderungen.

In seiner Eröffnungsvorlesung am Nationalmuseum für Naturkunde im Jahre 1800 legte LAMARCK erstmalig ausführlich den Entwicklungsgedanken dar, 1809 erschien sein theoretisches Hauptwerk „Zoologische Philosophie“.

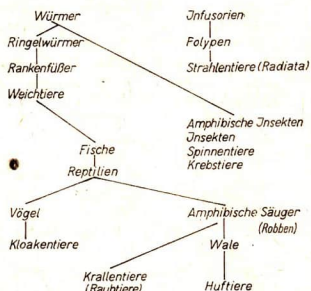


Abb. 72 Stammbaumentwurf Lamarcks

In der „Zoologischen Philosophie“ faßte LAMARCK seine Lehre in zwei „Naturgesetzen“ zusammen:

1. „Bei jedem Tier, welches den Höhepunkt seiner Entwicklung noch nicht überschritten hat, stärkt der häufigere und dauernde Gebrauch eines Organs dasselbe allmählich, entwickelt, vergrößert und kräftigt es proportional der Dauer dieses Gebrauchs; der ständige Nichtgebrauch eines Organs macht dasselbe unmerkbar schwächer, verschlechtert es, vermindert seine Fähigkeiten und läßt es endlich verschwinden“.
2. „Alles, was die Individuen durch den Einfluß der Verhältnisse, denen ihre Rasse lange Zeit hindurch ausgesetzt ist, und folglich durch den Einfluß des vorherrschenden Gebrauchs oder ständigen Nichtgebrauchs eines Organs erwerben oder verlieren, wird durch die Fortpflanzung auf die Nachkommen vererbt, vorausgesetzt, daß die erworbenen Veränderungen beiden Geschlechtern oder den Erzeugern dieser Individuen gemein sind.“

Zur Erläuterung seiner Annahme der erblichen Veränderung der Tiere durch Gebrauch oder Nichtgebrauch ihrer Organe dachte sich LAMARCK viele Beispiele aus. Für das Entstehen neuer Organe nahm er das Streben eines mit dem Nervensystem verbundenen „inneren Gefühls“ an, neuen Bedürfnissen gerecht zu werden. So meinte er, der von seinem Bedürfnis nach Nahrung auf Wasser gezogene Vogel spreizt dort die Zehen seiner Füße auseinander, weil er rudern und schwimmen will. Die Haut, welche diese Zehen an ihrer Basis verbindet, nimmt durch dieses unaufhörlich wiederholte Auseinanderspreizen die Gewohnheit an, sich auszudehnen. So seien mit der Zeit die breiten Schwimmhäute entstanden, welche gegenwärtig die Zehen beispielsweise der Enten und Gänse verbinden. Oder: Wenn ein Tier, um seinen Bedürfnissen zu genügen, wiederholte Anstrengungen macht, um seine Zunge zu verlängern, so wird sie eine beträchtliche Länge erreichen, wie wir sie heute beim Specht oder beim Ameisenbär vorfinden.

LAMARCK erkannte die historische Entwicklung der lebenden Natur und die Einheit von Organismus und Umwelt, die sich in der Angepaßtheit der Lebewesen an ihre Umwelt zeigt und durch die Anpassung an die sich verändernde Umwelt zustandekommt. Den Anpassungsvorgang selbst und damit die Einheit von Organismus und Umwelt sowie die historische Entwicklung der lebenden Natur faßte LAMARCK mechanisch auf, Veränderung und Anpassung wurden von ihm unmittelbar gleichgesetzt. Die biologische Entwicklung wurde zur fließenden Bewegung vom Einfachen zum Komplizierten durch stetige Addition von Abänderungen. LAMARCKS Annahme einer Vererbung von durch Gebrauch oder Nichtgebrauch von Organen bewirkten individuellen Veränderungen hat sich nicht bestätigt. Viele Erscheinungen in der lebenden Natur, so die Schutzfärbung von Vogeleiern oder die Entstehung der sich nicht fortpflanzenden Arbeiterinnen bei Ameisen und Bienen, wären durch sie völlig unerklärbar. Das bei LAMARCK zwischen Organismus und Umwelt als Organ der Anpassungsbedürfnisse vermittelnde „innere Gefühl“ ist eine idealistische Hilfsannahme, die aus den mechanistischen Beschränktheiten seiner materialistischen Grundauffassung von der lebenden Natur erwächst und zu dieser Grundauffassung im Widerspruch steht.

LAMARCK krönte seine botanischen Forschungen mit einem zwölfbändigen Beitrag zur „Enzyklopädie methodique“; die Frucht seiner Zoologieprofessur war die siebenbändige „Naturgeschichte der Wirbellosen“, die er von 1815 bis 1822 herausgab. In der Einleitung dieses Werkes legte er noch einmal zusammenfassend seine Entwicklungslehre dar. 1829 starb LAMARCK, erblindet und vereinsamt.

Von seinen Zeitgenossen wurde LAMARCK als einer der bedeutendsten Tier- und Pflanzenkenner anerkannt; seine Entwicklungslehre lehnten die meisten ab. Das lag nicht nur an deren Schwächen; dazu trugen auch die gesellschaftlichen Verhältnisse bei. Das durch die bürgerliche Revolution zur Macht gekommene französische Großbürgertum hatte sich mit der zuvor von ihm bekämpften Kirche verbündet, damit diese die neue Gesellschaftsordnung unterstützte. Fortschrittliche Gedankengänge, so auch die Entwicklungslehre, hatten nur so lange sein Interesse gefunden, als es um die Beseitigung der Feudalherrschaft kämpfte. CUVIER, der wie LAMARCK am Nationalmuseum für Naturkunde in Paris gewirkt hatte, verstand es stets, sich mit den Herrschenden gut zu stellen, er war sowohl ein Freund Napoleons wie später Günstling der Bourbonen, unter beiden bekleidete er hohe öffentliche Ämter. Als er LAMARCK als Phantasten verspottete, gab er bürgerlichen Interessen Ausdruck. Tatsächlich war LAMARCK der Wahrheit näher als irgendeiner seiner Zeitgenossen.

ÉTIENNE GEOFFROY DE SAINT-HILAIRE. Neben LAMARCK und CUVIER wirkte ÉTIENNE GEOFFROY DE SAINT-HILAIRE (1772 bis 1844, Abb. 73) als Professor für Zoologie der Wirbeltiere am Naturkundemuseum in Paris. Er führte umfangreiche vergleichende anatomische, embryologische und paläontologische Untersuchungen durch, in denen er um den Nachweis bemüht war, daß die Natur alle Tiere nach einem Plan gebildet habe.

Er nahm an: Alle Tiere seien aus der gleichen Anzahl von Teilen aufgebaut und diese seien bei allen im gleichen Verhältnis zueinander angeordnet. „Die Natur ist bestrebt, dieselben Organe in derselben Anzahl und in derselben Anordnung zu wiederholen und variiert nur ihre Gestalt bis ins Unendliche“, schrieb er. Unterschieden seien die verschiedenen Tiere durch die unterschiedliche Ausbildung der Teile. Beispielsweise sei beim Elefanten die Nase als Rüssel sehr stark ausgebildet, bei den Huftieren seien die seitlichen Zehen verkümmert, andere Teile bei manchen Tieren ganz verschwunden. Den Plan in der Mannigfaltigkeit der Tiere suchte GEOFFROY ST. HILAIRE durch das Auffinden homologer Teile zu erkennen (die er „analoge“ nannte). Aus dem Bauplan der Wirbeltiere suchte GEOFFROY ST. HILAIRE auch den der Wirbellosen abzuleiten. Er fand, daß die Schalen junger Krebstiere aus Segmenten zusammengesetzt sind, die aus vier später miteinander verschmolzenen Stücken bestehen und Anhängsel tragen, andererseits ein Wirbel im Wesentlichen aus vier einen Ring bildenden Knochen mit Anhängen besteht. Weiter-



Abb. 73 Étienne Geoffroy de Saint-Hilaire



hin glaubte er entdeckt zu haben, daß die Anordnung der inneren Organe im Hummer der bei den Wirbeltieren entspricht, wenn man ihn auf den Rücken legt. Daraus schloß er, daß die Krebstiere Wirbeltiere seien, die umgekehrt innerhalb ihrer Wirbelsäule leben.

Von seiner Annahme eines einheitlichen Bauplanes aller Tiere ausgehend, mußte GEOFFROY ST. HILAIRE die Frage beantworten, wie die Mannigfaltigkeit der Tiere zustande kommt. Die Ursachen dafür sah er in der Einwirkung der sich verändernden Umwelt auf die Tiere im Laufe der Jahrhunderte, durch die verschiedene mit dem Bauplan gegebene Möglichkeiten verwirklicht würden. Die verstärkte Ausbildung eines Körperteils würde dabei durch die Verkümmerng anderer wieder ausgeglichen. Im Gegensatz zu LAMARCK nahm er kein „inneres Gefühl“ an. Er glaubte vielmehr, daß eine direkte Wirkung der Umwelt die Embryonalentwicklung stört. Dadurch würde der Bau der Tiere in durch die Eigenschaften der lebenden Substanz bestimmter Richtung verändert. Solcher Veränderungen sollten nicht nur wie von LAMARCK behauptet allmählich, sondern auch plötzlich und sprunghaft auftreten, beispielsweise habe der Wandel von Reptilien zu Vögeln innerhalb von ein oder zwei Generationen stattgefunden. Der veränderte Bau bedinge dann eine neue Lebensweise. Das Auftreten von Mißbildungen schien ihm das Stattfinden solcher plötzlicher Veränderungen zu beweisen, die Embryonalentwicklung deutete er als Wiederholung der Entwicklungsgeschichte der Art. „In der Abstammung als solcher liegt für uns nicht die Schwierigkeit“, schrieb er. „Was wir noch nicht verstehen . . . ist die Frage, wie unter der Macht der umgebenden physischen Ursachen . . . die Umänderungen des Organismus wirklich möglich sind, wie sie möglich waren und früher möglich gewesen sein müssen.“

In den Büchern „Anatomische Philosophie“ (1818) und „Prinzipien der Zoologischen Philosophie“ (1830) stellte GEOFFROY ST. HILAIRE seine Auffassungen zusammenfassend dar. Bei ihrer Aufstellung war er durch BUFFON und LAMARCK sowie durch den deutschen Biologen und Naturphilosophen LORENZ OKEN (1779 bis 1851) beeinflußt worden. OKEN nahm, an das Urbild der Tiere sei die Wirbelsäule, bestehend aus Wirbelknochen und ihren Anhängen, den Rippen und Gliedmaßen. Durch diese Annahme wurde GEOFFROY ST. HILAIRE wesentlich zu seinen Forschungen angeregt. In mehreren seiner Schriften griff er die Lehre CUVIERS von den vier Grundbauplänen im Tierreich an. Zwischen beiden kam es zu heftigen Auseinandersetzungen, die im Jahre 1830 ihren Höhepunkt erreichten. Damals berichtete GEOFFROY ST. HILAIRE der Pariser Akademie der Wissenschaften über die Untersuchungen zweier seiner Schüler. Diese hatten zu zeigen versucht, daß der Tintenfisch das Zwischenglied zwischen Wirbeltieren und Wirbellosen sei, er ließe sich als ein Wirbeltier ansehen, das über den Rücken gefaltet sei, so daß Kopf und Schwanz nebeneinanderlägen. Das gab CUVIER den Anlaß zu einem Generalangriff gegen die Auffassungen GEOFFROY ST. HILAIRE'S. Er wandte sich gegen die Aussage, daß sich die Tiere auseinander entwickelt hätten. Die Auseinandersetzung zwischen CUVIER und ST. HILAIRE beschäftigte viele Gelehrte jener Zeit, beide fanden Anhänger ihrer Ideen. Zu denen, die auf ST. HILAIRE'S Seite standen, gehörte auch GOETHE. Die große wissenschaftliche Autorität CUVIERS, seine Redegewandtheit und die Mängel in den Auffassungen seines Gegners, so der Versuch, die Entwicklung

der Tiere als lineare Reihe darzustellen und die sachlichen Fehler bei der Unterordnung der Wirbellosen unter den Bauplan der Wirbeltiere, ließen ihn als Sieger aus diesem Akademiestreit hervorgehen. Damit war der Entwicklungsgedanke für die nächsten Jahrzehnte in der Biologie noch einmal zurückgedrängt, völlig auszulöschen war er nicht mehr.

### Die Begründung der wissenschaftlichen Abstammungslehre

Geologie und Paläontologie hatten bewiesen, daß die Erde und das Leben darauf eine Geschichte haben. Tier- und Pflanzengeographie zeigten die ungeheure Formenmannigfaltigkeit der Lebewesen und ihre unterschiedliche Verbreitung auf der Erde. Taxonomie und vergleichende Untersuchungen zwischen dem Bau und der Individualentwicklung der Organismen hatten die Einheit in der Mannigfaltigkeit offenbart. Die Erkenntnis, daß zwischen den Lebewesen eine durch die Fortpflanzung vermittelte Kontinuität besteht, war durch die Widerlegung solcher Vorstellungen wie der von einer ständigen Urzeugung verschiedener Lebewesen erhärtet worden. Tier- und Pflanzenzüchtung waren der praktische Beweis, daß die Lebewesen veränderlich sind. Alle diese Erkenntnisse und Erfahrungen ließen schließlich nur noch eine zusammenfassende wissenschaftliche Erklärung zu: die wissenschaftliche Abstammungslehre.

**Die Weltreise.** CHARLES DARWIN (Abb. 74) wurde am 12. Februar 1809 als Sohn eines wohlhabenden Arztes in Shrewsbury (Westengland) geboren. Die Schule, in der er vor allem Griechisch und Latein lernen mußte, interessierte ihn wenig, lieber sammelte er Mineralien, Pflanzen, Muscheln und Insekten und ging zur Jagd. Im Alter von sechzehn Jahren begann er Medizin in Edinburgh zu studieren, fand daran jedoch keinen Gefallen. Anstatt die Vorlesungen zu besuchen, sammelte er in dieser Zeit lieber Käfer, er begann sich auch für Seetiere zu interessieren. Nach zwei Jahren brach er das Medizinstudium ab und begann 1828 in Cambridge Theologie zu studieren. Dort befreundete er sich mit dem Botaniker JAHN STEVENS HENSLAW (1769 bis 1859), der ihn zu exakten naturwissenschaftlichen Beobachtungen anregte, und las mit Begeisterung die Reisebeschreibungen ALEXANDER VON HUMBOLDT'S.

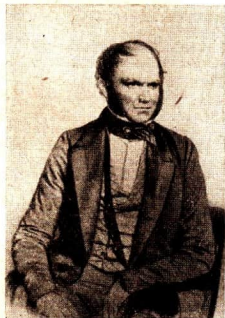
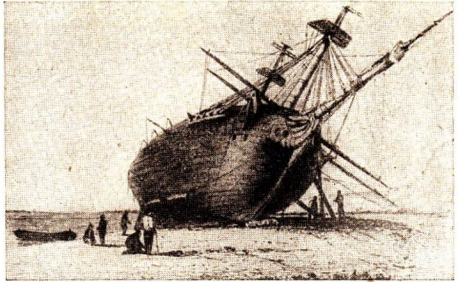


Abb. 74 Charles Darwin

Die Voraussetzungen für die Begründung der wissenschaftlichen Abstammungslehre gewann DARWIN vor allem durch seine Beobachtungen und Entdeckungen während seiner Weltreise mit der „Beagle“ (Spürhund), an der er vom Dezember 1831 bis zum Oktober 1836 teilnahm (Abb. 75). Das Schiff war ausgesandt worden, um den Bedarf nach zuverlässigen Seekarten zu befriedigen, der in England mit

Abb. 75 Die „Beagle“



dem Ausbau von Handel und politischem Einfluß in Südamerika entstanden war. Durch Vermittlung HENSLOWS nahm DARWIN als Naturforscher an der Reise teil. Vor allem zwei Erscheinungen überzeugten DARWIN von der Entwicklung der Arten und veranlaßten ihn, die Ursachen dafür zu suchen: die südamerikanischen Fossilien und die Tierwelt der Galápagos-Inseln.

Während die „Beagle“ zur Erfüllung ihrer Aufgaben über drei Jahre vor den Küsten Südamerikas kreuzte (Abb. 76) unternahm DARWIN ausgedehnte Reisen ins

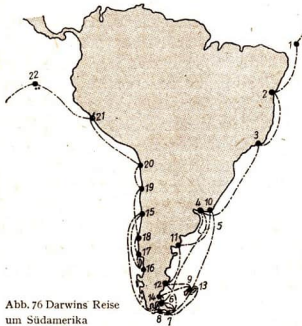


Abb. 76 Darwins Reise um Südamerika

1832

- 1 20. 2.: Insel Fernando Noronha
- 2 29. 2.: Bahia (Brasilien)
- 3 4. 4.-5. 7.: Rio de Janeiro
- 4 26. 7.-21. 8.: Montevideo
- 5 22. 8.-27. 11.: Vermessungsfahrten in der Mündung des La Plata und südlich davon; Abfahrt von Montevideo nach Süden

- 6 18.-20. 12.: Tierra del Fuego (Feuerland)
- 7 24. 12.: Kap Hoorn
25. 12.-29. 12.: Auf Feuerland, nahe Kap Hoorn
30. 12. 1832-15. 1. 1833: Auf See bzw. wegen stürmischen Wetters vor Anker

1833

- 8 16. 1.-11. 2.: Beagle-Kanal und auf Feuerland
  - 9 1. 3.: Berkeley-Sound (östliche 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.-2. 4.: Aufenthalt in Berkeley-Sound
  - 14 13. 4.: Santa-Cruz-Mündung
- April bis Mai: Erforschung des Santa Cruz in Booten
- 15 23. 7.-10. 11.: Valparaiso, Exkursion in die Anden
  - 16 21. 11. 1834-4. 1. 1835: Insel Chiloé, Insel Lemuy, Chonos-Archipel

1835

- 17 8. 2.: Valdivia (Chile)
- 18 4. 3.: Concepción (Chile)
- 19 11. 3.-1. 7.: Valparaiso, Überquerung der Kordilleren, Copiapó
- 20 12. 7.: Iquique (Chile)
- 21 19. 7.: Callao (Hafen von Lima, Peru)
- 22 15. 9.-20. 10.: Galápagos-Archipel

Landesinnere. Dabei fand er in quartären Sedimenten der Pampas Knochen und ganze Skelette riesiger fossiler Zahnarmer, Riesengürteltiere und Riesenfaultiere von Nashorn- und Elefantengröße, deren Ähnlichkeit mit den Skeletten der heute im gleichen Gebiet lebenden Zahnarmen ihn erstaunte. Er fragte sich, ob die heutigen Zahnarmen nicht veränderte und verkleinerte Nachkommen der fossilen Formen sind. Vor die gleiche Frage stellte ihn in Patagonien der Fossilfund eines riesenhaften kamelartigen Tieres, der *Macrauchenia*, deren Körperbau sehr weitgehend mit dem der heute dort lebenden Guanakos und Lamas übereinstimmt, und der Fund fossiler Reste des *Taxodons*, eines großen Huftieres, dessen Zähne an die von Nagetieren erinnern.

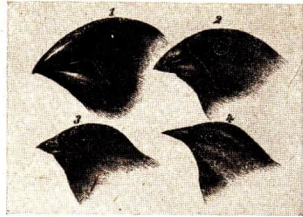


Abb. 77 Grundfinkenarten mit verschieden geformten Schnäbeln

Im September 1835 lief die „Beagle“ die Galápagos-Inseln an, eine Gruppe von kleinen Felseninseln vulkanischen Ursprungs, die ungefähr 900 km westlich des südamerikanischen Festlandes unter dem Äquator liegt. Diese durch tiefe Meerengen getrennten Inseln wurden vor etwa 70 Millionen Jahren von unter der Meeresoberfläche befindlichen Vulkanen gebildet, auch heute ist die vulkanische Aktivität noch nicht erloschen. Die Inseln sind von einer Fülle von Pflanzen und Tieren (Vögeln, Eidechsen, Schildkröten u. a.) besiedelt, die wenigen Arten angehören. DARWIN fiel auf, daß sie allgemein Lebewesen des südamerikanischen Festlandes ähneln, aber nicht nur anderen Arten, sondern auch anderen Gattungen und sogar Familien angehören. Daraus schloß er, daß sie von amerikanischen Vorfahren abstammen, durch Meeresströmungen, auf treibenden Baumstämmen, durch die Luft oder anderswie auf diese Inseln gelangt waren und sich unter den neuen Lebensverhältnissen im Laufe der Generationen änderten. Besonders fielen DARWIN die den Archipel bewohnenden Grundfinkenarten („Darwin-Finken“, Abb. 77) auf, die den verschiedenen Ernährungsmöglichkeiten angepaßt sind: Hartfresser mit kräftigem Kegelschnabel wie unsere Kernbeißer, Laubfresser, Kaktusfresser und so fort. Weiter beobachtete er, daß auf den verschiedenen Inseln bei gleichem Klima und gleicher Bodenbeschaffenheit verschiedene Arten jeweils gleicher Gattungen von Schildkröten, Spottdrosseln, Grundfinken und bestimmten Pflanzen vorkommen. Das führte DARWIN darauf zurück, daß die Lebewesen dieser Arten wegen der starken Strömungen und der Tiefe des Meeres zwischen den Inseln sowie auf Grund der Verhaltensweise der Tiere kaum von einer zur anderen übersiedelten und sich getrennt entwickelten.

„Ich war . . . von dem Charakter der südamerikanischen Fossilien und den Arten des Galápagos-Archipels stark beeindruckt. Diese Tatsachen (besonders die letzte) bildeten den Ursprung aller meiner Anschauungen“, notierte DARWIN 1837 in seinem Tagebuch. Die Jahre nach der Rückkehr der „Beagle“ widmete DARWIN der Auswertung der während der Reise angelegten Sammlungen und Aufzeichnungen. Vor

allem aber trug er ungeheure Mengen von Beweismaterial zur Beantwortung der Frage nach dem Ursprung der Arten zusammen.

**Darwins Theorie.** Im Jahre 1859 erschien DARWINs epochemachendes Werk „On the origin of Species by means of natural selection, or the Preservation of favoured races in the struggle for life“ (Über die Entstehung der Arten durch natürliche Auslese oder die Erhaltung der begünstigten Rassen im Kampf ums Dasein). Eine ganze Anzahl weiterer bedeutender Werke folgte. In ihnen wurde die Entstehung der Arten durch natürliche Entwicklung zum ersten Male so begründet und mit Tatsachen belegt, daß diese Lehre sich trotz aller Widerstände unaufhaltsam durchsetzte.

Die natürliche Zuchtwahl, welche sich aus dem Zusammenwirken von Vererbung, erblicher Veränderung und Auslese ergibt, wurde von DARWIN als wesentliche Ursache für die Entwicklung der Arten erkannt. Nach seiner Auffassung verändern sich die Lebewesen unter dem Einfluß der Umwelt in individuell unterschiedlicher Weise und vererben die Veränderungen auf die Nachkommen. Die Umweltbedingungen bewirken eine Auslese unter den Organismen. Für sie besteht eine mehr oder minder große Wahrscheinlichkeit, zur Fortpflanzung zu gelangen, je nach dem Grade ihrer Anpassung an die jeweiligen Umweltverhältnisse. Auf den Vorgang der natürlichen Zuchtwahl wurde DARWIN durch die Beschäftigung mit der Züchtung von Haustieren und Kulturpflanzen hingewiesen. Er stellte fest, daß die Züchter kleinste Unterschiede an den Tieren und Pflanzen, die ihnen günstig erscheinen, durch Fortpflanzung und Kreuzung der Lebewesen anhäufen, bis sie sich festigen und eine neue Rasse oder Sorte entsteht. Was der Züchter bei dieser **künstlichen Zuchtwahl** absichtlich tut, vollbringt die Natur ohne Ziel, Zweck oder Absicht durch die **natürliche Zuchtwahl**, der Züchter nutzt diese Naturgesetzmäßigkeiten aus. Während bei der künstlichen

Zuchtwahl die Organismen nach für den Menschen nützlichen Eigenschaften ausgelesen werden, bewirkt der Kampf ums Dasein in den Beziehungen der Lebewesen zur Umwelt, daß der Umwelt jeweils besser angepaßte Lebewesen entstehen. Der Weg ist beide Male der gleiche: Erbliche Veränderungen werden durch Auslese angehäuft.

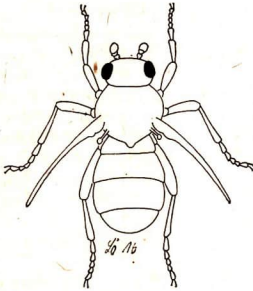


Abb. 78 Kerguelenfliege mit verkümmerten Flügeln

Ein Beispiel für die Wirkung der Auslese bieten die flugunfähigen Insekten von Madeira und den Kerguelen-Inseln (Abb. 78); von etwa 550 Käferarten Madeiras haben rund 200 so verkümmerte Flügel, daß sie nicht fliegen können, auf den Kerguelen haben die einheimischen Fliegen, Käfer und Schmetterlinge keine Flügel. Durch die auf diesen Inseln ständig wehenden Winde sind offenbar viele Insekten ins Meer hinausgetragen worden, so daß sich vorzugsweise die Individuen der ur-

sprünglich geflügelten Arten erhielten, die schwach ausgebildete Flügel hatten. Durch die über viele Generationen wirkende Auslese ging das Flugvermögen mehr und mehr verloren.

Die natürliche Zuchtwahl wird nach DARWIN durch die geschlechtliche Zuchtwahl unterstützt: die Männchen kämpften um die Weibchen (Hirsche) oder die Weibchen suchen ihre Geschlechtspartner aus, dabei werden Männchen mit lauter Stimme, starkem Geweih, buntem Gefieder und dergleichen bevorzugt, auf diese Weise entstanden die starken Unterschiede in den sekundären Geschlechtsmerkmalen. Dabei übertrug DARWIN zum Teil menschliche ästhetische Empfindungen und Bewertungen in die Natur (z. B. die Farbenpracht männlicher Vögel). Daß die sekundären Geschlechtsmerkmale auf Nebenwirkungen der Sexualhormone beruhen, konnte er noch nicht wissen. Wie die modernen Untersuchungen über das Paarungsverhalten der Tiere zeigen, enthält DARWINS Lehre von der geschlechtlichen Zuchtwahl jedoch richtige Grundgedanken.

Bei der Erklärung der natürlichen Zuchtwahl nahm DARWIN an, ihr liege ein Kampf zwischen den Lebewesen um die Existenzbedingungen zugrunde, weil die Lebewesen stets mehr Nachkommen hervorbringen, als für diese Lebensmöglichkeiten vorhanden sind. Im Ergebnis dieses Kampfes kämen nur die ihm besser gewachsenen zur Fortpflanzung. Dabei galt ihm der Ausdruck „Kampf ums Dasein“ jedoch als zusammenfassende bildliche Ausdrucksweise für das Verhältnis der Lebewesen zu ihrer Umwelt, zu Nahrung, Luft, Boden, Kälte, Hitze, Dürre, Nässe, zu den Lebewesen anderer Arten. So aufgefaßt ist der Kampf ums Dasein tatsächlich eine Grundlage für die natürliche Zuchtwahl. Die Zahl der Nachkommen ist grundsätzlich selbst eine das Weiterbestehen der Art unter bestimmten Umweltverhältnissen bewirkende Form der Anpassung. Pflanzen bringen beispielsweise Millionen von Samen hervor, viele Fische legen Zehn- und Hunderttausende von Eiern ab, von denen nur ein Teil sich bis zu fortpflanzungsfähigen Nachkommen entwickelt.

Mit DARWINS Begründung der wissenschaftlichen Abstammungslehre erhielt die Biologie eine neue theoretische Grundlage. Die Erkenntnisse DARWINS fanden begeisterte Zustimmung, sie stießen aber auch auf wütende und haßerfüllte Ablehnung. Von Theologen wurden DARWIN und seinen Anhängern ewige Höllenqualen prophezeit, von angesehenen Naturwissenschaftlern wurde der Darwinismus als „harmloser Traum eines Nachmittagsschläfchens“ und als „vorübergehender Schwindel“ bezeichnet. War der Darwinismus doch nicht nur für die Klärung wichtiger biologischer, einzelwissenschaftlicher Fragen wichtig, sondern zugleich von hervorragender weltanschaulicher Bedeutung. An die Stelle von Konstanz und Schöpfung der Arten setzte DARWIN unwiderruflich Entwicklung und natürliche Zuchtwahl. Als materialistische wissenschaftliche Lehre entzog der Darwinismus zahllosen idealistischen Fehldeutungen im biologischen Bereich den Boden. So wurde er zu einer wirkungsvollen geistigen Waffe der fortschrittlichen gesellschaftlichen Kräfte, insbesondere der klassenbewußten Arbeiterschaft, gegen reaktionäre Ideologien. KARL MARX schrieb im Dezember 1860 an FRIEDRICH ENGELS über DARWINS „Entstehung der Arten“: „Obgleich grob englisch entwickelt, ist dies das Buch, das die naturhistorischen Grundlagen für unsere Ansicht enthält.“

**Darwinismus und Teleologie.** Unter den idealistischen Fehldeutungen der lebenden Natur, denen der Darwinismus den Boden entzog, ist vor allem die Theologie zu nennen, die Lehre von einer vorausbestimmten Zweckmäßigkeit aller

Dinge und allen Geschehens, die unmittelbar mit dem Schöpfungsglauben verbunden ist.

Was vom Menschen geschaffen wird, wird zweckmäßig und sinnvoll zur Befriedigung irgendwelcher menschlicher Wünsche und Bedürfnisse geschaffen. Mit dem Schöpfungsglauben entstand die Frage, wozu etwas erschaffen sei, die Frage nach Zweck und Sinn objektiver natürlicher und gesellschaftlicher Vorgänge und Zustände. Als solche Fragen auf frühen Stufen der gesellschaftlichen Entwicklung zum ersten Male gestellt wurden, kannten die Menschen bereits viele Erscheinungen in der Natur, aber deren Ursachen waren sehr oft unbekannt. Im härtesten Kampf mit der Natur um die Gewinnung des Lebensunterhaltes richtete sich die Aufmerksamkeit der Menschen vor allem auf das für die Erhaltung des Lebens Brauchbare in der Natur. An erster Stelle stand die Frage „Wozu?": der Sonnenschein leuchtete und wärmte – die Sonne schien, um die Erde zu beleuchten und die Menschen zu erwärmen; der Fluß beherbergte Fische, die den Menschen zur Nahrung dienten – er beherbergte sie, damit sie dem Menschen zur Nahrung dienen usw.

Die teleologische Erklärungsweise von Naturerscheinungen geriet notwendig mit dem Vordringen der menschlichen Erkenntnis, mit der Frage nach den Ursachen und Gesetzmäßigkeiten, dem „Warum?“, in Widerspruch und erwies sich als starkes Hemmnis des wissenschaftlichen Fortschritts. Nach der Entstehung der Ausbeutung des Menschen durch den Menschen, nach der Klassenspaltung der Gesellschaft, ging sie in die Ideologie reaktionärer herrschender Ausbeuterklassen ein. Deren geistige Interessenvertreter verwiesen auf die gottgegebene Zweckmäßigkeit der Welt im allgemeinen und der jeweiligen Gesellschaftsordnung im besonderen. Fortschrittliche Philosophen und Naturforscher nahmen seit altersher gegen die Teleologie Stellung.

Während die Teleologie aus der Erklärung der anderen Bereiche der Natur bereits so gut wie verschwunden war, hatte sie in der Biologie noch längere Zeit großen Einfluß. Gerade aus der lebenden Natur versuchte man die zweckmäßige Beschaffenheit der Welt, ihre Erschaffung durch ein höheres Wesen herzuleiten. Das Zusammenwirken der Teile der Lebewesen zu einem Ganzen, die Abhängigkeit der Lebewesen voneinander (z. B. insektenblütiger Pflanzen und blütenbesuchender Insekten), die Angepaßtheit der Lebewesen an ihre Umwelt, beispielsweise die Schutzfärbung („Wüstenfarbe“ des Löwen, „Bodenfarbe“ von Hase und Rebhuhn), die Vielfalt und das Zusammenspiel der Teile der Organismen, welche die Erhaltung des Einzelwesens und der Art, die Ernährung, den Schutz gegen Feinde, die Fortpflanzung und Vermehrung bewirken, schienen ein besonders augenfälliger Beweis für die Teleologie zu sein (Abb. 79). Wie sollte solche „Zweckmäßigkeit“ ohne Zwecksetzung durch irgend jemand entstehen?

„Trotz allem Mangelhaften ist hier zuerst der ‚Teleologie‘ in der Naturwissenschaft nicht nur der Todesstoß gegeben, sondern der rationelle Sinn derselben empirisch auseinandergelegt . . .“ schrieb KARL MARX im Januar 1861 in einem Brief über DARWINS „Entstehung der Arten“. DARWIN erkannte die „Zweckmäßigkeit“ der Lebewesen als Angepaßtheit, entstanden als Ergebnis einer langen Veränderung und Entwicklung, in der die Lebewesen überlebten und sich fortpflanzten, die sich der verändernden Umwelt besser anpaßten.

DARWINS Erkenntnisse ermöglichen auch „zwecklose“ und „unzweckmäßige“ Organe und Verhaltensweisen der Lebewesen zu erklären, deren Bestehen sich mit keinerlei Teleologie vereinbaren läßt.

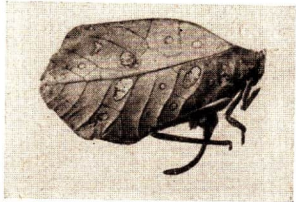
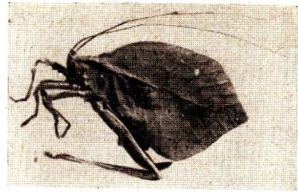
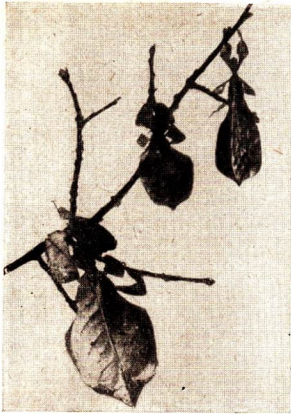


Abb. 79 Schutztracht bei Tieren. Blattähnliche Insekten

Jede Art ist an bestimmte Lebensverhältnisse angepaßt, in ihnen „Zweckmäßiges“ kann unter anderen Lebensverhältnissen „zwecklos“ oder „überflüssig“ werden. So sind beispielsweise bei manchen flugunfähigen Laufkäferarten die Flügeldecken fest miteinander verbunden, darunter befinden sich jedoch noch mehr oder weniger verkümmerte Hinterflügel. Die Beziehungen zwischen den Teilen der Lebewesen bedingen, daß Veränderungen eines Teiles Veränderungen anderer Teile nach sich ziehen, dabei entstanden in der Geschichte der lebenden Natur solche ausgesprochenen „unzweckmäßigen“ Gebilde wie das bis zu vier Metern klaffende Geweih des Riesenhirsches (Abb. 80). Übrigens kann „zwecklos“ gewordenes in anderen Zusammenhängen auf wenig „zweckmäßigen“ Umwegen wieder „zweckmäßig“ werden, zum Beispiel haben die lebendgebärenden

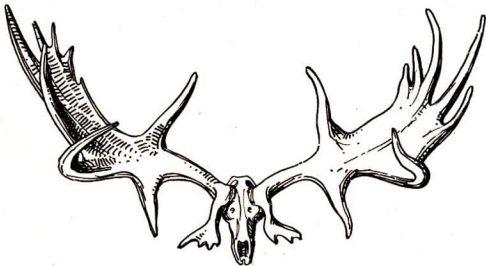


Abb. 80 Geweih eines  
Riesenhirsches  
Spannweite 2,50 m,  
Schädellänge 0,50 m



weiblichen Alpensalamander in jedem der beiden Eileiter etwa 50 Eier, aber nur je ein Ei entwickelt sich, die anderen zerfallen und dienen den beiden Jungen im mütterlichen Organismus als Nahrung.

„Zweckmäßiges“, „Zweckloses“ und „Unzweckmäßiges“ entstehen aus der Umbildung der Arten durch die natürliche Zuchtwahl – durch diese Einsicht wurde die Teleologie ihrer letzten Zufluchtsstätte beraubt. DARWIN erkannte: „Der alte Beweisgrund vom Zwecke in der Natur, . . . der mir früher so entscheidend erschien, schlägt jetzt fehl, nachdem das Gesetz der natürlichen Auslese entdeckt worden ist. Wir können zum Beispiel nicht länger folgern, daß das wunderschöne Schloß einer zweischaligen Muschel von einem intelligenten Wesen gebildet worden sein muß wie das Schloß einer Tür vom Menschen. In der Veränderlichkeit der organischen Wesen und in der Wirkungsweise der natürlichen Zuchtwahl scheint nicht mehr Zweckmäßigkeit zu liegen als in der Richtung, in der der Wind weht. Alles in der Natur ist das Ergebnis feststehender Gesetze.“

### **Aufgaben und Fragen**

1. Stellen Sie noch einmal die wesentlichsten Überlegungen DARWINS zusammen und erläutern Sie, warum dadurch die wissenschaftliche Abstammungslehre begründet wurde!
2. Stellen Sie die Auffassungen von LAMARCK und DARWIN gegenüber und charakterisieren Sie deren Unterschiede!
3. Bis heute wird von einigen Wissenschaftlern versucht, die Theorien DARWINS auch auf die menschliche Gesellschaft zu übertragen. Suchen Sie dafür Beispiele und erläutern Sie die Ursachen dieser Bemühungen! Begründen Sie, warum eine solche Methode unwissenschaftlich und antihuman und deshalb unmöglich ist!

### **Die Verbreitung und Weiterentwicklung des Darwinismus**

Zahlreiche Biologen fanden in den Werken DARWINS Antwort auf Fragen, die sich aus ihren Forschungen ergaben. Sie wurden Anhänger des Darwinismus, verteidigten ihn gegen viele Angriffe, bauten ihn aus und verbreiteten ihn unter Fachkollegen und Studenten sowie in der Öffentlichkeit. Bedeutende Wissenschaftler aus vielen Ländern wurden zu mutigen Kämpfern für den Darwinismus.

In England vertrat der Zoologe THOMAS HENRY HUXLEY (1825 bis 1895) voll Eifer den Darwinismus. Die Ergebnisse seiner Forschungen in der vergleichenden Anatomie wurden durch DARWINS Lehre im Sinne der Stammesgeschichte erklärt, zugleich waren sie ein Beweis für ihre Richtigkeit. In seiner Schrift „Zeugnisse für die Stellung des Menschen in der Natur“ (1863) bewies HUXLEY, daß „die anatomischen Verschiedenheiten, welche den Menschen vom Gorilla und Schimpansen scheiden, nicht so groß sind, als die, welche den Gorilla von den niedrigen Affen trennen“.

In Deutschland wurde der Zoologe ERNST HAECKEL (1834 bis 1919, Abb. 81) zum eifrigsten Vorkämpfer des Darwinismus. HAECKEL war der Sohn eines fortschrittlichen Juristen, besonders von seiner Mutter war er streng religiös erzogen worden. Schon als Schüler hatte er sich viel mit Botanik beschäftigt, studierte jedoch auf

Wunsch des Vaters in Berlin und Würzburg Medizin. Nur ein Jahr lang unterhielt er eine ärztliche Praxis in Berlin, ehe er sich ganz der Biologie widmete. Im Jahre 1861 ging er nach Jena, wo er zunächst als Privatdozent und dann als Professor und Direktor des Zoologischen Museums und Instituts wirkte. Seine Forschungen galten vor allem der vergleichenden Anatomie und der Tierwelt des Meeres. Er entdeckte zahlreiche Radiolarien-Arten und verfaßte zahlreiche Arbeiten über Schwämme und Medusen. Bereits vor seiner Übersiedelung nach Jena las er begeistert DARWINs damals noch von den meisten Biologen abgelehntes Buch „Über die Entstehung der Arten“. In seiner großen Monographie „Die Radiolarien“ (1862) bekannte HAECKEL sich zum ersten Male zum Darwinismus. Er bewunderte ihn als „den ersten, ernstlichen, wissenschaftlichen Versuch, alle Erscheinungen der organischen Natur aus einem großartigen, einheitlichen Gesichtspunkt zu erklären und an die

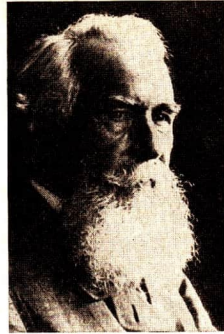


Abb. 81 Ernst Haeckel

Stelle des unbegreiflichen Wunders das begreifliche Naturgesetz zu bringen.“ Mit dem Vortrag „Über die Entwicklungstheorie DARWINs“ auf der 38. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte (1863) begann sein unermüdlicher und leidenschaftlich geführter Kampf für die Durchsetzung der wissenschaftlichen Abstammungslehre in der Biologie. In der zweibändigen „Generellen Morphologie“ (1866) unternahm er den großartigen Versuch, vom Standpunkt des Darwinismus einen Überblick über die gesamte Organismenwelt zu geben. Er ging davon aus, daß die ersten Lebewesen aus nichtlebender Materie entstanden seien und entwarf erstmalig Stammbäume der Lebewesen, in die er den Menschen einbezog (Abb. 82). Da das Werk geringe Beachtung fand, wandte sich HAECKEL im Wintersemester 1867/68 mit öffentlichen Vorträgen an Studierende aller Fakultäten. Aus diesen Vorträgen entstand das überarbeitet und erweitert häufig wieder aufgelegte und in zahlreiche Sprachen übersetzte Buch „Natürliche Schöpfungsgeschichte“ (1. Auflage 1868), durch das viele Menschen zum ersten Male mit den damals aktuellen Problemen der Biologie vertraut gemacht wurden. Das große Interesse, das die „Natürliche Schöpfungsgeschichte“ fand, zwang die Gegner des Darwinismus zur Stellungnahme, HAECKEL erschien ihnen jetzt gefährlicher als DARWIN. Besonders umstritten waren HAECKELs Darlegungen über die Beziehungen zwischen Ontogenese und Phylogenese, die er im „Biogenetischen Grundgesetz“ zusammenfaßte (s. S. 39). Noch lebhafter entbrannte der Streit, als HAECKEL in seiner „Monographie der Kalkschwämme“ (1872) zum ersten Mal die später weiter ausgebauten Gasträa-Theorie darlegte. Aus der vergleichenden Untersuchung einer Vielzahl von vielzelligen Tieren ergab sich, daß die Ontogenese der Vielzeller stets von der befruchteten Eizelle über eine Morula (Maulbeerkeim), eine Blastula (Blasenkeim) und eine Gastrula (Becherkeim) verläuft. Nach dem „Biogenetischen Grundgesetz“ deutete HAECKEL diese Erscheinung als Ausdruck



der gemeinsamen Abstammung der Vielzeller einschließlich des Menschen von einer gemeinsamen Ahnenform, der Gasträa (Urdarmtier), deren Körper wie die Gastrula aus zwei Zellschichten bestand und über deren Entwicklungsstufe Polypen und Schwämme nicht wesentlich hinausgelangt sind. Die Gasträa-Theorie hat der Forschung fruchtbare Anregungen gegeben und vermag auch heute noch die Abstammung der Vielzeller am besten zu erklären. Im Jahre 1874 faßte HAECKEL das gesamte damalige Wissen über die Menschwerdung in seiner „Anthropogenie“ zusammen, die von einem reaktionären Gelehrten als „Attentat auf die Wahrheit der Offenbarung, auf die Grundlage der Religion und auf die Grundlage der Sittlichkeit“ bezeichnet wurde.

Als HAECKEL auf der 50. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte (1877) die weltanschauliche Bedeutung der DARWINSCHEN Theorie erörterte und für ihre Behandlung im Schulunterricht eintrat, wurde er von dem berühmten Mediziner RUDOLF VIRCHOW (1821 bis 1902) angegriffen. VIRCHOW bezeichnete die Entwicklung des Lebens als ungelöstes Problem, das man nicht in die Köpfe der Menschen, besonders der Schullehrer, hineinbringen dürfe. Er nannte den Darwinismus als eine der Ursachen der von der Bourgeoisie gehaßten Pariser Kommune und fand die Bejahung der Abstammungslehre durch die sozialistische Arbeiterbewegung „ungemein bedenklich“. Nach VIRCHOWS Rede triumphierten die Gegner HAECKELS, die sich nun auf die Äußerungen eines angesehenen Wissenschaftlers berufen konnten. Die katholische Zeitung „Germania“ schrieb gehässig: „Die Haeckelianer, respektive Affenfanatiker, haben . . . eine entscheidende Niederlage erlitten.“ Mit der Schrift „Freie Wissenschaft und freie Lehre“ (1878) nahm HAECKEL Stellung gegen die „fortlaufende ergiebige Ausbeutung, welche VIRCHOWS Rede seit drei viertel Jahren von Seiten aller klerikalen und reaktionären Organe zugunsten des geistigen Rückschritts erfährt.“ HAECKEL betonte, daß es keine nur aus einzelnen Tatsachen bestehende Wissenschaft geben könne, vielmehr gehöre die zusammenfassende Theorie mit ihren Konsequenzen dazu. Weiter wies er nach, daß die Entwicklung der Organismen im Prinzip bestätigt sei, daß aber auch offene Probleme in der Lehre einen rechtmäßigen Platz haben. Zugleich distanzierte er sich von der Sozialdemokratie und behauptete, daß der Kampf ums Dasein auch für die menschliche Gesellschaft ein Naturgesetz und die sozialistische Gesellschaftsordnung deshalb unmöglich sei. Kurze Zeit später verbot der preußische Unterrichtsminister die Behandlung der Abstammungslehre in der Schule.

Im Jahre 1899 veröffentlichte HAECKEL sein bekanntestes Werk: „Die Welträtsel“. Auf der Grundlage des Standes der Erkenntnisse der Naturwissenschaft am Ende des 19. Jahrhunderts nahm HAECKEL darin Stellung zu den Fragen nach dem Verhältnis von Materie und Energie, dem Ursprung der Bewegung, der Entstehung des Lebens, dem Ursprung der Zweckmäßigkeit in der Natur, der Entstehung der einfachen Sinnesempfindungen, der Entstehung des vernünftigen Denkens und der Sprache sowie zu dem Problem der Willensfreiheit. HAECKEL betrachtete sich nicht als Materialisten, er hielt es sogar für möglich, die Wissenschaft mit einer modernisierten Religion zu vereinbaren. Diese Zugeständnisse an die herrschende Ideologie des Bürgertums, dem er angehörte, ließen jedoch, wie W. I. LENIN schrieb, „nur um so plasti-

scher den allgemeinen Geist seiner Schrift, die Unausrottbarkeit des naturwissenschaftlichen Materialismus, seine Unversöhnbarkeit mit der ganzen offiziellen Professorenphilosophie und -theologie hervortreten“.

