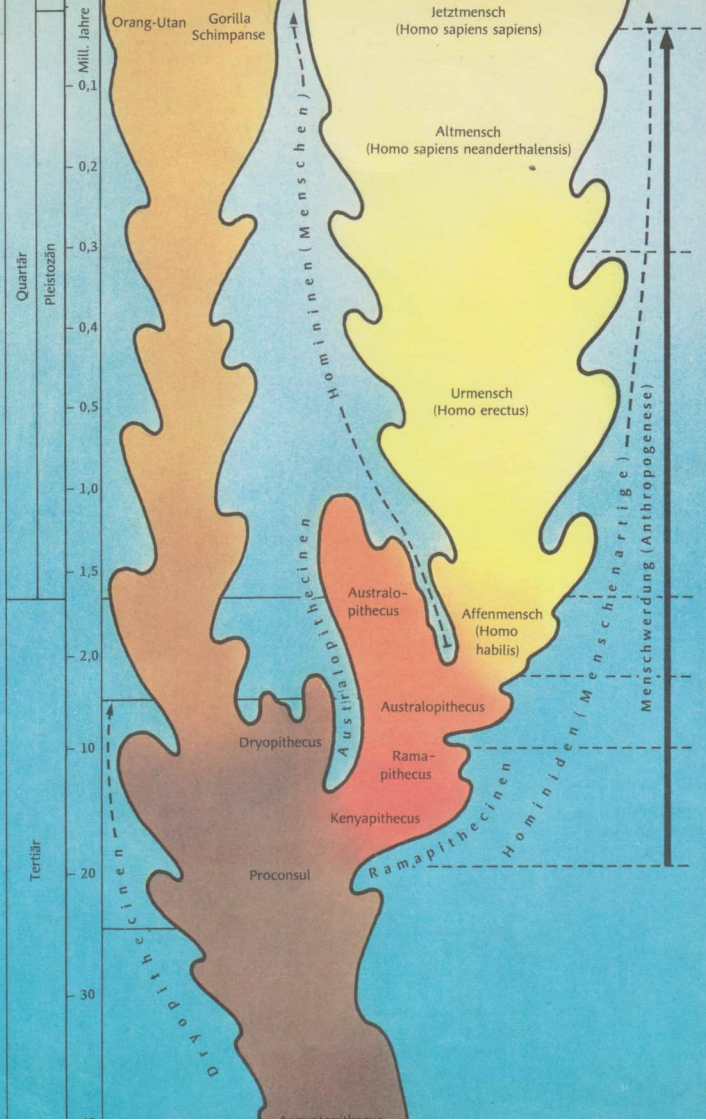


# BIOLOGIE 10

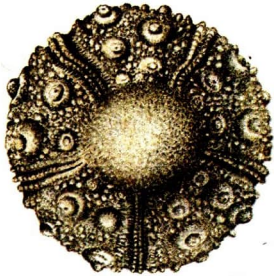




# BIOLOGIE

Lehrbuch für Klasse 10

Vererbung und Evolution



Volk und Wissen  
Volkseigener Verlag Berlin  
1990

Leiter des Autorenkollektivs: Prof. Dr. Karl Sommer  
Autoren: OStR Gertrud Kummer, Prof. Dr. Manfred Matzke,  
Dr. Hans-Joachim Schwier, Prof. Dr. Karl Sommer,  
OL Horst Theuerkauf, Dr. Herbert Ullrich  
Bildautor (Fotos): Horst Theuerkauf

Redaktion: Ilse König, Gertrud Kummer  
unter Mitarbeit von Dr. Frank Horn

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

ISBN 3-06-011007-7

3. Auflage

© Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1988

Lizenz-Nr. 203 · 1000/90 (DN 011007-3)

Printed in the German Democratic Republic

Schrift: 9/10 Publica mager TVS

Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb

Völkerfreundschaft Dresden

Illustrationen: Helgard Bach, Heide Lore Böhnke,

Steffen Faust, Eberhard Graf, Andrea Soest

Einband: Hansmartin Schmidt

Gesamtgestaltung: Günter Wolff, Hansmartin Schmidt

Redaktionsschluß: 25. August 1989

LSV 0681

Bestell-Nr. 731 346 9

Schulpreis DDR: 2,90 M

# Inhalt



<b>Vererbung</b>	<b>5</b>
Mendelsche Gesetze	8
Aufgaben zur Wiederholung	15
<b>Zelluläre Grundlagen der Vererbung</b>	<b>15</b>
Chromosomen als Träger der Erbanlagen	16
Weitergabe der Chromosomen mit den Genen	20
Kombination der Chromosomen und der Gene bei der Befruchtung	30
Bedeutung der Neukombination von Genen bei der Befruchtung für die Population	38
Bedeutung der Neukombination von Genen bei der Züchtung	40
Veränderungen der Chromosomen und der Gene	44
Auswirkung von Mutationen auf Organismen und Populationen	47
Nutzung von Mutationen in der Züchtung	48
Genetisch bedingte Krankheiten des Menschen durch Chromosomenveränderungen	49
Maßnahmen zum Schutz vor Mutagenen	51
Aufgaben zur Wiederholung	52
<b>Molekulare Grundlagen der Vererbung</b>	<b>53</b>
Struktur der DNS	53
Verdopplung und Weitergabe der DNS	55
Gen und Merkmal	57
Gentechnik	62
Bakterien und Viren als Forschungsobjekte	65
Genetisch bedingte Krankheiten des Menschen durch Genveränderungen	66
Aufgaben zur Wiederholung	68
<b>Zusammenwirken innerer und äußerer Faktoren bei der Merkmalsausbildung</b>	<b>69</b>
Aufgaben zur Wiederholung	72