HAECKELS „Welträtsel“ wurden zur geistigen Waffe der Arbeiterbewegung im Klassenkampf. Die logischen weltanschaulichen Konsequenzen der wissenschaftlichen Abstammungslehre, zu deren Ausarbeitung HAECKEL Wesentliches beigetragen hat, waren die Ursache der Angriffe, denen HAECKEL und seine Anhänger ausgesetzt waren. Im Jahre 1907 hetzte der Botaniker JOHANNES REINKE (1849 bis 1931) im Preußischen Herrenhaus gegen die HAECKEL-Anhänger und verglich ihre Gefährlichkeit für den junkerlich-bourgeois Staat, der sich auf das Bündnis von Thron und Altar stützte, mit der der Sozialdemokratie. Er forderte, mit staatlichen Mitteln gegen HAECKEL vorzugehen. Trotz mancher Schwächen seiner Theorien, trotz Fehler und Inkonsequenzen hat HAECKEL entscheidend zur Weiterentwicklung und Verbreitung des Darwinismus beigetragen und objektiv, unbeabsichtigt, der Arbeiterklasse bei ihrer geistigen Befreiung aus den Fesseln der bürgerlichen Ideologie geholfen.

Bedeutende Beiträge zur Verbreitung und Weiterentwicklung der Abstammungslehre wurden auch von russischen Gelehrten geleistet. ALEXANDER ONUFRIJEWITSCH KOWALEWSKY (1840 bis 1901) gelang auf Grund von embryologischen Untersuchungen der Nachweis, daß das Lanzettierchen und die Seescheiden mit den Wirbeltieren stammesgeschichtlich verwandt sind. Sein Bruder, der Paläozoologe WLADIMIR ONUFRIJEWITSCH KOWALEWSKY (1842 bis 1883) erforschte besonders die Stammesgeschichte der Pferde und anderer Huftiere. Er wandte den Darwinismus in der Paläontologie an.

Der Pflanzenphysiologe KLIMENT ARKADJEWITSCH TIMIRJASEW (1843 bis 1920) übersetzte die Werke DARWINS ins Russische und erläuterte den Darwinismus in zahlreichen Vorträgen und Schriften. Ähnlich wie HAECKEL war er deshalb starken Angriffen ausgesetzt und wurde 1892 aus der Landwirtschaftsakademie ausgeschlossen. Große Verdienste erwarb sich TIMIRJASEW auch im Kampf gegen den Vitalismus.

DARWIN ging bei der Begründung der wissenschaftlichen Abstammungslehre von der in der Natur und bei den Haustieren und Kulturpflanzen zu beobachtenden individuellen Veränderlichkeit aus. Über die Ursachen und Formen der Veränderungen sowie das Vererbungsgeschehen gab es in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts nur eine Anzahl mehr oder weniger geistreicher Vermutungen, zu denen auch Vorstellungen über eine „Vererbung erworbener Eigenschaften“ im Sinne LAMARCKS und GEOFFROY St. HILAIREs gehörten. Durch eine Reihe von Botanikern und Zoologen wurden die Grundvorgänge der Befruchtung und Zellteilung (Mitose und Meiose) entdeckt. Dabei wurde man auf das Verhalten der Chromosomen bei diesen Vorgängen aufmerksam, die schon 1865 von GREGOR MENDEL (1822 bis 1884) beschrieben, aber unbeachtet gebliebenen Vererbungsgesetze wurden wiedergefunden; auf dieser Grundlage entstand die experimentelle Vererbungswissenschaft. Ohne die Kenntnis ihrer Grundlagen ist die moderne Evolutionstheorie gar nicht verständlich.

Den ersten Versuch, auf der Grundlage der neuen Erkenntnisse über Befruchtung und Zellteilung den Darwinismus durch eine umfassende Vererbungstheorie zu untermauern, unternahm der an der Universität Freiburg im Breisgau wirkende Zoologe

AUGUST WEISMANN (1834 bis 1914; Abb. 83), der sich als einer der ersten deutschen Biologen nach HAECKEL zu DARWIN bekannt hatte. Er vertrat mit aller Konsequenz den Gedanken, daß die Vererbung auf der Weitergabe spezifischer stofflicher Träger von Erbanlagen in den Chromosomen von einer Generation auf die andere beruht.

WEISMANN nahm an, daß nur die Kernsubstanz der Keimzellen, das „Keimplasma“, die Gesamtheit aller Erbanlagen enthält. Durch eine bestimmte Zellfolge, die „Keimbahn“, würde es von der befruchteten Eizelle bis zur Ausbildung der Keimzellen weitergegeben. Reduktionsteilung und Befruchtung haben nach WEISMANN eine Umverteilung der Erbanlagen zur Folge. Das von ihm vertretene Kernmonopol der Vererbung entsprach den wissenschaftlichen Erkenntnissen seiner Zeit, die plasmatische Vererbung war damals noch nicht bekannt. WEISMANN'S Kritik an den zeitgenössischen Vorstellungen über „Vererbung erworbener Eigenschaften“ trug wesentlich zur Überwindung naiver Annahmen über das Vererbungsgeschehen bei. Seine Auffassung, daß die Erbanlagen nur im „Keimplasma“ enthalten sind, hat sich jedoch nicht bestätigt. Der Begriff des „Keimplasmas“ ist deshalb heute überholt.

Dem „Keimplasma“ sprach WEISMANN die dialektisch-widersprüchlichen Eigenschaften der Konstanz und der Variabilität zu. Es sei einerseits leicht veränderlich, könne aber andererseits auch über Jahrtausende unverändert bleiben. Es verändere sich beispielsweise infolge unterschiedlicher Ernährung. Dadurch bedingte Variationen der Organismen unterliegen der natürlichen Auslese. Unter konstanten Lebensbedingungen dagegen bleiben auch die Arten konstant. Nach WEISMANN ist die natürliche Zuchtwahl „eine Selbstregulierung der Art im Sinne ihrer Erhaltung; ihr Resultat ist eine unausgesetzte Anpassung der Art an ihre Lebensbedingungen“. Neue Umweltverhältnisse sollen das Gleichgewicht im „Keimplasma“ stören, so daß Perioden erhöhter Variabilität auftreten, die zur Anpassung an die neuen Lebensbedingungen führen können. Das „Keimplasma“ selbst ist somit als fixiertes Ergebnis der Beziehungen zwischen Art und Umwelt stammesgeschichtlich entstanden. Die Arten sind nach WEISMANN „nicht das Resultat einer inneren, bestimmt gerichteten Entwicklungskraft . . . , vielmehr in erster Linie ein Komplex von Anpassungen“. Für WEISMANN stand außer Zweifel, daß äußere Einflüsse das Keimplasma direkt verändern können und dadurch dauernde (erbliche) Abänderungen hervorrufen.

In „Das Keimplasma. Eine Theorie der Vererbung“ (1892) und den „Vorträgen über Deszendenztheorie“ (1902) legte WEISMANN seine Auffassungen zusammenhängend dar. WEISMANN'S „Neodarwinismus“ gewann großen Einfluß auf die weitere Entwicklung der Vererbungswissenschaft und Evolutionstheorie.

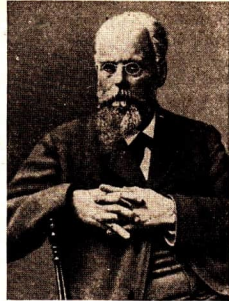


Abb. 83 August Weismann

In der Folgezeit wurde von der Genetik eine Fülle von Tatsachen und Ideen erarbeitet, die der modernen Evolutionstheorie das Gepräge gaben. Planvolle Experimente mit fortschreitend verbesserten Hilfsmitteln, mathematische Methoden, Biochemie und Biophysik brachten Erkenntnisse über die stofflichen Grundlagen der Vererbung und ihre Veränderung, die eine glänzende Bestätigung, Ergänzung und Vertiefung der Lehre DARWINs von der natürlichen Zuchtwahl als Einheit von Vererbung, Veränderung und Auslese im Kampf ums Dasein bedeuten. Meilensteine auf diesem Wege waren: die Entdeckung der komplexen Natur der individuellen Verschiedenheit der Lebewesen, die vor allem auf den dänischen Forscher WILHELM JOHANNSEN (1857 bis 1927) zurückgeht, der als erster Genotypus und Phänotypus unterschied und zeigte, daß die Auslese nur in heterozygoten Fortpflanzungsgemeinschaften wirken kann;

die Ermittlung der Lage der Erbanlagen in den Chromosomen an der Taufliege (*Drosophila*) durch den amerikanischen Forscher THOMAS HUNT MORGAN (1866 bis 1945) und seine Schüler;

die Schaffung einer völlig neuen Art (und Gattung) durch den sowjetischen Forscher G. D. KARPETSCHENKO, der bei der Kreuzung von Rettich (*Raphanus sativus*) mit Kohl (*Brassica oleracea*) diploide Kohl-Rettich-Bastarde erhielt, als deren Nachkommen einige tetraploide Pflanzen auftraten, die miteinander fruchtbar sind, ihre Merkmale konstant weitervererben und mit den Ausgangsformen keine fruchtbaren Nachkommen hervorbringen, also eine echte Art bilden: *Raphanobrassica*;

die Entdeckung der mutationsauslösenden Wirkung von Röntgenstrahlen durch den amerikanischen Forscher H. J. MULLER (geb. 1890), der die Entdeckung einer Reihe weiterer physikalischer und chemischer mutagener Faktoren folgte, das heißt der Nachweis, daß äußere Einwirkungen auf den Organismus erbliche Veränderungen hervorrufen;

die Entwicklung der Mikroorganismen-Genetik, welche es ermöglicht, Vorgänge der Mikroevolution im Reagenzglas ablaufen zu lassen, und der Molekular-Genetik, welche die Elementarvorgänge der Vererbung und Veränderung an den biologischen Makromolekülen sowie ihre Wechselbeziehungen erforscht (seit den 40er Jahren unseres Jahrhunderts).

## 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.

Aber das System LINNÉS ist ein künstliches. 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. Deshalb waren die Arten in LINNÉS System auch nach ihren Übereinstimmungen bzw. Unterschieden in äußerlich erkennbaren Bestimmungsmerkmalen angeordnet (s. auch S. 99).

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. Benennung, 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 (Taxionomie) 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 Systematik zusammenwirken, und wenn die Systematik selbst mit der Taxionomie und Nomenklatur, aber auch mit der Tier-



und Pflanzenverbreitung, der Ökologie, der Verhaltensforschung 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 nachfolgenden „Übersicht über das natürliche System der Organismen“ sind die heute vorherrschenden Auffassungen berücksichtigt. Gleichzeitig wird eine weitgehende Übereinstimmung mit den systematischen Übersichten in der „Exkursionsfauna von Deutschland“ und in der „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 (Schwingelge).

## 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 meist 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, Irisländisches Moos, Agar-Agar).

### **Stamm Braunalgen (*Phaeophyta*)**

Einzeller, Kolonien oder vielgestaltige Körper. Fast immer autotroph, mit Blattgrün oder gelben und braunen Farbstoffen. Vermehrung ungeschlechtlich und 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 Rotäuglein (*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 (Rotäuglein).

### **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, Armluchteralge, 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. – Kopschimmel, 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 Verkaltens 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 Amöbenruhr.

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

**Stamm Farnpflanzen (*Pteridophyta*)**

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

**Klasse Bärlappe (*Lycopsidea*)**

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. Sporenröhre endständig. Etwa 30 Arten (Ackerschachtelalm).

**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. Blattnerve netzartig. Meist eine Hauptwurzel mit Nebenwurzeln. Leitbündel ringförmig angeordnet. Etwa 150000 Arten (Magnoliengewächse, Hahnenfußgewächse, Rosengewächse, Schmetterlingsblütengewächse, Korblütengewächse).

**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 frei schwimmende 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 viel 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).

## HÄUPTGRUPPE ZWEISEITENTIERE (*Bilateria*)

Die Gastrula entwickelt sich zu einem komplizierten 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. Erwachsene 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 Haftenrichtungen; 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 getrenntgeschlechtlich. 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. Knäueförmig 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 zeit lebens 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 (Sandpfer, Palolo, Tubifex, Regenwürmer, Enchytraeen, Blutegel, Pferdeegel).

**Stamm Stummelfüßer (*Onychophora*)**

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

**Stamm Bärtierchen (*Tardigrada*)**

Wasserbewohnende Zwergformen mit sehr widerstandsfähigen Dauerstadien. Einzige Urmünder, deren Coelom von Ausstülpungen des Urdarmes 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 (*Gigantostroma*) 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 Paare 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 Vielfüßer (*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 Brustücken. Etwa 800000 Arten (Heuschrecken, Wanzen, Käfer, Hautflügler, Schmetterlinge, Fliegen, Flöhe).

#### **Stamm Weichtiere (*Mollusca*)**

Körper besteht aus Kopf und Eingeweidessack, 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 spiralgewundenem, verschieden geformtem Gehäuse. Im Meer und Süßwasser und auf dem Lande. Etwa 95000 Arten (Leberegelschnecken, Posthornschnecken, Schlamm- und Schnirkelschnecken, Weinbergschnecken).

##### **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, Tintenschnecke, Kalmar, Krake, Papierboot, ausgestorbene Ammoniten und Belemniten).

### **GRUPPE URCOELOMATEN (*Archicoelomata*)**

In dieser Gruppe werden einige kleinere Tierstämme zusammengefaßt, die zwar Bauchmarktiere sind, deren Mundrest 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 100 000 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 50 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 38 000 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, Fischesaurier, Riesensaurier).

**Klasse Vögel (*Aves*)**

Gleichwarme Land- und Lufttiere, deren Haut Federn trägt. Vordergliedmaßen bilden stets Flügel. Etwa 10 000 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).

## Grundlagen der Vererbungslehre

Durch die Abstammungslehre (Deszendens- oder Evolutionstheorie) ist bewiesen, daß die Vielgestaltigkeit der heute lebenden Organismen das Ergebnis einer langen Entwicklung ist. Das Studium fossiler Reste von Tieren und Pflanzen und ihre Einordnung in die verschiedenen Perioden der Erdgeschichte haben zu der Erkenntnis geführt, daß die Ähnlichkeit formverwandter Arten auf ihrer Abstammung von gleichen Urformen beruht und daß die Mannigfaltigkeit der Arten im Laufe der Erdgeschichte dadurch entstanden ist, daß aus bestimmten Stammarten jeweils mehrere neue Arten hervorgegangen sind. Die Betrachtung der Stammbäume, die die Entwicklung der Pflanzen und Tiere veranschaulichen, bestätigt uns, daß der Evolution ein Fließen, eine Bewegung zugrunde liegt, daß diese Bewegung aber sehr langsam und nicht geradlinig verläuft. Große Zeiträume vergehen, ehe sich aus einer Art eine neue Art entwickelt hat.

Alle Lebewesen besitzen offenbar die Fähigkeit, ihre einmal angenommenen Gestalts- und Leistungsmerkmale über viele Generationen auf ihre Nachkommen zu übertragen. Diese bei der Fortpflanzung von Generation zu Generation erfolgende Weitergabe von Anlagen zur Ausbildung von Merkmalen bezeichnen wir als **Vererbung**. Die Suche nach den Gesetzmäßigkeiten und Mechanismen des uns aus der täglichen Erfahrung gut bekannten Vorganges ist Aufgabe der Vererbungsforschung oder **Genetik**.

Wenn wir Näheres über die Ablaufformen der stammesgeschichtlichen Entwicklung erfahren und erkennen wollen, wie der Mensch diese für seine Zwecke nutzt, müssen wir uns zunächst mit den von der Vererbungsforschung bisher gefundenen Gesetzmäßigkeiten und Mechanismen vertraut machen. Sie sind durch sinnvoll angelegte Experimente an ganz verschiedenen Tieren, Pflanzen und neuerdings auch Mikroorganismen erkannt worden. Mancher wird sich fragen, warum die Vererbungsforscher ausgerechnet ein so großes Interesse für die Erbgesetze bei Fruchtfliegen, Mäusen oder sogar Schimmelpilzen und Bakterien entwickeln und ihre Experimente nicht ausschließlich mit landwirtschaftlich wertvollen Pflanzen und Tieren durchführen. Dies liegt darin begründet, daß bei Vererbungsversuchen eine möglichst große Anzahl von Individuen mit möglichst schneller Generationsfolge untersucht werden muß, um zu eindeutigen Ergebnissen zu kommen. Die Generationsfolge des Hausrindes ist aber beispielsweise etwa hundertmal länger als die der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster*. Es ist auch einleuchtend, daß der materielle Aufwand für die Aufzucht und Haltung von Haustieren bedeutend höher ist als für die Zucht von Hunderttausenden von Fruchtfliegen, die nur relativ wenig und billige Nahrung benötigen und in ebenso billigen Glasflaschen gehalten werden können. Auch die Mikroorganismen bieten dem Vererbungsforscher als Versuchsobjekte große Vorteile. In einer einzigen Petrischale von etwa 10 cm Durchmesser können auf einem Agar-Nährboden innerhalb weniger Stunden einige Milliarden Bakterien heranwachsen. Um nur 1 Milliarde Getreidepflanzen

zu kultivieren, müßte man mehr als 500 ha Ackerboden bebauen und könnte die Pflanzen unmöglich nach vererbungswissenschaftlichen Gesichtspunkten bearbeiten. Die Objektwahl der Genetiker ist also durchaus nicht zufällig, sondern richtet sich nach dem Prinzip, mit einem möglichst geringen Aufwand an Zeit und Kosten viele Generationen einer großen Anzahl von Individuen zu untersuchen.

Wenn wir im Verlaufe der Darstellung der Gesetzmäßigkeiten und Mechanismen der Vererbung mit den verschiedensten Objekten aus der Botanik und Zoologie bekannt werden, so müssen wir uns dabei vergegenwärtigen, daß die aus den Versuchen erkannten Gesetzmäßigkeiten Allgemeingültigkeit besitzen. Die an der Fruchtfliege, beim Mais oder an Mikroorganismen gewonnenen genetischen Erkenntnisse gelten in gleicher Weise für das Rind, für alle Tiere und Pflanzen und auch für uns Menschen. Wenn auch viele Tiere und Pflanzen in ihrer Fortpflanzungsbiologie und Entwicklungsphysiologie manche Unterschiede und Besonderheiten aufweisen, so unterliegen sie doch den gleichen Gesetzmäßigkeiten der Vererbung. Diese wichtige Erkenntnis der Vererbungsforschung, deren stürmische Entwicklung erst um 1900 begann, wurde in den vergangenen 6 Jahrzehnten immer wieder bestätigt und hat in den letzten 15 Jahren zu tiefen Einsichten in Struktur und Funktion der materiellen Träger der Vererbung geführt.

### Umwelt und Merkmalsausbildung

Uns erscheint es selbstverständlich und natürlich, daß sich nach der Aussaat von Weizensamen einer Zuchtsorte wieder Weizenpflanzen entwickeln, die in ihren Gestalts- und Leistungsmerkmalen ihren Elternpflanzen zum Verwechseln ähnlich sind. Aus Knollen einer frühen Kartoffelsorte wachsen Pflanzen, die ihre Entwicklung bereits im Juli abschließen und nicht im September, wie die späteren Sorten. Dabei setzen wir voraus, daß die Pflanzen unter sehr ähnlichen Umweltbedingungen heranwachsen wie ihre Elternpflanzen. Leiden die Pflanzen beispielsweise infolge extremer klimatischer Bedingungen während ihres Wachstums unter relativ hohen Temperaturen und starkem Wassermangel, so reagieren sie mit einer Verringerung der Blattzahl und -größe, der Sproßlänge und einer Verkürzung der Vegetationszeit. Die Transpirationsfläche wird als Schutz gegen übermäßigen Wasserverlust eingeschränkt, und alle verfügbaren Nährstoffe dienen der Entwicklung der reproduktiven Organe der Pflanzen. Solche umweltbedingten Anpassungsreaktionen, die manche Merkmale mehr, andere weniger verändern können, bezeichnet man als **Modifikationen**. Tiere und Pflanzen (Abb. 84) können sich innerhalb der von den Erbanlagen festgelegten Grenzen während ihrer individuellen Entwicklung wechselnden Umweltbedingungen in zweckmäßiger Weise so anpassen, daß ihre Entwicklung auch unter stark vom Normalen abweichenden Bedingungen abgeschlossen und damit die Erhaltung der Art gesichert werden kann.

Ein sehr schönes Experiment, welches die modifizierende Wirkung der Umweltfaktoren auf die Merkmalsausbildung demonstriert, ist von drei amerikanischen Biologen durchgeführt worden (Abb. 84). Von drei Rassen einer wildwachsenden Art des Fingerkrautes (*Potentilla glandulosa*) wurde je eine

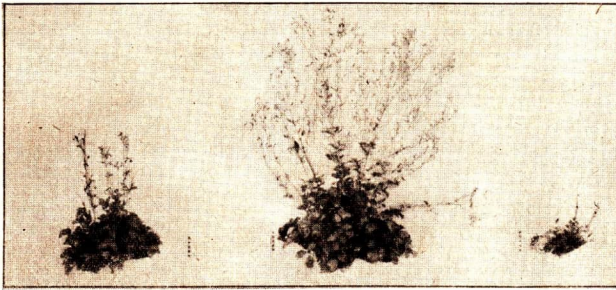
In 200 m Höhe  
gewachsen

In 1600 m Höhe  
gewachsen

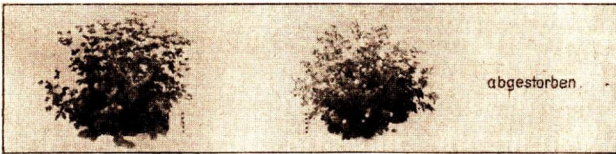
In 3000 m Höhe  
gewachsen



Rasse aus der alpinen Zone (3000 m)



Rasse aus der mittleren Zone (1600 m)



Rasse von der Kälte (200 m)

Abb. 84 Das Wachstum von drei verschiedenen Rassen des Fingerkrautes (*Potentilla glandulosa*) unter verschiedenen Umweltbedingungen. Der unterschiedliche Wuchs der Pflanzen der gleichen senkrechten Reihe ist erblich bedingt und zeigt die Anpassung der Rassen an die verschiedenen Standorte. Die Unterschiede der Pflanzen in der gleichen waagerechten Reihe sind umweltbedingt; sie demonstrieren das unterschiedliche Verhalten eines Genotyps auf verschiedene Umweltbedingungen.

typische Pflanze ausgewählt. Die eine Rasse mit mittlerer Stengellänge und starker Belaubung wächst nur wenig über Meereshöhe (200 m) an der Küste Kaliforniens und benötigt über 200 Tage, um zu blühen (linke Pflanze der unteren Reihe, Abb. 84). Ungefähr 1600 m über dem Meeresspiegel in der Sierra Nevada hat die zweite Rasse mit hohem Wuchs und langen Blütenstengeln ihren natürlichen Standort und benötigt nur 50 bis 60 Tage, um das Blühstadium zu erreichen (zweite Pflanze von links in der mittleren Reihe, Abb. 84). In der alpinen Zone der Sierra Nevada in ungefähr 3000 m Höhe hat schließlich die dritte, eine Zwerggrasse, ihren natürlichen Standort (dritte Pflanze von links, oberste Reihe, Abb. 84). Die Umweltbedingungen der Herkunftsgebiete dieser drei Rassen sind sehr verschieden. An der Küste sind die Winter so mild, daß die Pflanzen nur wenig oder keine Winterruhe haben; in der mittleren Zone sind die Winter kalt, die Sommer aber warm; in der alpinen Zone sind die Winter lang und kalt, die Sommer kurz und kühl. Um die Frage zu beantworten, in welcher Weise die Umweltbedingungen die Merkmale der drei erblich verschiedenen Rassen modifizieren können, wurde jede Pflanze jeder Rasse in drei Teile geteilt und je ein Teil jeder Rasse in drei biologischen Stationen, in Meereshöhe, in 1600 m Höhe und 3000 m Höhe ausgepflanzt. Die Pflanzen jeder waagerechten Reihe der Abbildung 84 sind Teile eines sogenannten **Klons**, d. h., sie sind durch vegetative Vermehrung einer Pflanze entstanden und somit in ihrer erblichen Konstitution gleich. Die Unterschiede zwischen den Pflanzen einer waagerechten Reihe sind demnach umweltbedingt. Die Unterschiede der Pflanzen der senkrechten Reihen sind jedoch erblich bedingt. Aus diesem Experiment können für die weitere Betrachtung der Beziehungen zwischen Umwelt und Merkmalsausbildung der Organismen sehr wichtige Erkenntnisse gewonnen werden.

#### Aufgabe

Suchen Sie in Ihrer näheren Umgebung Beispiele für Modifikationen innerhalb einer Art! Begründen Sie diese Erscheinung!

Das Erscheinungsbild oder der **Phänotyp** eines Individuums unter bestimmten Umweltbedingungen läßt keine vollständige Aussage über die erbliche Konstitution oder den **Idiotyp** zu. Während der Entwicklung eines Organismus von der befruchteten Eizelle — oder wie beim Beispiel des Fingerkrautes nach ungeschlechtlicher Fortpflanzung — bis zum ausgewachsenen Individuum, bestimmt der Idiotyp den Verlauf der Ausbildung der für die Art oder Rasse typischen Merkmale. Dies vollzieht sich aber im ständigen Wechselspiel mit den mannigfaltigen Umweltfaktoren wie es das Experiment mit den drei genotypisch verschiedenen Rassen des Fingerkrautes deutlich demonstriert. Aus dem Versuch geht weiterhin hervor, daß jede Rasse, also jeder Idiotyp, in bestimmter Weise auf die verschiedenen Umweltbedingungen reagiert. Man hat dafür den Begriff **Reaktionsnorm** eingeführt. Innerhalb dieser vom Idiotyp festgelegten Norm sind modifikative Veränderungen an den Organismen möglich. Daß sich ein bestimmter Idiotyp nicht unbegrenzt neuen Umweltbedingungen anpassen kann, zeigt in dem gewählten Beispiel die von der Küste stammende Rasse. Sie ist unter dem extremen Klima der alpinen Zone in 3000 m Höhe nicht lebensfähig. Ihre Reaktionsnorm wurde überfordert.

Es werden also keine fertigen Merkmale von den Eltern auf die Nachkommen vererbt, sondern die Anlagen zur Ausbildung von Merkmalen (Idiotyp), die innerhalb eines bestimmten Bereiches, der Reaktionsnorm, von den Umweltfaktoren modifiziert werden können und im Phänotyp sichtbar in Erscheinung treten.

Wenn man Versuchstiere oder -pflanzen, aus denen durch ständige Inzucht reine Linien gezüchtet wurden, unter den gleichen Lebensbedingungen hält, beispielsweise Fruchtfliegen eines Geleges oder Wurfgeschwister von Mäusen oder Schweinen mit dem gleichen Futter aufzieht oder Samen der gleichen Bohnsorte auf einem einheitlichen Felde aussät, so sind sie in den wandelbaren Merkmalen trotzdem nicht alle gleich. Die Maße (z.B. Breite, Länge oder Gewicht) der einzelnen Individuen schwanken um einen bestimmten **Mittelwert**. Messungen an etwa 1000 geernteten Samen einer Bohnsorte ergeben, daß Samen mit einer bestimmten Länge, etwa zwischen 13 und 14 mm, am häufigsten vorkommen; Samen mit Längen zwischen 12 und 13 mm oder 15 und 16 mm bereits weniger häufig und schließlich Samen unter 10 mm oder über 16 mm relativ selten vorkommen. Stellt man das Ergebnis solcher Messungen graphisch dar, auf der Abszisse die Größenklassen und auf der Ordinate die Häufigkeit des Auftretens, so ergibt sich bei genügend hoher Anzahl von Meßwerten die in der Abbildung 85 wiedergegebene **Zufallskurve**. Im Gipfelpunkt der Kurve liegt der für das untersuchte Merkmal der jeweiligen Sorte, Varietät oder Art charakteristische Mittelwert. Die Bohnen mit geringerer Länge werden Minusabweicher, die mit größerer Länge Plusabweicher genannt. Aus der Abbildung 86 kann die gute Übereinstimmung graphisch dargestellter Meßwerte, hier die Längen von 300 Pantoffeltierchen, mit der idealen Zufallskurve deutlich abgelesen werden. Diese gesetzmäßige Verteilung der Einzelstückmaße oder -gewichte nach der Zufalls- oder Modifikationskurve findet sich in vielen Merkmalen bei Individuen mit vollkommen gleichen Erbanlagen, sowohl bei Pflanzen und Tieren als auch bei vielzelligen und einzelligen Organismen.

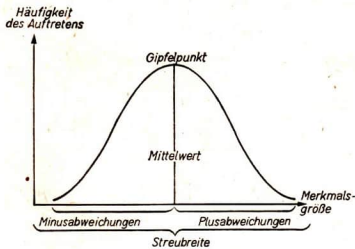


Abb. 85 Zufallskurve

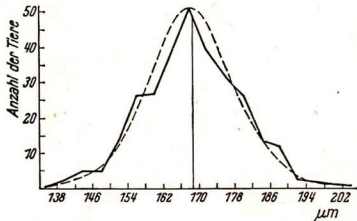


Abb. 86 Verteilung der Längen von 300 Pantoffeltierchen aus einer Zucht (Nachkommen eines einzigen Pantoffeltierchens).  $1 \mu\text{m} = \frac{1}{1000} \text{ mm}$ . Die senkrechte Linie gibt den errechneten Längenmittelwert (= 168,5) an. Gestrichelte Linie = ideale Zufallskurve mit dem gleichen Mittelwert.

Um die Ursache des Zustandekommens der Zufallskurve zu erklären, hat GALTON, ein Zeitgenosse DARWINS, einen einfachen Apparat (Abb. 87) entwickelt. Auf einem Holzbrett sind untereinander viele Reihen von Nägeln so eingeschlagen, daß jede folgende Reihe auf Lücke zu der vorhergehenden steht.

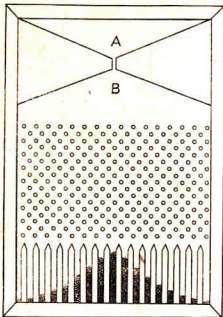


Abb. 87 Zufallsapparat

Aus einem Loch B über der Mitte der Nagelreihen läßt man Kugeln einheitlicher Größe aus A über das steil gehaltene Brett fallen. Jede Kugel prallt bei ihrem Fall auf die im Wege stehenden Nägel. Dabei wird sie immer wieder nach rechts oder links, dem Zufall entsprechend, abgelenkt; am häufigsten ungefähr ebenso oft nach der einen wie nach der anderen Seite. Diese Kugeln fallen in die mittleren Fächer, die unter den Nagelreihen auf dem Holzbrett angebracht sind. Seltener bewirkt der Zufall, daß die Ablenkungen der Kugeln nach der einen oder anderen Richtung überwiegen. Am seltensten schließlich werden die Kugeln in nur einer Richtung, nach links oder rechts, gestoßen.

Entsprechend sammeln sich diese Kugeln weiter entfernt vom häufigsten Mittelwert, und wir erhalten, ebenso wie nach den Messungen der Bohnensamen oder Pantoffeltierchen, in den Fächern sichtbar eine Zufallskurve.

Welche Zusammenhänge liegen hier vor? Ebenso wie im **Zufallsapparat** GALTONS die Kugeln durch häufigere Abweichungen nach links schließlich in die linken Fächer fallen, so werden Bohnensamen, bei deren Entwicklung gehäuft ungünstige Ernährungsbedingungen, Lichtverhältnisse usw. zusammentreffen, zu den Minusabweichern gehören und die, bei denen die günstigen oder fördernden Bedingungen überwiegen, zu den Plusabweichern. Halten sich fördernde und hemmende Umweltfaktoren im Gleichgewicht, und das ist, so kann geschlossen werden, bei der Entwicklung der größten Anzahl der Bohnen der Fall, so liegt darin die Erklärung für das gehäufte Auftreten gleicher Meßergebnisse im Mittelwert.

Bei der Betrachtung solcher Zufalls- oder Modifikationskurven, die nach Messungen der verschiedensten Merkmale, wie Halmhöhe, Halmzahl je Pflanze bei Gräsern oder Blattlänge und -breite bei anderen Pflanzen gezeichnet werden können, ist charakteristisch, daß die umweltbedingten Veränderungen fließend sind. Sie werden aus diesem Grunde als **fluktuierende Modifikationen** bezeichnet.

Viele Pflanzen und Tiere reagieren bei der Ausbildung bestimmter Erbanlagen auf die Umweltfaktoren nicht in der oben geschilderten fließenden Merkmalsabstufung. So ist zum Beispiel die Ausbildung des Merkmals Blütenfarbe einer chinesischen Primel (*Primula sinensis*) von der Temperatur abhängig. Werden die Pflanzen in einem Gewächshaus unterhalb 30°C kultiviert, so bilden sie rote Blüten aus. In einem anderen Gewächshaus, dessen Temperatur über 30°C gehalten wird, blühen sie weiß. In solchen Fällen spricht man von **alternativen Modifikationen**.

Welche großen Entwicklungsmöglichkeiten innerhalb der Reaktionsnorm einer Art enthalten sein können, soll noch an einem Beispiel aus dem Leben der staatenbildenden Insekten demonstriert werden. Die Eier der Honigbiene, aus denen sich Königinnen oder Arbeiterinnen entwickeln, sind nach ihrem Erbanlagenbestand völlig gleich zu Weibchen bestimmt. Ob sich daraus Königinnen oder Arbeiterinnen entwickeln, hängt von der Art der Nahrung ab, mit der die Arbeiterinnen die wachsenden Bienenlarven füttern. Wenn sehr junge Larven aus Königinnenzellen mit Königinnenfutter in Arbeiterinnen-

zellen mit Arbeiterinnenfutter umgesetzt werden oder umgekehrt, so entstehen Arbeiterinnen oder Königinnen je nach der Art des Futters, das ihnen geboten wurde. Werden solche Umsetzungen der Larven in einem späteren Entwicklungsstadium durchgeführt, so ist die Umstimmung beispielsweise von Königinnen zu Arbeiterinnen nicht mehr vollständig, und es entstehen Zwischenformen (Abb. 5). Hier handelt es sich um eine reine Ernährungsmodifikation, die nur im frühen Entwicklungsstadium voll wirksam werden kann. Königin und Arbeiterin unterscheiden sich in vielen Merkmalen. Die Königin ist ein vollentwickeltes Geschlechtstier und kann eine große Anzahl Eier legen. Bei der Arbeiterin sind die Geschlechtsorgane verkümmert. Dafür sind aber ihre Sinnesorgane, die Mundwerkzeuge, Beine, der Drüsenapparat und andere Merkmale auf das Sammeln von Blütennektar und Pollen, den Bau von Waben und andere Aufgaben im Bienenstaat eingerichtet.

Es gibt noch eine Vielzahl anderer Beispiele für die modifikatorische Gliederung einer Art in verschiedene Einzelwesen im Sinne der Leistungsteilung. Beim Ringelwurm *Opbryotrocha puerilis* beispielsweise sind die jungen Tiere zunächst alle männlich. Sind sie auf 15 bis 20 Körpersegmente herangewachsen, werden sie weiblich. Durch Hungern oder Veränderung der Zusammensetzung des Meerwassers können weibliche Tiere wieder in männliche verwandelt werden. Hier liegt eine modifikatorische Geschlechtsbestimmung vor, die bei den meisten Tieren und Pflanzen nicht möglich ist, da das Geschlecht bereits in der Zygote durch geschlechtsbestimmende Erbfaktoren festgelegt ist.

Die biologische Bedeutung der Modifikation ist darin zu sehen, daß Pflanzen und Tieren innerhalb ihres Verbreitungsgebietes durch verschiedenartige Anpassungsreaktionen die Erhaltung der Art möglich wird. Solch eine Betrachtungsweise der umweltbedingten Veränderungen der Organismen trägt die Beantwortung der wichtigen Frage nach der Vererbung von Modifikationen auf die Nachkommen schon in sich. Was würde zum Beispiel aus den Pantoffeltierchen (Abb. 86), deren Längen zwischen 138 und 202  $\mu\text{m}$  schwanken, wenn sich die Längen der größten und kleinsten Individuen jeweils als neuer Mittelwert auf die Nachkommen vererben würden? Bei der schnellen Generationsfolge dieser Einzeller müßte es bald zentimeterlange beziehungsweise nicht einmal mehr mikroskopisch sichtbare Pantoffeltierchen geben. Das biologische Gleichgewicht der Art wäre binnen kurzer Zeit gestört. Beträfe die Vererbung von Modifikationen die vielen anderen Organismen in gleicher Weise, so ist leicht verständlich, wie unbiologisch und nachteilig dies für die Erhaltung der Art wäre.

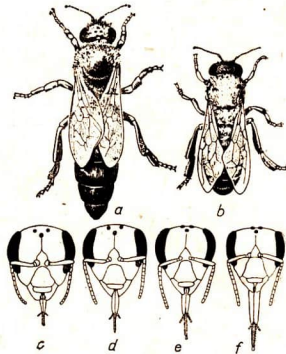


Abb. 88 Honigbiene. a Königin, b Arbeiterin; c bis f Köpfe von vorn gesehen (schematisch): c Königin, f Arbeiterin, d, e Zwischenformen, entstanden durch Umsetzen der Bienenlarven von Königin- auf Arbeiterinnenfutter in verschiedenen Altersstadien



Der dänische Vererbungsforscher JOHANNSEN hat schon zu Beginn dieses Jahrhunderts in umfangreichen Versuchen mit der Speisebohne nachgewiesen, daß die Veränderungen in einer reinen Linie in der Regel nur modifikativ sind, das heißt allein auf Umwelteinflüssen beruhen. Die Auswahl großer und kleiner Bohnen in beliebig vielen Generationen einer reinen Linie und davon getrennte Weiterzucht führt zu keiner Veränderung des für die Bohnensorte charakteristischen Mittelwertes. Das geht aus der Tabelle hervor, die die Ergebnisse der Bohnenwägungen von JOHANNSEN bei zwei verschiedenen reinen Linien wiedergibt.

Die eine reine Linie hat große Bohnen mit einem mittleren Hundertkorngewicht von etwa 66 g, die andere kleine Bohnen mit einem mittleren Hundertkorngewicht von etwa 37 g.

Jahr	Die große Bohnenlinie				Die kleine Bohnenlinie			
	Minuserie		Plusserie		Minuserie		Plusserie	
	Mutter-samen	Nach-kommen	Mutter-samen	Nach-kommen	Mutter-samen	Nach-kommen	Mutter-samen	Nach-kommen
1902	60	63,2	70	64,9	30	35,8	40	34,8
1903	55	75,2	80	70,9	25	40,2	42	41,0
1904	50	54,6	87	56,7	31	31,4	43	32,6
1905	43	63,6	73	63,6	27	38,3	39	39,2
1906	46	74,4	84	73,0	30	37,9	46	39,9
1907	56	69,1	81	67,7	24	37,4	47	37,0
Mittel-gewicht 1902/07	51,7	<b>66,7</b>	79,2	<b>66,2</b>	27,8	<b>36,8</b>	42,8	<b>37,4</b>

In jeder der beiden Linien wurde aus den größten Bohnen die Plusserie und aus den kleinsten die Minuserie gebildet. Durch sechs Jahre lange Auswahl der größten und kleinsten Bohnen aus den Nachkommen jeder Serie konnte das Mittelgewicht der Plus- und Minuserien beider Linien nicht verändert werden.

Daß Selektionen modifikativ veränderter Merkmale in reinen Linien nicht nur bei der Speisebohne erfolglos sind, zeigt auch die in der Abbildung 89 schematisch dargestellte Auslese der jeweils größten und kleinsten Pantoffeltierchen in einigen aufeinanderfolgenden Generationen eines Stammes, der aus einem Einzeltier entstanden ist.

Aus der Erkenntnis, daß Modifikationen an erbgleichen Individuen nicht erblich sind, kann schon jetzt die für die Züchtung wichtige Schlußfolgerung gezogen werden, daß die züchterische Verbesserung einer reinerbigen Sorte oder Rasse bei Pflanzen und Tieren durch Selektion erfolglos bleiben muß.

Seit LAMARCK vor über 150 Jahren die ersten, für die damalige Zeit sehr fortschrittlichen Vorstellungen über die Evolution der Organismen veröffentlichte, ist immer wieder die Frage aufgetaucht, ob die im individuellen Leben eines Organismus

entstandenen Modifikationen auf die Nachkommen vererbt werden. Tatsächlich gibt es Beispiele dafür, daß meist durch extreme Umweltfaktoren entstandene Modifikationen über einige Generationen weitergegeben werden, auch wenn die auslösenden Umweltfaktoren nicht mehr wirksam sind. Diese Erscheinung wird als **Dauermodifikation** bezeichnet. Einige Biologen leiten von deren Vorkommen und auch noch aus anderen Beobachtungen die Vorstellung ab, daß es eine **Vererbung erworbener Eigenschaften** gibt. Bisher konnte diese Auffassung trotz zahlreicher Versuche experimentell nicht bewiesen werden.

### Die Zellen als Träger und Überträger der Erbanlagen

In der Zelle, dem kleinsten Baustein aller Organismen, werden alle für die Erhaltung und Entwicklung der Lebewesen notwendigen Reaktionen vollzogen. Das gilt in gleicher Weise für Einzeller (Bakterien oder bestimmte Algen) wie auch für höher organisierte Pflanzen und Tiere, die aus vielen Millionen Zellen aufgebaut sein können. Das Wachstum höherer Organismen oder die vegetative Vermehrung einzelliger Lebewesen erfolgt durch die Zellteilung. Dabei werden Zellen niemals neu gebildet, sondern jede Zelle entsteht aus der Teilung einer Mutterzelle, deren Erbanlagenbestand von den ebenfalls zur Selbstvermehrung fähigen Zellbestandteilen auf die Tochterzellen übertragen wird. Für die Vererbungsforschung sind also die Leistungen der selbstvermehrungsfähigen, kontinuierlichen Zellstrukturen besonders interessant. Die Abbildung 90 gibt eine schematische Übersicht der wichtigsten Bestandteile einer Pflanzenzelle.

Der **Zellkern** enthält in seinem Inneren eine Flüssigkeit (Kernsaft), ein oder mehrere **Kernkörperchen (Nukleonen)** und eine gallerartige Gerüstsubstanz, die mit basischen Farbstoffen nach Fixierung der lebenden Zelle gefärbt werden kann. Aus diesem Grunde bezeichnet man diese Gerüstsubstanz als **Chromatingerüst**. Chemisch ist das **Chromatin** aus einer Nukleinsäure aufgebaut, die als Zucker Desoxyribose enthält und deshalb **Desoxyribonukleinsäure** oder kurz **DNS** genannt wird. Der Nucleolus besteht aus **Ribonukleinsäure (RNS)**, die Nukleinsäure enthält hier Ribose als Zucker.

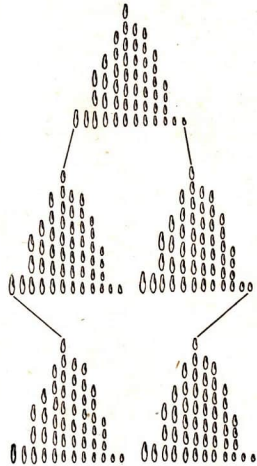


Abb. 89 Innerhalb eines Klons des Pantoffeltierchens (*Paramecium*) bleibt die Auslese der jeweils größten und kleinsten Tiere und ihre getrennte Weiterzucht über mehrere Generationen erfolglos. Die gleich großen Tiere jeder Kultur sind senkrecht übereinander gezeichnet, um ihre Häufigkeiten in den einzelnen Größenklassen darzustellen.

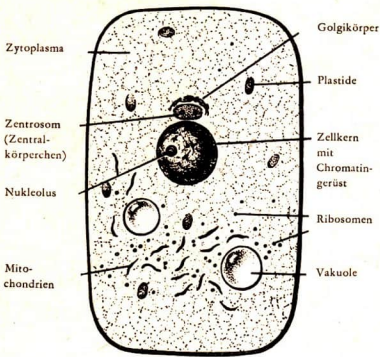


Abb. 90  
Schematische Darstellung einer Pflanzenzelle

Die Verfeinerung der mikroskopischen Untersuchungsmethoden hat in den letzten zwei Jahrzehnten durch die Verbesserung der Lichtmikroskope, die Einführung der Phasenkontrastmikroskopie und schließlich der Elektronenmikroskopie zu genaueren Kenntnissen über die im **Zytoplasma** der Zellen enthaltenen Partikel und deren Strukturen geführt. Neben den größten, den **Plastiden**, die als chlorophyllhaltige **Chromatophoren** und als farblose Partikel in nicht ergrünenden Pflanzenzellen vorkommen, können lichtmikroskopisch noch die **Mitochondrien** und **Golgikörper** festgestellt werden. Die **Ribosomen**, die ebenso wie die Mitochondrien und Golgikörper Träger bestimmter Enzymsysteme der Zelle und für deren Stoffwechsel bedeutungsvoll sind, lassen sich meist nur elektronenmikroskopisch sichtbar machen. Alle diese **Organoide** der Zelle enthalten Eiweiß und Ribonukleinsäure. In den tierischen und einigen pflanzlichen Zellen liegt neben dem Zellkern ein Zentralkörper oder **Zentrosom**.

Vor jeder Zellteilung im Körpergewebe, der **Mitose**, teilt sich das Zentrosom. Gleichzeitig vollzieht sich im Chromatingerüst des Zellkerns, das im Ruhe- oder Zwischenstadium, der **Interphase** (Abb. 91a), keine klar erkennbare Struktur

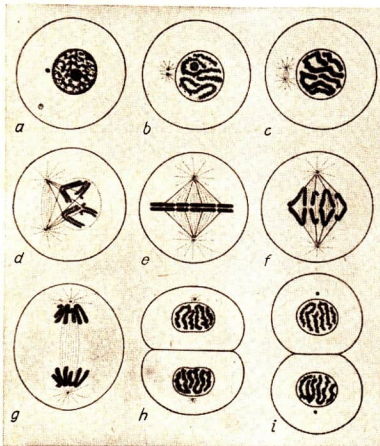
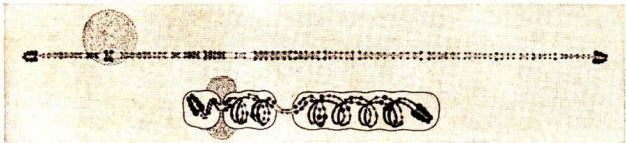


Abb. 91 Schema des Verlaufs der Zellteilung (Mitose); a Ruhe- oder Zwischenstadium (Interphase); b, c Herausbildung der längsgespaltenen Chromosomen (Prophase); d, e Anordnung der Chromosomen im Äquator der Zelle (Metaphase); f, g Auseinanderrücken der Tochterchromosomen (Anaphase); h, i Entspiralisierung der Chromosomen zum Chromatingerüst (Telophase); h, i Durchschnürung der Zelle, Rückbildung des Teilungsapparates

Spiralisationsstruktur der Chromosomen von *Rbæo discolor* in der Metaphase

Abb. 93 Schematische Darstellung des Chromosoms mit Nukleolus vom Roggen in der frühen Prophase (oben) und in der Metaphase (unten). Die Verkürzung des Metaphase-Chromosoms beruht auf einer Spiralisationsstruktur. Die spezifische Aufeinanderfolge der Chromomeren bleibt in der Prophase und Metaphase unverändert. Zentromer (links) und Spindelfaseransatzstelle (Mitte) lassen sich ebenso wie die Spaltung in zwei Chromatiden deutlich erkennen.



besitzt, eine deutlich im Mikroskop sichtbare Veränderung. Im Verlauf dieser Prophase (Abb. 91b, c) werden Stränge sichtbar, die zunächst lang und gewunden sind, sich aber durch Spiralisierung ständig verkürzen, wie es die Mikroaufnahme der Abbildung 92 und die schematische Darstellung (Abb. 93) demonstriert. Bei genauer Betrachtung der als **Chromosomen** bezeichneten Kernfäden wird ein Längsspalt erkennbar, der die Chromosomen in zwei Tochterchromosomen, die **Chromatiden**, teilt. Inzwischen haben die beiden Zentrosomen beim Auseinanderweichen eine Faserspindel ausgebildet (Abb. 91d), die Kernmembran löst sich auf, und die Zentrosomen wandern an die Pole der Zelle. (Bei Pflanzenzellen, die keine Zentrosomen haben, wird die Faserspindel ohne deren Mitwirkung aufgebaut.) Zur gleichen Zeit, in der **Metaphase**, ordnen sich die Chromosomen im Äquator der Spindel (Abb. 91e). Bestimmte Fasern der Spindel,

die **Zugfasern**, nehmen nun Kontakt mit den Chromosomen auf, und zwar in der Weise, daß die eine Chromatide eines Chromosoms mit dem einen Zentralkörper, die andere Chromatide mit dem anderen Zentralkörper verbunden wird. Die Zugfasern haften an ganz bestimmten, als Einschnürung erkennbaren und als **Zentromer** bezeichneten Stellen der Tochterchromosomen. Im nächsten Stadium der mitotischen Zellteilung, der **Anaphase** (Abb. 91 f, g), bewegen sich die Tochterchromosomen, von der Zugfaser gezogen, langsam polwärts. Dabei verlängert sich die Spindel und auch der Zelleib streckt sich in der Bewegungsrichtung. An den Chromosomen sind jetzt die beiden oft verschieden langen Schenkel an beiden Seiten des Zentromers erkennbar. Das letzte Stadium, die **Telophase**, ist erreicht. Die Tochterchromosomen haben an jedem Pol der Zelle zwei deutliche Gruppen gebildet, sie entspiralisieren sich und bekommen wieder das vom Prophasestadium her bekannte Aussehen. Nun läßt sich auch schon die neue Kernmembran erkennen; die Spindelfasern bilden sich zurück und das Zentrosom bleibt ruhend neben dem neuen Zellkern liegen. Im Zytoplasma, dessen Partikel in zufälliger Verteilung in der Zelle enthalten sind, beginnt in der Äquatorebene die Bildung einer Zellwand bei gleichzeitiger Einschnürung des Zelleibes (Abb. 91h). Die zwei Kerne werden durch sie getrennt, und es sind als Ergebnis der Mitose zwei neue Zellen mit allen bekannten Partikeln und einer identischen Chromosomenausstattung entstanden.

Betrachtet man die einzelnen Phasen, welche die Chromosomen während der Mitose durchlaufen haben, kann die Bedeutung dieses Mechanismus leicht erkannt werden. Die Chromosomen sind – was noch zu beweisen sein wird – Träger der Erbanlagen ~~oder Gene~~. Während der Mitose reproduziert sich jedes Chromosom durch Längsteilung, und diese Reproduktion ist mit einer identischen Reproduktion der Gene verbunden, die auf den Chromosomen lokalisiert sind. Wenn die Tochterchromosomen während der Anaphase zu den gegenüberliegenden Enden der Zelle wandern, wird auch der komplette Bestand von Genen, das **Genom**, mitgeführt. Damit ist gesichert, daß der Kern jeder Tochterzelle die gleichen Gene erhält wie der Kern der Mutterzelle, aus dem er hervorgegangen ist. In der Regel besitzen also alle Zellen eines Organismus den gleichen Erbanlagenbestand, und so ist es auch verständlich, weshalb sich aus kleinen Wurzel- oder Stengelteilen einer Pflanze wieder eine Pflanze mit den gleichen Merkmalen entwickeln kann.

In dem Schema des Verlaufs der Zellteilung (Abb. 91) enthält der Zellkern 4 Chromosomen. Jeweils zwei der Chromosomen sind hinsichtlich ihrer Morphologie und ihres Genbestandes identisch, sie sind also doppelt. Das trifft für alle Zellen im Körpergewebe zu, sie sind demnach **diploid**. Die Anzahl der Chromosomen im diploiden Chromosomensatz ist aber bei den verschiedenen Tieren und Pflanzen sehr unterschiedlich. In der Tafel I sind beispielsweise die Stadien der mitotischen Zellteilung dem Schema der Abbildung 91 etwa entsprechend nach Mikrofotografien von Zellen der Wurzelspitzen einer Lilie (*Lilium regale*) abgebildet. Bei der Zählung der Chromosomen in der Metaphase der diploiden Zelle können leicht 24 Chromosomen ermittelt werden. In der folgenden Tabelle sind die diploiden ( $2n$ ) Chromosomenzahlen einiger bekannter Tier- und Pflanzenarten zusammengestellt:



Tafel 5: Mitose in den Zellen der Wurzelspitzen von *Lilium regale*; a Interphase; b, c frühe und späte Prophase; d Metaphase; e Metaphase nach Kolchizinbehandlung der Chromosomen; f, g frühe Anaphase; h, i, k späte Anaphase; l, m Telophase. (2400fache Vergrößerung)

Deutsche Namen	wissenschaftliche Namen	Diploide Chromosomenzahl	Deutsche Namen	wissenschaftliche Namen	Diploide Chromosomenzahl
Mensch	<i>Homo sapiens</i>	46	Gurke	<i>Cucumis sativus</i>	14
Pferd	<i>Equus caballus</i>	66	Kirsche	<i>Prunus cerasus</i>	32
Schwein	<i>Sus scrofa</i>	40	Erbse	<i>Pisum sativum</i>	14
Schaf	<i>Ovis aries</i>	54	Bohne	<i>Phaseolus vulgaris</i>	22
Rind	<i>Bos taurus</i>	60	Ackerbohne	<i>Vicia faba</i>	12
Katze	<i>Felis maniculata</i>	38	Kartoffel	<i>Solanum tuberosum</i>	48
Hund	<i>Canis familiaris</i>	78	Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>	24
Huhn	<i>Gallus domesticus</i>	78	Zwiebel	<i>Allium cepa</i>	16
Frosch	<i>Rana esculenta</i>	26	Mais	<i>Zea mays</i>	20
Goldfisch	<i>Carassius auratus</i>	94	Gerste	<i>Hordeum vulgare</i>	14
Fruchtfliege	<i>Drosophila melanogaster</i>	8	Weizen	<i>Triticum aestivum</i>	42
Garnele	<i>Empagurus ocbotensis</i>	254	Roggen	<i>Secale cereale</i>	14
Kohl	<i>Brassica oleracea</i>	18	Hafer	<i>Avena sativa</i>	42

Früher wurde angenommen, daß einige niedere Organismen, besonders Bakterien, keine Chromosomen besitzen. Vor einigen Jahren wurden jedoch auch bei einer Reihe von Bakterien und Hefepilzen Strukturen entdeckt, die den Chromosomen höherer Organismen ähnlich sind (Abb. 94). Auch Viren und Bakteriophagen zeigen in ihrer chemischen Zusammensetzung eine deutliche Übereinstimmung mit den Chromosomen. Sie bestehen hauptsächlich aus Proteinen und Desoxyribo- oder Ribonukleinsäuren.

Da die Chromosomen als Träger der Erbanlagen von so entscheidender Bedeutung für die Vererbung sind, ist ihre Struktur näher untersucht worden. Dazu eignen sich die Kerne der Speicheldrüsenzellen verschiedener Dipteren (Fliegen, Mücken) besonders

gut. Sie enthalten relativ große, sogenannte **Riesenchromosomen**, die auch im Ruhestadium deutlich erkennbar bleiben. An diesen Riesenchromosomen läßt sich eine deutliche Längsgliederung nachweisen. Stark färbare Abschnitte, die **Chromomeren**, sind durch schwächer färbare Zwischenstücke getrennt (Abb. 95). Die chemische Analyse hat ergeben, daß die Chromomeren in erster Linie DNS (Desoxyribonukleinsäure) enthalten, während die Zwischenstücke oder Fibrillen nur aus Eiweiß bestehen. Dieser Befund weist darauf hin, daß die Gene eines Chromosoms in linearer Anordnung lokalisiert sind.

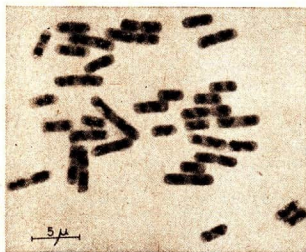


Abb. 94 Teilung des Nukleinsäurestranges in Bakterienzellen (*Bacillus cereus*)

Bei den meisten Pflanzen und Tieren ist die **Befruchtung**, die Vereinigung einer männlichen **Samenzelle** mit einer weiblichen **Eizelle** zur **Zygote**, der Beginn der Entwicklung eines neuen Lebewesens. Damit die für jede Art charakteristische Chromosomenzahl auch bei den Nachkommen erhalten bleibt und die Erbanlagen des väterlichen Elters in gleicher Weise wie die des mütterlichen Elters an der Entwicklung des neuen Lebewesens beteiligt sind, muß bei der Bildung der Geschlechtszellen die Chromosomenzahl auf die Hälfte reduziert werden. Aus diploiden müssen **haploide** Zellen entstehen. Dies ermöglicht ein Mechanismus, der als **Reduktionsteilung** oder **Meiose** bezeichnet wird. Während

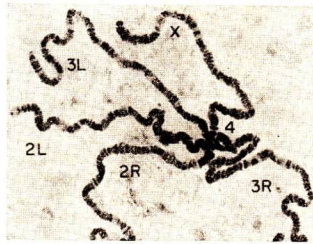


Abb. 95 Riesenchromosomen aus der Speicheldrüse einer weiblichen Larve der Fruchtfliege (*Drosophila melanogaster*). Die beiden homologen Chromosomen sind in einem Strang vereinigt. Deshalb ist nur die haploide Anzahl sichtbar. X 1. oder X-Chromosom, 2L und 2R linker und rechter Schenkel des 2. Chromosoms, 3L und 3R linker und rechter Schenkel des 3. Chromosoms, 4 4. Chromosom

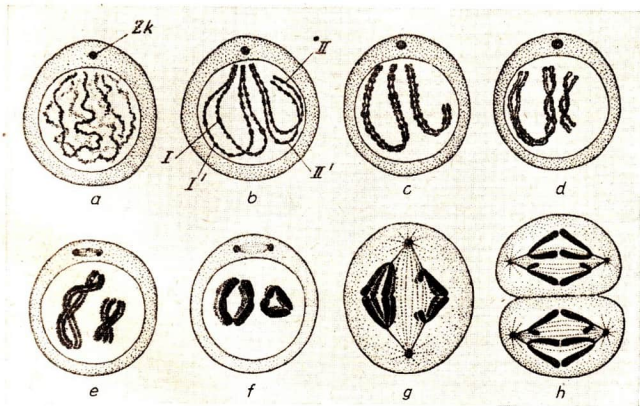


Abb. 96 Schema der Reduktionsteilung (Meiose). a Herausbildung der Chromosomen; b Beginn der Chromosomenpaarung; c abgeschlossene Chromosomenpaarung und Verkürzung der Chromosomen; d, e Lockerung der Paarung unter ständiger Verkürzung der längsgespaltenen und umeinandergewundenen Chromosomen; f weitere Verkürzung der Bivalente, ihr struktureller Aufbau ist nicht mehr erkennbar; g 1. Reduktionsteilung; h 2. Reduktionsteilung



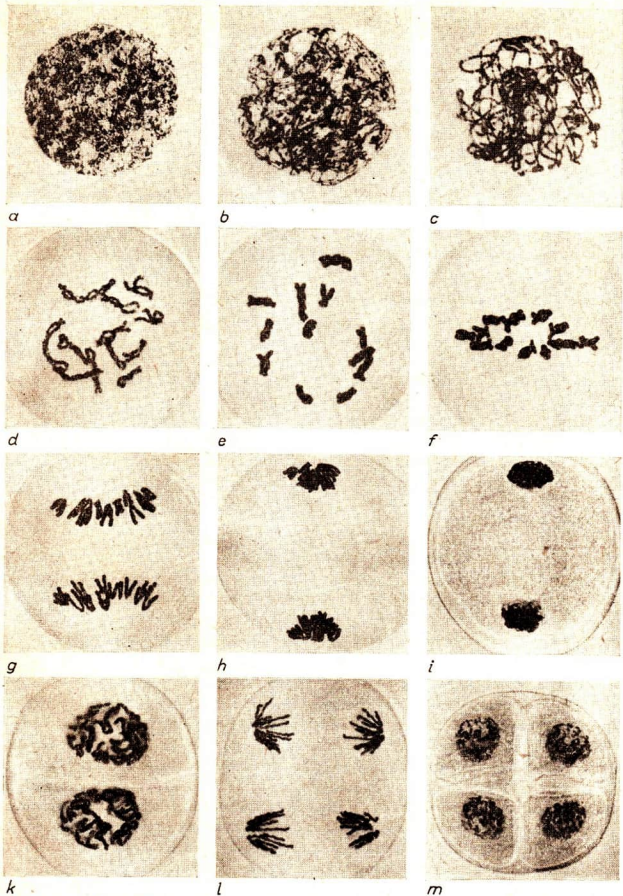
der Meiose kann eine Umgruppierung der auf den Chromosomen lokalisierten Erbanlagen erfolgen, die weitreichende Konsequenzen für die Vererbung und Evolution hat (s. S. 158).

Es soll hier nicht näher auf die verschiedenen Fortpflanzungsmechanismen bei Pflanzen und Tieren eingegangen werden. Im Prinzip vollzieht sich die Meiose überall gleich. Ausgangspunkt der Bildung männlicher oder weiblicher Geschlechtszellen sind immer Zellen mit dem doppelten Chromosomensatz.

Betrachten wir beispielsweise die Bildung des Pollens in den Staubbeutel (Antheren) junger Blütenknospen einer Pflanze. Nachdem die Pollenmutterzellen gebildet sind, beginnen im Kern die Chromosomen wie in der Prophase der Mitose als lange Fäden sichtbar zu werden. Sie spiralisieren sich jedoch zunächst nicht auf, sondern ihre Struktur, insbesondere die wie auf einer Perlschnur aufgereihten Chromomeren treten deutlich hervor (Abb. 96a). Dieses Stadium der Meiose leitet für die weitere Betrachtung des Vererbungsgeschehens sehr wichtige Vorgänge ein. Danach (Abb. 96b) nähern sich die gleichartigen, die homologen Chromosomen des diploiden Kerns, sie legen sich der Länge nach aneinander. Diese abgeschlossene Chromosomenpaarung (Abb. 96c) oder **Chromosomenkonjugation** verläuft so exakt, daß die Chromomeren des einen Chromosoms neben den entsprechenden des anderen Chromosoms zu liegen kommen. Dabei ist dann auch mikroskopisch genau feststellbar, daß die Paarung zwischen homologen Chromosomen stattgefunden hat. Unter ständiger Verkürzung (Spiralisation) der Chromosomen lockert sich die Paarung nun wieder, und es wird erkennbar, daß sich die homologen Chromosomen an verschiedenen Stellen umschlingen. Ferner zeichnet sich jetzt die Längsspaltung der homologen Chromosomen in je zwei Chromatiden deutlich ab (Abb. 96d, e). Diese aus vier Chromatiden bestehenden Chromosomenpaare werden **Bivalente** genannt. Die Stellen, an denen sie sich weiterhin berühren beziehungsweise umschlingen, heißen **Chiasmen** (s. auch S. 158).

Im letzten Stadium vor der ersten Reifungsteilung (Abb. 96f) verkürzen sich die Bivalente weiterhin so stark, daß ihr struktureller Aufbau nicht mehr zu erkennen ist. Nun folgt die 1. Reifungsteilung. Die Bivalente ordnen sich im Äquator des Kerns an, die Kernmembran löst sich auf, und von den 4 Chromatiden jedes Bivalents werden 2 dem einen und 2 dem anderen Tochterkern zugeteilt (Abb. 96g), die wieder in das Interphasestadium übergehen und in zwei getrennten Zellen enthalten sind (**Dyade**). Dann beginnt die 2. Reifungsteilung (Abb. 96h). Die jetzt noch aus zwei Chromatiden bestehenden Chromosomen ordnen sich erneut im Äquator der Kerne an und jeweils eine Chromatide jedes Chromosoms wandert polwärts. Das führt zur Bildung von vier Kernen mit dem halben, dem haploiden Chromosomensatz. Nun bilden sich vier haploide Zellen zu einer **Tetrade** aus, in der sich vier befruchtungsfähige **Pollenkörner** entwickeln (Tafel 6).

Bei der Ausbildung der weiblichen Geschlechtszellen, den **Eizellen**, gibt es nur insofern einen Unterschied zu den männlichen, den **Samenzellen**, daß von den vier im Verlaufe der Meiose gebildeten haploiden Kernen drei zurückgebildet werden und sich nur einer zu der mit reichlich Zytoplasma gefüllten Eizelle entwickelt. Bei den höheren Pflanzen wird die Samenzelle von den auswachsenden Schläuchen der Pollenkörner zur Eizelle befördert. Bei den Tieren und vielen niederen Pflanzen sind die Samenzellen, die **Spermien**, frei beweglich. Bei der Befruchtung ist gesichert, daß die aus der Vereinigung von einer Samenzelle mit einer Eizelle entstehende **Zygote** je einen haploiden Chromosomensatz vom väterlichen und mütterlichen Elter erhält. Damit ist die für die jeweilige Art charakteristische diploide Chromosomenzahl wiederhergestellt, die zur Hälfte vom Vater und zur Hälfte von der Mutter stammt.

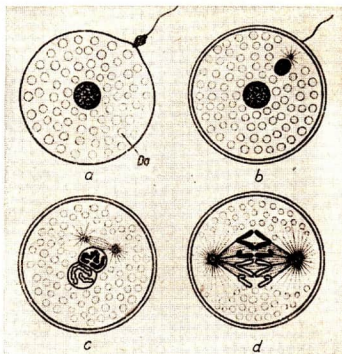


Tafel 6: Meiose. In den Pollenmutterzellen von *Lilium regale*. a Ruhekern; b, c Herausbildung der Chromosomen; d, e abgeschlossene Paarung der stark verkürzten homologen Chromosomen zu Bivalenten; f, g, h, i erste Reifungsteilung; k, l zweite Reifungsteilung; m fertige Pollentetrade



Abb. 97 Schema des Aufbaus eines Spermiums. Ch Chromosom, Mc Mitochondrien, P Perforatorium, ZK Zentralkörper

Abb. 98 Befruchtungverlauf eines tierischen Eies (schematisch); Chromosomensatz des Vaters schwarz, der Mutter hell. a das Spermium hat mit dem Perforatorium die Eioberfläche durchstoßen; b der Spermienkopf (= Zellkern) und der Zentralkörper sind in die Eizelle eingedrungen; c Verschmelzung von Ei- und Samenkern zur Zygote; d 1. Teilung der Embryonalentwicklung; Do Dotter



Die Samenzelle führt noch den Zentralkörper mit und wahrscheinlich auch Mitochondrien, die in einem Fortsatz des Spermienkopfes vor dem Schwanz untergebracht sind (Abb. 97). Zytoplasma gelangt durch die Samenzelle, außer bei höheren Pflanzen, kaum in die Eizelle (Abb. 98 a u. b). Auf die Bedeutung der quantitativen Unterschiede im Gehalt an Zytoplasma zwischen Samen- und Eizellen für das Erkennen von Trägern von Erbanlagen außerhalb des Kerns wird auf Seite 171 noch eingegangen.

### Aufgaben

1. Erläutern Sie an je einem Beispiel die Vorgänge bei der geschlechtlichen Vermehrung von Protisten, Pflanzen und Tieren!
2. Charakterisieren Sie an einem Beispiel den Generationswechsel bei Pflanzen unter Berücksichtigung der Chromosomenzahlen in den einzelnen Phasen!

### Die Kombination der Erbanlagen

Schon seit Jahrhunderten ist die Tatsache bekannt, daß nach der Kreuzung von Tieren oder Pflanzen der gleichen Art, die sich in verschiedenen Merkmalen unterscheiden, Nachkommen gezeugt werden, bei denen Merkmale sowohl des mütterlichen als des väterlichen Elters auftreten. Sie werden Mischlinge oder **Bastarde** genannt. Andererseits wurden auch Fälle beschrieben, bei denen das Kreuzungsprodukt, der Bastard, nur dem väterlichen oder nur dem mütterlichen Elter ähnelt. Ferner wurde bei Untersuchungen der Nachkommenschaften von Bastarden, besonders wenn die Eltern viele Verschiedenheiten aufwiesen oder sogar verschiedenen Arten angehörten, eine unübersehbare Aufspaltung gefunden, aus der man keine Gesetzmäßigkeiten ableiten konnte.

Es bleibt das große Verdienst von GREGOR MENDEL (1822 bis 1884), vor etwa 100 Jahren durch seine genial einfach angelegten und über mehrere Generationen verfolgten Kreuzungsversuche mit Erbsen (*Pisum sativum*) als erster Klarheit in die verwirrende Vielfalt solcher Nachkommenschaften von Bastarden gebracht zu haben. Nach siebenjähriger Versuchsarbeit im Klostergarten in Brünn (Brno) veröffentlichte er 1866 seine Ergebnisse und die daraus abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten. Leider blieb diese Arbeit den Biologen seiner Zeit, darunter auch CHARLES DARWIN, unbekannt. Erst 1900, als die Mendelschen Gesetze von drei Botanikern, CORRENS (1864 bis 1933), DE VRIES (1848 bis 1935) und TSCHERMAK (1871 bis 1961), unabhängig voneinander wiederentdeckt wurden, konnte man ermessen, in welcher ausgezeichneten Weise schon MENDEL die methodischen Voraussetzungen für Kreuzungsversuche erkannt hatte. Demnach ist es zur Verfolgung von Merkmalsunterschieden nach Kreuzungen zweckmäßig:

1. bei solchen Versuchen innerhalb einer Art zu bleiben und als Kreuzungspartner Pflanzen auszuwählen (möglichst zwittrblütige Selbstbefruchter), die sich nur in 2 bis 3 Merkmalen voneinander unterscheiden;
2. daß die Merkmale gut erkennbar und alternativ sind (MENDEL'S klassische Merkmale waren bei der Art *Pisum sativum*: gelbe oder grüne Samenfarbe, runde oder runzlige Samenform, violette oder weiße Blütenfarbe und andere);
3. vor Versuchsbeginn die erbliche Konstanz der Merkmale der Elternpflanzen zu prüfen, das heißt, durch Selbstung der Elternpflanzen muß festgestellt werden, ob die Nachkommen untereinander gleich, also reinerbig oder homozygot sind;
4. festzustellen, ob die Fertilität der Bastarde nicht gemindert ist, um einmal nach Selbstbefruchtung viele Nachkommen zu erhalten und zum anderen bestimmte Ausfälle bei den Nachkommen zu vermeiden, die durch Pollensterilität verursacht sein können.

Zum Verständnis solcher Mendel-Versuche sind noch einige Begriffserklärungen erforderlich. Man unterscheidet die **Parentalgeneration (P)**, worunter man die Elternpflanzen oder -tiere versteht, die miteinander gekreuzt werden; das heißt, Samenzellen des einen Elters befruchten Eizellen des andern Elters. Die nachfolgenden Generationen werden als 1., 2., 3. . . usw. **Filialgenerationen** bezeichnet (kurz  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  . . . usw.).

**Das Uniformitätsgesetz.** MENDEL kreuzte bei seinen ersten Versuchen eine Erbsensorte mit roten Blüten, roten Flecken in den Blattachsen und gefärbten Samenschalen mit einer anderen Sorte, deren Blüten, Flecken in den Blattachsen und Samenschalen das rote Pigment nicht enthielten, also rein grün gefärbt waren. Die Bastardpflanzen der  $F_1$ -Generation (Abb. 99) waren unter sich alle gleich (uniform) und glichen in allen Merkmalen der rotblütigen Elternpflanze. Rote Blütenfarbe erwies sich als **dominant** über weiße Blütenfarbe, die **rezessiv** ist. In einer anderen Kreuzung, die CORRENS, einer der Wiederentdecker der Mendelschen Gesetze, beschrieben hat, wird eine rotblütige Pflanze der Wunderblume (*Mirabilis jalapa*) mit einer weißblütigen Pflanze gekreuzt (Abb. 100). Hier zeigen die Bastardpflanzen der  $F_1$ -Generation alle den Bastardcharakter, sie sind rosa gefärbt. Solche Bastarde heißen **intermediäre Bastarde**.

In jedem dieser beiden Fälle, also sowohl bei intermediären Merkmalsausbildungen als auch bei der Dominanz eines oder mehrerer Merkmale, sind alle  $F_1$ -Bastarde, die

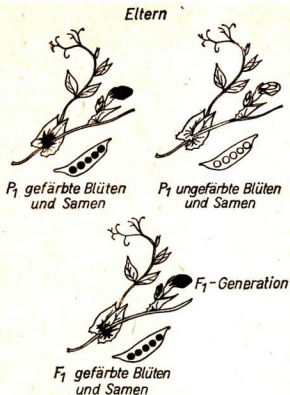


Abb. 99 Dominante Vererbung von roter Blütenfarbe, rot gefärbten Flecken in den Blattschalen und gefärbten Samenschalen einer Erbsensorte nach der Kreuzung mit einer rein grün gefärbten Sorte. Das Merkmal gefärbte Blüten, Flecken in den Blattschalen und Samenschalen wird als eine Einheit vererbt.

sogenannten „blauen Andalusier“; sie sind in höherem Maße schwarz gesprenkelt als die weiße P-Rasse. Durch Geschwisterkreuzung (bei Pflanzen meist durch Selbstung) innerhalb der  $F_1$ -Generation wird die  $F_2$ -Generation erzeugt. Die herausgespaltenen Phänotypen treten bei genügend großer Individuenzahl in ganz bestimmten Zahlenverhältnissen auf. Bei intermediärer Vererbung, die in unserem Beispiel vorliegt, gleichen  $\frac{1}{4}$  der Tiere wieder dem väterlichen Elter,  $\frac{1}{4}$  dem mütterlichen Elter und  $\frac{2}{4}$  sind wieder intermediär. Bei der Dominanz eines Merkmals der P-Rassen in der  $F_1$  wären in der  $F_2$   $\frac{3}{4}$  der Individuen phänotypisch dem einen Elter und  $\frac{1}{4}$  dem anderen Elter gleich. Das wäre beispielsweise nach Selbstung von Bastardpflanzen der in der Abbildung 99 dargestellten Erbsenkreuzung der Fall.

Die Weiterzüchtung der  $F_2$  der Hühnerkreuzung zeigt, daß nach Geschwisterkreuzung der schwarzen Tiere in der  $F_3$  und allen folgenden Generationen nur schwarze Tiere auftreten. Das gleiche gilt für die weißen, schwach dunkel gesprenkelten Tiere. Sie sind reinerbig. Die Weiterzucht der schwarz-weiß-gesprenkelten Tiere ergibt in der  $F_3$  wieder eine Spaltung in  $\frac{1}{4}$  schwarze,  $\frac{1}{4}$  helle und  $\frac{2}{4}$  gesprenkelte Tiere. Von diesen werden sich in der  $F_4$  die schwarzen und hellen Tiere weiter rein vererben, während die gesprenkelten wieder das gleiche Spaltungsverhältnis 1:2:1 zeigen.

Dieses Beispiel gilt für viele und kann jederzeit an anderen Versuchsobjekten mit anderen Merkmalen wiederholt werden.

aus der Kreuzung zweier reinerbigiger Sorten oder Rassen hervorgehen, unter sich gleich (uniform). Diese „Gleichheit“ ist natürlich im Rahmen der Modifikabilität (s. S. 135) zu verstehen. Es ist weiterhin für das Aussehen der  $F_1$ -Bastarde gleichgültig, welcher der beiden Kreuzungspartner als mütterlicher oder väterlicher Elter benutzt wird (Abb. 100). Reziproke Kreuzungen ergeben gewöhnlich gleiche  $F_1$ -Bastarde.

Das 1. Mendelsche Gesetz oder Uniformitätsgesetz besagt also: Reziproke Bastarde sind gleich. Daraus kann der Schluß gezogen werden, daß die männlichen und weiblichen Gameten für die Übertragung mendelnder Erbanlagen gleichwertig sind.

Das Spaltungsgesetz: Im Gegensatz zur Gleichheit der  $F_1$ -Bastarde zeigt die  $F_2$ -Generation eine Spaltung in verschiedene Erscheinungsformen. Die Kreuzung einer schwarzen mit einer weißen, ganz fein dunkel gesprenkelten Hühnerrasse (Abb. 101) ergibt – ähnlich wie bei der Kreuzung der Wunderblume – intermediäre Bastarde, die

Welche Schlußfolgerungen können aus den Ergebnissen solcher Kreuzungsversuche gezogen werden? Die Vererbung eines Merkmals kann nur analysiert werden, wenn ein Merkmalsunterschied — ein Merkmalspaar — vorliegt. In der Vererbungs-forschung ist es üblich, jede Merkmalsanlage, das heißt jedes Gen mit einem Buchstaben zu bezeichnen. In dem auf der Abbildung 101 dargestellten Beispiel der Kreuzung einer schwarzen mit einer hellen Hühnerrasse ist das Gen, welches schwarzes Gefieder bewirkt, mit *A* und das entsprechende für helles Gefieder mit *a* bezeichnet worden (*A* und *a* sind die Symbole für verschiedene Zustandsformen — **Allele** — eines Gens. Dem Merkmalspaar schwarzes/helles Gefieder entspricht also das Allelenpaar *A/a*). Da im diploiden Organismus jedes Gen zweimal (auf homologen Chromosomen) enthalten ist, lautet die „genetische Formel“ der schwarzen Hühnerrasse *AA* und die der hellen Hühnerrasse *aa*. Bei der Keimzellenbildung werden beide Gene wieder getrennt, so daß sie in den haploiden Samen- beziehungsweise Eizellen nur einfach enthalten sind (*A* oder *a*). Dafür sorgt während der Meiose die 1. Reifungsteilung, bei der nur je eines der homologen Chromosomen zur Bildung der haploiden Kerne der Keimzellen beiträgt. Aus der Abbildung 101 ist zu ersehen, daß bei der Kreuzung der schwarzen mit der hellen Hühnerrasse nur eine Möglichkeit der Vereinigung der Geschlechtszellen besteht, nämlich *A*-Gameten mit *a*-Gameten zur Zygote *Aa*. Das führt in unserem Falle zu Individuen, deren Bastardnatur an dem gesprenkelten Gefieder erkennbar wird. Das Allel *A* ist nicht völlig dominant über *a*; es kommt zu einer intermediären Merkmalsausbildung als Ergebnis des Zusammenwirkens der Allele *A* und *a* im diploiden Bastard *Aa*. Bei der Keimzellenbildung der gesprenkelten *F*<sub>1</sub>-Tiere werden nach dem bekannten Mechanismus in der Meiose *F*<sub>1</sub>-Gameten mit *A* und mit *a* gebildet. Wird ein weibliches Bastardtier von einem männlichen Bastardtier befruchtet, so kann eine Eizelle mit *A* entweder von einer Samenzelle mit *A* oder mit *a* befruchtet werden. Die gleiche Möglichkeit besteht für die Eizelle mit *a*. Daraus ergibt sich die Aufspaltung der Genkombination in der *F*<sub>2</sub> von *AA*, *Aa* und *aa* im Verhältnis von 1:2:1, die auch dem Verhältnis der Phänotypen 1 schwarz : 2 gesprenkelt : 1 hellfarbig entspricht. Bei einem dominanten Erbgang, wie beispiels-

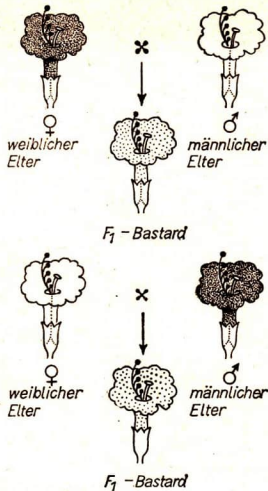


Abb. 100 Intermediäre Vererbung der Blütenfarbe bei *Mirabilis jalapa*. Die *F*<sub>1</sub> ist nach reziproken Kreuzungen uniform rosa.

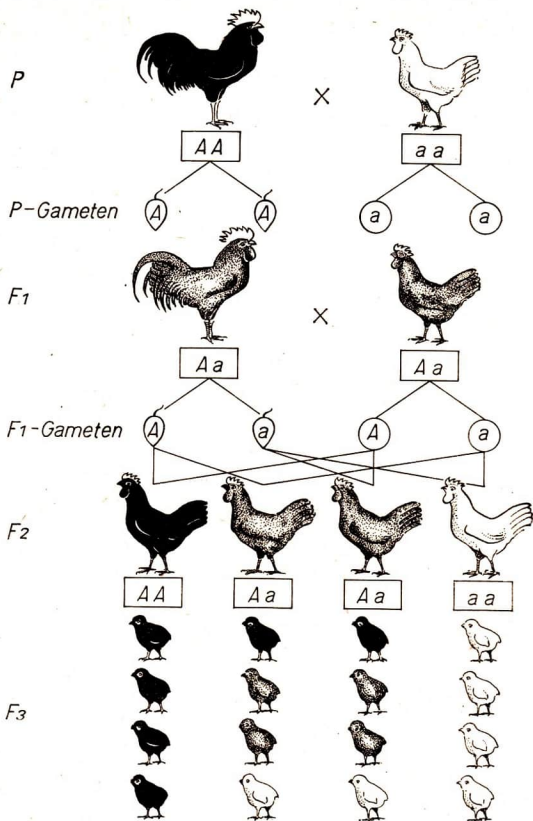


Abb. 101 Kreuzung einer schwarzen mit einer weißen, ganz fein dunkel gesprenkelt Hühnerrasse. Die Bastarde („blaue Andalusier“) sind intermediär, in höherem Grade schwarz gesprenkelt als die helle P-Rasse.

weise nach der Kreuzung einer rotblühenden Erbsensorte mit einer weißblühenden (Abb. 99) ist das Phänotypenverhältnis in der  $F_2$  rotblühend: weißblühend wie 3:1, hinsichtlich der Genkombination jedoch auch 1:2:1. Dies kann leicht durch Nachzucht der geselbsteten rotblühenden  $F_2$ -Pflanzen überprüft werden.  $\frac{1}{3}$  der rotblühenden Pflanzen wird nur rotblühende Nachkommen in der  $F_3$  haben, während  $\frac{2}{3}$  rotblühender Pflanzen wieder zu  $\frac{3}{4}$  in rotblühende und zu  $\frac{1}{4}$  in weißblühende Pflanzen spalten.

Nach Kreuzung eines reinerbigen roten Schwertfischweibchens (bb) mit einem reinerbigen grünen (wildfarbenen) Schwertfischmännchen (BB) wird das rote Weibchen nur grüne Junge (Bb) zur Welt bringen, da das Wildmerkmal über die rote Farbe der Zierform dominiert. In der  $F_2$  werden dann nach Befruchtung von  $F_1$ -Tieren untereinander grüne: rote Tiere im Verhältnis 3:1 erscheinen. Dieses Experiment kann jeder in einem Aquarium selbst durchführen, nachdem er sich überzeugt hat, daß das rote Weibchen nach Paarung mit einem roten Männchen nur rote Fische zur Welt bringt und daß auch nach Paarung des grünen Männchens mit einem grünen Weibchen die Nachkommen immer grün sind.

Es kann also festgestellt werden, daß jedes faßbare Merkmalspaar (rote und weiße Blütenfarbe) in der Regel von einem Allelenpaar hervorgerufen wird, das bei einem Bastard auf den homologen Chromosomen der diploiden Zellen des Organismus lokalisiert ist. Bei der Befruchtung, die zu einem Bastard führt, werden die Allele der beiden erblich verschiedenen Eltern vereinigt und bewirken die Bastardnatur der  $F_1$ . Vor der Bildung der Gameten des Bastards werden die beiden Allele eines Gens wieder getrennt und im Verhältnis 1:1 auf die Gameten verteilt. Durch die zufällige Kombination von Gameten mit verschiedenen Allelen (Abb. 101) entsteht das nach dem Spaltungsgesetz oder dem **2. Mendelschen Gesetz** in der  $F_2$  erscheinende Zahlenverhältnis. Da die Kombination der verschiedenen  $F_1$ -Gameten vom Zufall abhängig ist, kann erst bei der Aufzucht einer großen Anzahl von  $F_2$ -Individuen mit dem idealen 1:2:1 oder 3:1 Verhältnis gerechnet werden und nicht schon bei 4  $F_2$ -Tieren, wie das in der Abbildung 101 zur Erläuterung dargestellt ist.

Nach der Kreuzung von Tieren oder Pflanzen, die sich nur in einem Merkmalspaar unterscheiden — nach einer sogenannten **monohybriden Kreuzung** —, treten keine reinerbigen neuen Formen auf. Diese Tatsache ist besonders für die Tier- und Pflanzenzucht wichtig. Der im Bastard möglicherweise erzielte züchterische Fortschritt läßt sich nicht fixieren.

Im Anschluß daran sei noch auf folgendes verwiesen: Bei ständiger Selbstbefruchtung beziehungsweise Geschwisterkreuzung der Bastardnachkommen muß in den aufeinanderfolgenden Generationen die Anzahl der reinerbigen, der **homozygoten** Individuen gegenüber den mischerbigen, den **heterozygoten**, ständig zunehmen, weil die heterozygoten stets 50% homozygote abspalten, die homozygoten aber niemals heterozygote (Abb. 101). Diese allmähliche Ausschaltung heterozygoter Individuen aus einer Bastardnachkommenschaft erfolgt auch nach Kreuzung von Tieren und Pflanzen, die sich in 2, 3 oder mehr Merkmalen voneinander unterscheiden.

**Das Gesetz der Neukombination der Gene.** Die Kreuzung von Sorten oder Rassen, die sich in mehr als einem Merkmal unterscheiden, hat zu weiteren Kenntnissen über die Zusammensetzung des Erbgefüges geführt. Daraus wurde das **3. Mendelsche**



**Gesetz, das Unabhängigkeitsgesetz oder das Gesetz von der Neukombination der Gene** abgeleitet. Dies soll an einem klassischen Beispiel, den Erbsenkreuzungen, die MENDEL vor hundert Jahren durchführte, erläutert werden. Er kreuzte eine Erbsensorte mit runden und gelben Samen mit einer anderen mit runzligen und grünen Samen. (Solch eine Kreuzung zwischen Eltern, die sich in zwei Merkmalspaaren unterscheiden, wird als **dihybride Kreuzung** bezeichnet.) Die  $F_1$ -Bastarde hatten alle gelbe und runde Samen, die gelbe Farbe ist also dominant über grün und die runde Form über die runzlige (Abb. 102). Da die dominanten Merkmale immer große Buchstaben erhalten, soll gelbe Samenfarbe mit G, grüne Samenfarbe mit g, runde Samenform mit R und runzlige Samenform mit r bezeichnet werden. Für die Sorte mit den dominanten Merkmalen ergibt sich folglich die Formel GGRR und für die Sorte mit den rezessiven Merkmalen ggrr.

Die  $F_1$ -Bastarde werden aus den haploiden Gameten beider Elternsorten gebildet und haben demnach die Formel GgRr. Die Abbildung 102 zeigt weiterhin die vier verschiedenen männlichen und weiblichen Gameten, die während der Meiose nach Selbstung der Bastarde gebildet werden. Diese können nach zufälliger Verteilung in 16 verschiedenen Kombinationen zusammenkommen, wie es dem Kombinationsquadrat der  $F_2$  auf der Abbildung 102 entnommen werden kann. MENDEL erhielt nach Selbstung der  $F_1$ -Pflanzen eine  $F_2$ -Generation mit insgesamt 556 Samen. Das erwartete Spaltungsverhältnis von 3 dominanten:1 rezessiven konnte sowohl für die Samenfarbe als auch für die Samenform in nahezu idealer Weise wie folgt ermittelt werden:

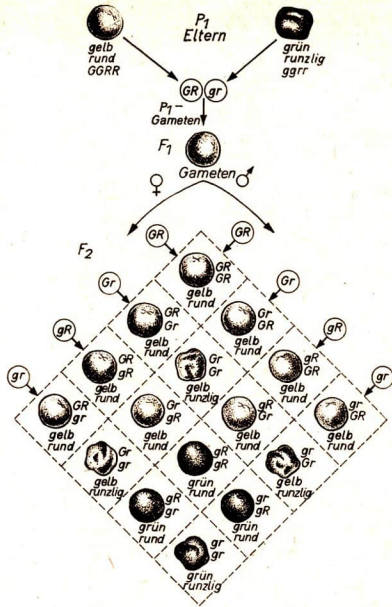
416 oder 74,82 % gelbe Samen  
 140 oder 25,18 % grüne Samen  
 423 oder 75,08 % runde Samen  
 133 oder 23,92 % runzlige Samen

Nun mußte noch die Frage beantwortet werden, ob die Spaltung der Merkmale für Samenfarbe unabhängig von denen der Samenform verläuft oder beide Merkmale irgendwie miteinander verbunden sind. Tatsächlich fand MENDEL, daß die Spaltung der Samenfarbe unabhängig von der Samenform verläuft und daß in der  $F_2$  sowohl die Merkmalskombinationen der Elternpflanzen als auch neue Kombinationen erscheinen. Bei der Ordnung der 556 Samen nach beiden Merkmalen erhielt er:

315 runde gelbe Samen  
 108 runde grüne Samen\*  
 101 runzlige gelbe Samen\*  
 32 runzlige grüne Samen

Das Zeichen \* bezeichnet die neuen Kombinationen, die durch Rekombination der Gene in den Bastarden entstehen. Nach einer dihybriden Kreuzung und bei dominantem Erbgang beider Merkmalspaare treten also 4  $F_2$ -Phänotypen in bestimmten Zahlenverhältnissen auf, denen 9 verschiedene **Genotypen** zugrunde liegen. Das ist leicht aus der Abbildung 20 bei einem Vergleich der Phänotypen mit ihren Erbformeln abzulesen. Es ist auch feststellbar, daß das theoretisch zu erwartende Phänotypenverhältnis 9:3:3:1 betragen muß. Der Vergleich des von MENDEL gefundenen Verhältnisses 315:108:101:32

Abb. 102 Unabhängige Vererbung zweier Merkmalspaare mit vollständiger Dominanz. In der Kreuzung zwischen zwei Erbsensorten, die eine homozygot dominant für gelbe und runde Samen, die andere homozygot rezessiv für grüne und runzlige Samen, sind der Phänotyp, der Genotyp und die Gametensorten der Eltern und der F<sub>1</sub> dargestellt. Die Ergebnisse der 16 verschiedenen Vereinigungsmöglichkeiten der vier Gametensorten, die von der F<sub>1</sub> gebildet werden, sind aus dem F<sub>2</sub>-Kreuzungsquadrat ersichtlich.



mit dem theoretisch zu erwartendem, dem idealen Verhältnis 312,75:104,25:104,25:34,75 zeigt, daß das Ergebnis MENDELS dem zu erwartenden sehr nahekommt. Für die Annäherung der in der F<sub>2</sub> auffindbaren Spaltungsverhältnisse an die vorausberechenbaren sind allerdings hohe Nachkommenschaftszahlen Voraussetzung.

Je mehr Merkmalspaare an einer Kreuzung beteiligt sind, um so mehr Gametensorten, F<sub>2</sub>-Genotypen und F<sub>2</sub>-Phänotypen sind zu erwarten. Aus den besprochenen Beispielen einer monohybriden und dihybriden Kreuzung können bei dominantem Erbgang aller beteiligten Merkmalspaare die Kombinationsmöglichkeiten leicht abgeleitet werden, wie in der folgenden Tabelle angegeben:

Für den Züchter sind die Formen in der senkrechten Diagonale des Kombinationsquadrates der Abbildung 102 besonders interessant. Neben den homozygoten Elternformen sind hier auch die Neukombinationen mit runden grünen Samen und runzigen gelben Samen homozygot verwirklicht, die rein weiter vererbt werden. So können bei

Merkmalspaare	Gameten-sorten	Anzahl der Gametenkombinationen in F <sub>2</sub>	Ver-schiedene Genotypen in F <sub>2</sub>	Anzahl der Phäno-typen in F <sub>2</sub>	Häufigkeit der F <sub>2</sub> -Phänotypen
1	2 <sup>1</sup> = 2	4 <sup>1</sup> = 4	3 <sup>1</sup> = 3	2 <sup>1</sup> = 2	(3 + 1) <sup>1</sup> 3 + 1
2	2 <sup>2</sup> = 4	4 <sup>2</sup> = 16	3 <sup>2</sup> = 9	2 <sup>2</sup> = 4	(3 + 1) <sup>2</sup> 9 + 3 + 3 + 1
3	2 <sup>3</sup> = 8	4 <sup>3</sup> = 64	3 <sup>3</sup> = 27	2 <sup>3</sup> = 8	(3 + 1) <sup>3</sup> 27 + 9 + 9 + 3 + 3 + 3 + 1
n	2 <sup>n</sup>	4 <sup>n</sup>	3 <sup>n</sup>	2 <sup>n</sup>	(3 + 1) <sup>n</sup> 3 <sup>n</sup> + 3 <sup>n-1</sup> + 3 <sup>n-2</sup> + 3 <sup>n-(n-1)</sup> + 1

dihybriden, trihybriden usw. Kreuzungen bewußt züchterisch wertvolle Merkmale zweier Elternsorten in einer neuen Kombination vereinigt werden und zu dem erwünschten züchterischen Fortschritt führen.

Das Gesetz der Neukombination der Gene oder das 3. Mendelsche Gesetz besagt also, daß jedes einzelne Merkmals- bzw. Allelenpaar nach dem 2. Mendelschen Gesetz, dem Spaltungsgesetz, vererbt wird und daß die Allele verschiedener Paare unabhängig voneinander verteilt werden können.

#### Aufgabe

Entwickeln Sie Kreuzungsschemata bis zur F<sub>2</sub>-Generation für folgende Kreuzungen:

- weiße mit schwarzer Hühnerrasse (schwarz dominant)
- weiße mit schwarzer Hühnerrasse (intermediärer Erbgang),
- schwarze, langhaarige Kaninchen mit weißen, kraushaarigen Kaninchen (schwarz und kraushaarig dominant)!

#### Beweise für die Lokalisation der Gene in den Chromosomen

Die vollkommene Übereinstimmung der schon geschilderten Vorgänge während der Meiose mit der Verteilung der Gene im Kreuzungsexperiment hat schon kurz nach der Wiederentdeckung der Mendelschen Gesetze W. S. SUTTON und TH. BOVERI (1902) unabhängig voneinander zu der Annahme geführt, daß die „mendelnden“ Erbanlagen in den Chromosomen lokalisiert sind. Durch eine große Anzahl von Experimenten und Beobachtungen konnte diese Annahme in den folgenden Jahrzehnten von vielen Vererbungsforschern bewiesen und daraus die Chromosomentheorie der Vererbung entwickelt werden.

Durch eine einfache Überlegung lassen sich diese Zusammenhänge erkennen. Wir wissen, daß der Mensch und auch alle Tiere und Pflanzen bedeutend mehr Merkmale besitzen, als Chromosomen in den haploiden Zellen enthalten sind. Daraus folgt, daß viele Gene auf jeweils einem Chromosom lokalisiert sein müssen.

Dies bedeutet — wenn Übereinstimmung zwischen der Chromosomenverteilung in der Meiose und der Verteilung der Gene im Kreuzungsexperiment bestehen soll —, daß eine Grenze der freien Kombinierbarkeit der Gene vorliegen muß. Dies ist

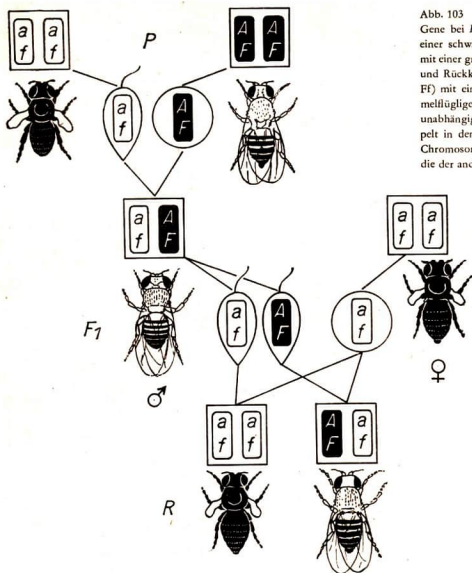


Abb. 103 Vererbung zweier gekoppelter Gene bei *Drosophila melanogaster*, Kreuzung einer schwarz-stummflügeligen Rasse (aaff) mit einer grau-normalflügeligen Rasse (AaFF) und Rückkreuzung eines F<sub>1</sub>-Männchens (AaFf) mit einem Weibchen der schwarz-stummflügeligen Rasse. Die Gene vererben nicht unabhängig voneinander, sie liegen gekoppelt in den homologen Chromosomen. Die Chromosomen der einen Rasse sind weiß, die der anderen Rasse schwarz gezeichnet.

auch tatsächlich der Fall. Es können nur so viele Gene bzw. Allelenpaare unabhängig voneinander verteilt werden, als Chromosomen im haploiden Satz vorhanden sind (bei der Erbse beispielsweise 7, beim Mais 10, beim Menschen 23 und bei der Fruchtfliege 4). Die auf einem Chromosom lokalisierten Gene sind untereinander gekoppelt und werden als **Kopplungsgruppe** vererbt. An einem Beispiel aus der *Drosophila*-Genetik soll dies demonstriert werden. Die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* ist wegen ihrer geringen haploiden Chromosomenzahl und der schon geschilderten anderen Vorteile besonders gut für solche Untersuchungen geeignet. In unserem Beispiel (Abb. 103) werden zwei Rassen der Fruchtfliege gekreuzt, von denen die eine die rezessiven Merkmale schwarze Körperfarbe (a) und Stummflügel (f), die andere die dominanten Merkmale grau Körperfarbe (A) und normale Flügel (F) besitzen. Ein Männchen der heterozygoten F<sub>1</sub> (AaFf) wird dann mit einem Weibchen der rezessiven Rasse aaff gekreuzt. Dabei müßten bei Vorliegen einer freien Kombinierbarkeit der Gene die vier Genotypen AaFf, Aaff, aaFf und aaff und damit auch vier verschiedene Phänotypen entstehen. Dies ist aber nicht der Fall. Es treten ausschließlich wieder die Phänotypen der

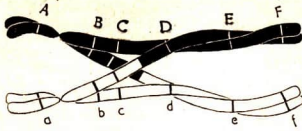


Abb. 104 Chromosomenstückeaustausch zwischen den Chromatiden zweier homologer Chromosomen

P-Generation auf. Dies kann nur so erklärt werden, daß das heterozygote Männchen der  $F_1$  nur Gameten des Genotyps AF und af bilden konnte, nicht aber solche mit aF und Af (Abb. 103). Folglich sind die Gene für Körperfarbe und Flügelform bei diesen Tieren auf einem Chromosom lokalisiert und werden als **Kopplungsgruppe** vererbt.

Ein weiterer wichtiger Beweis der Chromosomentheorie der Vererbung für die Lokalisation der Gene auf den Chromosomen in linearer Anordnung ist das Vorkommen des **Chromosomenstückeaustausches** (Abb. 104).

Während der Chiasmabildung in der Meiose (s. S. 146) kann es an den Bivalenten zu einem Austausch von Teilen der Chromatiden der homologen Chromosomen kommen. Auf der Abbildung 104 ist ein Bivalent mit einem Chiasma schematisch dargestellt. Die Anordnung der Gene der einen Chromatide, die in das Chiasma einbezogen ist, soll mit **ABCDEF** und im entsprechenden Teil der anderen Chromatide mit **abcdef** bezeichnet werden. Wenn nun die Chromatiden zwischen C und D und c und d ein Chiasma bilden, wird nach erfolgtem Austausch die Anordnung der Gene auf ihnen folgendermaßen verändert sein: **ABCdef** und **abcDEF**.

Mit diesem Austausch von Chromosomenstücken zwischen einem Paar homologer Chromosomen findet auch ein Austausch von Genen zwischen den beiden einander entsprechenden Kopplungsgruppen statt. Der Austausch zwischen bestimmten Genen erfolgt bei wiederholten Versuchen immer in einem bestimmten Prozentsatz. Dieser kann nach Rückkreuzung des  $F_1$ -Bastardes mit dem homozygot rezessiven Elter oder in der  $F_2$ -Generation an der Häufigkeit des Auftretens von Abweichungen von der erwarteten Spaltung ermittelt werden. Daraus ist zu schließen, daß der Austauschprozentsatz oder Austauschwert ein Maßstab für die Entfernung der Gene im Chromosom ist. Folgende Überlegung wurde dazu angestellt: Der Verklebungspunkt der homologen Chromosomen während der Chiasmabildung kann an irgendeiner Stelle der Chromosomen liegen. Der Zufall entscheidet über die Stelle, an der die Verklebung eintritt. An jedem Punkt des Chromosoms kann also mit gleicher Wahrscheinlichkeit eine Verklebung eintreten. Liegen zwei Gene auf dem Chromosom weit auseinander, wie beispielsweise A und F auf der Abbildung 104, so können zwischen ihnen mit größerer Wahrscheinlichkeit, also häufiger Verklebungen auftreten als zwischen B und E. In den seltensten Fällen wird eine Verklebung und damit ein Genaustausch auf dem Chromosomenstück zwischen C und D stattfinden. Dieser Fall ist in der Abbildung dargestellt. Wenn nun im Experiment gefunden wird, daß in einem hohen Prozentsatz von Fällen, beispielsweise bei 30%, ein Genaustausch zwischen den homologen Chromosomen bei der Keimzellenbildung eines Bastardes stattgefunden hat, so kann aus dem hohen Austauschwert geschlossen werden, daß die betreffenden Gene in ihrem Chromosom weit auseinanderliegen. Hat der Austausch in einem geringen Prozentsatz stattgefunden, so müssen die Gene im Chromosom entsprechend näher beieinanderliegen.

- 0,0 y gelb (K)
- 0,± Hw haariger Flügel (F)
- 0,+ sc Schild (B)
- 0,3 L-7 lethal-7
- 1,0 br breit (F)
- 1,0 pn pflaumenartig (A)
- 1,5 w weiß (A)
- 3,0 fa Facetten (A)
- 3,± N Kerbe (F)
- 4,5 A anomal (K)
- 5,5 ec stachelig (A)
- 6,9 bc gespaltet (F)
- 7,5 rō rubinfarbig (A)
- 13,7 cv querauerlos (F)
- 16,± cl Klumpflügel (F)
- 17,± d.x dellaartig (F)
- 20,0 ct abgeschnitten (F)
- 21,0 sn gesengt (B)
- 27,5 t gelbbraun (K)
- 27,7 lz Pille (A)
- 33,0 v zinnberrot (A)
- 36,1 m. minaturflügelig
- 36,2 dy düster (F)
- 38,± fw gefurcht (A)
- 43,0 s zobelfarben (K)
- 44,4 g granatfarben (A)
- 54,2 sl. kleinflügelig (F)
- 54,5 r rudimentär (F)
- 56,5 f gegabelt (B)
- 57,0 B bandförmig (A)
- 58,5 sy kleinäugig (A)
- 59,0 lu verschmolzen (F)
- 59,6 bx perlenartig (F)
- 62,0 M-n. Minuta-n. (B)
- 65,0 cf Spalt (F)
- 70,0 bb kurzborstig (B)

Solche Austauschwerte liefern keine absoluten Maßeinheiten, sie sind stets relativ. Die Gene, die im Experiment 5% Austausch zeigen, werden fünfmal so weit voneinander entfernt liegen als solche, die nur 1% Austausch haben.

Werden viele verschiedene Gene in Kopplungs- und Austauschversuchen analysiert, kann die lineare Reihenfolge der Gene auf dem Chromosom exakt ermittelt werden.

Bei der Fruchtfliege sind von etwa 1000 Genen die Austauschwerte in sorgfältigen Experimenten ermittelt worden. Auch beim Mais und dem Garten-Löwenmaul sind sie in großer Zahl bekannt. Die untersuchten Gene können entsprechend ihrem Austauschwert auf **Chromosomenkarten** eingetragen werden (Abb. 105). Um solche Chromosomenkarten mit der im Mikroskop sichtbaren Struktur der betreffenden Chromosomen (Abb. 95) in Übereinstimmung zu bringen, sind spezielle Untersuchungsmethoden entwickelt worden, die das Auftreten von Chromosomenstückverlusten an den Riesenchromosomen der Fruchtfliege zur Grundlage haben. In einzelnen Fällen konnte die Lage eines Gens auf den Bereich eines einzigen Chromomers zurückgeführt werden (Abb. 106).

Abb. 105 Karte der Genorte im 1. Chromosom (X-Chromosom) von *Drosophila melanogaster*. In Klammern die Organe, an denen sich die eingetragenen Gene äußern: A Augen, B Borsten, F Flügel, K Körper

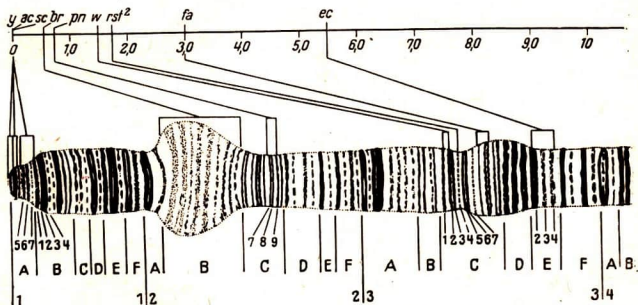


Abb. 106 Die Feinstruktur des linken Endes des X-Chromosoms aus der Speicheldrüse von *Drosophila melanogaster* (vgl. Abb. 95 und 105). Oben ein Stück der zehnfach vergrößerten Chromosomenkarte des X-Chromosoms mit den Symbolen der Gene in ihrer Lage, wie sie die Austauschexperimente ergeben. Die Linien von der Chromosomenkarte zum Chromosom zeigen, wo die Lokalisation der Gene an bestimmten Chromosomenabschnitten festgestellt wurde. Unten die Methode zur Markierung der einzelnen Chromomeren durch drei verschiedene Skalen.

## Die Vererbung des Geschlechts

Auf Seite 137 wurde schon darauf hingewiesen, daß bei einer Anzahl Arten wie beispielsweise beim Ringelwurm *Ophryotrocha puerilis* während der ontogenetischen Entwicklung oder durch die Einwirkung von Umweltfaktoren die Ausbildung zum männlichen oder weiblichen Geschlecht erfolgt. Bei dieser modifikatorischen Geschlechtsbestimmung wird das Verhältnis zwischen den Geschlechtern recht variabel sein. Es ist aber bekannt, daß bei den meisten getrenntgeschlechtlichen Organismen, den Menschen eingeschlossen, mit mehr oder weniger großer Genauigkeit immer wieder 50% männliche und 50% weibliche Individuen unter den Nachkommen auftreten. Die Ursache für diese Regelmäßigkeit ist bei den Experimenten mit der Fruchtfliege sehr genau erkannt worden. Bei der mikroskopischen Betrachtung der Chromosomen weiblicher Fliegen wurde festgestellt, daß sie ein besonderes Chromosomenpaar haben, die X-Chromosomen. Die Männchen haben nur ein X-Chromosom und das bei den Weibchen nicht vorkommende Y-Chromosom (Abb. 107). Bei den Männchen ergibt sich die Konstitution XY und bei den Weibchen XX. In der Meiose bilden die beiden X-Chromosomen der Weibchen ein Paar, und jede Eizelle wird daher ein X-Chromosom enthalten. Beim Männchen paaren sich trotz ihrer Verschiedenheit das X- und Y-Chromosom in der Meiose, da ein Teil des Y-Chromosoms mit dem X-Chromosom homolog ist. Diese Paarung führt zur Bildung von 2 verschiedenen Sorten Spermien, teils solche mit einem X-Chromosom, teils solche mit einem Y-Chromosom im Verhältnis 1:1. Die Eier des Weibchens, die alle ein X-Chromosom enthalten, können mit gleich großer Wahrscheinlichkeit entweder mit einem Spermium mit X- oder einem mit Y-Chromosom befruchtet werden. X + X ergibt wieder ein Weibchen (XX) und X + Y ein Männchen (XY), wie es die Abbildung 107 veranschaulicht.

Die Bestimmung des Geschlechts erfolgt also bei den meisten getrenntgeschlechtlichen Organismen – auch beim Menschen – bereits in der Zygote durch auf den Geschlechtschromosomen lokalisierte Erbanlagen. Dieser XX – XY – Mechanismus, der die genotypische Geschlechtsbestimmung regelt, kann bei einer Anzahl Tieren wie beispielsweise bei den Schmetterlingen und Vögeln in umgekehrter Weise verlaufen.

Hier bilden die weiblichen Tiere zwei verschiedene Sorten Eizellen aus und die männlichen Tiere nur eine Sorte Spermien.

Bei Tieren und zweihäusigen Pflanzen kommen von dem theoretisch zu erwartenden Verhältnis der Geschlechter 1:1 mitunter Abweichungen vor. Diese kommen dadurch zustande, daß beispielsweise die Bewegungsgeschwindigkeiten der beiden männlichen Gametensorten zum Ei verschieden sein

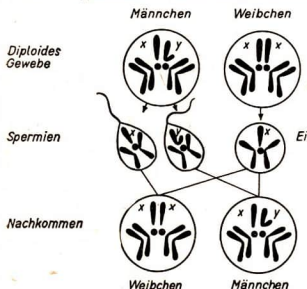


Abb. 107 Die Geschlechtsbestimmung nach dem XX-XY-Mechanismus bei *Drosophila melanogaster*

können oder eine erhöhte Sterblichkeit eines Geschlechts in bestimmten Entwicklungsstadien vorliegt.

Auf den X-Chromosomen sind außer den geschlechtsbestimmenden Erbanlagen noch andere lokalisiert, die zur Ausbildung andersartiger Merkmale führen. Da die Y-Chromosomen meist keine oder nur wenige Gene enthalten, kommt es für die **geschlechtsgekoppelten**, d.h. für die im X-Chromosom gelegenen Gene zu bedeutenden Abweichungen vom einfachen Mendelschema. Die Voraussetzung für eine normale Spaltung, daß die miteinander gekreuzten Elternrassen oder -sorten in allen Merkmalspaaren homozygot sind, ist hier nicht verwirklicht. Es kommt daher zu einer **geschlechtsgebundenen Vererbung**, wofür bei Pflanzen, Tieren und Menschen zahlreiche gut analysierte Beispiele angeführt werden können. Die rezessiven Erbanlagen für Rot-Grün-Farbenblindheit und Bluterkrankheit beim Menschen liegen beispielsweise auf den X-Chromosomen. Auch das Y-Chromosom scheint beim Menschen ein Segment zu besitzen, dessen Gene vom Vater nur auf die männlichen Nachkommen vererbt werden, da die weiblichen niemals Träger von Y-Chromosomen sind. Das konnte man aus dem Erbgang einer harmlosen Mißbildung schließen, dem Zusammenwachsen von Zehen. Bei den Nachkommen einer normalen Frau und eines mißgebildeten Mannes hatten nur die Söhne zusammengewachsene Zehen, die Töchter waren normal. Bei den Kindern der Töchter trat dieses Merkmal niemals wieder auf, während unter den Nachkommen der Söhne immer wieder die männlichen zusammengewachsene Zehen hatten.

#### Natürliche und experimentelle Veränderung der Erbanlagen

In den vorhergehenden Abschnitten ist klargestellt worden, daß alle Organismen sehr viele als Gene bezeichnete Erbanlagen besitzen, die die Ausbildung der vielfältigen Gestalts- und Leistungsmerkmale bewirken. Ferner ist erwiesen, daß diese zur identischen Reproduktion fähigen Gene in den Chromosomen des Zellkerns linear angeordnet sind und daß sie voneinander getrennt und rekombiniert werden können. Wenn sich also die Partner einer Kreuzung in mehreren Genpaaren voneinander unterscheiden, so treten in der  $F_2$ -Generation Neukombinationen der Gene auf, die das Erscheinen von Merkmalen beider Elternrassen oder -arten auf einem Individuum bewirken. Eine auf diese Weise neugezüchtete Rasse oder Sorte ist aber nur neu im Hinblick auf die Kombination der schon bei den Eltern vorhanden gewesenen Merkmale.

Den Botanikern und Zoologen und besonders Tier- und Pflanzenzüchtern ist jedoch seit langem bekannt, daß bei der Evolution der Organismen oder bei dem Zustandekommen züchterischer Fortschritte bei Haustieren und Kulturpflanzen die Neukombination von Erbanlagen nicht die entscheidende Rolle gespielt hat. In reinen Linien von Haustierassen und Kulturpflanzensorten und natürlich auch unter allen Wildtieren und Wildpflanzen treten bei einzelnen Individuen relativ selten an bestimmten Merkmalen Veränderungen auf, die sich bei der Weiterzucht als erblich erweisen (Abb. 108 und 109). Solche Veränderungen werden **Mutationen** und die Individuen mit **mutierten Merkmalen Mutanten** genannt.



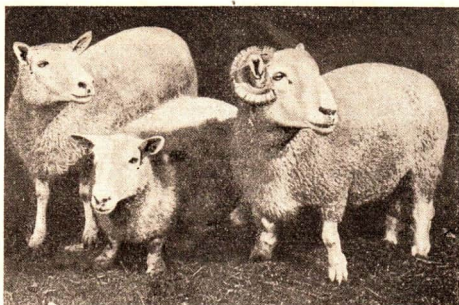


Abb. 108 Die Ancon-Mutation beim Schaf. Links Mutterschaf mit normalen Beinen; Mitte und rechts Mutterschaf und Schafbock mit stark verkürzten Beinen (Dackelschaf)

Wegen der großen Bedeutung des spontanen Auftretens von Mutationen für die Erklärung der Evolution der Organismen und für die praktische Tier- und Pflanzenzüchtung haben sich viele Vererbungsforscher um die Aufklärung des Mutationsvorganges bemüht. Folgende Mutationstypen sind erkannt worden: Genommutationen, Genmutationen, Chromosomenmutationen:

**Genommutationen.** Unter **Genommutationen** versteht man diejenigen Veränderungen des Erbanlagenbestandes, bei denen die einzelnen Chromosomen selbst unverändert bleiben, aber in unterschiedlicher, entweder vermehrter oder verminderter Anzahl auf neu gebildete Zellkerne verteilt werden. Die Vorgänge, die der Entstehung von Genommutationen zugrunde liegen, sind Anomalien des Spindelmechanismus und



Abb. 109 Blütenstände der Nachtkerze (*Oenothera Lamarckiana*) (a) und der Gigas-Mutante (b). Die Gigas-Mutante hat größere Blüten und einen größeren Sproß als die normale Art, aus der sie entstanden ist.

der Chromosomenbewegungen sowohl in der Mitose als auch in der Meiose. Ist beispielsweise die Spindelbildung oder die Spindelfunktion in der Mitose eines diploiden Zellkerns mit 4 Chromosomen so stark gestört, daß die Chromosomen nicht auf zwei Gruppen verteilt werden, sondern daß die längsgespaltenen und in Tochterchromosomen getrennten Chromosomen in einem Kernraum verbleiben, dann ergibt sich ein Kern mit 8 Chromosomen. Dieser Zellkern enthält dann 4 Genome und kann, nachdem der Spindelmechanismus wieder normal verläuft, zur Entwicklung eines **tetraploiden** Organismus führen.

Wenn die Spindelfunktion bei dem gleichen diploid 4chromosomigen Organismus während der Meiose in der ersten Teilung ausfällt und die in 2 Paaren angeordneten 4 Chromosomen anstatt in 2 Tochterkernen in einem Kernraum eingeschlossen sind, dann werden in der zweiten meiotischen Teilung statt 2 längsgespaltenen Chromosomen die Längshälften von 4 Chromosomen zu den Polen bewegt. Damit ist einer der wesentlichsten Vorgänge der Meiose, die Herabsetzung der Chromosomenzahl auf die Hälfte, unterblieben. Aus diesem anomalen Ablauf gehen Keimzellen (unreduzierte Gameten) mit je 4 Chromosomen hervor. Verschmelzen diese mit einer normalen haploiden Keimzelle zur Zygote mit  $4 + 2 = 6$  Chromosomen, so enthält der sich daraus entwickelnde Organismus 3 Genome und wird deshalb als **triploid** bezeichnet.

Solche bei den Kernteilungen vorkommenden Anomalien können bei Wiederholung zur Vermehrung eines Genoms um das 6-, 7- und 8fache führen. Alle Formen, die gegenüber der diploiden Ausgangszahl eine um ganze Genome vermehrte Chromosomenzahl besitzen, sind **polyploid**.

Im Tierreich kommen **Polyplioide** nur selten vor. Bei vielen Gattungen höherer Pflanzen sind dagegen ganze Reihen polyploider Formen gefunden worden, die sich auf eine Grundzahl zurückführen lassen. Beispielsweise ist die Grundzahl, der Gattung *Chrysanthemum* 9, und es gibt verschiedene Arten und Bastarde mit allen Vielfachen der Zahl 9 von 18 bis 90 (18, 27, 36, 45 usw.).

Bei der Entstehung der Kulturpflanzen hat die Polyploidie ebenfalls eine Rolle gespielt. Beim Weizen (*Triticum*) besitzt unser Saatweizen *Triticum aestivum* mit 42 Chromosomen das höchste Vielfache der polyploiden Serie. Der Emmerweizen, *Triticum dicoccum*, besitzt 28 Chromosomen und der Einkornweizen, *Triticum mono-*

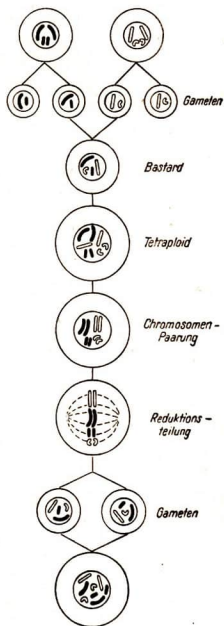


Abb. 110 Schema des Verhaltens der Chromosomen nach Kreuzung zweier diploider Eltern mit unterschiedlichen Chromosomen. Nach Polyploidisierung des sterilen Bastards kann eine tetraploide fertile Form mit paarungsfähigen Chromosomen entstehen (Allopolyploidie).

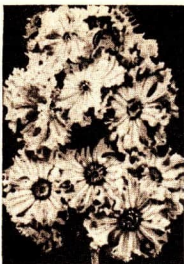


Abb. 111 Oben Blütenstand einer tetraploiden Zuchtsorte der Fliederprimele (*Primula malacoides*); unten diploider Blütenstand

*coccum*, der heute als Kulturpflanze keine Bedeutung mehr hat, enthält nur 14 Chromosomen. Die Glieder einer polyploiden Serie mit der höchsten Chromosomenzahl sind gewöhnlich auch am wertvollsten als Kulturpflanzen. Außer Weizen sind Hafer, Kartoffel, Tabak, Weißklee, Luzerne, Lieschgras und Knäuelgras u. a. als polyploide Kulturpflanzen bekannt. Auch unter den Obstgehölzen und Zierpflanzen ist die Polyloidie häufig.

Bei der Entstehung von polyploiden Formen hat auch die Bastardierung eine wesentliche Rolle gespielt. Kommt es beispielsweise durch die Kreuzung zweier Arten mit je 4 Chromosomen (Abb. 110) zur Vereinigung zweier verschiedener Genome, so können konstante Bastarde entstehen, wenn die Zelle vom diploiden in den tetraploiden Zustand übergeht (Allopolyloidie).

Tetraploide Pflanzen sind häufig an einem kräftigen und höheren Wuchs erkennbar, d. h., Stengel, Blätter, Blüten und Samen sind gegenüber der Ausgangsrasse vergrößert (Abb. 111). Dies beruht in erster Linie darauf, daß die Zellen der Tetraploiden bedeutend größer sind. Es gibt sowohl einen Zusammenhang zwischen der Chromosomenzahl und der Größe des Zellkerns, als auch zwischen der Zellkerngröße und den Zelldimensionen (Abb. 112). Das physiologische Verhalten polyploider Formen ist oft verändert. So kann eine Abnahme der osmotischen Werte (Verringerung der Frosthärte) oder Änderungen im quantitativen Gehalt von Zellinhaltsstoffen (Proteine, Chlorophyll, Vitamine, Alkaloide u. a.) festgestellt werden.

Die Zahl der verhältnismäßig selten spontan entstehenden Polypliden läßt sich durch experimentelle Eingriffe

wesentlich erhöhen. Zunächst wurde gefunden, daß durch Temperaturschocks (z. B. 5°/25°C) bei höheren Pflanzen die Spindelfunktion während der Meiose nachhaltig gestört werden kann. Später entdeckte man, daß auch das Colchizin, ein Alkaloid der Herbstzeitlose (*Colchicum autumnale*), außerordentlich wirksam ist. Bei geeigneter Konzentration (0,01 bis 1%ige Lösung) kann es nach Einwirkung auf wachsende Sproßspitzen oder keimende Samen die Spindelfunktion in der Mitose ausschalten, ohne die Chromosomen zu verändern. Dadurch werden in einigen Fällen so zahlreiche Mitosen polyploid, daß entweder der heranwachsende Sproß oder der Keimling nur aus tetraploiden Zellen besteht und als Genommutation erkennbar wird. In anderen Fällen kommt es zu Chimären-Bildungen, bei denen bestimmte Teile des Sprosses oder der Wurzel tetraploid sind, andere dagegen diploid bleiben. Die an Kulturpflanzen experimentell hergestellten Polypliden sind in den seltensten Fällen normal fertil und

als neue Sorten zu verwenden. Sie sind aber ein wichtiges „Rohmaterial“ der Züchter, die mittels Selektion und Kombination leistungsfähigere Sorten daraus entwickeln.

Da Genommutationen in erster Linie Veränderungen der vegetativen Organe bewirken, sind bestimmte Futterpflanzen, Gemüsearten und Zierpflanzen besonders ausichtsreiche Objekte zur züchterischen Verbesserung durch Polyploidisierung.

**Chromosomenmutationen.** Voraussetzung für das Entstehen einer Chromosomenmutation ist das Auftreten von einem oder mehreren Brüchen in einem Chromosom oder von gleichzeitigen Brüchen verschiedener Chromosomen im Zellkern. Dabei bleibt in der Regel im Gegensatz zu den Genommutationen die für die betreffende Art charakteristische Chromosomenzahl konstant.

Es treten lediglich Abänderungen der normalen linearen Anordnung oder Verluste der Erbanlagen auf den Chromosomen ein, die im mikroskopisch sichtbaren Bereich liegen. Auf der Abbildung 113 sind die möglichen Vorgänge des Entstehens verschiedener Chromosomenmutationen schematisch dargestellt. Im einfachsten Falle können in einem Chromosom ein oder zwei Brüche auftreten, die wieder zum alten Zustand verheilen und nach der Restitution von ungebroschenen Chromosomen nicht zu unterscheiden sind. Dann können Brüche zu den relativ häufigen Bruchstückverlusten oder **Deletionen** führen, womit Verluste der auf diesem Bruchstück lokalisierten Erbanlagen verbunden sind; denn das im Gefolge einer Deletion gebildete azentrische Chromosom geht im Verlaufe weiterer Zellteilungen verloren, da ihm das Zentromer, die Ansatzstelle für die Spindelfaser, fehlt.

In der **Inversion** erfolgt nach doppeltem Bruch eine Umkehrung eines Chromosomenstücks, mit welchem weder eine Störung des Mitoseablaufes noch ein Stückverlust verbunden ist. Die Weitergabe inversionsgeschädigter Zellen von Generation zu Generation ist leichter möglich als bei Deletionen.

Schließlich können Brüche in zwei Chromosomen zu nicht lebensfähigen dizentrischen und azentrischen Chromosomen führen, und es kann auch eine Bruchstückverlagerung,



Abb. 112 Vergrößertes Blattgewebe von Moospflanzen. Oben die Zellen mit der normalen Chromosomenzahl und nach unten die Zellen mit 2-, 3- und 4-facher Chromosomenzahl

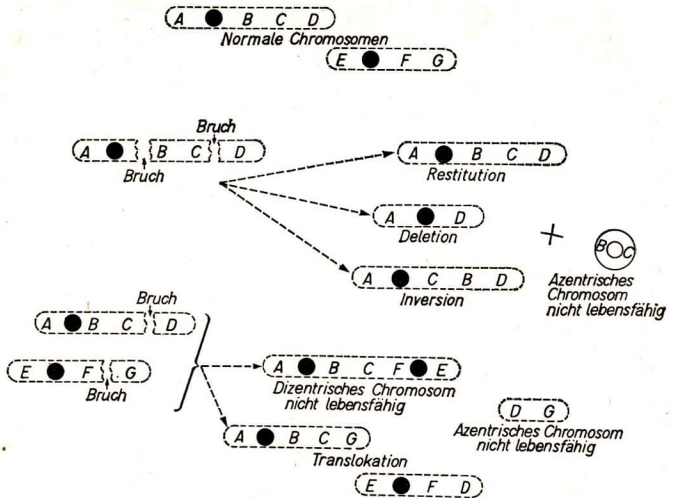


Abb. 113 Die Entstehung der verschiedenen Chromosomenmutationen durch Chromosomenbrüche. Die Zentromere sind als schwarze Punkte gekennzeichnet.

eine **Translokation**, von einem Chromosom in das andere stattfinden. Diese Translokationen können, wie in Abb. 113 dargestellt, wechselseitig oder auch nur einseitig sein.

Alle diese Chromosomenmutationen sind mikroskopisch an den Riesenchromosomen der Dipteren beobachtet worden. Auch bei höheren Pflanzen, besonders bei der Ackerbohne (*Vicia faba*) mit diploid 12 Chromosomen, ist die Entstehung der Chromosomenmutationen in den Mitosen der Wurzelspitzen genau untersucht worden.

Es wurde schon darauf hingewiesen, daß azentrische Chromosomen, die auch als **Fragmente** bezeichnet werden, nach ihrem Entstehen durch die folgenden Zellteilungen schnell eliminiert werden. Das gilt auch zu einem großen Teil für die übrigen Chromosomenmutationen, bei denen Rekombinationen oder Stückverluste vorgekommen sind. Der Anteil der während der Ontogenese ausfallenden und nicht die folgende Generation erreichenden Chromosomenmutationen muß mit mindestens 90% angenommen werden. Dabei wirken zwei „Filter“. Schon in der Mitose werden während des Wachstums nach wenigen Zellgenerationen die meisten von Chromosomenmutationen betroffenen Zellen eliminiert und in der Meiose wird noch ein großer Teil anderer Chromosomenmutationen ausgeschaltet, die die Mitose ohne Störung durchlaufen

haben. Die größte Wahrscheinlichkeit, auf die nächste Generation übertragen zu werden, die Filterwirkung von Mitose und Meiose zu überstehen, haben Inversionen und wechselseitige Translokationen. Dann erst folgen kleinere Deletionen.

Da das spontane Auftreten und die experimentelle Erzeugung von Chromosomenmutationen in enger Beziehung zu den im folgenden Abschnitt behandelten Genmutationen steht, soll dort darüber berichtet werden.

**Genmutationen.** Unter den **Genmutationen** oder **Punktmutationen** versteht man alle diejenigen erblichen Veränderungen, die sich monogen vererben und auf den Chromosomen keine Strukturveränderungen erkennen lassen. Bei der Fruchtfliege, dem am besten untersuchten zoologischen Objekt, sind über 1000 verschiedene Mutationen bekannt, beim Garten-Löwenmaul (*Antirrhinum majus*), dem Mais und der Gerste kennt man je Art mehrere hundert. Auch bei Bakteriophagen, Bakterien und niederen Pilzen sind in den letzten Jahren viele sehr interessante Mutationen gefunden worden.

Durch eine Mutation können alle möglichen Gestalts- und Leistungsmerkmale eines Organismus verändert werden. Das **Mutationspektrum** der bisher untersuchten Pflanzen und Tiere umfaßt Mutationen, die zum zeitigen Tod der Mutanten führen (letale Mutationen) oder solchen, die noch eine begrenzte Zeit leben können (subletale Mutationen). Von diesen letalen und subletalen Mutationen finden sich lückenlos

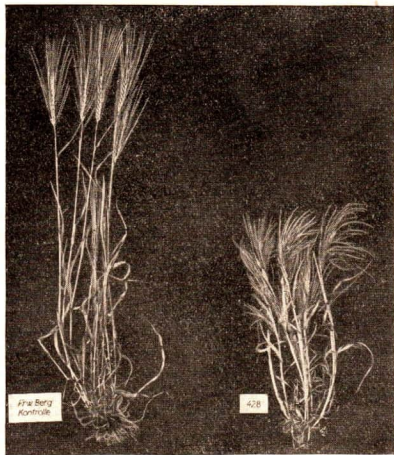


Abb. 114

Normale Gerstenpflanze (links) und Zwergmutante mit verringerter Vitalität (rechts)

gleitende Übergänge zu Mutanten mit normaler und sogar gesteigerter Vitalität. Wenn man den Normaltyp als Produkt einer langandauernden Einwirkung der Auslese betrachtet, so ist leicht verständlich, daß Veränderungen an einem solch gut ausbalancierten Genotyp in der Mehrzahl der Fälle zu einer Verschlechterung der Vitalität führen (Abb. 114).

Das spontane Auftreten von Mutationen, das man gut bei reingezüchteten selbstbefruchtenden Pflanzen und auch bei der Fruchtfliege beobachten kann, ist ein relativ seltenes Ereignis. Unter 10 000 Pflanzen eines Gerstenfeldes wird man kurz nach der Keimung nur etwa eine Pflanze finden, die nicht normal grün, sondern weiß, gelb oder hellgrün ist. Bei der Prüfung des Erbganges solcher meist nicht lebensfähigen Chlorophyllmutationen ergibt sich, daß die Mutation rezessiv gegenüber den normalgrünen Pflanzen vererbt wird. Das trifft für die meisten Genmutationen zu. In diploiden Zellen mutieren die Allele eines Genpaares unabhängig voneinander, d.h., eine Mutation stellt einen heterozygoten Zustand her. Liegt eine rezessive Mutation vor, so kann sie erst nach Selbstung der mutierten Pflanzen homozygot und bei einem Viertel der Nachkommen (Spaltung 3:1) phänotypisch erkannt werden. Dominante Mutationen treten selten auf. Sie sind häufig als Rückmutationen vom rezessiven Allel eines Gens zum normalen oder Wildtyp der Ausgangsrassen aufgefaßt worden. Es hat sich aber gezeigt, daß die Rückkehr zum Phänotypus der Ausgangsrasse auch auf der Mutation eines anderen Gens beruhen kann.

Die Häufigkeit des Auftretens von Mutationen bestimmter Gene ist verschieden. Es sind sehr „labile“ Gene bekannt, deren Mutationsrate über 1% beträgt. Im allgemeinen schwankt die Mutationsrate zwischen 0,00005 und 0,005% der Gameten.

Als im Jahre 1927 von den amerikanischen Genetikern MULLER und STADLER unabhängig voneinander bei der Fruchtfliege und beim Mais die Entdeckung gemacht wurde, daß nach Röntgenbestrahlung die Mutationsrate bei diesen Objekten um das 50- bis 100fache und mehr erhöht werden kann, erlebte die Mutationsforschung einen großen Aufschwung. Ein wichtiges Ergebnis dieser Arbeiten war die Feststellung, daß die experimentell erzeugten Mutationen von der gleichen Art wie die spontanen waren. Durch genetische Kontrollversuche erwiesen sich die induzierten Mutationen den spontanen identisch. Die induzierten Mutationen traten ferner genauso zufällig über sämtliche Chromosomen verstreut auf wie die spontanen, ohne daß eine bestimmte Richtung, d.h. eine Spezifität der Mutationen nach Röntgenbestrahlung, erkennbar wurde. Diese Beobachtungen führten zunächst zu der Annahme, daß die natürlichen Strahlenquellen, die kosmische Strahlung, die Erdstrahlung und die Strahlung innerhalb der Organismen die Ursachen der spontanen Mutabilität sind. Berechnungen ergaben jedoch, daß die natürlichen Strahlenquellen, die auf die Organismen im Verlaufe ihrer Entwicklung bis zur Fortpflanzung einwirken, nur zu einem Teil Ursache der spontanen Mutationshäufigkeit sein können. Andere, innere und äußere Bedingungen sind an der Auslösung weiterer Mutationen beteiligt.

Zwischen der Bestrahlungsmenge (Dosis), gemessen in Röntgeneinheiten ( $r$ ) und der Mutationshäufigkeit ist nach Untersuchungen an so verschiedenen Objekten wie Fruchtfliegen, Mäusen, Bakterien und Pflanzen ein linearer Zusammenhang gefunden

worden (Abb. 115). Dies bedeutet eine einfache Proportionalität, da beispielsweise 2000 r 5%, 4000 r 10% und 6000 r 16% Letalmutationen im X-Chromosom der Fruchtfliege hervorrufen. Die Mutationsrate ist natürlich nur in einem bestimmten für die Organismen oder Zellen biologisch tragbaren Bereich der Dosis proportional. Bei zu hohen Strahlendosen, die den Organismus stark schädigen, erhält man weniger Mutationen, als der Proportionalität entsprechen würde. Der lineare Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Genmutationen und einfachen Chromosomenfragmentationen (Chromosomenbrüchen) und der Strahlendosis hat zunächst zu der Annahme geführt, daß diese Veränderungen am genetischen Material auf „Treffern“ der energiereichen Röntgen-, Gamma- oder Neutronenstrahlen beruhen, die zu einer direkten chemischen Veränderung der Gene im molekularen Bereich beziehungsweise zu Brüchen der Chromosomen führen.

Die Wirkungen der elektromagnetischen Röntgen- und Gammastrahlen und der korpuskularen Neutronenstrahlen beruhen darauf, daß sie bei der Absorption in den Zellen Ionisationen auslösen. Treffen derartige Strahlen auf Atome, dann wird die Elektronenhülle der Atome beispielsweise dadurch verändert, daß Elektronen aus dieser Hülle herausgeschleudert werden. Das elektrisch neutrale Atom wird dadurch elektrisch geladen, es wird ionisiert und ist dann besonders reaktionsfähig.

Die aus dem Atomverband herausgeschleuderten Elektronen können, sofern sie eine ausreichende Energie mitbekommen haben, ihrerseits neue Ionisationen auslösen, so daß es in der Zelle zu primären und sekundären Ionisationen kommen kann.

Bei der Bestrahlung von Bakterien, Pflanzen und Samen oder tierischem Gewebe, das Gameten bildet oder enthält, finden solche Ionisationen nicht nur in den DNS-haltigen, sondern in allen Strukturen der Zelle statt. Die Ionisationen können chemische Veränderungen hervorrufen, die über Reaktionsketten sekundär zu Genmutationen führen können. Über die einzelnen Reaktionsschritte solcher Reaktionsketten sind unsere Kenntnisse noch sehr lückenhaft.

Durch die Arbeiten des deutschen Botanikers OEHLKERS und der englischen Zoologin AUERBACH ist schon vor über zwei Jahrzehnten nachgewiesen worden, daß auch chemische Verbindungen bei Pflanzen und Tieren Mutationen auslösen können. Zunächst wurden Methan und solche Stickstoff-Verbindungen wie 2,2-Dichlor-diäthylmethylamin als mutagene Substanzen erkannt. In den folgenden Jahren sind mehrere hundert Verbindungen, anorganische und organische, auf ihre

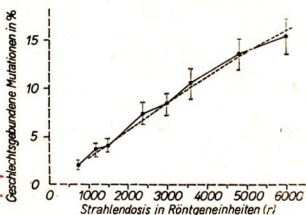
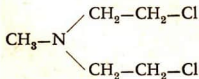


Abb. 115 Proportionalität zwischen der Häufigkeit geschlechtsgebundener Mutationen bei *Drosophila melanogaster* und der Dosis in Röntgeneinheiten (r). Gestrichelte Linie = ideale Kurve. Die begrenzten senkrechten Linien geben die Streuung der Versuchsergebnisse um den eingezeichneten Mittelwert an.



2,2-Dichlor-diäthylmethylamin



mutationsauslösende Wirkung bei den verschiedensten Objekten untersucht worden. Viele haben sich, den ionisierenden Strahlen ähnlich, als mutagene Agenzien erwiesen. Man bezeichnet solche Substanzen deshalb als **Radiomimetika** und ihre Wirkung als **radiomimetisch**.

Bestimmte alkylierende Substanzen (N-Loste, Butylätherderivate, Epoxide, Äthylendimine und Methylsulfonsäureester) sind biologisch besonders wirksam. Diese stark reaktionsfähigen Verbindungen können auf andere Moleküle oder Atome Alkylgruppen ( $C_nH_{2n+1}$ ) übertragen. Bei den Reaktionen der alkylierenden Agenzien mit den Basen der DNS (s. S. 187) kann es zu deutlichen Änderungen der physiko-chemischen Eigenschaften der DNS kommen und Gen- und Chromosomenmutationen die Folge sein. Bei zytologischen Untersuchungen an Zellen wachsender Wurzelspitzen der Ackerbohne (*Vicia faba*) konnte festgestellt werden, daß die höchste Empfindlichkeit der Chromosomen gegenüber den alkylierenden Substanzen in der frühen und mittleren Interphase der mitotischen Zellteilungen liegt, in der nachweislich DNS-Synthese (s. S. 185) und Chromosomenverdopplung stattfindet. Daher ist es sehr wahrscheinlich, daß die alkylierenden Substanzen primär mit den Nukleinsäuren der Zellen reagieren, wobei es zu „Synthesefehlern“ und schließlich zu Mutationen kommen kann.

Während für das Entstehen von Genmutationen bei Bakterien schon Modellvorstellungen (s. S. 187) entwickelt wurden, sind die Einzelprozesse, die zu Chromosomenbrüchen führen, noch weitgehend unbekannt.

Die mutagen wirkenden chemischen Verbindungen kommen in der normalen Umwelt der Organismen nur sehr selten vor. In den Kulturländern, besonders in der Umwelt des Menschen, können dagegen bestimmte Heilmittel, Farbzusätze zu Getränken oder Lebensmitteln, Konservierungsmittel (Formaldehyd) oder Bekämpfungsmittel gegen Insekten und Unkraut in der Landwirtschaft mehr oder weniger stark mutationsauslösend wirken.

Es ist auch festgestellt worden, daß das Alter, das Entwicklungsstadium und die Wachstumsphase eines Organismus Einfluß auf die Mutationshäufigkeit haben.

Auch vom Normalen abweichende Wachstumsbedingungen führen im Stoffwechsel der Organismen in manchen Fällen zur Bildung von Stoffen, die mutationsauslösend wirken und die spontane Mutationsrate erhöhen.

Es kann zusammenfassend festgestellt werden: Genom-, Chromosomen- und Genmutationen können durch äußere und innere Faktoren spontan entstehen und in stark erhöhter Anzahl durch chemische Substanzen und Strahlen induziert werden. Sie können in den Kernen von Körperzellen und in den Kernen von Keimzellen entstehen. Bei den Tieren werden nur Mutationen der Geschlechtszellen und ihrer Vorläufer auf die Nachkommen vererbt. Bei einzelligen Organismen und Pflanzen führen auch Mutationen der Körperzellen zu erblich veränderten Individuen, entweder durch vegetative Vermehrung mutierter Zellen oder Pflanzenteile oder dadurch, daß mutierte Zellen während des Wachstums zum Ausgangspunkt der Bildung generativen Gewebes und damit der Bildung von Keimzellen werden. Alle von Genen bewirkten Gestalts- und Leistungsmerkmale können durch Mutationen verändert werden. Sowohl die spontanen als auch die induzierten Mutationen sind zufälliger, das heißt ungerichteter Natur. Die

Veränderungen stehen in keiner erkennbaren Beziehung zu bestimmten Umweltbedingungen. Die weitaus größte Anzahl der Mutationen führt zum Tod oder zu verringertem Vitalität der Organismen. Nur wenige unter Tausenden bewirken unter den gegebenen Umweltbedingungen zufällig eine gesteigerte Vitalität gegenüber der Ausgangsform: Solche Mutationen spielen eine wichtige Rolle in der Evolution und bei der Entstehung und Züchtung von Kulturpflanzen und Haustieren.

Die den Chromosomen- und Genmutationen zugrunde liegenden Einzelprozesse, von der Einwirkung des mutationsauslösenden Agens (Strahlen oder Chemikalien) bis zur mikroskopisch oder genetisch faßbaren Veränderung der Chromosomen und Gene, sind nur lückenhaft bekannt. Es wurden direkte und auch indirekte Wirkungsmechanismen erkannt, die nebeneinander vorkommen. Sie sind Ansatzpunkte für weitere experimentelle Forschungen.

Wegen der außerordentlich großen Bedeutung der Mutationen für das Verständnis der Evolution, für die Tier- und Pflanzenzüchtung und die Medizin, wird an der Aufklärung der komplizierten, dem Mutationsvorgang zugrunde liegenden biophysikalischen und biochemischen Einzelprozesse in vielen Laboratorien der Welt intensiv gearbeitet.

#### Der Anteil des Zytoplasmas am Vererbungsgeschehen

Die bisherigen Betrachtungen haben die dominierende Rolle der Chromosomen als Träger von Erbanlagen erkennen lassen. Dabei darf nicht übersehen werden, daß alle Merkmalsbildungen während der Entwicklung eines Organismus als Reaktionen auf äußere und innere Bedingungen, von den Erbanlagen gesteuert, im Zytoplasma vollzogen werden. Ein Zellkern ist ohne Zytoplasma nicht lebensfähig, im Zytoplasma können die lebenswichtigen Prozesse ohne die steuernde Funktion der Gene nicht ablaufen. Die Zelle ist die kleinste funktionstüchtige Lebenseinheit und die Wechselwirkung zwischen dem Zytoplasma, seinen Partikeln und dem Zellkern ermöglichen erst die Differenzierungen der Gewebe und Organe und die Bildung der vielen Naturstoffe.

Schon bald nach der Wiederentdeckung der MENDELSchen Gesetze führten verschiedene Beobachtungen zu der Erkenntnis, daß der Zellkern nicht allein das Vererbungsgeschehen bestimmt, sondern daß es durch die Zellbestandteile außerhalb des Kerns mitbestimmt oder beeinflußt werden kann.

**Plasmapartikel als Erbrträger.** Bei den grünen Pflanzen sind die Plastiden Bestandteile des Plasmas, die sich nur durch Teilung vermehren und nie neu gebildet werden. In ihnen wird der für den Ablauf der Photosynthese so wichtige grüne Farbstoff, das Chlorophyll, synthetisiert. Die Fähigkeit zur Chlorophyllbildung ist normalerweise von Genen abhängig, die diese Eigenschaft nach den MENDELSchen Gesetzen vererben. Bei gescheckten Pflanzen, die grüne und weiße Gewebepartien auf den Blättern und Stengeln nebeneinander bilden, wie beispielsweise bei vielen Zierpflanzen, kann es vorkommen, daß die Eigenschaft der Scheckung rein mütterlich vererbt wird. Der deutsche Botaniker CORRENS hat solch einen Fall bei der Wunderblume (*Mirabilis jalapa*)

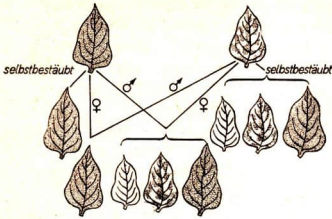


Abb. 116 Mütterliche Vererbung der weißgrün gescheckten (panaschierten) Blätter bei *Mirabilis jalapa*

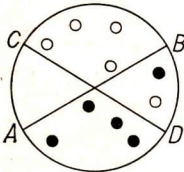


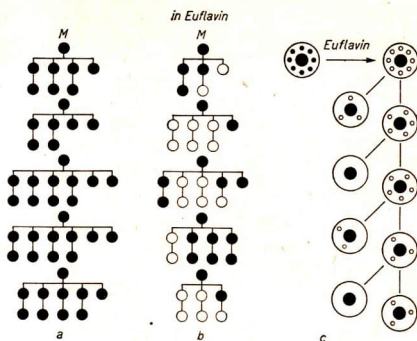
Abb. 117 Schema der zufälligen Verteilung weißer und grüner Plastiden bei der Zellteilung. Wenn die neue Zellwand längs der Linie A—B gebildet wird, erhält die eine Zelle ausschließlich weiße Plastiden, die andere sowohl weiße wie grüne. Wenn die Zellwand längs der Linie C—D gebildet wird, erhält die eine Zelle nur grüne Plastiden, die andere eine Mischung von weißen und grünen.

deren Arten gefunden worden. In den Grenzgebieten der weißen und grünen Gewebepartien kommen häufig Mischzellen vor, in denen normale Plastiden und abgeänderte Plastiden in einer Zelle vorliegen. Das Vorkommen von Mischzellen ist ein Beweis für die genetische Selbständigkeit der Plastiden, denn sowohl bei der Wirkung von Kerngenen als auch bei der Wirkung der übrigen Plasmakomponenten müßte die Ausbildung der Plastiden in einer Zelle gleichmäßig sein. Die Plastiden enthalten nicht nur Erbanlagen, die die eigene Struktur und Funktion betreffen. Bei bestimmten Formen der Nachtkerze konnte nachgewiesen werden, daß die Stengellänge der Pflanzen oder die typische Form des Blattrandes beeinflußt werden können. Über die Natur und den Verteilungsmechanismus der selbständigen Erbfaktoren in den Plastiden ist noch nichts Sicheres bekannt. Die Chloroplasten bestehen aus Lamellensystemen, sie enthalten DNS und RNS, deren genetische Funktionen bisher nicht nachgewiesen werden konnten. Die Gesamtheit der in den Plastiden enthaltenen Erbanlagen werden als **Plastom** und konstant vererbende Veränderungen als **Plastommutationen** bezeichnet.

untersucht. Nach der Kreuzung einer normalgrünen Pflanze (Mutter) mit einer gescheckten Pflanze (Vater) erweisen sich die Nachkommen in  $F_1$ ,  $F_2$  usw. immer als normalgrün (Abb. 116). Ist bei der reziproken Kreuzung die gescheckte Pflanze die Mutter, so spalten die Nachkommen in wechselnden Anteilen in normalgrüne, gescheckte und ganz weiße Pflanzen auf. Die weißen Pflanzen sterben schon als Keimpflanzen ab. Dieses Erbverhalten ist durch die genetisch selbständigen, zur Ergrünung unfähigen Plastiden zu erklären, die nur vom Plasma der Eizelle geliefert werden. Die männlichen Keimzellen bringen bei der Befruchtung außer dem Zellkern nur Spuren von Zytoplasma und bei Blütenpflanzen nur äußerst selten Plastiden in die Eizelle hinein. Da bei der Zellteilung die Verteilung der Plastiden auf die Tochterzellen und natürlich auch bei der Bildung der Eizellen zufällig verläuft (Abb. 117), kommt es bei den Nachkommen gescheckter Pflanzen zu Spaltungen, die von den MENDELSCHEM Gesetzen abweichen.

**Mütterliche Vererbung** ist auch noch bei gescheckten Pflanzen des Weidenröschens (*Epilobium*), Garten-Löwenmaul (*Antirrhinum*), der Nachtkerze (*Oenothera*) und anderen

Abb. 118 Schema der Generationsfolge isolierter Hefezellen auf gewöhnlichem Nährboden (a) und mit Eufilavin (b); M Mutterzelle, schwarz normale, weiß abgeänderte Zellen; c Erklärung der Zufallsverteilung von Zytoplasmateilchen, die durch Eufilavin in ihrer Vermehrung gehemmt wurden



Auch für die Mitochondrien, die als wichtige Organellen des Zellstoffwechsels in tierischen und pflanzlichen Zellen stets vorkommen, ist durch Versuche mit Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*) die genetische Selbständigkeit als sehr wahrscheinlich erkannt worden. Läßt man beispielsweise Eufilavin in starker Verdünnung (1:10 000) auf Zellen der Wildhefe einwirken, so findet eine Umwandlung der Zellen in dem Sinne statt, daß die Zellen Zucker nicht mehr vergären, sondern nur noch vergären können, ohne daß eine Genmutation stattgefunden hat. Da den Zellen das Atmungsfermentationsystem fehlt, sind sie von den normalen Zellkolonien durch bedeutend geringere Wachstumsgeschwindigkeit zu unterscheiden. Wenn die Nachkommen solcher eufilavinbehandelter Zellen geprüft werden, zeigt sich, daß sich von normalen immer wieder abgeänderte abzweigen (Abb. 118b). Die Erscheinung ähnelt der Entmischung normaler und ergrünungsunfähiger Plastiden bei den gescheckten Pflanzen (Abb. 118c). Zum Funktionieren des Atmungsfermentationsystems wird auch ein Kerngen benötigt, das aber nur bei einer bestimmten Plasmabeschaffenheit wirksam ist. Da die Mitochondrien an den biochemischen Prozessen der Zellatmung wesentlichen Anteil haben, ist es sehr wahrscheinlich, daß auch die durch Eufilavin geänderten Partikel des Zytoplasmas den Mitochondrien entsprechen, die zur Autoreplikation befähigt sind. Mitochondrien können also mutieren und bei der Autoreplikation die Veränderung übertragen. Neben Proteinen und Lipoproteinen enthalten die Mitochondrien etwa 15% der RNS der Zelle.

**Das Zytoplasma als Erbräger.** Wie bei der Plastidenvererbung lassen sich zytoplasmatische Unterschiede an den Bastarden reziproker Kreuzungen erkennen. Die Bastarde sind nicht uniform, sondern zeigen einen merkmalsbestimmenden Einfluß des mütterlichen Zytoplasmas. Solche Unterschiede von Bastarden nach reziproken Kreuzungen kommen sowohl bei Mikroorganismen als auch bei Tieren und Pflanzen vor. Besonders nach Artkreuzungen kann es zu unterschiedlichen Reaktionen des Zytoplasmas der Kreuzungspartner auf das neue Genom kommen.

Nach einer Artkreuzung in einer Laubmoosfamilie (*Funariaceae*) stellte der deutsche Botaniker v. WETTSTEIN zunächst fest, daß bei den Bastarden die Merkmale der Blätter und der Sporenkapseln denen der Mutter ähnlicher waren als denen des Vaters. Bei der Verwendung des Bastards als mütterlichen Elter und mehreren Rückkreuzungen mit der ursprünglichen väterlichen Art blieben diese mütterlich vererbten Merkmale über Generationen erhalten. Die Erkenntnis der über Generationen vererbten Konstanz der merkmalsbestimmenden Wirkung des Zytoplasmas führte zu der Anerkennung des **Plasmions** als selbständige Erbkomponente. Sehr eingehende Untersuchungen am Weidenröschen über die Wirkung und das Vorkommen verschiedener Plasmone sind von dem Botaniker MICHAELIS durchgeführt worden. Dabei zeigte sich, daß plasmatische Unterschiede nicht nur bei systematisch weniger verwandten Formen (etwa Arten) vorkommen, sondern daß auch schon Sippen einer Art starke Differenzen des Plasmions aufweisen können.

Die Kombination eines bestimmten Genoms mit einem fremden Plasma hat oft Fertilitätsstörungen, verminderte Wüchsigkeit, Deformationen verschiedener Organe und anderes zur Folge. Das harmonische Zusammenwirken von Genom und Plasma bei der Merkmalsausbildung ist von den beiden selbständigen Bestandteilen des Erbgutes gleichermaßen abhängig. Dabei spielt der Zellkern sicher bei der Anregung der zur Merkmalsbildung notwendigen Prozesse die wichtigste Rolle, während im Zytoplasma in Abhängigkeit von seiner erblichen Konstitution und den Umweltbedingungen die hierfür notwendigen biochemischen Reaktionen vollzogen werden. Viele Fragen über die Natur der Erbanlagen im Plasmion, ihre Struktur und Mutabilität können heute noch nicht beantwortet werden. Sie sind Gegenstand weiterer Forschungen über die Plasmavererbung.

### Die Beeinflussung der Merkmalsausbildung bei Pfropfpartnern

Das Pfropfen von Pflanzen ist in der gärtnerischen Praxis eine seit vielen Jahrhunderten angewandte Methode, um wertvolle Obstsorten, die sich durch Samen nicht rein vererben oder überhaupt keinen Samen bilden, auf vegetativem Wege zu erhalten. Dabei stellen die wirtschaftlich wertvollen Sorten meist das **Pfropfreis** und andere geeignete Sorten oder Wildformen die **Unterlage**, auf deren Wurzeln das Reis Blätter, Stengel und Früchte bildet.

Durch das innige Verwachsen der Pfropfpartner treten Reis und Unterlage in sehr enge stoffwechselphysiologische Beziehungen. Es ist bekannt, daß man durch die Wahl der Unterlage im Obstbau die Ausbildung zahlreicher Merkmale des Reises modifizierend beeinflussen kann; beispielsweise die Wüchsigkeit, die Form der Baumkrone, auch den Zuckergehalt der Früchte, die Frostwiderstandsfähigkeit u. a. Diese Veränderungen bleiben aber nur so lange erhalten, wie der Einfluß der Unterlage wirksam ist. Nimmt man beispielsweise von einer schwachwüchsigen Krone ein Reis und pflöpft es auf eine Unterlage, die starken Wuchs bewirkt, so wird sich aus dem aufgefropften Reis eine stark wachsende Krone entwickeln.

Die Geschichte der Botanik ist reich an Berichten darüber, daß der gegenseitige

Einfluß der Pfropfpartner zu einer erblichen Veränderung entweder von Reis oder Unterlage führen kann, wenn diese bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Der sowjetische Obstzüchter MITSCHURIN berichtete u. a. zu Beginn dieses Jahrhunderts über solche Fälle, die nach Pfropfung verschiedener Obstgehölze auftraten. Er war der Ansicht, daß erst dann mit einem erfolgreichen Einfluß beispielsweise der Unterlage auf das Reis gerechnet werden kann, wenn die Unterlage von einer alten, in ihren Erbanlagen „gefestigten“ Sorte stammt und das Reis von einem Bastard zweier geographisch entfernt stehenden Rassen genommen wird, dessen Erbanlagen noch „plastisch“ sind. Ferner soll die Unterlage ontogenetisch alt, das Reis ontogenetisch jung sein.

Die züchterischen Erfahrungen MITSCHURINS regten andere sowjetische Biologen zu entsprechenden Untersuchungen an einjährigen Pflanzen, besonders an Tomaten, an, da der Erbgang bestimmter Merkmale bei Obstgehölzen wegen deren Heterozygotie sehr schwer zu übersehen ist. Tomaten lassen sich gut miteinander pfropfen, und verschiedene Sorten besitzen gut unterscheidbare Merkmale in den Blatt- und Fruchtformen und der Fruchtfarbe. Neben anderen berichtete der sowjetische Biologe GLUSCHENKO, daß bei einigen unter Hunderten von Pfropfungen schon im Pfropfjahr Veränderungen an den Pfropfpartnern auftraten. Am Reis traten Merkmale der Unterlage auf oder umgekehrt. Eine rotfrüchtige Unterlagensorte bewirkte am Reis einer gelbfrüchtigen Sorte die Bildung roter Früchte. In den durch Samen vermehrten Nachkommen solcher veränderter Früchte wurde festgestellt, daß diese Veränderungen vererbt werden, daß von den MENDELSCHEN Gesetzen abweichende Spaltungen auftraten und stärkere Wüchsigkeit (Heterosis) über mehrere Generationen vorkam. Damit galt als bewiesen, daß auch auf vegetativem Wege Bastarde erzeugt werden können, die den geschlechtlichen Bastarden ähnlich sind. Durch die **vegetative Hybridisation** wird nach Ansicht dieser Wissenschaftler jedes beliebige Merkmal von der Unterlage auf das Reis wie bei einer geschlechtlichen Kreuzung übertragen. Den Erbanlagen im Zellkern wurde die bestimmende Funktion beim Vererbungsgeschehen und die Fähigkeit zur Autoreplikation abgesprochen. Es wurden plastische Substanzen angenommen, die zwischen Reis und Unterlage wandern und die Übertragung von Merkmalen der Pfropfpartner bewirken. Von deutschen und englischen Biologen wurden diese Versuche an gleichen und anderen Objekten sorgfältig wiederholt. In keinem Falle konnten **vegetative Bastarde** erzielt oder Spaltungsverhältnisse von gepfropften geschlechtlichen Bastarden in Richtung des einen oder anderen Pfropfpartners verändert werden.

### Die Wirkungsweise der Erbanlagen

**Vielseitige und gleichsinnige Wirkung.** Die in den Chromosomen linear angeordneten Gene bewirken im Zusammenspiel untereinander und mit dem Zytoplasma der Zelle und den Umweltfaktoren die Ausbildung der mannigfaltigen Gestalts- und Leistungsmerkmale der Organismen und regeln auch den zeitlichen Ablauf der individuellen Entwicklung von den ersten Zellteilungen bis zum Tod.

Bei der Beobachtung des Erbganges monogen bedingter Merkmalsunterschiede und auch nach Genmutationen kann häufig festgestellt werden, daß ein Gen nicht nur an der Ausbildung eines Merkmals, sondern auch mehrerer Merkmale beteiligt sein kann. Bei der Fruchtfliege bewirkt zum Beispiel ein Gen gleichzeitig weiße Augen, Veränderungen der Form und Farbe einiger innerer Organe, verminderte Fruchtbarkeit, kürzere Lebensdauer u. a. Besonders wenn ein Gen in einem frühen Entwicklungsstadium wirksam wird, kann die Ausbildung mehrerer Organe betroffen sein; beispielsweise die Wuchshöhe, die Blattgröße und -form, die Fruchtfarbe und die Vegetationszeit. Diese weitverbreitete Erscheinung wird als **Pleiotropie** oder Polyphänie bezeichnet. Ein Gen kann also nicht als „Bestimmer“ nur eines Merkmals eines ausgewachsenen Organismus aufgefaßt werden, sondern es kann oft in mehreren Entwicklungsstadien auf verschiedene Merkmalsausbildungen einwirken.

Im Gegensatz zur pleiotropen Wirkung von Genen konnte besonders von Tier- und Pflanzenzüchtern festgestellt werden, daß solche quantitativen Merkmale wie Pflanzenhöhe, Ährenlänge, extreme Sproßstauchung (Kopfkohl) und Körpergröße bei Tieren oft nicht von einem, sondern von mehreren gleichsinnig wirkenden Genen verursacht werden. Dies kann aus den von den einfachen MENDELSpaltungen abweichenden Spaltungszahlen geschlossen werden, die oft nur durch besondere statistische Methoden analysiert werden können. Die Gene solcher **polygen bedingter Merkmale** können auf einem Chromosom oder verschiedenen Chromosomen liegen, d. h. gekoppelt oder frei rekombinierbar sein. Für die Arbeit der Tier- und Pflanzenzüchter kann diese Tatsache erschwerend sein, da zwei wünschenswerte Eigenschaften bei dem einen Kreuzungspartner auf 10 Genen und bei dem anderen ebenfalls auf 10 Genen beruhen können. In den der Kreuzung nachfolgenden Generationen ist in der Praxis die Auslese von Formen sehr schwierig, die alle 20 Gene homozygot enthalten. Andererseits bieten gleichsinnig wirkende Gene die für die Züchtung sehr wichtige Möglichkeit, ihre leistungsfördernde Wirkung durch **Transgressionskreuzungen** additiv in einem Individuum zu vereinen. Das Zusammentreffen verschiedener leistungsfördernder Gene der Eltern erklärt häufig die vielfach beobachtete Erscheinung, daß Bastarde in bestimmten Eigenschaften, beispielsweise der Wuchsleistung bei Schweinen, dem Kornertrag beim Mais, der Legeleistung bei Hühnern u. a. beide Elternrassen übertreffen. Diese Leistungssteigerung der Bastarde wird als **Heterosis** bezeichnet und hat für die Tier- und Pflanzenzüchtung eine immer stärkere Bedeutung erlangt (s. S. 222).

Diese und andere Ergebnisse der Vererbungsforschung zeigen, wie beispielsweise auch die unterschiedliche Wirkung einer mutativ bedingten Lageänderung eines **Genortes** (Locus) im Chromosom, daß ein Merkmal nie von einem einzigen Gen bestimmt wird, sondern stets das Zusammenwirken einer ganzen Reihe von Genen zur Voraussetzung hat.

**Biochemische Genwirkketten.** Der Weg von einer primären Genwirkung bis zum fertigen Merkmal ist sehr kompliziert. In gemeinsamer Arbeit haben Genetiker und Biochemiker in den letzten 20 Jahren Licht in das scheinbar undurchsichtige Geschehen gebracht. Für solche Untersuchungen eignen sich besonders gut Eigenschaften, deren Manifestation von der Bildung eines chemischen Stoffes abhängt. Wie die rote Farbe von Blüten die Ausbildung des roten Farbstoffes Anthozyan zur

Voraussetzung hat, so wird auch bei bestimmten Insekten, beispielsweise der Mehlmotte und der Fruchtfliege, die Farbe der Raupen und der Augen der ausgewachsenen Tiere und ihrer inneren Organe von Farbstoffen aus der Gruppe der Ommochrome bewirkt. Findet man unter normal gefärbten Tieren der Mehlmotte (*Ephestia kühniella*, Haut und Hoden dunkel, Augen schwarz) eine Mutante, die als Raupe weiße Haut und rote Augen hat und auch später keine Farbstoffe aufbauen kann, so ergibt sich die Möglichkeit, den genetischen Ursachen der Farbstoffbildung nachzugehen. Der deutsche Genetiker KÜHN ist zusammen mit dem Biochemiker BUTENANDT diesen Ursachen in mühevoller Arbeit auf die Spur gekommen. Es zeigte sich, daß die Transplantation (Umpflanzung) einer Hodenanlage einer normal gefärbten Raupe in eine weiße Raupe im vorletzten Stadium der Entwicklung die Normalfärbung der Raupe und später auch der Falteraugen bewirkt (Abb. 119). Die Normalfärbung der Mutante ( $a^+/a^+$ ) kann auch bewirkt werden, wenn Extrakte aus den Puppen der Normalform ( $a^+/a^+$ ) den Puppen der Mutante injiziert werden. Als chemischer Stoff wurde das Kynurenin festgestellt, welches unter der Wirkung des Gens  $a^+$  aus dem Eiweißbaustein Tryptophan durch einen Fermentprozeß entsteht. Durch die Mutation  $a^+ \rightarrow a$  fällt also die Bildung des Ferments aus, das die Umsetzung von Tryptophan in Kynurenin bewirkt. Beim Syntheseweg zu den Ommochromen muß noch eine weitere Zwischenstufe, das 3-Hydroxy-Kynurenin, gebildet werden. Das konnte aus dem Verhalten einer ebenfalls rotäugigen Mutante der Fruchtfliege (*cn*) geschlossen werden, die nach Injektion von Kynurenin keine Normalfärbung der Augen zeigt. Es stellte sich heraus, daß diese Mutante das Kynurenin zwar bilden, es aber nicht in die oxydierte Form des 3-Hydroxy-Kynurenins verwandeln kann. Von der normalgefärbten Fruchtfliege wird die fermentative Umsetzung von Kynurenin in 3-Hydroxy-Kynurenin durch das Gen  $cn^+$  bewirkt.

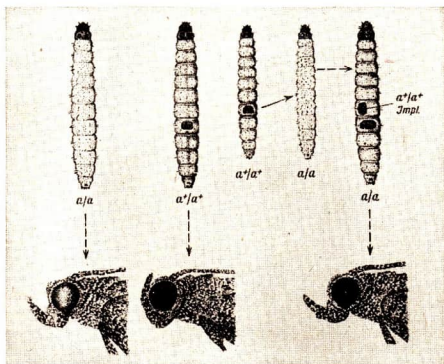
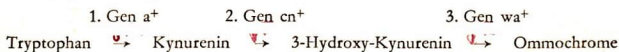


Abb. 119 Wirkung der Hodentransplantation im vorletzten Raupenstadium auf Raupenfarbe, Hodenfarbe und Falteraugenfarbe bei einer Mutante der Mehlmotte (*Ephestia kühniella*)



Das 3-Hydroxy-Kynurenin wurde als die letzte chemische Stufe zur Bildung der Ommochrome ermittelt. Die oxydative Bildung eines Ommochrom-Farbstoffes läßt sich im Reagenzglas aus 3-Hydroxy-Kynurenin vollziehen. Im Auge der Mehlmotten ist das Fermentsystem, das diesen Syntheseschritt bewirkt, jedoch an eine Eiweißstruktur gebunden. Diese Tatsache konnte durch eine weitere Mutante der Mehlmotte bewiesen werden, die keine Farbstoffe ausbilden konnte, also weißäugig war. Wenn aus den Augen der Normalform ( $a^+/a^+$ ) und der rotäugigen Mutante ( $a/a$ ) mit geeigneten Lösungsmitteln die Farbstoffe aus den Augen entfernt werden, so lassen sich in den Augen kleine Eiweißkörper feststellen, die bei der weißäugigen Mutante ( $wa/wa$ ) immer fehlen. An diesen Eiweißkörperchen vollziehen sich fermentativ die Endstufen der Farbstoffbildung. Nach der Transplantation eines Auges eines weißäugigen Tieres an die Stelle des Auges eines rotäugigen Tieres konnte nämlich festgestellt werden, daß das transplantierte Auge selbst ungefärbt bleibt, daß das Auge des rotäugigen Tieres jedoch normal dunkel gefärbt wurde. Demnach kann die weißäugige Mutante die beiden Vorstufen der Farbstoffbildung, das Kynurenin und das 3-Hydroxy-Kynurenin synthetisieren; sie wandern auf dem Blutwege in das rote Auge und färben es normal. Damit war nachgewiesen, daß die Eiweißkörperchen in den Augen der normalen Mehlmotte ( $wa^+/wa^+$ ) das Fermentsystem enthalten, das den letzten Syntheseschritt zu den Ommochromen vollzieht. Es konnte also gezeigt werden, daß die Farbstoffbildung bei der Mehlmotte durch die Wirkung dreier Gene veranlaßt wird, die über Fermente die Synthese steuern:



Aus diesen, hier vereinfacht dargestellten Versuchen wird die Wirkungsweise der Gene deutlich: Sie steuern den Stoffwechsel, ohne sich dabei zu verändern. Jedes Gen bewirkt die Bildung eines Ferments, das wiederum bestimmte biochemische Reaktionen einleitet.

Der Merkmalsausbildung liegen sehr viele biochemische Reaktionen zugrunde, deren Verlauf von **Genwirkketten** abhängig ist.

Die Untersuchung der bei höheren Organismen von Genwirkketten gesteuerten Stoffwechselforgänge ist sehr schwierig. Es werden große Individuenzahlen benötigt, um die sogenannten **Mangelmutanten** zu finden, die die Synthese eines Stoffes an verschiedenen Reaktionsstufen blockieren können. Deshalb eignen sich Mikroorganismen, bestimmte Pilze, Bakterien und auch Bakteriophagen besonders gut, um die Biosynthese wichtiger Stoffwechselprodukte und ihre Abhängigkeit von einzelnen Genen aufzuklären. Millionen von Individuen lassen sich auf einem Nährboden in Petrischalen oder Reagenzgläsern kultivieren.

Beim Brotschimmel (*Neurospora crassa*), einem getrenntgeschlechtlichen Pilz, dessen Ascosporen nur den haploiden Chromosomensatz enthalten, können die Konidien (ungeschlechtlich entstandene Sporen) mit Röntgen- oder UV-Strahlen bestrahlt werden (Abb. 120). Die aus den bestrahlten Konidien auswachsenden Myzelien werden dann mit dem entgegengesetzten Geschlecht eines Wildstammes gekreuzt. Aus einem Peri-

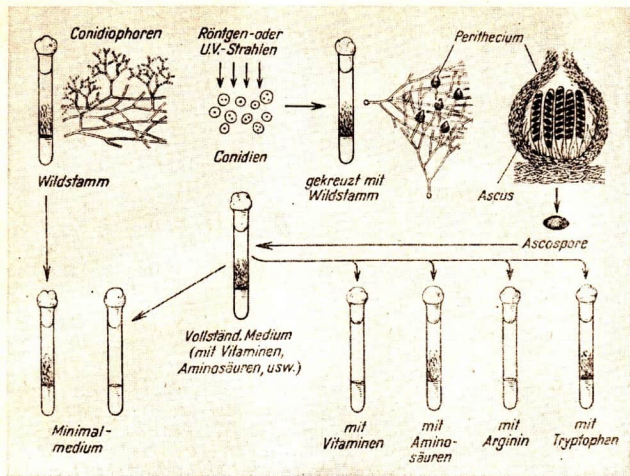


Abb. 120 Erzeugung und Feststellung biochemischer Mutationen beim Schimmelpilz (*Neurospora*)

thecium werden dann haploide Ascosporen entnommen und in folgender Weise geprüft, welche Mangelmutanten entstanden sind: Zunächst wird je eine Ascospore in einem Nährmedium gezüchtet, das möglichst vollständig Aminosäuren, Vitamine und andere Wachstumsstoffe enthält. Auf diesem Maximalmedium bilden die meisten Ascosporen Pilzfäden aus. Teile der Pilzfäden werden dann in das Minimalmedium übertragen, das nur die zum Wachsen der Wildform nötigen Stoffe enthält. Wachsen verschiedene Pilzfäden im Minimalmedium nicht, so folgt daraus, daß sie verändert sind. Sie können einen der Stoffe nicht mehr synthetisieren, der im Maximalmedium enthalten ist. Um welchen Stoff es sich handelt, kann dadurch festgestellt werden, daß die Pilzstämmchen der Maximalmedien, die auf dem Minimalmedium nicht wachsen, in Minimalmedien geprüft werden, denen jeweils einzelne Stoffe zugesetzt worden sind. Auf der Abbildung 120 sind es Vitamine und die Aminosäuren Arginin und Tryptophan.

Daß es sich bei solchen Mangelmutanten tatsächlich um Genmutationen handelt, kann im Kreuzungsexperiment geprüft werden (Abb. 121). Bei der Kreuzung von männlichem Myzel des Wildstammes (haploid) mit weiblichem Myzel eines mutierten Stammes (haploid), der die Aminosäure Tryptophan nicht synthetisieren kann („tryptophanless“), wird die diploide Zygote gebildet, aus der die Ascii hervorgehen, die jeweils 8 haploide Ascosporen enthalten. Die acht Sporen werden einzeln in

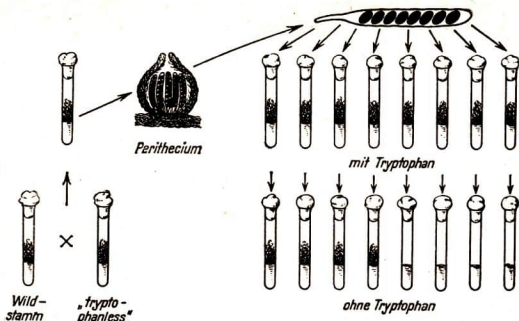


Abb. 121 Nachweis der MENDELSpaltung chemischer Mutationen bei *Neurospora*, z. B. der „tryptophanless“-Mutante, die Tryptophan nicht aufzubauen vermag

Zuchtgläser mit Medien übertragen, denen Tryptophan fehlt. Es wachsen nur 4 Sporen aus, die übrigen 4 sind dazu nicht imstande. Dies zeigt, daß so wichtige Erbanlagen, wie die Fähigkeit zur Synthese einer Aminosäure, „mendeln“ können.

Mit Hilfe der Mangelmutanten können Genwirkketten nachgewiesen werden, die dem Biochemiker die Erforschung des Ablaufs der Synthese wichtiger Stoffe im pflanzlichen und tierischen Organismus außerordentlich erleichtern, wie das die Genwirkungen bei der Tryptophansynthese von *Neurospora* demonstrieren (Abb. 122).

Es ist leicht zu übersehen, welche Bedeutung die Kenntnis der im Organismus ablaufenden Reaktionen bei der Synthese von Naturstoffen für die technische Herstellung von Naturstoffen auf rein chemischem Wege hat. Auch die Tatsache, daß Mangel-

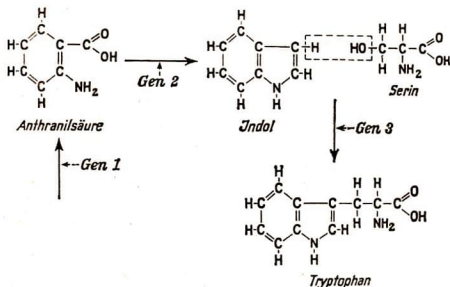


Abb. 122 Die Genwirkkette der Tryptophansynthese bei *Neurospora*

mutanten durch Zugabe von Stoffen, die sie nicht bilden können, wieder normalisiert werden können, hat in der Medizin für die Heilung von Krankheiten, denen solche Mutationen zugrunde liegen, eine große Bedeutung.

Wenn wir jetzt auch eine recht gute Vorstellung über den Ablauf von genabhängigen biochemischen Prozessen bei den Organismen haben, von denen bisher nur ein winziger Bruchteil aufgeklärt ist, so wissen wir noch sehr wenig über die genabhängigen Grundvorgänge, welche die Formbildungen bei den Organismen bewirken; wie es beispielsweise dazu kommt, daß die Blätter einer Sorte gezähnt sind, die einer anderen Sorte ungezähnt.

Gegenwärtig ist lediglich bekannt, daß genabhängige Stoffe, beispielsweise bestimmte Blühormone bei Pflanzen, den Beginn einer Entwicklungsphase beeinflussen können. Beim Bilsenkraut (*Hyoscyamus niger*) gibt es eine einjährige und eine zweijährige Rasse, die sich in einem Genpaar unterscheiden. Die einjährige Rasse blüht im gleichen Jahr nach der Aussaat, die zweijährige erst nach Überwinterung im zweiten Jahr. Wird nun eine Sproßknospe (die Pflanzen haben eine rübenförmige Wurzel) der einjährigen Rasse in die Rübe der zweijährigen Rasse gepfropft, so bildet auch die zweijährige Rasse bereits im ersten Jahr Blüten. Vom Reis wird also ein Stoff gebildet, der in die Unterlage gelangt und den vorzeitigen Beginn der Blühphase bewirkt. Nach den auf Seite 175 dargestellten Verhältnissen zwischen Pfropfpartnern ist die Veränderung des Zeitpunktes der Blüte bei der Unterlage nur modifikativ und hat keinerlei Einfluß auf die Nachkommenschaft.

Wir können feststellen, daß die Gene die Ausbildung bestimmter Gestalts- und Leistungsmerkmale kontrollieren, die über mehr oder weniger lange Genwirkketten zur Manifestation gelangen. Durch die in den Chromosomen lokalisierten Gene wird nur die Befähigung zur Durchführung einer bestimmten Leistung auf die Nachkommen vererbt, niemals die Leistung selbst. Vererbung ist also Informationsübermittlung.

### Die Natur der Erbanlagen

Wenn die Vererbung als Informationsübermittlung aufgefaßt wird, so muß es materielle Träger der Informationen geben, die sie speichern und weitertragen können. Als solche Träger von Informationen haben sich, wie in den vergangenen Abschnitten dargelegt, eindeutig die in den Chromosomen linear lokalisierten Gene nachweisen lassen: Sie sind befähigt, sich identisch zu reproduzieren, zu rekombinieren und können spezifische chemische Reaktionen auslösen, ohne sich dabei zu verändern. Sie sind bei allen Tieren und Pflanzen sowie bei den Bakterien und Viren nachweisbar.

Die im Zytoplasma der Zelle enthaltenen **Autoreplikanten**, die Zentralkörper und die Plastiden, müssen ebenfalls zur identischen Reproduktion befähigte Strukturen enthalten. Auch für die Mitochondrien und Ribosomen sind solche wahrscheinlich, aber noch nicht bewiesen. Daß die im Zytoplasma der Zelle enthaltenen Autoreplikanten am Vererbungsgeschehen beteiligt sind und auch Informationen übertragen können, ist bekannt; ihr Wirkungsmechanismus ist aber weitgehend unbekannt.

Es erhebt sich nun die Frage, was ist ein Gen? Aus welcher oder welchen chemischen Verbindungen ist es aufgebaut, die es befähigen, Informationen zu tragen? Es ist schon mehrmals darauf hingewiesen worden, daß die Chromosomen im wesentlichen aus Eiweißkörpern aufgebaut sind und daß die Chromomeren Desoxyribonukleinsäure (DNS) enthalten. Diese DNS absorbiert in einem bestimmten Wellenlängenbereich UV-Strahlen. Bestrahlungen dieses Wellenlängenbereiches lösen bevorzugt Mutationen aus. Diese Tatsachen machen Beziehungen zwischen der DNS und den Genorten sehr wahrscheinlich.

Den eindeutigen Beweis, daß die DNS Träger der genetischen Information ist, erbrachten Versuche mit Mikroorganismen. Dieses spezielle Arbeitsgebiet der Vererbungs-forschung, deren größte Versuchsobjekte Bakterien und deren kleinste Bakteriophagen und Viren sind, hat wesentlichen Anteil an der Beantwortung der Frage: Welche chemische Zusammensetzung haben die Gene?

Drei englische Genetiker untersuchten zwei Stämme der Bakterienart *Pneumococcus*, des Erregers der Lungentzündung. Die Zellen des mit S bezeichneten Stammes besitzen die genetisch determinierte Befähigung zur Bildung einer Kapsel, die jeweils zwei der als Diplokokken vorkommenden Zellen umgibt (Abb. 123). Die Zellen des mit R bezeichneten Stammes haben durch eine Mutation die Befähigung zur Kapselbildung verloren. Aus den Zellen des S-Stammes wurde ein Extrakt hergestellt, der nach mehrmaliger sorgfältiger Reinigung mindestens zu 99,9% aus DNS bestand. Wurde dem Nährmedium des R-Stammes derartig chemisch reine DNS zugegeben, so gewannen 1% der Nachkommen des R-Stammes die Befähigung zur Kapselbildung zurück, sie waren wieder zu S-Zellen umgewandelt oder **transformiert**. Allein die DNS des S-Stammes bewirkte die **Transformation** und konnte deshalb eindeutig als stofflicher Träger der genetischen Information erkannt werden. Solche Transformationen sind an verschiedenen Bakterienarten mit verschiedenen Merkmalen gelungen.

Ein anderer Versuch, der die Bedeutung der DNS als Träger der genetischen Information erneut bestätigt, ist mit Bakteriophagen durchgeführt worden. Bakteriophagen sind Viren, die sich nur in Bakterien als Wirtszelle vermehren können und die Bakterienzelle

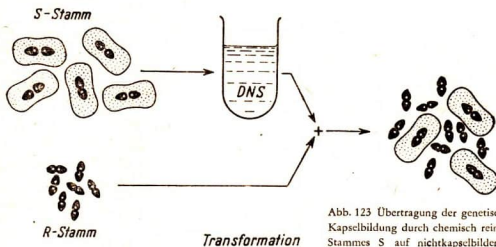
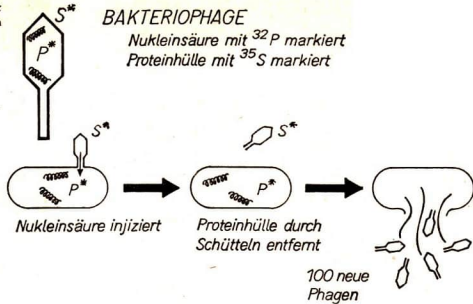


Abb. 123 Übertragung der genetisch bedingten Befähigung zur Kapselbildung durch chemisch reine DNS des kapselbildenden Stammes S auf nichtkapselbildende Zellen des Stammes R von *Pneumococcus*

Abb. 124 Die DNS als alleiniger Träger von Erbanlagen beim Bakteriophagen (siehe Text)



dabei zerstören. Ein Bakteriophage besteht aus einer Proteinhülle, dem Kopf und einem Schwanz, mit dem er sich von außen an das Bakterium anheftet (Abb. 124). Der Inhalt des Kopfes besteht nur aus DNS und wird durch den Schwanz in die Bakterienzelle injiziert. Ein auf diese Weise infiziertes Bakterium wird nach etwa 20 Minuten zerstört (lysiert), und es treten etwa 100 neugebildete Phagen heraus, die sich in nichts von dem infizierenden Phagen unterscheiden. Sie besitzen die Proteinhülle, den als Injektionsapparat spezialisierten Schwanz und als Inhalt DNS. Daß bei der Infektion eines Bakteriums durch einen Phagen tatsächlich nur Nukleinsäure in das Bakterium injiziert wird und die Proteinhülle des Phagen draußen bleibt, kann durch folgenden Versuch nachgewiesen werden. Die beiden Bestandteile eines Phagen, die Nukleinsäure und das Eiweiß, können selektiv radioaktiv markiert werden, die Nukleinsäure mit radioaktivem Phosphor ( $^{32}\text{P}$ ) und das Eiweiß mit radioaktivem Schwefel ( $^{35}\text{S}$ ).  $^{32}\text{P}$  wird nur in die Nukleinsäure eingebaut, da Eiweiße keinen Phosphor enthalten, und  $^{35}\text{S}$  nur in das Eiweiß, da die Nukleinsäure keinen Schwefel enthält. Werden nun Phagen mit  $^{32}\text{P}$  markiert und die Proteinhüllen nach der Injektion der radioaktiven Nukleinsäure von den Bakterien durch Schütteln getrennt, so erweisen sich nach Radioaktivitätsmessungen nur die Bakterien als radioaktiv, nicht aber das umgebende Medium, in dem die Proteinhüllen schwimmen. Im umgekehrten Falle, wenn die Phagen mit  $^{35}\text{S}$  markiert werden, ist Radioaktivität nur im umgebenden Medium, nicht aber in den Bakterien feststellbar (Abb. 124). Demnach bewirkt auch bei den Bakteriophagen allein die Nukleinsäure in der Wirtszelle den komplizierten Aufbau neuer Phagen mit allen ihren erblich festgelegten Merkmalen. Für alle Lebewesen kann die DNS als Träger der genetischen Information angesehen werden. Nur bei einigen Virusarten, wie beispielsweise beim Tabakmosaikvirus, hat die RNS diese Funktion übernommen.

Wie sind die Nukleinsäuren chemisch aufgebaut, und wie lassen sich aus ihrer Struktur die genetischen Funktionen erklären, die sie in der Zelle bewirken? Diesen Fragen ist in den letzten Jahren eine Gruppe amerikanischer und englischer Physiker, Bio-

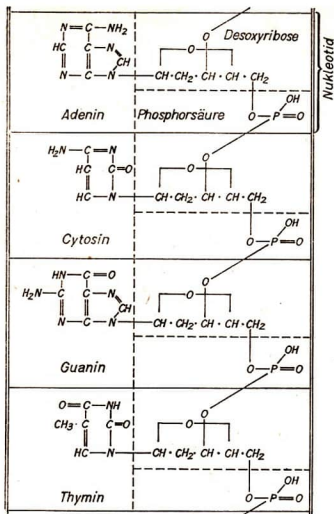


Abb. 125 Teilschnitt eines Desoxyribonukleinsäure-Moleküls

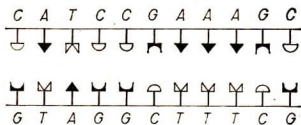


Abb. 126 Schematische Darstellung eines Teilschnittes des DNS-Doppelstranges A = Adenin; C = Cytosin; G = Guanin; T = Thymin. Die vier verschiedenen Zeichen sollen veranschaulichen, daß nur die komplementären Nukleotide miteinander paaren können.

die Verbindung zwischen den Nukleotiden herstellen (Abb. 128). Um eine Vorstellung über die Größenordnungen zu geben, ist der Radius des Moleküls, der Abstand zweier und die Länge von 10 Nukleotiden in Nanometer (nm) angegeben. Nach den Entdeckern der Molekularstruktur des DNS-Moleküls, dem Amerikaner WATSON und dem Engländer CRICK, wird das von ihnen entwickelte und auf der

chemiker und Genetiker in gemeinsamen Untersuchungen an Bakterien und Bakteriophagen nachgegangen. Sie sind dabei zu folgenden aufschlußreichen Ergebnissen gekommen. Die genetisch wirksame DNS besteht aus fadenförmigen Makromolekülen mit einem Molekulargewicht von mehreren Millionen. Jedes Molekül setzt sich aus einer großen Anzahl sogenannter Nukleotide zusammen, die kettenartig miteinander verbunden sind (Abb. 125). Das Molekül jedes Nukleotids besteht aus einem Molekülteil Phosphorsäure, Desoxyribose und einer organischen Base. Die organische Base kann entweder Adenin, Cytosin, Guanin oder Thymin sein. Über den Phosphorsäureanteil sind die einzelnen Nukleotide miteinander verknüpft und bilden so eine fadenförmige Nukleinsäurekette (Abb. 126). Das DNS-Molekül besteht aber aus zwei solchen Nukleinsäureketten, die in ganz bestimmter Weise durch Wasserstoffbrücken miteinander verbunden sind. Aus stereochemischen Gründen können sich nämlich die vier organischen Stickstoffbasen der Nukleotide nur in folgender Paarung gegenüberliegen: Adenin ↔ Thymin und Guanin ↔ Cytosin (Abb. 126).

Wie Untersuchungen unter Zuhilfenahme von Röntgenstrahlen zeigten, bilden die beiden Nukleinsäureketten zwei parallel verlaufende Schraubenlinien, die von den Wasserstoffbrücken zusammengehalten werden, die

Abbildung 128 dargestellte Molekülmodell als **WATSON-CRICK-Modell** bezeichnet. Beide Forscher erhielten zusammen mit dem Engländer **WILKINS** für diese bedeutende Entdeckung 1962 den Nobelpreis.

Das doppelsträngige DNS-Molekül kann sich identisch verdoppeln (Abb. 127). Hierbei trennt sich der Doppelstrang, und an jedem Einzelstrang bildet sich ein entsprechender, ein komplementärer. Das ist deshalb ganz exakt möglich, weil, wie schon oben erwähnt, die im Stoffwechsel neu gebildeten Nukleotide sich nur in der Paarung Adenin ↔ Thymin und Guanin ↔ Cytosin aneinanderlegen können. Jeder der gebildeten Doppelstränge ist in einem Strang alt, in einem neu. Der Ver-

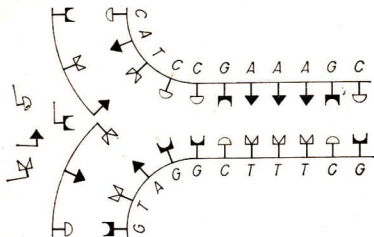


Abb. 127 Schematische Darstellung der Replikation der DNS; nach der Trennung des Doppelstranges bildet sich durch Anlagerung der entsprechenden Nukleotide auf jedem Einzelstrang ein komplementärer Strang

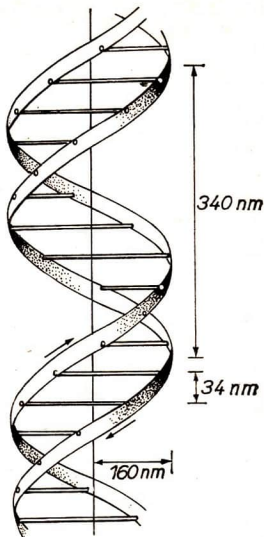


Abb. 128 Die doppelspirale Konfiguration der DNS (WATSON-CRICK-Spirale)

doppelungsmechanismus gewährleistet exakt die Erhaltung der Anordnung der Stickstoffbasen, die sogenannte **Basensequenz**, und damit die identische Replikation der DNS.

Die Anordnung der Stickstoffbasen entlang dem DNS-Faden ist nicht wahllos, sondern hat, wie wir heute wissen, eine ganz bestimmte Reihenfolge, die einem bestimmten Informationsgehalt entspricht. Ähnlich wie aus der Buchstabenfolge l, i, c, h, t das Wort „Licht“ abzulesen ist, kann die Basenfolge Thymin, Guanin, Guanin, Adenin einen bestimmten Informationsgehalt haben.

Wie wird dieser Informationsgehalt „gelesen“, und welcher Art sind die Informationen, die in einer bestimmten Basensequenz enthalten sind? Zur Beantwortung dieser Frage erinnern wir uns der Ergebnisse der biochemischen Genetik. Sie hat nachgewiesen, daß von den Genen Fermente gebildet werden, die regulierend auf die einzelnen Biosyntheseschritte im Stoffwechsel wirken. Fermente bestehen aus Proteinen, die wiederum aus 20 verschiedenen Aminosäuren zusammengesetzt sind. Die etwa 1000 verschiedenen Fermente einer Bakterienzelle unterscheiden sich durch die



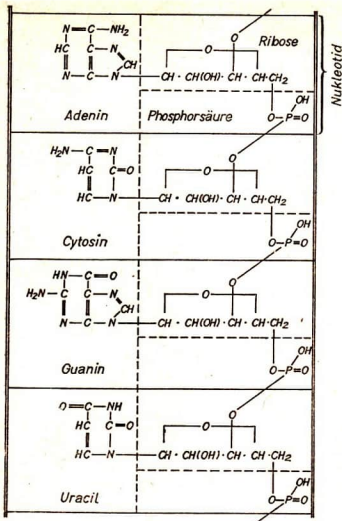


Abb. 129 Teilschnitt eines Ribonukleinsäure-Moleküls

Anordnung, die Sequenz der verschiedenen Aminosäuren im kettenartigen Proteinmolekül. Darauf beruhen ihre spezifischen Wirkungen, d.h. ihr Informationsgehalt.

Wie kommt es zur Bildung von Fermenten und wie erhalten sie ihre spezifische Aminosäuresequenz? Dazu benutzen die Bakterien, ebenso wie die Pflanzen und Tiere die Ribonukleinsäure (Abb. 129). Das RNS-Molekül besteht ebenso wie die DNS aus kettenartig aneinandergereihten Nucleotiden. Diese enthalten als Zucker Ribose und sind ebenfalls über Phosphorsäure miteinander verbunden. RNS und DNS unterscheiden sich dadurch, daß bei der RNS Uracil an die Stelle von Thymin tritt. Durch entsprechende Experimente konnte nachgewiesen werden, daß es in einem ähnlichen Vorgang, wie er für die Replikation der DNS geschildert wurde, dazu kommt, daß an einem DNS-Strang ein RNS-Strang gebildet wird. Dieser neugebildete RNS-Strang – das ist sehr wichtig – enthält jetzt

die Basensequenz der DNS in komplementärer Anordnung (Abb. 130). Die an der DNS synthetisierte RNS trennt sich dann von dieser und gelangt – auf eine bisher nicht aufgeklärte Weise – zu den Orten der Eiweißsynthese im Zytoplasma der Zelle. Als solche sind die Ribosomen erkannt worden. Die RNS übernimmt also die Übermittlung der DNS-Informationen und wird deshalb als Botschafter-RNS bezeichnet. Die im Stoffwechsel gebildeten Aminosäuren gelangen gleichzeitig zu den Ribosomen. Dafür ist eine andere, die sogenannte Transport-RNS verantwortlich. Für jede der 20 Aminosäuren ist eine Transport-RNS mit einer charakteristischen Basensequenz vorhanden. Diese Transport-RNS bildet mit den Aminosäuren Komplexe und bringt sie zur Botschafter-RNS, die bei der Proteinsynthese über die Anordnung der Aminosäuren, über ihre Sequenz im Proteinmolekül entscheidet. So gelingt es, eine ursprünglich in einem DNS-Abschnitt verschlüsselte Information, den genetischen Code, exakt in eine bestimmte Aminosäuresequenz zu übersetzen.

Damit ist nun auch im Prinzip klar, wie die Gene die Synthese bestimmter Fermente veranlassen, die ihrerseits die biochemischen Reaktionen im Stoffwechsel der Zelle steuern.



Die Vererbungsforschung hat in den vergangenen sechs Jahrzehnten die Wirkungsweise der Erbanlagen, ihre Veränderlichkeit und in den letzten Jahren auch ihre chemische Struktur sehr genau untersucht und zum Teil auch aufgeklärt. Die Ergebnisse der Vererbungsforschung, von denen hier nur ein sehr kleiner Teil beschrieben wurde, sind für alle Bereiche der Biologie und Medizin, der theoretischen und auch der angewandten, gleichermaßen nützlich und wertvoll.

Es soll noch darauf hingewiesen werden, daß die Aufklärung von Struktur und Funktion des genetischen Materials im molekularen Bereich eine der bedeutendsten Entdeckungen dieses Jahrhunderts ist. Viele offene Fragen gibt es noch zu lösen. Sie sind nicht nur von theoretischem Interesse. Es gilt noch, Genaues über die Anordnung der Nukleotide in den Nukleinsäuren und über die Primärreaktionen der Gene zu erfahren. Dann wäre es in der Zukunft nicht mehr weit zu dem Schritt, um mit chemischen Methoden die Anordnung der Nukleotide im DNS-Molekül in einer im voraus bestimmbar Art zu verändern, mit anderen Worten: gerichtete erbliche Veränderungen bei Tieren und Pflanzen zu erzielen.

## 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.

Die Überprüfung des Ablaufs der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Organismen in vergangenen erdgeschichtlichen Epochen ist der experimentellen Forschung verschlossen. 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 400 000 bis 600 000 Generationen gerechnet), zum anderen ist die Entwicklungsgeschichte nicht umkehrbar, einmal abgelaufene Evolutionsprozesse lassen sich nicht wiederholen.

Die Evolution der Organismen ist aber nicht abgeschlossen. Auch wenn im Zeitraum vieler menschlicher Generationen die Tier- und Pflanzenwelt scheinbar unverändert bleibt, wirkt sie ständig und unaufhaltsam weiter. Wir sind also darauf angewiesen, bei den gegenwärtig lebenden Tieren und Pflanzen, deren Mannigfaltigkeit bekannt ist und mit denen experimentiert werden kann, Ursachen und Verlauf der Evolution zu ergründen. Das haben viele Biologen seit über 100 Jahren getan. Aber erst die im vorigen Kapitel behandelten Erkenntnisse der Vererbungs-forschung haben uns genauere Vorstellungen über die bei der Evolution wirksamen Faktoren vermittelt.



Fell eines Eichhörnchens (*Sciurus vulgaris*) mit dem spontan aufgetretenen Merkmal Spitzenausfärbung, wie sie bei Kaninchen und Katzen bekannt ist

## 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 Darwins ist auch heute noch ohne Einschränkung gültig. Die Wechselwirkung zwischen dem Organismus und seiner Umwelt im Prozeß 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 Lebens eignung 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 freie Kreuzbarkeit (Panmixie) in mehr oder weniger stark ausgeprägter Form geben. Die in einer systematischen Art zusammengefaßten Tier- und Pflanzengruppen sind also in der Regel diejenigen Populationen, in denen die Evolution wirkt. Verschiedene Arten einer Gattung wie beispielsweise Pferd und Esel sind durch eine mehr oder weniger starke, oft geschlechtliche Isolierung voneinander getrennt. Sie können entweder gar nicht miteinander gekreuzt werden oder geben wie nach der Kreuzung zwischen Pferd und Esel gewöhnlich unfruchtbare Bastarde. Dabei muß man sich darüber klar sein, daß die Einteilung – besonders der Pflanzen in Arten – vom Menschen zur Ordnung des Organismenreiches subjektiv, nach deutlichen morphologischen Unterschieden vorgenommen wurde, ohne dabei die genetischen Beziehungen im einzelnen zu kennen. Deshalb gibt es im Pflanzenreich – mehr als im Tierreich – viele „Arten“, die gut untereinander kreuzbar sind und auch fruchtbare Nachkommen haben. Aus diesem Grunde ist die Art als Evolutionseinheit in dem oben beschriebenen Sinne zu verstehen.

Die Wirkung der Selektion hat zu Organismen geführt, die niedrige Temperaturen in der Arktis ertragen können, die in der feuchten Hitze des tropischen Regenwaldes leben oder in Wüsten gegen Austrocknung weitgehend geschützt sind. Alle diese Tiere und Pflanzen sind diesen verschiedenen Umwelten in ausgezeichneter Weise angepaßt und besitzen durch eine hohe Vermehrungsrate oder andere zweckmäßige Merkmale Schutzeinrichtungen gegen Angehörige anderer Arten, ihre „Feinde“, um die Erhaltung ihrer Art sicherzustellen. Die oft sehr „sinnvollen“ Anpassungsmerkmale sind durch die Wechselwirkung zwischen der Population einer Art und der Umwelt entstanden. Die Individuen, die den jeweils herrschenden Umweltbedingungen am besten angepaßt waren, hatten einen höheren **Selektionswert** als ihre Artgenossen, d. h.

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. Die Population würde immer einheitlicher, ihre Anpassungsfähigkeit an wechselnde Umweltbedingungen geringer, was schließlich zu ihrem Aussterben führt.

### Die Mutation

Die Mutationen, die, wie auf Seite 162 dargestellt, auf sehr unterschiedlichen quantitativen und qualitativen Veränderungen des genetischen Materials beruhen, sind als der primäre Evolutionsfaktor erkannt worden. Die Umwelt entscheidet über das Bestehen oder Vergehen von Organismen in der Evolution, sie kann evolutive Änderungen erregen, bedingen und begrenzen, sie entscheidet aber nicht, welche Veränderungen primär entstehen, und auch nicht exakt, welche Veränderungen erhalten bleiben. Denn solange die allgemeine Lebensseignung einer Population hoch genug bleibt, können genetische Veränderungen von Organen oder Funktionen 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 Wildfliegen von *Drosophila* 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 einer Population sind. Sie haben weiterhin ergeben, daß die im Laboratorium erzeugten Mutationen mit denen aus Wildpopulationen phänotypisch und genotypisch übereinstimmen (s. S. 168).

Mutationen, die in einer bestimmten Umwelt negativ zu beurteilen sind, können in einer anderen Umwelt durchaus positiv sein. Hierfür ein Beispiel, welches gleichzeitig die Übereinstimmung von induzierten und spontanen Mutationen demonstriert: Bei Insekten mutieren Gene, die die Ausbildung der Flügel steuern, wie das bei den Mutationsversuchen mit *Drosophila* festgestellt wurde (Abb. 131). Derartige stummelflüglige oder riemenflüglige Mutanten sind gegenüber den normalflügligen Fliegen beispielsweise in Deutschland stark benachteiligt. In einer Umwelt, die ständig von starken Stürmen überstrichen wird, wie auf den am

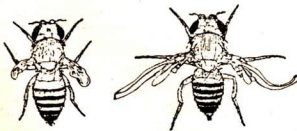


Abb. 131 Die Mutationen 'stummelflüglig' und 'riemenflüglig' bei der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster*

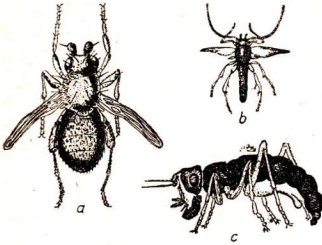


Abb. 132 Flugunfähige Insekten von den Kerguelen-Inseln  
a und c Fliegen, b Schmetterling

Rande der Antarktis gelegenen Kerguelen-Inseln, können solche Mutationen jedoch vorteilhaft sein.

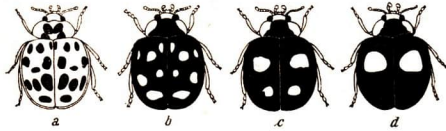
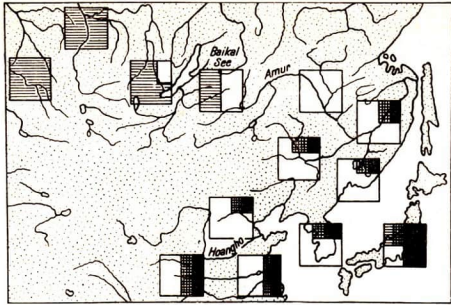
Dort ist das Fliegen für Insekten sehr gefährlich. So sind durch die Wirkung der Selektion auf diesen Inseln nur flugunfähige Mutanten, bei denen die Flügel entweder völlig fehlen oder verkümmert sind, überlebensfähig. Auf der Abbildung 132 sind solche flugunfähigen Insekten – zwei Fliegen und ein Schmetterling – von den Kerguelen-Inseln dargestellt.

Durch die Untersuchungen der Populationsgenetik ist an vielen Pflanzen und Tieren gezeigt worden, daß die erblichen 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 Lebensseignung unter 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. 133b) 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. 133a). Nach Süden zu erscheint dann die Varietät *spectabilis* (Abb. 133c) in zunehmender Häufigkeit, und auf den japanischen Inseln im Südosten ist die Varietät *conspigma* (Abb. 133d) zu etwa 50% innerhalb der Marienkäferart vertreten.

Bei der Küchenschelle (*Anemone pulsatilla*) sind die Zusammenhänge zwischen äußerlich erkennbaren Merkmalsunterschieden und verbesserter Lebensseignung 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. 134a), bei der Ostrasse zeigen die Blätter eine weniger starke Gliederung, und die Blattzipfel sind breiter (Abb. 134c). Nach Kreuzungen wurde festgestellt, daß die Unterschiede auf mendelnden Genen beruhen und intermediär vererbt werden (Abb. 134b). Untersuchungen über den Wasserhaushalt der beiden Unterarten ergaben, 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 starkgegliederten, schmalzipfligen Blätter der Westrasse. Damit kann die Ostrasse in ihrem kontinentalen Verbreitungsgebiet die oft heiße und trockene Vegetationszeit überstehen.

Abb. 133 Vier in Ostasien verbreitete Varianten des Marienkäfers (*Harmonia axyridis*) und ihre relative Häufigkeit in Populationen. a *var. stigmata* (gelb mit schwarzen Flecken), in den Quadranten der Karte weiß; b *var. axyridis*, quer schraffiert; c *var. spectabilis*, kreuzweise schraffiert; d *var. conspiciua*, schwarz



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.

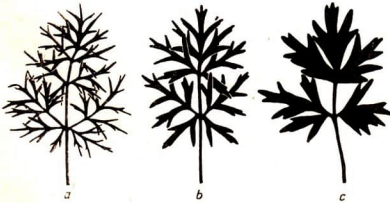


Abb. 134 Blätter der Küchenschelle (*Anemone pulsatilla*). a Unterart *germanica*; c Unterart *grandis*; b Bastard zwischen beiden Unterarten

Auch Chromosomenmutationen können für die Rassenbildung innerhalb einer Art von Bedeutung sein. Die in der Sowjetunion durchgeführten Untersuchungen an verschiedenen Populationen von *Drosophila funebris* sind hierfür ein gutes Beispiel. Im Zentrum Moskaus



hatten 88,1% der untersuchten Fliegen eine Inversion an einem Chromosom, in weniger zentralgelegenen Stadtteilen 55,5%, am Stadtrand 42,1% und auf Dörfern nur 18%. 200 bis 500 km nördlich der Stadt fand man diesen Chromosomenmutationstyp überhaupt nicht mehr in den Populationen. In anderen Städten traten solche Inversionstypen ebenfalls gehäuft auf. Die Häufigkeit von Inversionstypen 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:

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

Mit zunehmender geographischer Breite nimmt der Anteil polyploider Arten in einer Flora zu. Das gilt sowohl für die dikotylen Pflanzen als auch für die monokotylen. 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 Festlandeseis 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 Allopolyploidie (s. S. 120) 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

Die drei Grundarten *B. nigra* (AA), *B. oleracea* (BB) und *B. rapa* (CC) sind diploid. Sie können sich untereinander kreuzen, ergeben aber auf Grund ihrer Genomverschiedenheit keine fertilen Bastarde. Erst die Genommutation eines solchen Bastards führt zur Entstehung der konstanten neuen Arten *B. carinata* (AABB), *B. juncea* und *B. napus* (AACC) (Abb. 135).

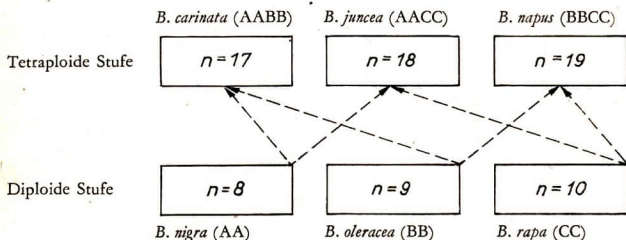


Abb. 135 Die zytologischen Beziehungen der drei Grundarten der Gattung *Brassica* (*B. nigra*; *B. oleracea*; *B. rapa*) zu den aus ihnen durch Allopolyploidie entstandenen Arten (*B. carinata*; *B. juncea*; *B. napus*)

Daß die natürliche Entstehung der genannten Arten tatsächlich in der beschriebenen Weise abgelaufen ist, bestätigen Experimente, bei denen nach Kreuzung der Grundarten und anschließender Polyploidisierung die tetraploiden Arten „synthetisch“ hergestellt werden konnten. Da bekannt ist, daß experimentell induzierte 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 Lebens-eignung ausliest. Bei der Art- und Rassenbildung spielen aber 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 ganz verhindert wird. Der weitere gegenseitige Austausch von Erbanlagen kann nicht mehr stattfinden, und es kommt zur Isolation der betreffenden Teile einer Population. 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. 136). Auch in voneinander

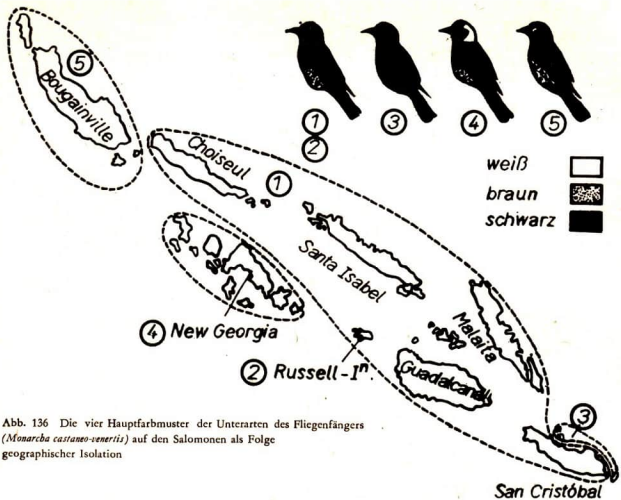


Abb. 136 Die vier Hauptfarbmuster der Unterarten des Fliegenfängers (*Monarcha castaneo-veneris*) auf den Salomonen als Folge geographischer Isolation

abgesonderten Gebirgstälern oder auf Berggipfeln kann es zur Bildung neuer Unterarten bei Pflanzen und Tieren kommen.

Unterschiedliche Fortpflanzungszeiten, unterschiedlicher Bau der Geschlechtsorgane oder rein mechanische Schwierigkeiten bei der Begattung u. a. sind als Folge von Isolationsvorgängen erkannt worden. Beispielsweise verläuft die stammesgeschichtliche Entwicklung geographisch voneinander isolierter Populationen unabhängig voneinander weiter. Berühren sich nach einem längeren Zeitraum die Populationen wieder, dann kann die Unterschiedlichkeit beider ein Ausmaß erreicht haben, das die Vermischung verhindert, beispielsweise durch das Fehlen des Paarungstriebes oder durch Sterilität der Bastarde. Es sind selbständige Rassen bzw. 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 CH. DARWIN!

## Populationswellen

Der zahlenmäßige Bestand einer Population ist nicht immer gleich. Günstige Lebensbedingungen können sowohl die räumliche Ausdehnung einer Population über ein größeres Areal als auch 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 dem Borkenkäfer. Auch das gehäufte Auftreten von Pilzkrankheiten an Pflanzen unter bestimmten, für das Pilzwachstum günstigen Umweltbedingungen 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, daß es in einer kleinen Population durch Mutation wieder neu entsteht, geringer als in einer großen Population. In kleinen Populationen verringert sich demnach das Genotypverhältnis, sie werden einheitlicher, weniger anpassungsfähig und können schließlich aussterben. In großen Populationen ist die Wahrscheinlichkeit des mutativen oder erneuten Entstehens bestimmter Gene größer. In ihnen können mit größerer Wahrscheinlichkeit Mutanten enthalten sein, die veränderten Umwelteinflüssen gegenüber besser angepaßt sind. Die experimentelle Bestätigung für diese Überlegung lieferten genetische Untersuchungen mit Mikroorganismen, da bei ihnen genügend große Individuenzahlen entstehen, um die Häufigkeit der Mutanten zu schätzen.

Bei dem Darmbakterium *Escherichia coli* können Mutanten entstehen, die eine Resistenz gegenüber bestimmten Bakteriophagen besitzen. Die Häufigkeit ihres Auftretens schwankt in der Größenordnung von  $10^{-7}$  bis  $3 \times 10^{-9}$ . Benutzt man nun einen Stamm von Colibakterien, der gegenüber einem Bakteriophagenstamm empfindlich ist, und wünscht man einen resistenten Bakterienstamm zu erhalten, so hängt Erfolg oder Mißerfolg des Versuchs von der Zahl der Bakterienzellen ab, die den Bakteriophagen ausgesetzt werden. Wenn die Zahl klein ist, etwa  $10^6$  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, dann kann fast sicher mit einer resistenten Mutation gerechnet werden.

Dieses Beispiel 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 einer Population groß, so sind sie mit großer Wahrscheinlichkeit enthalten, und die Population kann überleben bzw. sich den neuen Umweltbedingungen besser anpassen. Ist die Population klein, kann eine Art, Rasse oder Varietät aussterben.

## Die Kombination

Die Mannigfaltigkeit der in einer Population enthaltenen Genotypen gewährleistet ihre große Anpassungsfähigkeit an wechselnde Umweltbedingungen. Durch die Panmixie findet eine Umkombination der vorhandenen Gene in der Population statt,

deren Folge unübersehbar viele neue Genkombinationen und damit Genotypen sind. Dadurch erhöht sich die Variabilität der Populationen, werden die meisten Mutationen erst homozygot und können 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  $2^{50}$  und  $2^{100}$  Homozygote sein würden (s. S. 156). Wenn wir bedenken, daß auf der Erde gegenwärtig etwa  $2^{31}$  bis  $2^{32}$  Menschen leben, und der Mensch ist nicht die zahlreichste Art, dann wird klar, daß die Anzahl der möglichen Genkombination bedeutend höher liegt, als es die Individuenzahlen einer Population zulassen.

Der Mechanismus der Meiose (s. S. 140) und der sexuellen Fortpflanzung sind in der Erzeugung neuer Genotypen (s. S. 155) 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 Panmixie noch gesteigert wird. Nur durch Mutationen können neue Merkmale entstehen. Die Möglichkeit zum Entstehen der seltenen Genotypen mit höherer Lebensseignung werden durch die Erscheinung von Populationswellen erhöht.

Die Isolation kann schließlich die Trennung von Teilen einer Population und deren unterschiedliche Entwicklung bewirken. Das große Sieb, in dessen Maschen alle ungeeigneten Phänotypen mehr oder weniger schnell hängenbleiben, ist die Selektion durch die Umwelt. Durch die Selektion bekommt die stammesgeschichtliche Entwicklung ihre Richtung, das heißt, von ihr werden die veränderten Phänotypen einer Population ausgelesen, deren Lebensseignung gegenüber den Artgenossen verbessert ist. Die Art der Veränderungen, die zu einer besseren Anpassung von Individuen an ihre Umwelt führen, wird 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 zukünftige Eignung gegenwärtig lebstüchtiger Populationen. Sie wählt „blind“ die geeignetsten Individuen aus. Den Beweis hierfür liefern die vielen im Verlaufe der Evolution ausgestorbenen Arten und Gattungen von Tieren und Pflanzen.

Die verschiedenen Evolutionsfaktoren wirken bei der Differenzierung von Rassen und Arten zusammen. Da sie in verschiedenem Ausmaß zur Wirksamkeit gelangen

können, kann die Art- und Rassenbildung auf verschiedenen Wegen zustande kommen, wobei dieser oder jener Evolutionsfaktor bestimmend hervortritt.

Aus der Lehre DARWINS, die heute frei ist von den Unzulänglichkeiten des damaligen Wissens und durch die Kenntnis der Ursachen der Variabilität der Organismen bereichert wurde, entwickelte sich die **Selektionstheorie**. Die Selektionstheorie schöpft ihre Beweise aus dem Verlauf der Evolution innerhalb der gegenwärtig lebenden Rassen und Arten, der sogenannten **Mikroevolution**. Können nun 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 auf dem Gebiet der Mutationsforschung und Populationsgenetik kann auch das Entstehen der Unterschiede größerer systematischer Gruppen (Familien, Stämme), die **Makroevolution**, mit den gegenwärtig wirksamen Evolutionsfaktoren erklärt werden.

Die teilweise recht erheblichen Lücken in den durch Funde belegten Entwicklungsreihen vieler Organismen hat jedoch zu der häufig geäußerten Ansicht geführt; daß die Bauplanänderungen, die zu verschiedenen Gattungen, Familien oder Stämmen führten, nicht durch die uns gewöhnlich bekannten Mutationen erklärbar sind. Diese verändern in den meisten Fällen nur Merkmale, die nicht über den Bereich der Art hinausgehen (**Kleinmutationen**).

Deshalb nehmen manche Evolutionsforscher **Groß-** oder „**Schlüsselmutationen**“ als Ursache der Makroevolution an. Hinweise für das tatsächliche Auftreten von Großmutationen sind besonders aus dem Pflanzenreich bekannt. Es braucht nur an die Allopolyploidie erinnert zu werden (s. S. 69), die häufig zur Entstehung neuer Arten geführt hat. 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. 137), wie er bei vielen Gattungen der Braunwurzgewächse (*Scrophulariaceae*) in verschiedener Größe und Stellung vorkommt (die Mutation bewirkt gleichzeitig eine Veränderung der Wuchshöhe, Verzweigung und Blattform; sie wirkt also pleiotrop). In dieser Gattung kommen kleine, kurze Sporne am unteren Ende der Blütenröhre und lange, spitze Sporne wie beim Leinkraut vor. Der Übergang von Kleinmutationen zu Großmutationen ist fließend, und es ist mehr oder weniger

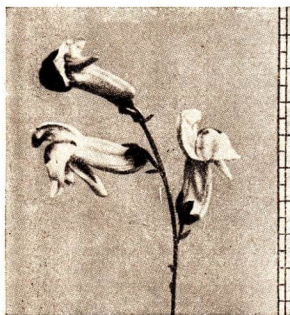


Abb. 137 Mutante des Garten-Löwenmauls (*Anarrhinum majus*) mit gespornten Blüten

subjektiv, eine Mutation dieser oder jener Gruppe zuzurechnen. Es ist aber denkbar, daß solche Großmutationen den Beginn der Abzweigung einer neuen Gattung bilden. Daß in den genetischen Experimenten noch keine Modelle für wesentliche Bauplanänderungen einer Pflanze oder eines Tieres 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 nicht das Auftreten großer „Sprünge“ in der stammesgeschichtlichen Entwicklung. Die Lücken in den Entwicklungsreihen können, wie häufig gezeigt werden konnte, 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 die Lücken auch zum Teil sehr groß sind, wie zum Beispiel in allen Ordnungen der Säugetiere, 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.

Wenn auch die Bauplanänderungen kontinuierlich entstanden sind, so ist die stammesgeschichtliche Entwicklung in der Zeit nicht gleichmäßig verlaufen. Die paläonto-

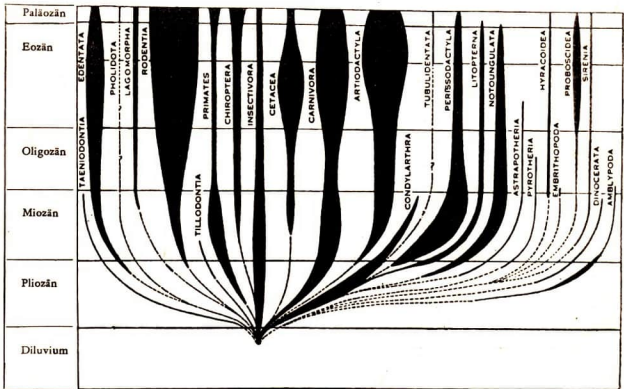


Abb. 138 Die Entfaltung der Säugetiere in der Tertiärzeit. Die Breite der Äste entspricht der jeweiligen Formenmannigfaltigkeit der Ordnung.

logischen Funde der Säugetiere zeigen zum Beginn der Tertiärzeit eine „explosive“ Formenexplosion (Abb. 138). 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 (Biotope). Das Entstehen neuer Biotope kann eine der Ursachen für die beschleunigte Formenbildung der Säugetiere gewesen sein. Ausgehend von den insektenfresserartigen Urplazentatieren, kommt es in relativ kurzer Zeit (einige Millionen Jahre!) zur Ausbildung der meisten Ordnungen der Säugetiere. Die Breite der Äste des Stammbaumes (Abb. 138) 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 die verschiedenen Lebensfunktionen, wie beispielsweise die Wurzeln, die Sprosse und die Blüten höherer Pflanzen im Gegensatz zu den einzelligen Algen, wo noch alle zur Erhaltung der Art notwendigen Lebensprozesse in einer Zelle ablaufen. Während der Höherentwicklung ändern sich die Beziehungen der Lebewesen zur Umwelt. Die Beziehungen zur Umwelt vervielfältigen sich, 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. 139) und bei den Tieren über die primitiven Neumünder, Kiefermäuler, Knorpelfische, Knochenfische, Lurche und Reptilien zu den Säugetieren demonstriert die Höherentwicklung im Pflanzen- und Tierreich, wobei der Gesamtorganismus umgestaltet wurde. Daß auch die Umgestaltung oder Veränderung einzelner Organe die Entwicklung entscheidend beeinflussen können, zeigt uns sehr eindrucksvoll der Erwerb des aufrechten Ganges und die Vergrößerung des Gehirnvolumens bei der Menschwerdung.

Fortschritte in der Höherentwicklung der Pflanzen sind beispielsweise die Ausbildung des Leitungssystems, der Epidermis, der Spaltöffnungen und anderer die Anpassungsfähigkeit steigernde Merkmale. Sie ermöglichten den höheren Pflanzen, das Festland zu besiedeln, während die Entstehung der Samenanlagen und später des Pollenschlauches den Befruchtungsvorgang vom Vorhandensein des Wassers unabhängig machten.

Bei den Tieren waren beispielsweise 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 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.



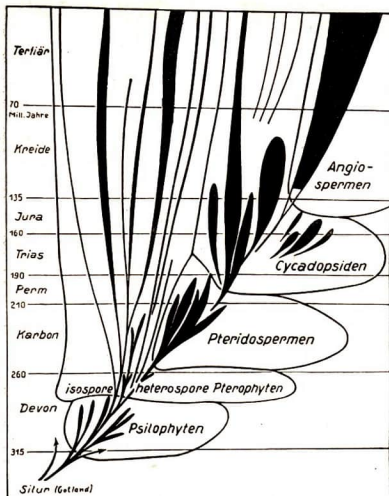


Abb. 139 Der Stammbaum der Angiospermen. Die fünf Hauptstufen auf dem Weg zu den Angiospermen sind hervorgehoben.

scher Hinsicht, kann zur Verdrängung oder zum Aussterben solcher stark spezialisierter Arten führen. Die Höherentwicklung verläuft nicht von den jüngeren und spezialisierten Vertretern der Ausgangsgruppe zu den neuen Gliedern einer Entwicklungsreihe, sondern von deren älteren, primitiveren.

Die Nacktsamer entstanden aus primitiven Urformen, die Bedecktsamer aus primitiven Nacktsamern (Abb. 139). 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 Spezialisierung werden häufig auch von der Rückbildung bestimmter Organe oder Organsysteme begleitet;

#### Aufgabe

Belegen Sie diese Aussage durch Beispiele!

Höherentwicklung, Spezialisierung und Rückbildung sind Erscheinungen in der stammesgeschichtlichen Entwicklung, die in enger Wechselbeziehung zueinander ablaufen und nur als Anpassungen der Organismen an ihre Umwelt zu deuten sind;

Auf bestimmten Stufen während der Höherentwicklung der Organismen ist es durch spezielle Anpassungen von Pflanzen und Tieren zu einer zunehmenden Spezialisierung gekommen. Die Nachkommen einer höher entwickelten anpassungsfähigen Organisationsgruppe breiten sich aus und passen sich besonderen Umweltbedingungen an.

Die Schutzvorrichtungen 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 ihres Biotops, sowohl in anorganischer als auch organi-

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 Vererbungsforschung hat die Ursachen der Veränderlichkeit der Organismen, die DARWIN noch weitgehend unbekannt waren, klargelegt. Danach kann sich die Stammesgeschichte 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 irreversibel. Sie 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.

## Das Entstehen von Haustieren und Kulturpflanzen

Unsere Haustiere und Kulturpflanzen stammen von Wildtieren und Pflanzen ab, die der Mensch zu verschiedenen Zeiten und in verschiedenen Gebieten der Erde zu nutzen begann. Die ältesten und wichtigsten Kulturpflanzen (Weizen, Gerste, Reis, Mais, Sojabohnen, Erbsen, Kartoffeln u. a.) und Haustiere (Rind, Schaf, Ziege und Schwein), die auch heute noch die Ernährung des größten Teils der Menschheit sichern, sind durch den zähen Fleiß und die züchterische Begabung vieler Generationen ein-

facher Bauern von primitiven Wildformen mit geringem Nutzwert zu Kultursorten und -rassen mit erstaunlich verbesserter Nutzleistung entwickelt worden (Abb. 140).

Während des Übergangs von der nomadisierenden Lebensweise der Jäger und Sammler zu einer sesshaften in größeren Gemeinschaften sind die ersten Anfänge von Pflanzenbau und Tierhaltung nachweisbar. In der Umgebung menschlicher Wohnstätten, deren Boden durch Abfälle verschiedenster Art mit Nährstoffen angereichert war, wuchsen aus zufällig verstreuten Samen, Knollen oder Wurzeln die gesammelten Wildpflanzen üppiger und in dichteren Beständen als normalerweise an den natürlichen Fundorten.

Solche und ähnliche Beobachtungen mögen die Menschen dazu veranlaßt haben, von der aneignenden zur produzierenden Wirtschaftsform überzugehen. Sie begannen, Samen oder Knollen von Wildpflanzen bewußt auszulegen und ihr Wachstum durch Pflege zu fördern. Zunächst diente der Grabstock als erstes landwirtschaftliches Gerät zum Lockern des Bodens, und mit dem Pflanzstock konnten Knollen (Kartoffeln) oder größere Samen (Mais) in den Boden gebracht werden. Die beginnende Haustierhaltung, beispielsweise von Rindern, gestattete schließlich die Entwicklung der Pflugkultur, die Bearbeitung von relativ größeren Flächen und den Anbau von Getreide und anderen kleinsamigen Pflanzen.

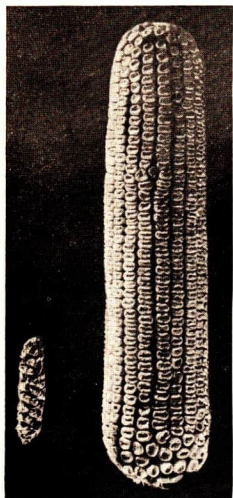


Abb. 140 Einer der ältesten bekannten Maiskolben (etwa 3000 Jahre alt), in Bot-Cave (New Mexiko) ausgegraben, und ein Zahmaiskolben moderner amerikanischer Züchtung

Diese Entwicklung vollzog sich weitgehend unabhängig in Ostasien, in den Gebirgstälern Zentralasiens, in Vorderasien und in Süd- und Mittelamerika. Haustiere und Kulturpflanzen gehören mit zu den ältesten und ersten Anzeichen menschlicher Kultur.

Die Domestikation der verschiedenen Wildformen war vom Pflanzen- und Tierbestand des betreffenden Gebietes und auch von der Lebens- und Produktionsweise der dieses Gebiet besiedelnden Menschen abhängig. Die Haltung von Haustieren wurde durch den bei der Mehrzahl der Wildrassen vorhandenen Geselligkeitstrieb erleichtert. Einzelne Jungtiere aus den Herden des Ur, der Bezoarziege, des Wildschafes u. a., deren Muttertiere auf der Jagd getötet wurden, sind wahrscheinlich vom Menschen aufgezogen worden und schlossen sich in Ermangelung anderer Möglichkeiten dessen häuslicher Gemeinschaft an. Sehr ausgeprägt ist diese Mensch-Tier-Gemeinschaft beim Hund entwickelt.

Die Entwicklung von Viehzucht und Ackerbau bildeten eine der wichtigsten Voraussetzungen für das Entstehen der alten Kulturen Kleinasiens, Ägyptens, Chinas, Süd- und Mittelamerikas. Archäologische Funde von Samen in Siedlungen, wie beispielsweise von Jarmo (Irak), Hotu-Höhle (Irak) und Fathom (Unterägypten) bestätigen uns, daß in den fruchtbaren Ebenen Mesopotamiens schon um 5000 v. u. Z. Getreide angebaut wurde. Auch der Mais, dessen Wildform heute nicht mehr vorkommt, wurde bereits zwischen 5000 und 3000 v. u. Z. in Mittelamerika (Mexiko) kultiviert (Abb. 140). Bei den meisten Funden von Samen oder Pflanzenresten, die mit der <sup>14</sup>C-Methode ziemlich genau datiert werden konnten, handelt es sich aber schon um kultivierte Primitivformen von Kulturpflanzen. Die Umwandlung einer Reihe von Wildpflanzen zu Kulturpflanzen muß also schon lange vorher erfolgt sein.

Zweifellos hat der Mensch seit dem Beginn der Domestikation von Tieren und Pflanzen Auslese betrieben (Abb. 141). Im Verlaufe der Jahrtausende wurden mehr oder weniger bewußt von den Tieren und Pflanzen Nachkommen gezogen, deren Nutzwert gegenüber der Wildform erhöht war. Schrittweise wurden so unerwünschte Merkmale der Wildform beseitigt und die Ausbildung neuer, für den Menschen vorteilhafter Eigenschaften bei Tieren und Pflanzen gefördert. Bei der Entstehung der Kulturpflanzen und Haustiere trat neben die natürliche Auslese als Evolutionsfaktor die künstliche Auslese durch den Menschen. Die Entstehung der Kulturpflanzen und Haustiere kann deshalb als ein Modell für die Evolution der Pflanzen- und Tierwelt angesehen werden. Dieses großartige Experiment der Menschheit, dessen Anfänge erst wenige Jahrtausende zurückliegen und das heute noch mit großer Intensität in vielen Ländern weitergeführt wird, erlaubt es uns in vielen Fällen, die Frage nach den Ursachen der Entwicklung der Kulturpflanzen und nach deren Heimat, Wanderung und Verbreitung recht gut zu beantworten. Die Geschichts- und Vorgeschichtsforschung, ja sogar die vergleichende Sprachforschung, haben wesentliche Beiträge zur Aufklärung von Domestikationszeit und -art geliefert. Von den historischen Wissenschaften haben wir viele Belege über die große Bedeutung, die Nutztiere und -pflanzen als unentbehrliche Ernährungsgrundlage innerhalb der wechselhaften Geschichte der Völker und Stämme gehabt haben.

Die Ergebnisse kulturhistorischer und völkerkundlicher Forschungen sind für die

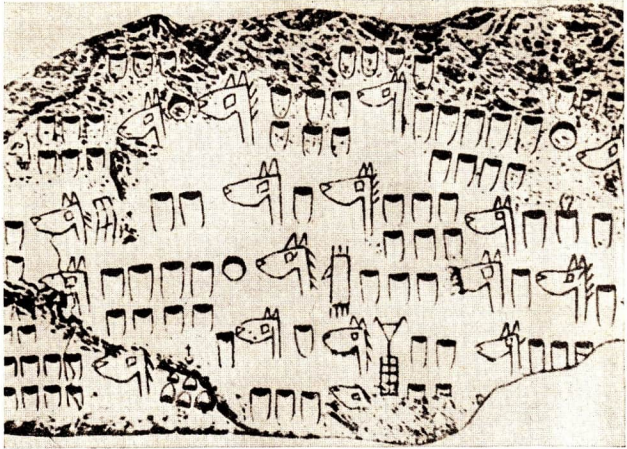


Abb. 141 In Stein geritzte Stammtafel über Pferdezucht aus Elam östlich des Ur in Kaldéen (etwa 6000 Jahre alt). Die Pferdeköpfe zeigen deutlich drei verschiedene Profile (konvex, gerade, konkav) und drei verschiedene Mähnenformen (aufrecht, hängend, mähnenlos). Diese Profile und Mähnenformen sind auch heute noch typisch für verschiedene Pferderassen.

Beurteilung vieler interessanter Einzelheiten der Entstehung und Wanderung von Nutztieren und -pflanzen im Zusammenhang mit den jeweilig herrschenden wirtschaftlichen, sozialen und politischen Verhältnissen sehr aufschlußreich. Die Fragen nach den biologischen Ursachen der Entwicklung einer Wildform zur Kulturform und ihrer derzeitigen Formenmannigfaltigkeit können jedoch nur mit biologischen Methoden erschöpfend beantwortet werden.

Der Entstehung von Kulturpflanzen und Haustieren liegt ein Evolutionsprozeß zugrunde, bei dem die gleichen Evolutionsfaktoren wirksam sind wie bei der Evolution im übrigen Tier- und Pflanzenreich mit dem einzigen Unterschied, daß der Mensch die Auslese nach seinen Bedürfnissen oder nach seinem Geschmack gelenkt hat.

Bereits im vergangenen Jahrhundert haben ALPHONSE DE CANDOLLE und CHARLES DARWIN mit der wissenschaftlichen Bearbeitung der Entstehungsgeschichte von Kulturpflanzen und Haustieren begonnen. CHARLES DARWIN hat bekanntlich viele Erfahrungen und Beobachtungen der Tier- und Pflanzenzüchter (er selbst züchtete jahrelang Tauben) für die Erklärung der Evolution im Tier- und Pflanzenreich herangezogen. Inzwischen sind unsere Kenntnisse, besonders über das Evolutionsgeschehen der Nutzpflanzen, durch die Ergebnisse der Genetik, Zytogenetik und Pflanzengeographie

wesentlich erweitert worden. Besonders sowjetische Forscher, unter denen VAVILOV eine führende Stellung einnahm, haben nach ausgedehnten Sammlungsreisen in viele Gebiete der Welt und vergleichenden Untersuchungen des Sammlungsmaterials die Entstehungszentren der wichtigsten Kulturpflanzen erforscht. Danach können acht Mannigfaltigkeits- oder Genzentren unserer Kulturpflanzen unterschieden werden (Abb. 142). In diesen Zentren der Formenmannigfaltigkeit wurde die größte Formen-

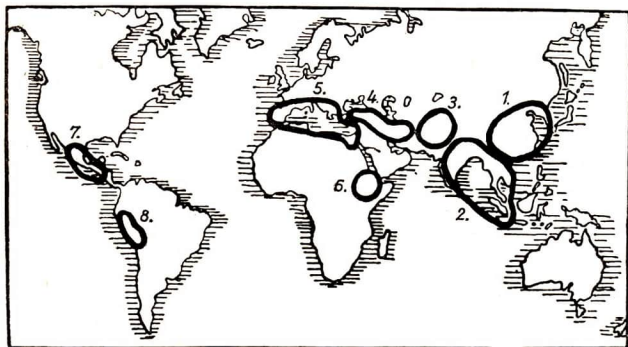


Abb. 142 Die Genzentren der Kulturpflanzen nach Vavilov

mannigfaltigkeit oder — genetisch ausgedrückt — die stärkste Anhäufung von Genen bei den jeweiligen Nutzpflanzenarten festgestellt. Die Genzentren liegen zumeist zwischen dem 10. und 40. Breitengrad in den Hochgebirgen oder Hochebenen der Tropen oder Subtropen und sind durch hohe Gebirge, Steppen oder Wüsten voneinander getrennt. So ist die selbständige Entwicklung der in diesen Gebieten vorkommenden Arten gewährleistet (Isolation). Die starken Temperaturschwankungen, denen die Pflanzen und reifenden Samen zusammen mit einer intensiveren UV-Strahlung ausgesetzt sind, führen zu einer erhöhten Mutationsrate. Die neuentstandenen Mutanten können sich auf Grund der starken Unterschiede im Kleinklima der Hochgebirge (Nord- und Südhänge, räumlich getrennte Täler u. a.) und der insgesamt günstigen Klimabedingungen leichter als in anderen Gebieten erhalten, wo die natürliche Auslese nur eine beschränkte Anzahl verschiedener Formen zuläßt. Für viele Kulturpflanzenarten, die als **primäre Kulturpflanzen** bezeichnet werden, kann das Genzentrum, das Zentrum der größten Formenfülle, auch als das Entstehungszentrum angesehen werden.

Nach den Untersuchungen VAVILOVS und neueren Ergebnissen der deutschen Botanikerin Elisabeth SCHIEMANN und anderer Forscher liegen die Genzentren unserer Kulturpflanzen in folgenden Gebieten (Abb. 142):

- |   |                    |                               |
|---|--------------------|-------------------------------|
| 1. Gebirgige Teile Chinas, Nepal und angrenzende Gebiete:   |                    |                               |
| Sechszellige Nacktgerste  | Sojabohne          | Gurke                         |
| Nackthafer  | Chinakohl          | Pfirsich                      |
| Nackthirsen   | Retlich            | Aprikose                      |
| 2. Vorder- und Hinterindien, Indochina und Siam:  |                    |                               |
| Reis  | Jute               | Citrusarten                   |
| Zuckerrohr  | Baumwolle          | Banane                        |
| 3. Mittelasien, Tienschan bis Hindukusch, Nordwest-Himalaja und Pandschab:                              |                    |                               |
| Saatweizen  | Lein               | Spinat                        |
| Erbse   | Möhre              | Zwibel                        |
| Linse   | Radieschen         | Rübsen                        |
| Ackerbohne  |                    |                               |
| 4. Vorderasien, Transkaukasien bis Zentralanatolien und Palästina:                                      |                    |                               |
| Einkorn   | Zweizeilige Gerste | viele Obstarten: Rebe, Birne, |
| Hartweizen  | Luzerne            | Walnuß, Quitte, Feige,        |
| Rauhweizen  | Wicke              | Mandel                        |
| 5. Mediterranes Gebiet, Randgebirge des Mittelmeeres:   |                    |                               |
| Hartweizen  | Kohlrübe           | Sellerie                      |
| Großkörnige Arten von Lein  | Beta-Rüben         | Porree                        |
| und verschiedenen Leguminosen   | Gemüsekohlr        | Rhabarber                     |
| Lupinen-Arten   | Spargel            | Zichorie                      |
| Raps  | Salat              | Ölbaum (Olive)                |
| 6. Abessinien und Eritrea:  |                    |                               |
| Tetraploide Weizenarten   | Hirsearten         | Kaffee                        |
| Abessinischer Hafer   | Flaschenkürbis     | Dattelpalme                   |
| 7. Mittelamerika, Hochebenen Mexikos:   |                    |                               |
| Mais  | Baumwolle          | Kakaobaum                     |
| verschiedene Bohnenarten  | Paprika            | Sisal                         |
| verschiedene Kürbisarten  | Bauerntabak        |                               |
| 8. Südamerika, die Anden von Peru, Ekuador und Bolivien, daneben kleine Zentren in Chile und Brasilien. |                    |                               |
| Mais  | Kürbis             | Erdnuß                        |
| Kartoffel   | Baumwolle          | Ananas                        |

Die vergleichende Untersuchung der Mannigfaltigkeit der Arten in den Genzentren hat ergeben, daß in der Mitte jeweils gehäufte Formen mit dominanten Genen vorkommen und daß die Formen an der Peripherie und darüber hinaus vornehmlich Träger rezessiver Gene sind. Die Anhäufung der Gene im Zentrum kann auf die verminderte Wirkung der natürlichen Auslese zurückgeführt werden (siehe oben). Weiterhin hat sich ergeben, daß sich die Formenmannigfaltigkeit einer Art in der Formenmannigfaltigkeit nahe verwandter Arten oder Gattungen wiederholt. So gibt es beim Weizen beispielsweise Formen mit weißen, gelben, roten und violetten Samen, die bei anderen Gramineen, wie dem Hafer, der Gerste und dem Roggen, ebenfalls vorkommen. Diese Wiederholungen der Variabilität betreffen nicht nur morphologische Merkmale, sondern sind auch bei physiologischen Eigenschaften verwandter Arten gefunden

worden, wie für Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten und niedere Temperaturen, für die Länge der Vegetationszeit, den Gehalt an Inhaltsstoffen u. a. DARWIN hatte diese wichtige Erscheinung schon erkannt und als **Parallelvariationen** bezeichnet. Von VAVILOV wurden die Verhältnisse genauer untersucht und als **Gesetz der homologen Reihen** formuliert (siehe Tabelle).

#### Homologe Reihen beim Getreide (nach VAVILOV)

Erblich variierende Eigenschaften		Roggen	Weizen	Gerste	Hafer	Hirse	Sorghum	Mais	Reis	Quecken
Dichte des Blütenstandes	dicht	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	locker	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Mittelform	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Färbung der Körner	weiß	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	rot	+	+	+				+	+	+
	grün/graugrün	+	+	+	+	+		+	+	+
Biologie	schwarz/dunkelgrau	+	+	+			+	+	+	
	violett/anthozyan	+	+	+				+	+	+
	Winterung	+	+	+	+					+
Reifezeit	Sommerung	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Wechselformen	+	+	+	+	+	+	+	+	
	späte Formen	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ökologischer Typus	frühreife Formen	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	hygrophil	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	xerophil	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Das Gesetz der homologen Reihen, das wie für die Getreide in ähnlicher Weise auch für die Leguminosen und andere Kulturpflanzenfamilien und Gattungen tabellarisch dargestellt werden kann, ist für die praktische Züchtung von großer Bedeutung. Bei der Suche nach wirtschaftlich wertvollen Formen einer Art, die bisher nur bei anderen nahe verwandten Arten oder Gattungen bekannt sind, kann mit großer Wahrscheinlichkeit mit ihrem Auffinden gerechnet werden. Die Züchtung der bitterstofffreien



gelben, blauen und weißen Lupinen in den Jahren 1927/28 in Deutschland ist hierfür ein überzeugendes Beispiel (s. S. 215).

Die große Formenfülle der Wildarten und primitiven Kulturarten der Nutzpflanzen in den Genzentren ist als Ausgangsmaterial zum Erreichen spezieller Zuchtziele durch Kombinationszüchtung von großem Wert. Aus diesem Grunde werden u.a. in der DDR (Gatersleben), in der Sowjetunion (Leningrad) und in den USA in besonderen Instituten Sortimente mit Tausenden von Mustern aller möglichen Kulturpflanzen lebend erhalten.

Neben den primären Kulturpflanzen, die direkt nach Inkulturnahme von Wildpflanzen entstanden, sind die **sekundären Kulturpflanzen** aus Unkräutern hervorgegangen, die beispielsweise in Weizen- oder Gerstenfeldern auftraten. Dies trifft für die Wildarten von Roggen und Hafer zu, die sich durch Anpassung an den Entwicklungsrhythmus, die Reifezeit, die Samengröße und andere Merkmale der Kulturarten von Weizen und Gerste schließlich zu selbständigen Kulturpflanzen entwickelten. Je ungünstiger Boden und Klima für den Anbau von Weizen und Gerste wurden, um so größer wurde der Anteil des Roggens in den Feldern. So breitete sich der Roggen, von Süden kommend, in Mitteleuropa immer stärker aus und konnte sich wegen seiner größeren Winterhärte, seiner geringeren Bodenansprüche und trotz seiner schlechteren Mehqualität zur wichtigsten Getreideart der Kelten, Germanen und Slawen entwickeln. Nach prähistorischen Funden hat diese Entwicklung vor etwa 3000 bis 3500 Jahren stattgefunden. In ähnlicher Weise sind auch Raps, Rübsen und einige Leguminosen aus ihren Wildformen entstanden. Auch der Hanf, der Mohn, die Möhre, die Beta-Rüben und der Kohl werden als sekundäre Kulturpflanzen angesehen. Bei diesen Pflanzen handelt es sich um besonders nährstoffliebende Arten, deren Wildformen sich in der Nähe menschlicher Siedlungen ansiedelten, wo sie geeignete Bedingungen vorfanden und schließlich in Kultur genommen wurden.

Die verschiedenen Organe der Wildpflanzen – Wurzel, Stengel, Blätter, Früchte und Samen – haben im Verlaufe der Entwicklung zu Kulturpflanzen starke Veränderungen erfahren. Ganz allgemein zeichnen sich Kulturpflanzen gegenüber ihren Wildformen durch einen kräftigeren Wuchs aus. Die verschiedenen Organe sind vergrößert, was sowohl auf einer Vermehrung der Zellzahl als auch der Zellgröße beruhen kann. Das

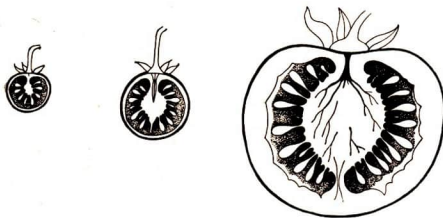


Abb. 143 Längsschnitt durch Früchte verschiedener Tomatenarten. Von links nach rechts Wildform, primitive Kulturform und Kulturform. Mit wachsender Fruchtgröße nimmt auch die Dicke der Fruchtwand und damit die Fruchtqualität zu.

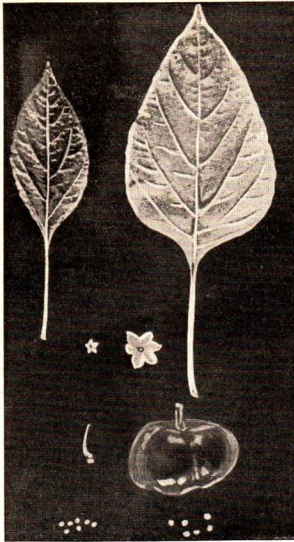


Abb. 144 Blätter, Blüten, Früchte und Samen einer Wildform (links) und einer Kulturform (rechts) von Paprika

betrifft diploide und polyploide Pflanzen in gleicher Weise (Abb. 143, 144). Die vom Menschen genutzten Organe zeichnen sich durch eine besonders starke Größenzunahme aus. Beim Paprika (*Capsicum annuum*; Abb. 144) ist das Blatt der Kulturform etwa dreimal so schwer wie das der Wildform, die Frucht ist aber fünfhundertmal so schwer. Nicht ganz so stark, aber doch sehr deutlich sind die Unterschiede von Blättern und Früchten bei Wild- und Kulturformen der Tomate, der Melone, der Stachelbeere, des Apfels und der Birne. Während bei den genannten Kulturpflanzen die Größenzunahme der Früchte besonders auffällig ist, kann auch die Sprossachse stark verdickt und zum Speicherorgan umgebildet sein (Kohlrabi). Bei vielen Gemüse- und Futterpflanzen sind, wie beim Grünkohl, dem Chinakohl oder dem Wirsingkohl die Blätter als genutzte Organe besonders stark vergrößert, während beim Blumenkohl die Stengel der Blüten vor ihrer Entfaltung stark verdickt sind.

Für die Samen, deren gespeicherte Nährstoffe (Öl, Fett, Eiweiß, Kohlenhydrate) als Nahrung oder deren große Anzahl anderer Inhaltsstoffe als Genußmittel, Heilmittel oder Gewürze verwendet werden, ist neben der Größenzunahme auch ein quantitativ oder qualitativ erhöhter Anteil der Inhalts-

stoffe charakteristisch. Die künstliche Auslese durch den Menschen hat bei den Kulturpflanzen nicht nur zur Vergrößerung und Vermehrung der genutzten Organe geführt, sondern auch zur Abschwächung oder dem Verlust von unerwünschten Eigenschaften. Beispielsweise konnten die Stacheln an den Stengeln der Brombeere oder an den Rizinuskapseln beseitigt werden. In neuester Zeit wurden aus den mehrsamigen Rübenknäueln einsamige gezüchtet, was von großer praktischer Bedeutung ist. Sehr auffällig ist bei vielen Kulturpflanzen der Verlust der natürlichen Verbreitungsmittel. Bei vielen Leguminosen und Cruziferen wurde das Platzen der Hülsen bzw. der Schoten beseitigt, womit das Ausstreuen der Samen verhindert und die Ernte erleichtert wurde.

Die Wildformen unserer Getreidearten haben eine brüchige Ährenspindel. Das ist für die natürliche Ausbreitung der Art vorteilhaft, aber nicht für eine verlustlose Ernte (Abb. 145). Samen von Pflanzen mit diesen Wildmerkmalen kamen in immer geringerem Anteil zur Aussaat, da sie bereits vor der Ernte ausgefallen waren. Pflanzen mit fester

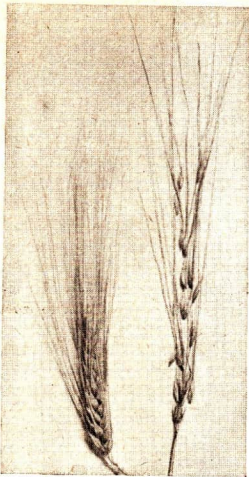


Abb. 145 Ähren von Kulturgerste (links) und Wildgerste (rechts). Die Ähre der Wildgerste zerfällt bei der Reife.

Ährenspindel wurden als Ergebnis einer unbe-  
wußten Auslese bevorzugt vermehrt, so daß  
schließlich unsere Kulturgetreidearten entstanden.

Manche Pflanzen, besonders verschiedene Obst-  
arten wie Banane, Rebe oder die „Jaffa“-Apfel-  
sinen, haben die Fähigkeit zur generativen Fort-  
pflanzung verloren. Ihre Vermehrung ist nur auf  
vegetativem Wege möglich, da die Früchte infolge  
der Jungfernfrüchtigkeit (**Parthenokarpie**), keine  
oder nur taube Samen enthalten.

Bei Kulturpflanzen sind ferner schnelle Keimung  
und gleichmäßige Reifezeit wichtige Eigenschaften.  
Bei den Wildformen enthalten die Samen oft kei-  
mungshemmende Stoffe (Wildhafer, Wildgerste),  
oder die Samenschalen sind für Wasser undurch-  
dringlich (kleinsamige Leguminosen, Lupinen),  
was für die Erhaltung der Art unter den Bedin-  
gungen der natürlichen Auslese sehr vorteilhaft  
ist. Die unregelmäßige Reife sichert die Samen-  
vermehrung der Wildpflanzen über einen längeren  
Zeitraum und schützt sie damit während der  
Reifezeit vor Vernichtung durch zeitweilig un-  
günstige Witterungsbedingungen oder Tierfraß.

Auch unsere Haustiere wie beispielsweise Ziege,  
Schaf, Rind, Pferd und Schwein, die im Verlaufe  
des Neolithikums, der jüngeren Steinzeit, dome-  
stiziert wurden, haben an ihren Organen erhebliche

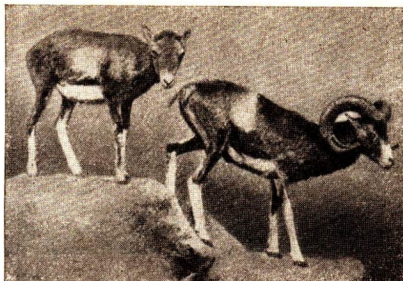
Veränderungen erfahren (Abb. 146). Die Formenmannigfaltigkeit der Arten vergrößerte  
sich je nach der Nutzungsrichtung (Fleisch-, Woll- und Milchschaft) oder dem Ge-  
schmack des Menschen (Hunde- und Taubenrassen). Ähnlich wie bei den Kulturpflanzen  
gibt es auch bei den Haustieren Parallelentwicklungen. Haut und Haar zeigen besonders  
vielfältige Veränderungen. Farbspiele von Rot, Gelb, Blau und Grau treten mit gleich-  
mäßiger Verteilung auf, und bei fast allen Haustieren können Scheckung, Fleckung  
oder Tigerung zu den verschiedenartigsten Zeichnungs- und Musterungstypen führen,  
die vom Wildtierkleid abweichen. Auch in Form und Anordnung von Haar und Feder  
gibt es bei den Haustieren ähnliche Erscheinungen. Hinsichtlich des Längenwachstums  
(Abb. 146, Mitte) fallen Steigerungen bei Schaf, Ziege, Kaninchen, Hund, Hausgeflügel  
u. a. gleichermaßen auf, wie auch Verfeinerungen des Haarkleides bei Schaf, Hund und  
Kaninchen bekannt sind. Zur Lockenbildung kommt es bei Hund, Pferd, Esel, Schwein,  
Rind, Ren, Schaf (Karakulschaf), Ziege und Kaninchen.

Die Körpergröße kann bei den Haustieren in einem Ausmaß zwischen Riesen und  
Zwergen schwanken, daß sogar die Fortpflanzungsgemeinschaft aus anatomischen  
Gründen unmöglich wird, wie das beispielsweise bei verschiedenen Hunderassen

Abb.146 Europäisches Wildschaf (Mufflon, oben), Schaf einer alten spanischen Landrasse mit schlichten Haaren (Mitte), Bock des Merino-Fleischschafes neuester Züchtung (unten)

der Fall ist. Künstliche Besamungen verlaufen dagegen erfolgreich.

Der Schwanz der Haustiere zeigt viele Besonderheiten. Aufrechte Haltung, verbunden mit Einkrümmungen, sind beim Hund und Schwein häufig, während die Zahl der Schwanzwirbel bei Hund, Katze, Schaf, Huhn und Ente verringert sein kann. Besonders tiefgreifend sind die Formwandlungen der Schädel im Verlaufe der Domestikation (Abb. 147). Sie können beispielsweise beim Hund vom Mopskopf bis zum Windhunds Schädel führen und parallel in verschieden starker Ausprägung bei allen Haustieren auftreten. Neben Veränderungen verschiedener Gewebe und Organe wie Muskulatur, bestimmter Darmabschnitte und Hormonalorgane (Dauerbrunst beim Rind) kommt den Wandlungen am Nervensystem und den Sinnesorganen große Bedeutung zu. Blaue Augen sind beispielsweise nur bei Haustieren und dem Menschen bekannt, die mit weiteren Unterschieden in Anatomie und Histologie verbunden sind. Ganz allgemein



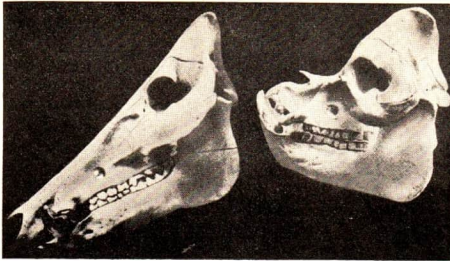


Abb. 147 Veränderungen des Schweinsschädels im Verlaufe der Domestikation. Wildschweinschädel (links), Schädel des englischen Middlewhiteschweins (rechts)

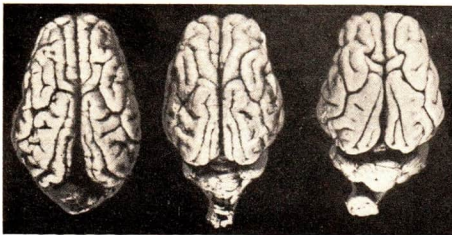


Abb. 148 Veränderungen des Gehirns bei Schweinen durch Domestikation. Links: Wildschwein; Mitte: Cornwalschwein; rechts: Middlewhiteschwein. Allgemein zeigt sich eine Vereinfachung des Gehirns, dessen Leistungsfähigkeit für das Haustier weniger Bedeutung hat als für das Wildtier. Bestimmte Zentren des Gehirns, in denen die Leistungen verschiedener Hirnteile miteinander verknüpft werden (Assoziationszentren), sind allerdings beim Hausschwein stärker ausgebildet als beim Wildschwein.

hat das Hirngewicht im Verlaufe der Domestikation bei den Haustieren eine erhebliche Verringerung erfahren, die bis zu 30% betragen kann (Abb. 148).

Kein Organ oder Körperteil blieb während der Entwicklung vom Wildtier zum Haustier unverändert. Stoffwechsel und Verhaltensweise der Haustiere haben sich gegenüber ihren Wildformen ebenfalls verändert.

#### Aufgaben

1. Stellen Sie in einer Übersicht die wichtigsten Kulturpflanzen und Haustiere zusammen! Geben Sie Ursprungsgebiet und Ausgangsform an! Erläutern Sie, welche wesentlichen Veränderungen in Bau und Leistung sich vollzogen haben!
2. Führen Sie Beispiele dafür an, daß auch heute noch Tiere domestiziert und Pflanzen in Kultur genommen werden! Erläutern Sie die Ursachen und Ziele dieses Vorganges!

Die Frage nach den biologischen Ursachen der Merkmalsänderungen bei Haustieren und Kulturpflanzen und die Entstehung der großen Formenmannigfaltigkeit von Rassen und Sorten der verschiedenen Arten kann nur durch die Erkenntnisse der Vererbungs- und Evolutionsforschung erklärt werden. Die phänotypisch einheitlich und konstant

erscheinenden Populationen der Wildformen von Haustieren und Kulturpflanzen sind, wie schon hervorgehoben wurde, genotypisch durchaus nicht homogen. Sie enthalten heterozygot viele rezessive Mutationen, von denen je nach Veränderungen der Umwelt einige zur Manifestation kommen können, wenn sie für die betreffende Art einen Selektionsvorteil bedeuten. Die Inkulturnahme von Wildpflanzen oder die beginnende Haltung von Wildtieren bedeutete für diese eine außerordentlich starke Umweltveränderung gegenüber ihren natürlichen Verbreitungsgebieten. Die zusätzlich wirkende künstliche Auslese durch den Menschen ließ Phänotypen überleben, deren Nutzwert erhöht war, die aber unter natürlichen Umweltbedingungen ausgemerzt worden wären.

**Genmutationen** waren für die Entstehung der Domestikationsmerkmale bei Tieren und Pflanzen von großer Bedeutung. Es ist beispielsweise bekannt, daß die Spindelbrüchigkeit der Wildgerste auf zwei dominanten Genen beruht. Ist nur ein Genpaar zum rezessiven Zustand mutiert, so ist die Spindel weniger brüchig als bei der Wildform. Erst die Mutation beider dominanter Gene kann die Spindelbrüchigkeit restlos beseitigen. Viele Kulturmerkmale, wie beim Kohl die Kopfbildung oder die Kräuselung der Blätter, und bei anderen Pflanzen die Größe der Organe, die Wuchshöhe, die Gehalte an Inhaltsstoffen und schließlich die Ertragsfähigkeit überhaupt, sind durch das Zusammenwirken mehrerer gleichsinnig wirkender Gene zustande gekommen, also polymer bedingt. Sie sind schrittweise durch Genmutationen an verschiedenen Genorten einer oder mehrerer Pflanzen unabhängig voneinander entstanden. Die freie Kreuzbarkeit, die zu Neukombinationen der Gene führt, und der Chromosomenstückeaustausch zwischen homologen Chromosomen in der Meiose haben wesentlich zur Vereinigung und Steigerung von Kulturmerkmalen in einem Individuum beigetragen.

Ein Beispiel aus jüngster Zeit als Modell der Entwicklung einer Wildpflanze zur Kulturpflanze durch Genmutation und nachfolgender Kombination ist die Züchtung der gelben und blauen Süßlupinen (*Lupinus luteus* und *Lupinus angustifolius*) in Deutschland. Zunächst gelang es im Jahre 1928, aus einem Bestand von etwa 40000 Pflanzen der bitteren und für Tiere giftigen gelben Lupine (Alkaloidgehalt 1,1486%) drei spontane Mutanten mit stark verringertem Alkaloidgehalt (0,007 bis 0,025%) auszulesen. Dann konnten später, ebenfalls aus umfangreichem Pflanzenmaterial, weichschalige und weißsamige Mutanten und solche mit platzfesten Hülsen ausgelesen werden. Zunächst wurden die Merkmale „Alkaloidarmut“ und „Weichschaligkeit“ durch Kreuzung miteinander vereinigt. Dann folgten später nach Auffinden entsprechender Mutanten in Süßlupinenbeständen die Merkmale „Weißsamigkeit“ und „Platzfestigkeit“ und schließlich noch „schnelle Jugendentwicklung“. So ist im Verlaufe von etwa 20 Jahren aus der bitteren Gelben Lupine, die bis dahin nur als Gründüngungspflanze auf leichten Böden Bedeutung hatte, eine Futterpflanze gezüchtet worden, die wegen ihres hohen Eiweißgehaltes in den grünen Stengeln und Blättern und auch in den reifen Samen in geeigneten Gebieten der DDR in Zukunft mehr und mehr Bedeutung erlangen wird. Die Züchtung ist noch nicht abgeschlossen. Ertragshöhe und -sicherheit von Grünmasse und Körnern, fester Sitz der Hülsen am Stengel zur Verminderung der Verluste

während der Reife und Mähdruschernte, Resistenz gegen Krankheiten u. a. sind Zuchtziele, an deren Verwirklichung in verschiedenen Instituten für Pflanzenzüchtung erfolgreich gearbeitet wird.

Unter den **Chromosomenmutationen** sind neben anderen auch Translokationen (s. S. 166) an der Entstehung der Kulturformen und der innerartlichen Formenmannigfaltigkeit der Kulturpflanzen beteiligt gewesen. Beispielsweise unterscheidet sich der diploide Kulturroggen (*Secale cereale*  $2n = 14$ ) von den vier Wildarten *Secale africanum*, *S. martanum*, *S. vavilovii* und *S. silvestre* jeweils durch zwei reziproke Translokationen. Bei der Kulturerbse (*Pisum sativum*) konnten nach Kreuzungen mit den Wildarten an 6 von den 7 Chromosomen des haploiden Satzes reziproke Translokationen festgestellt werden. Auch beim Mais, dem Weizen und der Gerste sind Translokationen als Ursachen für die Herausbildung geographisch-ökologischer Rassen von Bedeutung gewesen.

Auf die Rolle der **Genommutationen** bei der Entstehung der Kulturpflanzen ist schon auf Seite 162ff. hingewiesen worden.

Neben den Autopolyploiden, die aus der Vervielfachung des Genoms einer Pflanze

hervorgehen, wie es von Kartoffeln, einigen Sippen des Kaffees und auch vom Lein bekannt ist, hat das spontane Auftreten allopolyploider Formen häufig zur Entstehung neuer Arten und zur Steigerung der Formenfülle unserer Kulturpflanzen geführt. Der Allopolyploidie, die aus der Vervielfachung strukturell verschiedener Chromosomensätze von Bastarden zustande kommt, muß eine zwischenartige oder innerartige Kreuzung vorausgehen. Häufig haben bei den Kulturpflanzen diejenigen Arten mit dem höchsten Ploidiegrad auch wirtschaftlich die größte Bedeutung erlangt. Der Weizen (Abb. 149), der Hafer, eine Anzahl anderer Gräser, der Tabak, die Hauspflaume und andere Obstarten und viele Zierpflanzen (Gartenhyazinthen, Tulpen, Primeln, Rittersporn, Schwertlilien u. a.) sind hierfür gute Beispiele. Das ist aber nicht bei allen Pflanzen in gleicher Weise der Fall. Bei der Zuckerrübe ist beispielsweise das Leistungsoptimum schon bei den triploiden Formen erreicht, die den tetraploiden überlegen sind. Da die Triploidie meistens von Fertilitätsstörungen begleitet ist, die bis zur Taubsamigkeit führen kann, tritt sie



Abb. 149 Zunahme der Ährengröße mit steigender Ploidiestufe beim Weizen. Von links nach rechts: Einkorn, *Triticum monococcum* ( $2n = 14$ ); Emmer, *T. dicoccum* ( $2n = 28$ ); Saatweizen, *T. aestivum* ( $2n = 42$ )

unter zahlreichen vegetativ vermehrbaren Kulturpflanzen auf. Einige primitive Kulturkartoffeln, die Speisebanane und eine Anzahl Apfelsorten (Wilhelmapfel, Blenheim und Boskoop) sind triploid. Bei einigen diploiden Kulturpflanzen (z. B. Gerste) scheint Polyploidie stets zu einer Leistungsminderung zu führen.

Die Veränderungen, die bei unseren Haustieren im Verlaufe der Domestikation an fast allen Körperteilen und Organen aufgetreten sind, entstanden in erster Linie schrittweise durch Genmutation. Die Haltung von Wildtieren aus natürlichen Populationen durch den Menschen begünstigte die Homozygotie, so daß rezessive Mutanten leichter in Erscheinung treten und bei Eignung bevorzugt weitergezüchtet werden konnten. Ob die zur Haustierwerdung entscheidenden Merkmale schon als rezessive Mutationen in den Wildpopulationen enthalten waren oder ob die Haltung durch den Menschen ihre Entstehung begünstigte, ist noch nicht klar entschieden. Beim Nerz zum Beispiel, der erst etwa seit 28 Generationen von Menschen als Haustier gehalten wird, sind schon mehr als ein Dutzend zum Teil sogar dominante Farbmутanten bekannt. Wären diese Gene bereits in der Wildart vorhanden oder diese Mutationen bei ihr häufig, so müßte ein gelegentliches Herausspalten auch in freier Wildbahn zu beobachten sein. Obgleich jährlich weit über eine halbe Million Felle wilder Nerze auf den Markt kommen, sind die während der Haltung aufgetretenen Farbmутanten bisher nicht beschrieben worden.

Genmutationen sind jedenfalls an der Umgestaltung von Wildtieren zu Haustieren wesentlich beteiligt gewesen. Die Kreuzung hat bei der Herausbildung der wesentlichen Domestikationsmerkmale in der Frühzeit der Haustierhaltung sicher keine große Bedeutung gehabt. Bei der Differenzierung von Rassen und den Veränderungen, die innerhalb der Rassen einer Art im Verlaufe der Züchtung auftraten, waren Kreuzungen jedoch wesentlich beteiligt.

Bei der Entstehung unserer Haustiere und Kulturpflanzen waren die gleichen Gesetzmäßigkeiten – Mutation, Kombination, Isolation und Selektion – wirksam, die auch für die Rassen- und Artbildung im übrigen Tier- und Pflanzenreich erkannt wurden.

Die künstliche Zuchtwahl durch den Menschen ließ spontan entstandene Mutanten oder Bastarde mit höherem Nutzwert überleben und bevorzugt zur Fortpflanzung kommen. Dies geschah in den vergangenen Jahrtausenden mehr oder weniger unbewußt und zufällig, ohne Kenntnis der biologischen Entstehungsursachen der Formenmannigfaltigkeit. Erst im vergangenen Jahrhundert begann sich eine bewußte und planmäßige Tier- und Pflanzenzüchtung zu entwickeln, die schließlich nach der Wiederentdeckung der MENDELschen Gesetze zu Beginn des 20. Jahrhunderts wissenschaftlich betrieben wurde.



## Aufgaben, Leistungen und Methoden der Tier- und Pflanzenzüchtung

Wie jede wissenschaftliche Disziplin haben auch die Tier- und Pflanzenzüchtung ihren historischen Entwicklungsprozeß durchlaufen. Die Zunahme allgemeinbiologischer Kenntnisse über Fortpflanzung und Vererbung sowie über die Ursachen der Veränderlichkeit hat seit der Mitte des 19. Jahrhunderts in zunehmendem Maße Einfluß auf Inhalt und Methoden tier- und pflanzenzüchterischer Arbeit gehabt. Von England ausgehend wurden die im Tier- und Pflanzenreich wirkenden biologischen Gesetzmäßigkeiten bald auch in den übrigen europäischen Ländern und darüber hinaus bewußt und planmäßig zur züchterischen Verbesserung von Haustieren und Kulturpflanzen angewandt. Die wachsende Bevölkerungszahl in Europa führte zu einem steigenden Bedarf an Nahrungsmitteln der verschiedensten Art. Die Einführung der künstlichen Düngung, die Verbesserung der acker- und pflanzenbaulichen Methoden und die steigende Tierhaltung in der Landwirtschaft forderten noch heute Kulturpflanzen von hoher Leistungsfähigkeit, Ertragssicherheit und guter Qualität. Das gleiche trifft für die Haustiere zu. Die Erhöhung der Milch- und Fleischleistung beim Rind, die Woll- und Fleischleistung beim Schaf, die Verkürzung der Mastzeit und die Erhöhung des Fleischanteils beim Schwein u. a. gehören seit jeher zu den Zielen der Tierzüchter.

Die Aufgaben der Tier- und Pflanzenzüchtung ergeben sich aus den natürlichen Gegebenheiten von Klima und Boden und den volkswirtschaftlichen Bedürfnissen eines jeden Landes. Sie sind abhängig von der sich wandelnden Ernährungsweise der Menschen und der Produktionsweise der Landwirtschaft, die wiederum von den sozialen, ökonomischen und politischen Verhältnissen beeinflußt werden.

Die Tier- und Pflanzenzüchtung hat in den vergangenen Jahrzehnten wesentlichen Anteil an der Leistungssteigerung von Haustieren und Kulturpflanzen gehabt, wie aus den folgenden Tabellen entnommen werden kann.

### Leistungssteigerung bei einigen Kulturformen

#### Haustiere

Leistung	Wildform	um 1800	1963
Milchleistung der Kühe	600 kg	860 kg	2800 kg
Eierleistung der Hennen	8 bis 12 Stück (je 35 g)	50 bis 60 Stück	140 Stück (50 bis 70 g)
Mastzeit für Schweine	—	18 Monate	8 Monate

## Kulturpflanzen

Leistung	Wildform	1890	1963 (Versuchsergebnisse)
Knollenertrag der Kartoffel	—	187 dt/ha	266 dt/ha
Stärkeertrag der Kartoffel	—	36 dt/ha	46 dt/ha
Zuckergehalt der Zuckerrübe	2 bis 4%	8 bis 10%	17 bis 22%

Der Bedeutung der Züchtung ist, wie in den meisten entwickelten Ländern, auch in der Deutschen Demokratischen Republik durch die Einrichtung und Erweiterung von Instituten für Pflanzenzüchtung und Tierzüchtung innerhalb der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften und der Universitäten Rechnung getragen worden. Die staatliche Planung und Finanzierung der Züchtung gibt die Möglichkeit, sie von privatwirtschaftlichen Interessen zu befreien, die beispielsweise in der Vergangenheit dazu geführt haben, daß die Futterpflanzen (Luzerne, Rot-Klee u.a.) züchterisch kaum verbessert wurden, obwohl sie volkswirtschaftlich für die Ernährung der Bevölkerung eine weit größere Bedeutung haben als beispielsweise Speiseerbsen oder sogar Zuckerrüben.

### Die Pflanzenzüchtung

Die sinnvolle Übertragung der von der Vererbungsforschung erkannten Gesetzmäßigkeiten ermöglichte erstmalig eine wirklich planmäßige, vom Zufall weitgehend unabhängige Pflanzenzüchtung. Die vielfältigen Zuchtaufgaben bei den verschiedenen Kulturpflanzen, die die Erhöhung des Ertrages, der Qualität, der Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten und Schädlingen und eine verlustlose Bearbeitungsmöglichkeit durch Großmaschinen zum Ziele haben, werden je nach den befruchtungsbiologischen Verhältnissen der betreffenden Art unterschiedlich gelöst.

**Die Auslesezüchtung:** Die Auslese von Pflanzen mit verbesserten Leistungsmerkmalen aus einer Population und deren bevorzugter Weiterbau ist die älteste und ursprünglichste Methode züchterischer Arbeit. Aber erst die Auslese von Einzelpflanzen, ihr getrennter Nachbau auf kleinen Parzellen über mehrere Jahre, läßt eine klare Entscheidung darüber zu, ob die beobachteten Verbesserungen eines oder mehrerer Leistungsmerkmale modifikativ oder erblich bedingt sind. Die **Methode der Individualauslese mit Prüfung der Nachkommenschaft**, deren Verlauf bei selbstbefruchtenden Pflanzen wie zum Beispiel Weizen, Gerste, Erbsen u. a. auf der Abbildung 150 schematisch dargestellt ist, hat in der Frühzeit der Pflanzenzüchtung zu beachtlichen Erfolgen geführt. Aus den an verschiedenen Genotypen reichen Populationen primitiver Land-sorten ließen sich relativ leicht leistungsfähigere Stämme auslesen.

Bei den Fremdbefruchtern, wie beispielsweise beim Roggen, Raps oder Kohl, hat man einen anderen Zuchtweg entwickelt, da an der Befruchtung der Nachkommen der ausgewählten Mutterpflanzen ein unbekannter Partner beteiligt ist, dessen Erbanlagen-

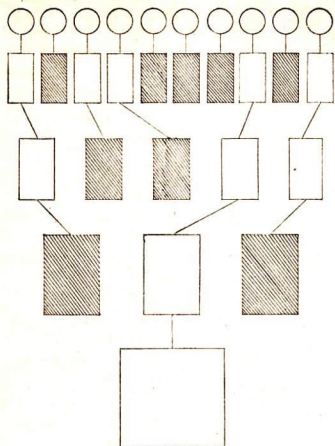


Abb. 150 Zuchtschema der Individualauslese mit Prüfung der Nachkommenschaft bei Selbstbefruchtern. Mit den schraffierten Rechtecken sind die ausgewählten Stämme gekennzeichnet.

bestand ungünstige Wirkungen haben kann. Deshalb wendet man die **Methode des überlagerten Saatgutes** oder die Restsaatgutmethode an (Abb. 151). Hierbei wird jeweils ein Teil des Saatgutes der ausgelesenen Stämme zurückgehalten, um nach dem Ausmerzen der ungeeigneten Stämme im nächsten Jahre nur die besten Stämme untereinander frei abblühen zu lassen. Durch diese Lenkung der Bestäubung, die Einkreuzung unerwünschter Genotypen mehr und mehr verhindert, verbessern sich die Stämme, und nach genügend langer Fortsetzung dieses Zuchtverfahrens kann der Stamm ausgewählt werden, der die gewünschten Merkmale bei allen Individuen aufweist und weitgehend einheitlich auf die nächste Generation vererbt.

Die Methode der Individualauslese mit Prüfung der Nachkommenschaft und die Methode des überlagerten Saatgutes sind auch heute noch unentbehrliche Hilfsmittel der praktischen Pflanzenzüchtung, um aus natürlichen oder experimentell hergestellten Populationen die Pflanzen mit erblich verbesserten Leistungsmerkmalen zu erfassen.

Ohne die Auslesezüchtung wäre es nicht möglich, unsere Hochzuchtsorten auf ihrem Leistungsstand zu halten. Nur eine ständige Auswahl von Elitepflanzen und die erneute Prüfung, deren

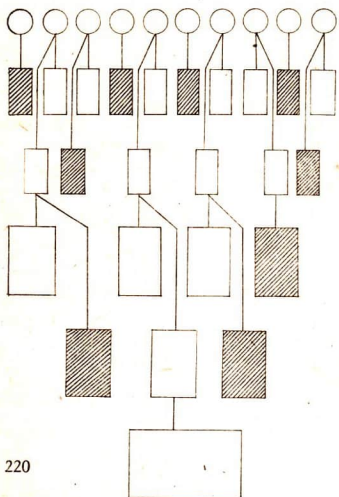


Abb. 151 Zuchtschema der Individualauslese bei Fremdbefruchtern nach der Methode des überlagerten Saatgutes. Mit den schraffierten Rechtecken sind die ausgewählten Stämme gekennzeichnet.

Nachkommenschaften auf die für die jeweilige Sorte typischen Merkmale, auf Ertrag und Qualität garantiert die Sortenechtheit.

Die **Kombinationszüchtung** ist die erfolgreichste Methode zur Verbesserung der Leistungsmerkmale unserer Kulturpflanzen. Die Kreuzung gibt die im Gesetz von der Neukombination der Gene erkannte Möglichkeit (s. S. 156), günstige Erbanlagen verschiedener Sorten in einer Sorte zu vereinen. So sind nach Kreuzung frostfester, ertragreicher Landsorten des Weizens mit ertragreichen, aber frostempfindlichen Weizensorten ertragreiche und frostharte Weizensorten entstanden.

Die Kreuzung des Faserleins mit geringer Stengelverzweigung, wenig Samen und geringem Tausendkorngewicht mit dem Öllein, der mehr Samen mit höherem Tausendkorngewicht liefert, ergab den Kombinationsleins, der die gute Faserqualität des Faserleins und die hohe Samenproduktion des Ölleins in sich vereinigt.

Auch bei der Züchtung auf Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten sind durch die Kombinationszüchtung erhebliche Fortschritte erzielt worden. Hierbei kommt häufig noch die **Methode der wiederholten Rückkreuzung** zur Anwendung, da viele Resistenzeigenschaften nur bei Wild- oder Primitivformen zu finden sind. Zur Züchtung einer *Cladosporium fulvum* - resistenten Tomatensorte muß beispielsweise die anfällige Kulturtomate (*Lycopersicon esculentum*) mit der resistenten Wildtomate (*Lycopersicon pimpinellifolium*) gekreuzt werden. Die Resistenz der Wildform beruht auf einem dominanten Gen (J), so daß der Bastard ebenfalls resistent ist. Bei der Kreuzung (Abb. 152) werden aber außer dem Merkmal der Krankheitsresistenz auch die vielen unerwünschten Eigenschaften der Wildform übertragen, was beispielsweise sehr deutlich an der Fruchtgröße erkennbar wird (die Wildform hat nur etwa kirschgroße Früchte). Um die Wildmerkmale (außer der Resistenz) zu verdrängen, wird der Bastard mit der Kultursorte mehrmals rückgekreuzt, um erst, wie unserem Beispiel der Abbildung 152 zu entnehmen ist, die Bastarde nach der zweiten Rückkreuzung zu selbstbestäubigen Pflanzen zu selektionieren, die in Fruchtgröße und Form der Kultursorte gleichen.

Auf die Möglichkeit, durch Kreuzung quantitative Eigenschaften, wie Winterfestigkeit, Ertrag, Standfestigkeit, Qualität u.a., die polymer bedingt sind, zu vereinigen, so daß der Bastard den beiden Ausgangssorten im betreffenden Merkmal überlegen ist, wurde bereits hingewiesen.

Ein gewisser Nachteil der Kombinationszüchtung bei Selbstbefruchtern und auch Fremdbefruchtern besteht in der langen

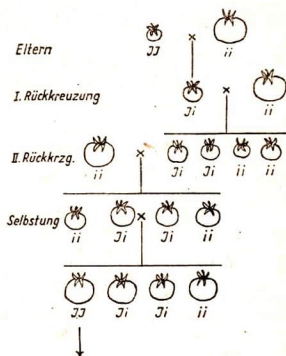


Abb. 152 Die Anwendung der Methode der wiederholten Rückkreuzung bei der Züchtung *Cladosporium fulvum* - resistenten Tomaten

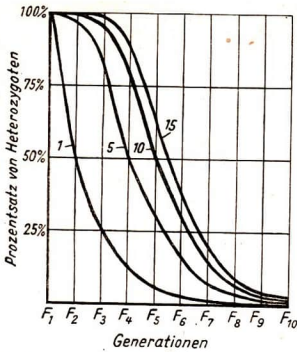


Abb. 153 Die Abnahme heterozygoter Individuen in Populationen freispaltender Selbstbefruchter von F<sub>1</sub> bis F<sub>10</sub> bei 1, 5, 10 und 15 Erbfaktoren

Nur nach der Kreuzung vegetativ vermehrbare Pflanzen (beispielsweise Kartoffeln und viele Obstsorten), werden geeignete F<sub>1</sub>-Bastarde nach Verklonung direkt zu den Prüfungen herangezogen.

Die Heterosiszüchtung hat in den letzten 3 Jahrzehnten in der Pflanzenzüchtung zunehmende Bedeutung erlangt. Die Überlegenheit eines F<sub>1</sub>-Bastardes gegenüber den Kreuzungseltern an Wüchsigkeit, Ertrag und anderen Merkmalen, wird als Heterosis bezeichnet. Sie beruht auf der Heterozygotie bestimmter leistungsfördernder Gene. Durch die Zunahme von Homozygoten in F<sub>2</sub> und F<sub>3</sub> läßt die Heterosiswirkung in den folgenden Generationen in zunehmendem Maße nach. Aus diesem Grunde ist die Heterosis bei Pflanzen, die durch Samen vermehrt werden, nicht fixierbar. Jährlich muß neues Heterosissaatgut hergestellt werden.

Beim Mais sind durch den Anbau von Heterosissorten in kurzer Zeit bedeutende Ertragssteigerungen (20%) zuerst in den USA, später auch in den übrigen maisanbauenden Ländern erzielt worden. Dies gilt sowohl für Körner- als auch für Silomais. Für die Herstellung des Heterosissaatgutes werden meist wenig leistungsfähige, ingezüchtete Linien verwandt, die nach Kreuzung besonders wüchsige Bastarde ergeben. Durch nochmalige Kreuzung dieser Bastarde wird die Heterosiswirkung wiederum gesteigert und auf diese Weise das Doppelhybridsaatgut in genügender Menge gewonnen (Abb. 154). Wie aus der Abbildung zu ersehen ist, müssen von den Mutterpflanzen der Kreuzung jeweils die männlichen Blütenstände entfernt werden. Das führt zu einem großen Arbeitsaufwand. Inzwischen konnten männlich sterile Inzuchtlinien gezüchtet werden, bei denen diese Arbeit entfällt. Die Heterosiszüchtung hat außer bei Mais auch bei Tomaten, Gurken, Melonen, Zwiebeln, Zuckerrüben, Zierpflanzen und anderen Kul-

Dauer des Zuchtverfahrens. Bei einfachen Rassenkreuzungen selbstbefruchtender Pflanzen mit Unterschieden in nur wenigen Genen kann — entsprechend der Relationsverschiebung zwischen Homozygoten und Heterozygoten (Abb. 153) — die Individualauslese bereits von der F<sub>3</sub> an mit Erfolg durchgeführt werden. Bei Kreuzungen mit vielen Genunterschieden muß mit der Auslese bis F<sub>6</sub> beziehungsweise F<sub>8</sub> gewartet werden. Erst dann haben die Kreuzungspopulationen einen Grad an Homozygotie erreicht (Abb. 153), der das Auffinden der gewünschten Merkmalskombinationen in homozygoter Ausprägung wahrscheinlich macht. Die Züchtung einer neuen Sorte, die vor ihrer Zulassung als Handelssorte außerdem einer mehrjährigen staatlichen Sortenwertprüfung unterzogen wird, dauert gewöhnlich 10 bis 20 Jahre.

turpflanzen zu bemerkenswerten Erfolgen geführt.

Die Mutationszüchtung entwickelte sich aus der Erkenntnis, daß spontane Gen- und teilweise auch Chromosomenmutationen bei der Herausbildung züchterisch wichtiger Merkmale unserer Kulturpflanzen eine wesentliche Rolle gespielt haben (s. S. 165 ff.). Die Möglichkeiten der experimentellen Mutationsauslösung durch ionisierende Strahlen, insbesondere Röntgenstrahlen, und die in den letzten Jahren als noch wirkungsvoller erkannten chemischen Verbindungen (s. S. 164) vergrößerten die Aussichten, mit dieser Methode züchterische Erfolge zu erzielen.

H. STUBBE, der als erster deutscher Wissenschaftler ein umfangreiches Sortiment verschiedener Mutanten von Garten-Löwenmaul (*Antirrhinum majus*) experimentell erzeugte, wies mehrmals auf die Brauchbarkeit dieser Methode für die züchterische Praxis hin. Tatsächlich konnten nach Bestrahlungen von Gerstensamen Tausende von Mutanten unter den Nachkommen behandelter Pflanzen ausgeselen werden. Neben

den am häufigsten auftretenden letalen, subletalen oder vitalitätsgeminderten Mutanten erwiesen sich viele als normal vital, und einige übertrafen die Ausgangsarten im Ertrag oder besaßen züchterisch seit langem gesuchte Merkmale. Bei der Gerste konnten beispielsweise frühreife, glattgrannige, nacktkörnige, mehlauresistente, eiweißreichere und standfeste Mutanten gefunden werden (Abb. 155). Sie bilden wertvolles Ausgangsmaterial für weitere kombinationszüchterische Arbeiten. Der Vergleich der experimentell erzeugten Formenmannigfaltigkeit mit der des Weltsortiments der Gerste zeigte in vielen Merkmalen eine Übereinstimmung. Diese Tatsache läßt den Schluß zu,

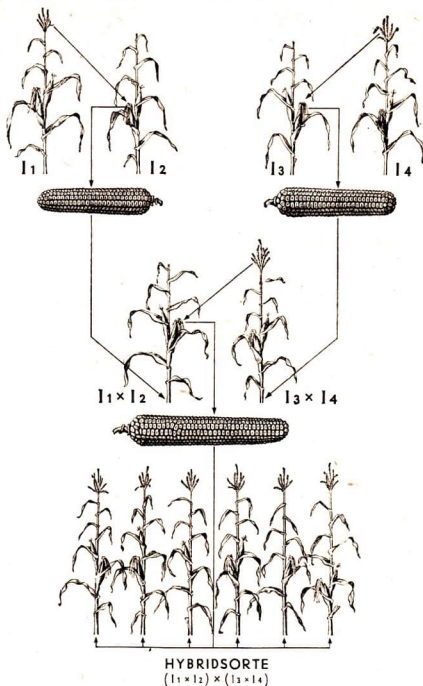


Abb. 154 Erzeugung von Doppellinienhybridsaatgut beim Mais

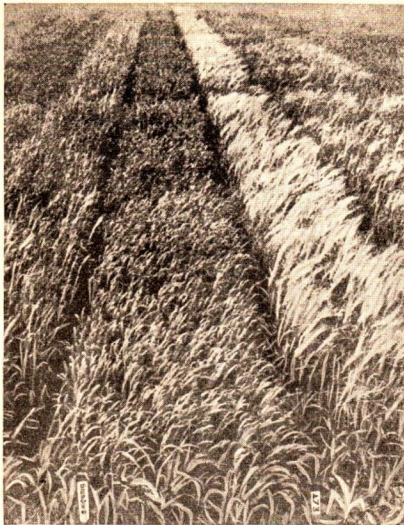


Abb. 155 Frühreife Mutation der Wintergerste. Mittlere Parzelle: Die Ausgangssorte Friedrichswerther Berg; rechts danebenliegende Parzelle: frühreife Mutante

daß nach Behandlung einer genügend großen Anzahl (20 000 und mehr) Samen einer selbstbefruchtenden Kulturpflanzensorte, die in dem betreffenden Gebiet die höchsten Leistungen bringt, das mutative Auftreten bestimmter erwünschter Merkmale (z. B. Mehltaresistenz) zu erwarten ist. Mit Hilfe der Mutationsauslösung kann somit die oft zeitraubende Kombinationszüchtung verkürzt werden.

Ähnliche Versuche wurden in Schweden und den USA außer mit Gerste auch mit Hafer, Weizen, Reis, Senf, Erbse, Sojabohne, Lupine, Erdnuß, Tomate, Obst und Zierpflanzen erfolgreich

durchgeführt. Hervorzuheben sind noch die Veränderungen, die durch die Mutationsauslösung bei pharmazeutisch wichtigen Mikroorganismen, beispielsweise dem Pilz *Penicillium*, erreichbar sind. Da bei diesem Organismus hohe Individuenzahl und schnelle Generationsfolge gegeben sind, konnten nach relativ kurzer Zeit Formen selektiert werden, die das wertvolle Antibiotikum Penicillin in tausendfach erhöhter Konzentration enthielten.

Die **Polyplöidiezüchtung** ist die bewußte Fortsetzung der bei vielen Kulturpflanzen erkannten leistungssteigernden Wirkung von spontanen Genommutationen (s. S. 162 ff.). Da sich nach künstlicher Polyplöidisierung die Vergrößerung der Zellen besonders an den vegetativen Organen der Pflanzen bemerkbar macht und oft zu Riesenwuchs führt, sind Pflanzen, deren vegetative Organe beziehungsweise ihre Inhaltsstoffe genutzt werden, für die Polyplöidiezüchtung besonders gut geeignet. Vielfach haben die experimentell erzeugten Polyplöiden die züchterischen Erwartungen nicht erfüllt. Neben der Vergrößerung bestimmter Organe zeigen sie Fertilitätsstörungen, unerwünschte physiologische Eigenschaften (beispielsweise geringere Winterfestigkeit). Die vielfachen positiven und negativen Veränderungen der Merkmale sind eine Folge der Veränderungen des Kern-Plasma-Verhältnisses, in erster Linie aber eine Folge der

Genwirkung. Nach dem Übergang vom diploiden in den tetraploiden Zustand liegt jedes Gen nicht mehr zweifach, sondern vierfach vor. Mit dieser Vermehrung geht aber nicht bei allen Genen eine gleiche positive Wirkung einher. Wie genetische Analysen zeigen, haben manche Gene bereits in einfacher Dosis, andere erst bei zwei-, drei- oder vierfacher Dosis ihr Wirkungsoptimum erreicht. Dieses Zusammenwirken hemmender und fördernder Gene kann nur durch die Umkombination nach Weiterzucht polyploidisierter Pflanzen zu günstigen Kombinationen führen. Dafür ist es allerdings Voraussetzung, daß als Ausgangsmaterial für die experimentelle Erzeugung von Polyploiden heterozygote Pflanzen verwandt werden. Nur dann können mit Aussicht auf Erfolg in den nächsten Generationen Pflanzen mit verbesserten Leistungsmerkmalen selektiert werden.

Züchterische Erfolge wurden nach der Polyploidisierung von Roggen, Rot-Klee, Radieschen, Pfeffer-Minze, Zuckerrüben, Futterrüben, Obst, Zierpflanzen u. a. erzielt (Abb. 156).

Die Pflanzenzüchtung muß ständig bemüht sein, die zugelassenen Sorten durch neue, leistungsfähigere zu ersetzen oder auch wertvolle Kulturpflanzen anderer Länder, zum Beispiel Chinakohl und Sojabohnen, oder Wildpflanzen, zum Beispiel Lupine und Steinklee, für einen rationellen Anbau in der DDR zu entwickeln. Für diese volkswirtschaftlich wichtigen Aufgaben muß den Pflanzenzüchtern möglichst die gesamte Formenfülle der betreffenden Kultur- oder Wildpflanzenart zur Verfügung stehen. Sie erleichtert die Auswahl geeigneter Kreuzungspartner. Aus diesem Grunde werden in großen Sammlungen die Wild- und Kulturformen vieler Kulturpflanzenarten lebend erhalten. Ähnlich wie in Bibliotheken die geistigen Leistungen vieler Generationen gespeichert werden, nur um bei der Weiterentwicklung unseres Wissens ständig zur Verfügung zu stehen, so werden in den lebenden Sammlungen der Kulturpflanzen die züchterischen Leistungen von Jahrhunderten, das heißt die Formenfülle oder der Genbestand der betreffenden Gattung oder Art, erhalten. Würden alte Sorten, die ständig durch neue ersetzt werden, nicht erhalten, würden wertvolle Gene



Abb. 156 Futterrüben einer schwedischen Sorte  
Oben diploid, unten tetraploid



verlorengehen. Die folgende Aufzählung der wichtigsten Zuchtziele einiger Kulturpflanzen vermittelt eine Vorstellung von den zukünftigen Aufgaben pflanzenzüchterischer Arbeit.

**Kartoffel.** Erhöhung von Größe und Anzahl der Knollen; hohe Speisequalität (z. B. mehligere Sorten, keine Verfärbung beim Kochen, geringe Schälverluste); Erhöhung des Stärke- und Eiweißgehaltes; Widerstandsfähigkeit gegen Abbauerscheinungen, Viruserkrankungen, Krebs, Schwarzbeinigkeit, Schorf, Nematoden und Kartoffelkäfer; Eignung für vollmechanisierte Pflanzen, Pflegen und Ernten (schnelle Bewurzelung, schnelle Jugendentwicklung, mittelfrühe bis mittelspäte Reifezeit, gleichmäßig große, runde, druck- und stoßunempfindliche Knollen, die möglichst flach und dicht um die Staupe liegen).

**Getreide.** Erhöhung von Korngröße und Kornzahl; bei Brotgetreidearten gute Backfähigkeit; Winterfestigkeit bei Winterformen; Widerstandsfähigkeit gegen Rostpilze, Brandpilze, Mehltau und andere Krankheiten; Standfestigkeit der Halme und fester Sitz der Körner in der Ähre (Mähdescherernte).

**Futterpflanzen.** Erhöhung von Grünmasse und Trockensubstanzgehalt; Erhöhung des Eiweißgehaltes und der -qualität; gute Futtereigenschaften (z. B. Beseitigung von Bitterstoffen, Verringerung des Verholzens der Pflanzen); bei vielen Futterpflanzen gute Silierbarkeit oder gute Eignung zum Trocknen; schnelle Entwicklung und rasches Wachstum (bes. bei Zwischenfrüchten); Widerstandsfähigkeit gegen Trockenheit und gegen verschiedene Krankheiten.

Jeder neue Zuchtstamm, der sich beim Züchter den zugelassenen Sorten gegenüber überlegen zeigt, muß in der DDR der Zentralstelle für Sortenwesen zur Prüfung übergeben werden. In über das ganze Land verstreuten Prüfstellen werden die eingereichten Zuchtstämme in meist sechsjährigen sogenannten Stamm-, Vor- und Hauptprüfungen im Vergleich zu den zugelassenen Sorten auf Ertrag, Krankheitsresistenz, Qualität und andere Merkmale im Parzellen- und Großversuch untersucht. Hat ein Stamm die Prüfung erfolgreich durchlaufen, so schlägt die Sortenkommission beim Landwirtschaftsrat der DDR seine Zulassung als Handelssorte vor.

Die Erhaltungszüchtung der neuen Sorten übernehmen spezialisierte Güter der VVB Saat- und Pflanzgut, die in der traditionsreichen Samenzuchtstadt Quedlinburg ihren Sitz hat. Von hier aus wird dann die Vermehrung über mehrere Anbaustufen bis zum verkaufsfähigen Hochzuchtsaatgut veranlaßt.

## Die Tierzüchtung

Ebenso wie die Pflanzenzüchtung hat die Tierzüchtung große volkswirtschaftliche Bedeutung. Dreiviertel der in der Landwirtschaft erzeugten pflanzlichen Produkte werden bei uns von den Haustieren zu hochwertigen Nahrungsmitteln veredelt. Eine nach wissenschaftlichen Erkenntnissen durchgeführte Ernährung und Haltung der Haustiere gewährleistet eine rationelle Verwertung der verschiedenen Futtermittel. Aber auch bei gleich guter Ernährung und Haltung gibt es beispielsweise innerhalb einer

Rasse Unterschiede in der Milch- und Fettleistung einzelner Kühe, Unterschiede hinsichtlich Eierzahl, Eigewicht und Fleischleistung bei Hühnern oder Mastzeit, Wurfgröße und Fett-Fleisch-Verhältnis bei Schweinen. Solche Unterschiede in den Leistungsmerkmalen, die sich als erblich erweisen müssen, sind die Ausgangspunkte tierzüchterischer Arbeit. Die Methoden der Tierzucht sind etwa denen der Auslese- und Kombinationszüchtung bei Pflanzen vergleichbar, ihre Durchführung wird aber durch einige naheliegende Gründe erschwert. Zunächst kann in der Tierzucht bei weitem nicht mit so hohen Individuenzahlen unter kontrollierten Bedingungen gearbeitet werden wie in der Pflanzenzüchtung. Die Zuchttiere sind meistens gleichzeitig Nutztiere, sie haben eine geringe Vermehrungsrate und teilweise eine längere Generationsfolge. Ferner treten einige der wirtschaftlich wichtigen Merkmale nur bei einem der beiden Geschlechter auf; dazu gehören die Milchleistung (Rinder, Ziegen, Schafe) und die Eierleistung (Hühner, Legeenten). Durch diese Besonderheiten ergeben sich andere Wege, die im Prinzip gleichen Methoden, die von den Gesetzmäßigkeiten der Vererbung und Veränderung geprägt werden, wirksam anzuwenden.

Die **Rassenreinzucht** ist innerhalb anerkannter Rassen, zum Beispiel Schwarzbuntes Niederungsvieh, Höhenfleckvieh bei Rindern oder Veredeltes Landschwein und Berkshire, der sicherste und kürzeste Weg, die Leistungsfähigkeit und die typischen Merkmale dieser gut angepassten und schon lange züchterisch bearbeiteten Rassen zu erhalten und zu verbessern. Besonders leistungsfähige Vätertiere können zu Begründern von sogenannten Blutlinien werden. Durch die Paarung zweier Individuen, die verschiedenen Blutlinien der gleichen Rasse angehören, können die hervorragenden Anlagen der Blutlinienbegründer in den Nachkommen vereint weitervererbt werden. Um die durch Züchtung bei einzelnen Tieren erblich verbesserten Leistungsmerkmale auf den gesamten Tierbestand der betreffenden Rasse zu übertragen, sind in allen Bezirken der DDR Tierzuchtinspektionen eingerichtet, die dem Landwirtschaftsrat unterstehen. Sie lenken die Tierzucht in den volkseigenen Gütern und landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften. Sie sind bestrebt, den günstigen Erbanlagenbestand wertvoller Vater- und Muttertiere in sinnvoller Weise auf möglichst breiter Basis wirksam werden zu lassen. Das Halten großer Herden, die von besonders ausgebildeten Zootechnikern betreut werden, erleichtert diese Arbeit.

In Betrieben mit besonders gutem Tierbestand wird die sogenannte **Herdbuchzucht** durchgeführt. Die Tiere solcher Herdbuchzuchten werden regelmäßig auf Leistung, Fruchtbarkeit und andere Eigenschaften geprüft, und nur die besten Tiere hinsichtlich Körperbau und Leistung werden für die Weiterzucht zugelassen. Die Prüfungsergebnisse sowie möglichst umfassende Angaben über die Leistungen von Eltern, Großeltern usw. werden in das Herdbuch eingetragen.

Alljährlich wird von den Tierzuchtinspektionen die Körung von Vätertieren durchgeführt. Darunter versteht man die Auswahl männlicher Tiere zur Weiterzucht, deren Körperbau, Leistung und Abstammung hohen Anforderungen genügen müssen.

Um die Ausstrahlung wertvoller Erbanlagen in der Landestierzucht in möglichst kurzer Zeit zu erreichen, wird insbesondere bei Rindern, seltener bei Pferden, Schweinen, Schafen und Ziegen, die künstliche Besamung angewendet. Mit speziell hierfür

entwickelten Geräten wird Samenflüssigkeit eines hochwertigen Vatertieres verdünnt in die Geschlechtsorgane weiblicher Tiere eingeführt. Damit können mit einem wertvollen Vatertier weit mehr weibliche Tiere gepaart werden, als das durch den natürlichen Deckakt möglich ist. Ferner wird die Übertragung von Krankheiten, zum Beispiel Tuberkulose, Maul- und Klauenseuche, Schweinepest und Deckseuchen vermieden, die durch den Kontakt der Tiere beim Decken übertragen werden können.

Durch die Entwicklung der Herdbuchzucht, die auf der Rassenreinzucht beruht, konnten beispielsweise bei der Verbesserung der Milchleistung unserer Rinderbestände gute Fortschritte erzielt werden.

Durchschnittliche Milchleistung ganzjährig geprüfter Kühe in kg

	1953	1955	1957	1959
Kühe insgesamt (darunter Herdbuchkühe)	2061	2394	2508	2728
Herdbuchkühe	3149	3436	3519	3613

**Die Kombinationszüchtung** hat bei der Entwicklung leistungsfähiger Rassen oder bei der Verfolgung bestimmter Zuchtziele große Bedeutung. So ist es gelungen, verschiedenartige hohe Leistungen zweier Zuchtrassen, zum Beispiel Schnellwüchsigkeit und gute Mastfähigkeit bei Schweinen, in einer Rasse zu vereinen (Abb. 157). Andererseits kann die hohe Leistung einer hochgezüchteten Rasse mit der Widerstandsfähigkeit und Genügsamkeit einer primitiveren Landrasse vereint werden. Auf diese Weise wurde zum Beispiel das einfarbige gelbe Frankenrind gezüchtet. Es ging aus der Kreuzung des alten roten Landschlages mit Simmentalern und Niederungsvieh hervor.

Gegenwärtig erfolgt in unserer Republik die Veredelungskreuzung beim einfarbig hellen Frankenvieh und beim Harzer Rotvieh. Durch Einkreuzung des Roten Dänenrindes sollen die Euterform verbessert und die Milchleistung sowie der Fettgehalt der Milch und die Fleischleistung erhöht werden, die Bodenständigkeit jedoch erhalten bleiben.

**Die Heterosiszüchtung** beginnt als sogenannte Gebrauchskreuzung in der Tierzucht ebenfalls Bedeutung zu erlangen. Nach Kreuzung verschiedener Rassen tritt bei den  $F_1$ -Bastarden mitunter ein Heterosiseffekt auf, so daß die Tiere den reinrassigen Elterntieren in der Leistung überlegen sind. Natürlich müssen solche Kreuzungen, ähnlich wie bei der Herstellung des Heterosissaatgutes bei Pflanzen, immer wieder neu durchgeführt werden, da die Weiterzucht der Bastarde zur Aufspaltung leistungsmindernder Gene und damit zu ungeeigneten Formen führen würde.

Nach Kreuzungen zwischen dem veredelten Landschwein und Berkshire konnte folgender Heterosiseffekt festgestellt werden:

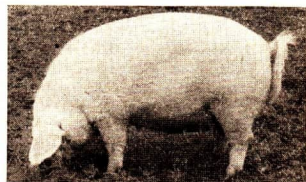
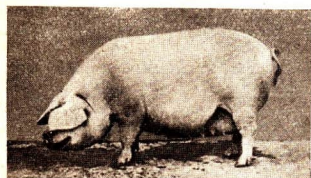
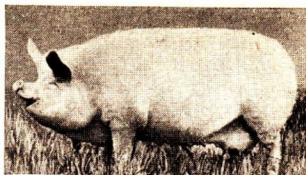
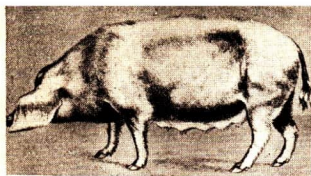


Abb. 157 Aus der Kreuzung des alten deutschen langohrigen Landschweins (oben links) mit dem weißen englischen Schwein (oben rechts) ist das Deutsche Veredelte Landschwein hervorgegangen. Unten links das Deutsche Veredelte Landschwein um 1920 mit noch nicht befriedigendem Körperbau, unten rechts eine der besten Sauen dieser Rasse neuester Züchtung.

#### Heterosiseffekt bei Schweinen

	Eltern Berkshire	F <sub>1</sub> - Bastard	Eltern veredeltes Landschwein
Mastdauer in Tagen (Mastabschnitt 30 bis 100 kg)	113,8	107,5	108,4
Verbrauch an Futtermitteln in Stärkewerten je 100 g Zuwachs	306	280	289

Ähnliche Ergebnisse sind auch beim Geflügel erzielt worden. So entstehen durch die Kreuzung Sussex-Henne x New Hampshire-Hahn Nachkommen mit ausgezeichneter Mastfähigkeit. Beim weißen Leghornhuhn haben Kreuzungen bestimmter Inzuchtstämme auch innerhalb einer Rasse zu erheblichen Steigerungen der Legeleistung beziehungsweise des Eigewichtes geführt. Die Ausnutzung der Heterosis in der Tierzucht wird von vielen Forschern für sehr aussichtsreich gehalten.

Die Mutationszüchtung spielt in der Tierzucht erklärlicherweise bisher kaum eine Rolle. Die hierfür notwendigen hohen Individuenzahlen und die starken Verluste, die durch das Entstehen vitalitätsmindernder Mutanten eintreten würden, machen dieses Zuchtverfahren wegen der hohen Kosten ungeeignet. Beim Geflügel (Bestrahlung der Eier) und auch in der Pelztierzucht sind Versuche unternommen worden, die aber noch zu keinem sichtbaren Erfolg führten.

Ein wertvolles Ergebnis lieferten dagegen Röntgenbestrahlungen des Seidenspinners. Man ist bei der Zucht bestrebt, nur männliche Raupen aufzuziehen, da von deren Kokons mehr Seide zu gewinnen ist. In Japan konnten bestimmte Chromosomenmutationen erzeugt werden, in deren Gefolge die Eier, die zu Weibchen bestimmt sind, schwarz gefärbt sind. Die Eier, aus denen sich Männchen entwickeln, sind weiß. Mit Hilfe eines Photoelements lassen sich die weißen (männlichen Eier) von den schwarzen (weiblichen) Eiern automatisch trennen. Die Aufzucht von vorwiegend männlichen Raupen erhöhte den Seidenertrag um 30 %.

#### **Aufgaben und Fragen**

1. Weisen Sie die grundsätzliche Übereinstimmung der Methoden der Züchtung von Pflanzen und Tieren nach! Begründen Sie die Abweichungen!
2. Informieren Sie sich über die Perspektivplanung der Landwirtschaft in der DDR und die daraus resultierenden Aufgaben für die Tier- und Pflanzenzüchtung!
3. Welche Kulturpflanzen werden in Ihrem Wohngebiet vorwiegend bzw. gar nicht angebaut? Worin liegen die Ursachen dieser Erscheinung? Welche züchterischen Aufgaben müßten gelöst werden, um den Anbau weiterer hochleistungsfähiger Sorten unter den dort herrschenden Bedingungen zu ermöglichen?
4. Informieren Sie sich über Züchterfolge in den Landwirtschaftsbetrieben Ihres Heimatortes! Welche speziellen Aufgaben und Methoden finden Sie dort?
5. Verfolgen Sie in der Presse die Veröffentlichungen über die Züchtung von Tieren und Pflanzen in unserer Republik! Stellen Sie Aufgaben und Erfolge tabellarisch zusammen!
6. Verschaffen Sie sich einen Überblick über die Züchtungsinstitute der DDR und deren Aufgabenbereiche!

## Wörterklärungen

(→ : siehe auch)

**Abdruck:** → Fossilien

**abiogen:** (Bildung organischer Verbindungen) außerhalb von Lebewesen; Gegensatz: biogen

**Abstammungslehre:** Wissenschaft von der auf gemeinsamer 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, Morphin, 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 (Species) 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 Sinnesindrücke 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 Stoffwechselfvorgänge 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 Achsen skelett 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 Jahrtausende 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 Stoffwechselfvorgänge 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
- Gasträa-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 (Urmünder oder

Bauchmarktiere) oder an seiner Stelle entsteht später der After (Neumünder 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:** innersektorische 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 Genreihenfolge 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. Beginn 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. Alle phylogenetischen 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 Paare 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 (vermehrten). 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 Fische und rezenten Delphine; Gegensatz: Divergenz

**Kosmozoentheorie:** überholte Vorstellung, der zufolge das Leben überhaupt nicht auf der Erde entstanden, sondern mit Keimen einfacher 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 Kulturpflanzenarten 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 (Nucleinsäuren, 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<sup>4</sup> 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 im Gen 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 Jahr-

millionen 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; Plasmomutation – erbliche Abänderung der Plasmiden; 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 paarigen 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 und 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 Erdzeitaltern und zu verschiedenen Zeiten, die stets auf Anpassung an gleiche Lebensweise oder Funktion beruht

**Parietalaug:** 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
- Phylogeneese:** 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
- polyplloid:** 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 Miniaturbewesen 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 1200 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  
**Schwinkölbchen:** 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  
**Sintflut:** 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  
**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

**Urzeugungstheorie:** 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 Merkmalsausbildungen verantwortlichen Gene während der vegetativen und sexuellen Fortpflanzung. Die Vererbung ist an die identische Reproduktion (Autoreproduktion, Autoreduktion) der Erbräger (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

**Versteinierung:** → 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:** Lebenssegnung; 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 unpaariger 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:** → Parietalalage

**Züchtung:** Entwicklung von Haustierrassen und Kulturpflanzenarten 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

- Abdruck 7  
Adenin 184 ff.\*  
Allele 151  
Allopolyploidie 164  
analog 101  
Anlagenübertragung 56  
Anpassung 61  
Archaeopteryx 15, 40  
Archanthropinen 83, 84  
Arche Noah 97\*  
Aristoteles 59\*, 95, 100  
Atavismen 36  
Atmung 20, 62  
Auerbach 169  
Auslese 53, 66 ff., 190, 205  
Auslesezüchtung 219  
Austauschwert 158  
Australopithecinen 82, 83\*  
Autoregulation 52, 55  
Autoreplikanten 181
- Basensequenz 185  
Bastard 148 f.  
—, intermediärer 190  
—, vegetativer 175  
Bauplan 99, 105  
Befruchtung 145  
Bewegungsform der Materie 54, 55, 61  
Biogenetisches Grundgesetz 39, 115  
Biotop 201  
Blastula 115  
Bonnet, Charles 100  
Boveri 156  
Butenandt 177
- Chromatide 141  
Chromatin 139  
Chromatingerüst 139  
Chromatophoren 140  
Chromomeren 144  
Chromosomen 141  
— -karte 159  
— -konjugation 146  
— -mutationen 165, 193, 216, 230  
— -stück austausch 146\*, 158  
— -theorie der Vererbung 156  
— -zahlen 142  
Code, genetischer 186  
Correns 149  
Crick 184  
Cromagnon 88\*  
Cuvier, Georges 97\*  
Cytosin 184 ff.\*
- Darwin, Charles 102, 107\*, 135, 149  
Darwin, Erasmus 102\*  
Darwin-Finken 109\*  
Dauermodifikation 139  
de Buffon 96\*  
Deletionen 165  
Demokrit 58\*, 94  
Desoxyribonukleinsäure 139, 182 ff.  
de Vries 149  
diploid 142  
Divergenzen 35  
DNS 139, 182 ff.\*  
Domestikation 102, 205  
dominant 149
- Drosophila 191  
Dryopithecinen 82
- Einschachtelungslehre 99  
Eiweiße 50, 55 f., 66, 71  
Eiweißsynthese 56, 67  
Eizelle 145 f.  
Empedokles 94  
Energiewechsel 56  
Engels, Friedrich 111  
Entelechie 55, 59  
Entwicklung 53, 63, 69  
Entwicklungsreihen 8  
Epigenese 100  
Erbanlage 53, 142  
Erbinformation 56  
Ernährungsmodifikation 137  
Evolution 205  
Evolutionfaktor 72, 191, 198
- Fermente 51, 66, 68  
Filiargeneration 149  
Fortpflanzung 53, 57  
Fossilien 5, 96, 102, 108  
Fragmente 166
- Galápagos-Insel 108 f.  
Galton 135  
Gasträa-Theorie 115  
Gastrula 43, 46, 115  
Gene 142, 191  
Genetik 131  
Genmutation 167, 215  
Genommutation 36, 68, 90  
Genotyp 119, 191  
Genwirkketten 178  
Genzentren 207

- Geologie** 98, 107  
 Geschlechtsbestimmung, genotypische 160  
 Geschlechtsbestimmung, modifikatorische 137  
 Gesetz von der Neukombinierung der Gene 154  
 Glutschenko 175  
 Golgikörper 140  
 Großmutation 199  
 Guanin 184 ff.\*
- Haeckel, Ernst** 39, 114\*, 115  
**Ham, Ludwig van** 100  
 haploid 145  
 Haustiere 204  
 Henslow, Jahn Stevens 107  
 Herdbuchzucht 227  
 Heterosiszüchtung 222, 228  
 heterotroph 69  
 heterozygot 119, 153  
 Hoff, Karl Ernst Adolf von 98  
 Höherentwicklung 201  
 homolog 101  
 Homo sapiens 77, 85 ff.  
 homozygot 149, 153  
 Humboldt, Alexander von 107  
 Huxley, Thomas Henry 114  
 Hybridisation, vegetative 175
- idealistisch 57  
 Idiotyp 134  
 Individualauslese 219  
 Informationsgehalt 56  
 intermediäre Vererbung 151\*  
 Inversion 165, 194  
 Inzucht 135  
 Irreversibilität 15  
 Isolation 195
- Johannsen** 138
- Katalysatoren 64, 66 f.  
 Keimplasma 119  
 Kernkörperchen 139  
 Kleinmutation 199  
 Klon 134  
 Koazervate 65 ff.
- Kohlenwasserstoffe 62, 63  
 Kolloide 65  
 Kombination 197  
 Kombinationsquadrat 154  
 Kombinationszüchtung 221, 228  
 Konstanz 99, 111  
 Kontrollsysteme 52  
 Konvergenzen 34  
 Kopplungsgruppe 158  
 Kosmozoentheorie 71  
 Kowalewsky, A. O. 118  
 Kowalewsky, W. O. 118  
 Kreislauforgane 22\*, 23\*, 24  
 Kreuzung, monohybride 153  
 Kreuzung, reziproke 150  
 Kreuzungsversuch 149  
 Kühn 177  
 Kulturpflanzen 204  
 —, primäre 207  
 —, sekundäre 210
- Lamarck, Jean Baptiste** 102\*, 138  
 Lebenskraft 55, 60  
 Leeuwenhoek, Anton van 99  
 Leitfossilien 98  
 Linien, reine 135  
 Linné, Carl von 99\*  
 Lungenatmung 19\*
- Makroevolution** 199  
 Mangelmutanten 178  
 Marx, Karl 111  
 Matrize 67  
 Mechanismus, 54, 59  
 Meiose 145 ff.\*  
 Mendel, Gregor 149, 155  
 Mendelsche Gesetze 149 ff.\*  
 Merkmalsausbildung 56  
 Michaelis 174  
 Mikroevolution 199  
 Minusabweicher 135  
 Mischzellen 172  
 Mitochondrien 140  
 Mitose 140 ff.\*  
 Mitschurin 175  
 Mittelwert 135
- Modifikation 132  
 —, alternative 136  
 —, fluktuierende 136  
 Modifikationskurve 135  
 Molekularbiologie 62, 67  
 Molekular-Genetik 120  
 Mononukleotide 64, 67  
 Morula 115  
 Müller 168  
 Mundhöhlenatmung 19\*  
 Mutanten 161  
 Mutation 68, 161, 191\*  
 —, induzierte 191  
 —, spontane 191  
 Mutationsrate 168  
 —spektrum 167  
 —züchtung 223, 229
- Neandertaler-Schädel** 85\*  
 Neodarwinismus 119  
 Nukleonen 139  
 Nukleoproteide 68  
 Nukleotide 184
- Oehlkers 169  
 Oken, Lorenz 106  
 Ontogenese 53, 99, 115  
 Oreopithecinen 82  
 Organe, analoge 32, 37  
 —, homologe 28, 37  
 —, rudimentäre 102
- Paläanthropinen** 85  
 Paläontologie 5, 98, 107  
 Panmixie 190, 197 f.  
 Parallelenentwicklung 212  
 Parallelvariationen 209  
 Parapithecus 81\*  
 Parentalgeneration 149  
 Parthenogenesis 100  
 Parthenokarpie 212  
 Pflanzengeographie 107  
 Pflanzenzelle 140\*  
 Pflanzenzüchtung 219  
 Pflropfpartner 174  
 Pflropffrei 174  
 Phänotyp 119, 134, 191  
 Photosynthese 69

- Phylogeneſe 115  
 Pithecanthropus-Sinanthropus-Gruppe 84  
 Plasmavererbung 174  
 Plasmon 174  
 Plastiden 140  
 Plastidom 172  
 Plastidommutation 172  
 Pleiotropie 176  
 Plusabweicher 135  
 polygen 176  
 Polynukleotide 64, 67  
 Polyphänie 176  
 Polyploide 163, 194  
 Polyploidisierung 195, 224  
 Polyploidiezüchtung 224  
 Population 180, 191, 197  
 Populationsgenetik 192  
 Populationswellen 197  
 Präformation 99  
 Präapientafunde 85  
 Proconsuliden 81
- Radiomimetika 170**  
 Rassen 193  
 Rassenentſtehung 90  
 Rassenkreiſe 98  
 Rassenreinzucht 227  
 Reaktionsnorm 134, 198  
 Reduktionsteilung 145  
 Reinke, Johannes 117  
 rezessiv 149  
 Ribonukleinsäure 139  
 Ribosomen 55, 140  
 Riesenchromosomen 144, 145\*  
 RNS 139  
 Rückbildung 202  
 Rückkreuzung 221  
 Rudimente 35, 37
- Saint-Hilaire, Etienne Geoffroy de 105\*  
 Samenzelle 145f.
- Scheuchzer, Johann Jacob 97  
 Schlüsselmutteration 199  
 Schöpfungsglauben 58, 94f.  
 Selektion 53, 190, 198  
 Selektionstheorie 199  
 Selektionswert 190  
 Smith, William 98  
 Spaltungsgesetz 150, 153  
 Spermien 146  
 Spermium 148\*  
 Spezialisierung 201  
 Stadler 168  
 Stoffwechſel 51, 56  
 Stufenleiter der Schöpfung 99, 100  
 Sutton 156  
 Swammerdam, Jan 99  
 System der Organismen, natürliches 57  
 System, geſchloſſenes 51  
 System, offenes 51
- Taxonomie 98, 107  
 Teleologie 11  
 tetraploid 163  
 Thymin 184 ff.\*  
 Tiergeographie 107  
 Tierzüchtung 226  
 Titus Lucretius Carus 94  
 Transformation 182  
 Transgressionskreuzung 176  
 Translokation 166  
 triploid 163  
 Trochophora 41  
 Tſchermak 149  
 Tſon Tſe 95
- Übergangsformen 14  
 Umweltbedingungen 134  
 Umweltfaktoren 136  
 Uniformitätsgesetz 149  
 Unterlage 174  
 Uratmosphäre 69
- Urvogel 15  
 Urzeugung 70, 107
- Variation 53  
 Veränderung 53  
 Vererbung 53, 118, 131  
 —, erworbener Eigenſchaften 139  
 —, geſchlechtsgebundene 161  
 —, mütterliche 172  
 Vererbungsforschung 131  
 Vererbungsversuche 131  
 Vermehrung 56  
 Verrundungsprozeß 91  
 Verſteinerungen 7  
 Vinci, Leonardo da 97  
 Virchow, Rudolf 115  
 Vitalismus 55, 60, 118
- Wachstum 53**  
 Watson 184  
 Watson-Crick-Modell 185  
 Watson-Crick-Spirale 185\*  
 Weismann 118\*  
 Weltsortiment 223  
 Wettſtein 174  
 Wildformen 204  
 Wilkins 185  
 Wolff, Caspar Friedrich 100
- Zelle 139  
 Zellkern 55  
 Zellplasma 55  
 Zellteilung 139, 140\*  
 Zentromer 142  
 Zentrosom 140  
 Zuchtwahl 109, 110, 119  
 Zufallsapparat 136\*  
 Zufallskurve 135\*  
 Zugfaſer 142  
 Zweckmäßigkeit 111  
 Zygote 145  
 Zytoplasma 140

## Abbildungsnachweis

### Farbtafeln

Dr. Wolfgang Crome, Berlin (Farbtafel 2); Christiane Winkler, Berlin (Farbtafel 1 und 3).

### Kunstdrucktafeln

Geologisch-Paläontologisches Museum, Berlin (Tafel 2); 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); aus Müller, A. H., „Aus Jahrmillionen“, Jena 1962 (Tafel 1).

### Fotos und Reproduktionen

Aus Abel, O., „Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit“ (Abb. 13); aus Abel, O., „Paläobiologie und Stammesgeschichte“, Fischer-Verlag 1929 (Abb. 14 bis 16); Dr. Walter Altenkirch, Dummerstorf, Post Kavelisdorf Kr. Rostock (Abb. 146 oben und Mitte); Fritz Bellmann, Weimar (Abb. 146 unten, 157 unten rechts); aus „Biologie in der Schule“, Heft 12/1959 (Abb. 71); aus Clausen, Jens, „Stages in the Evolution of Plant Species, Cornell University Press, Ithaca, New York 1951 (Abb. 84); aus Hugh B. Cott, „Adaptive Coloration in Animals“, Methuan & Co. Ltd., London 1940, Plate 38 (Abb. 79); VEB Fachbuchverlag, Leipzig (Abb. 39); Fotoarchiv des Instituts für Altertumswissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (Abb. 40); aus Grahmann, „Urgeschichte der Menschheit“, Stuttgart 1956 (Abb. 57); aus Grebensikev, I., „Mais als Kulturpflanze“, A. Ziemsen Verlag, Wittenberg 1954 (Abb. 140); aus Goldschmidt, R., „Die Lehre von der Vererbung“, Springer-Verlag 1952 (Abb. 87); Ernst-Haeckel-Haus, Jena (Abb. 70, 74, 75, 77, 82); aus Heberer, G., „Allgemeine Abstammungslehre“, Musterschmidt, Göttingen 1949 (Abb. 131, 132); aus Herre, W., „Domestikation und Stammesgeschichte“ in Heberer, G., „Die Evolution der Organismen“, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1955 (Abb. 147, 148); aus Herskowitz, H., „Genetics, Little“, Brown & Comp. 1962 (Abb. 95); aus Hochschullichtbildreihe HR 42, Anthropologie, Deutsches Zentralinstitut für Lehrmittel, Berlin 1954 (Abb. 53, 56, 59); aus Hofer, Schultz, Starck, „Primatologia“, Bd. 1, Basel 1956 (Abb. 45, 47, 48, 50, 51, 54); Institut für Haustiergenetik und Tierzucht der Humboldt-Universität Berlin, Landwirtschaftliche Fakultät (Abb. 157 oben und links unten); aus Kunknik, H., und A. Mudra, „Lehrbuch der allgemeinen Pflanzenzüchtung“, S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1950 (Abb. 142); aus Kühn, A., „Grundriß der Vererbungslehre“, Quelle u. Meyer, Heidelberg 1961 (Abb. 86, 88, 89, 91, 96 bis 98, 105, 106, 110, 119 bis 123, 133, 134); aus Lichtbildreihe R 284, Abstammungslehre II, Deutsches Zentralinstitut für Lehrmittel, Berlin 1956 (Abb. 52, 58, 61); aus Lunkewitsch, „Von Heraklit bis Darwin“, Moskau 1960 (Abb. 66, 73); aus Mertens, R. in „Hundert Jahre Evolutionsforschung“, Herausgeber Heberer und Schwanitz, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1960 (Abb. 138); aus Mo Leish and Suwad, „Looking at Chromosomes“, Macmillan, London 1958 (Abb. 104, Tafel 5 u. 6, zusammengestellt von Dr. Zacharias); aus Muntzing, A., „Vererbungslehre“, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1958 (Abb. 109, 112, 141, 156); aus Müller, A. H., „Aus Jahrmillionen“, Jena 1962 (Abb. 6); aus Müller, A. H., „Lehrbuch der Paläozoologie, Bd. 2 (Abb. 10); aus Müller, A. H., „Lehrbuch der Paläozoologie, Bd. 1, Jena 1963 (Abb. 3, 4); aus Oehlkers, F., „Das Leben der Gewächse“, Springer-Verlag 1956 (Abb. 92, 93); aus Oparin, A. I., „Die Entstehung des Lebens auf der Erde“, Volk und Wissen Verlag Berlin/Leipzig 1949 (Abb. 43); F. W. Richter, Jena (Abb. 41); Prof. Dr. Werner Rothmaler, Greifswald, aus „Wissen und Leben“, Heft 5/1958 (Abb. 145); aus Schaefer, „Der Mensch in Raum und Zeit mit besonderer Berücksichtigung des Oreopithecus-Problems, Basel 1960 (Abb. 55); aus Scheibe, A., „Einführung in die allgemeine Pflanzenzüchtung“, E. Ulmer Verlag, Stuttgart 1951 (Abb. 152, 153); aus Schindewolf, O. H., „Grundfragen der Paläozoologie, Stuttgart 1950 (Abb. 12); aus Schwanitz, F., „Allometrisches Wachstum als Faktor bei der Evolution der Kulturpflanzen“, Genetica Agraria, XV, 1962 (Abb. 144); aus Schwanitz, F., „Die Entstehung der Nutzpflanzen als Modell für die Evolution“ in „Die Evolution der Organismen“, Herausgeber G. Heberer, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1955 (Abb. 149); aus Sigerist, „Große Ärzte“ (Abb. 44); aus Simot, Dunn, Dobzhansky, „Principles of Genetics“, Graw-Hill Boote Comp. 1958 (Abb. 90, 94, 108); aus Skicbe, K., „Züchter“, Bd. 28, 1958 (Abb. 111); aus Stubbe, H., Kurze Geschichte der Genetik bis zur Wiederentdeckung der Vererbungsregeln Gregor Mendels“, Jena 1963 (Abb. 65, 81, 83); aus Stubbe, H., „Über einige theoretische und praktische Fragen der Mutationsforschung“, Abhandlung der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, Bd. 47, 1952 (Abb. 155); aus Stubbe, H., und P. v. Wetterstein, „Über die Bedeutung von Klein- und Großmutation in der Evolution“, in „Biologisches Zentralblatt“, 61, 1942 (Abb. 137); Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin (Abb. 5, 46); VEB Volkskunstverlag, Reichenbach im Vogtland (Abb. 62); aus Weinert, „Stammesgeschichte der Menschheit“, Braunschweig 1951 (Abb. 49); Zentralbild, Berlin (Abb. 67, 69); aus Zimmermann, W., „Die Phylogenie der Pflanzen“, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1959 (Abb. 139).

### Zeichnungen

Dr. Wolfgang Crome, Berlin (Abb. 17 bis 27, 31 bis 38, 78); Geologisch-Paläontologisches Institut Halle (Saale) (Abb. 2); Eberhard Graf, Berlin (Abb. 7, 60, 63, 64, 72, 85, 99 bis 103, 107, 113, 115 bis 118, 124 bis 130, 135, 136); Roland Jäger, Berlin (Abb. 11); Roland Jäger/Rainer Zieger, Berlin (Abb. 1, 8, 9, 28 bis 30, 76, 80); Elena Panzig, Berlin (Abb. 42, 143, 150, 151); Herbert Ponsel, Gülzow/Güstrow (Abb. 154).

Vordergliedmaßen der Wirbeltiere

— Oberarmknochen

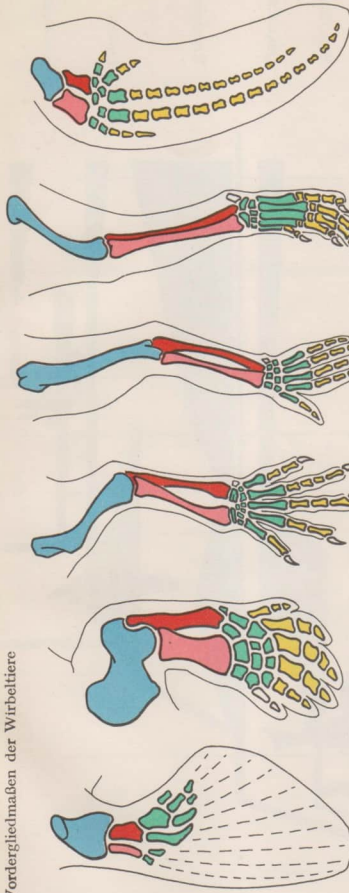
— Elle

— Speiche

— Handwurzel- und Mittelhandknochen

— Fingerknochen

— Erbsenbein



Urzeitlicher Quastenflosser

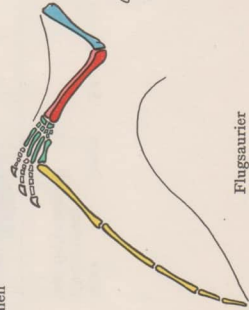
Urzeitlicher Schwanzlurch

Eidechse

Mensch

Hund

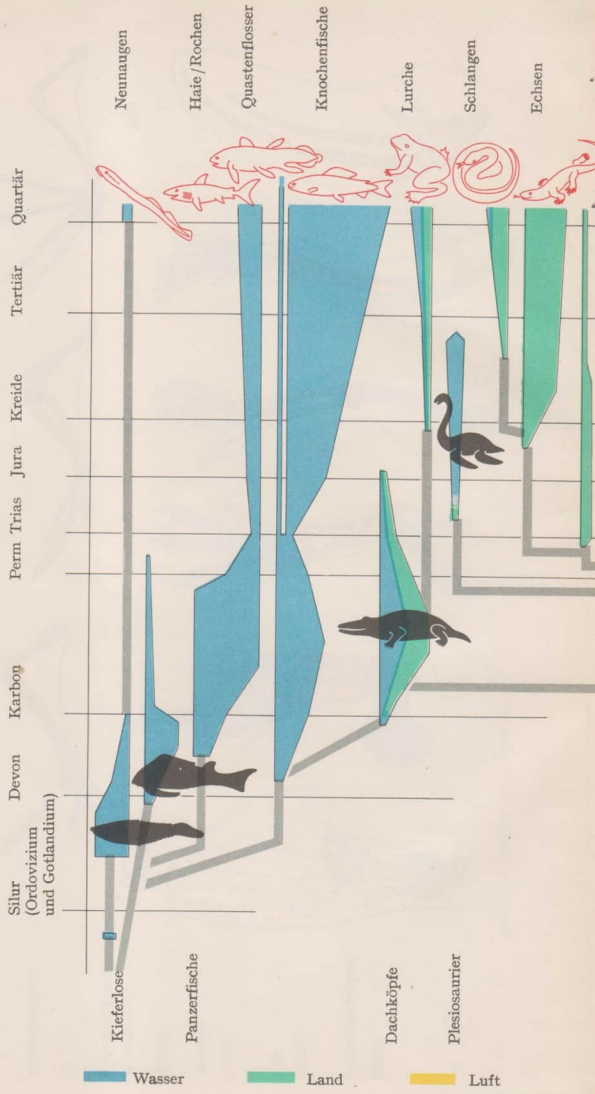
Wal



Flugsaurier

Vogel

Fledermaus



Neunaugen

Haie/Rochen

Quastenflosser

Knochenfische

Lurche

Schlangen

Echsen

Quartär

Tertiär

Kreide

Jura

Perm Trias

Karbon

Devon

Silur  
(Ordovizium  
und Gotlandium)

Kieferlose

Panzerfische

Dachköpfe

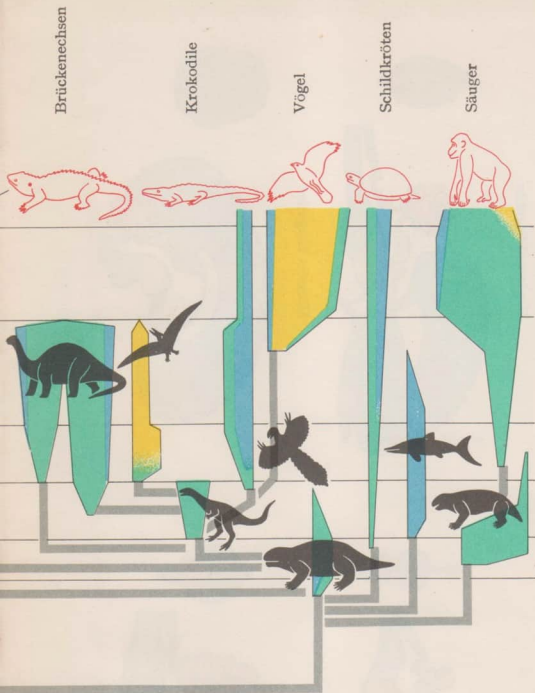
Plesiosaurier

Wasser

Land

Luft





Stammbaum der Wirbeltiere

Dinosaurier

Flugsaurier

Spitzzahnsaurier

Urvögel

Urreptilien

Fische

Säugetierähnliche Saurier

■ Ausgestorbene Tierformen ■ Lebende Tierformen

Gehirne der Wirbeltiere



Knochenfisch

Niederes Säugetier



Vorderhirn

Zwischenhirn

Mittelhirn

Kleinhirn

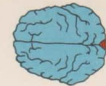
Nachhirn

Hirnboden



Reptil

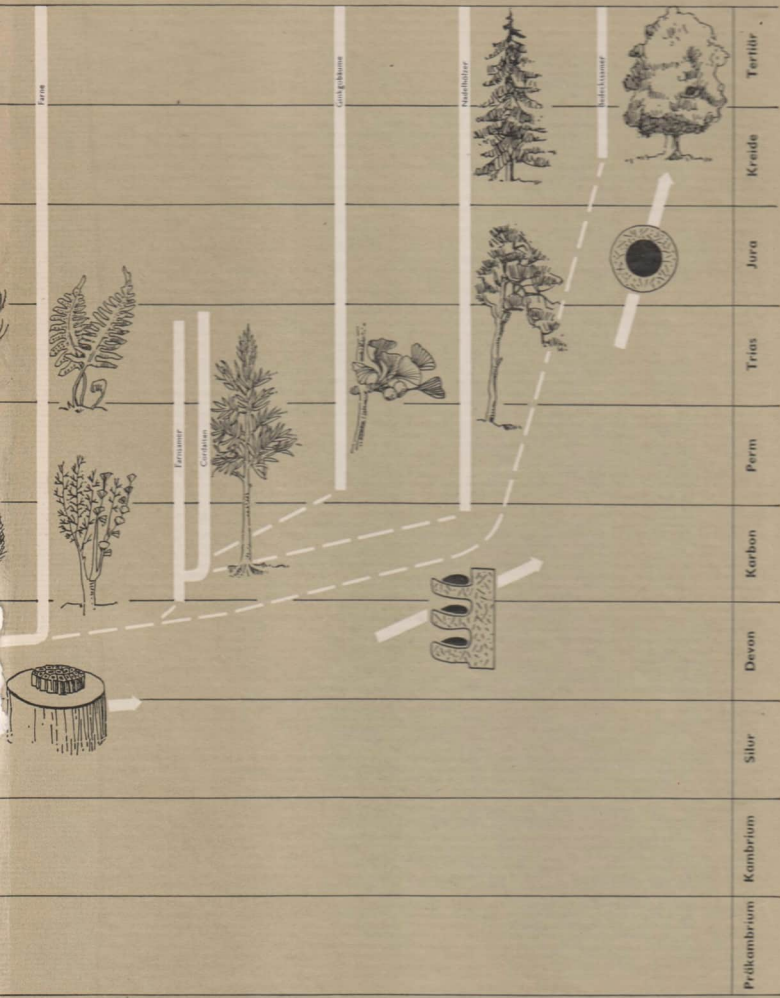
Höheres Säugetier



Vogel

Mensch







011252-1  
4,60 MDN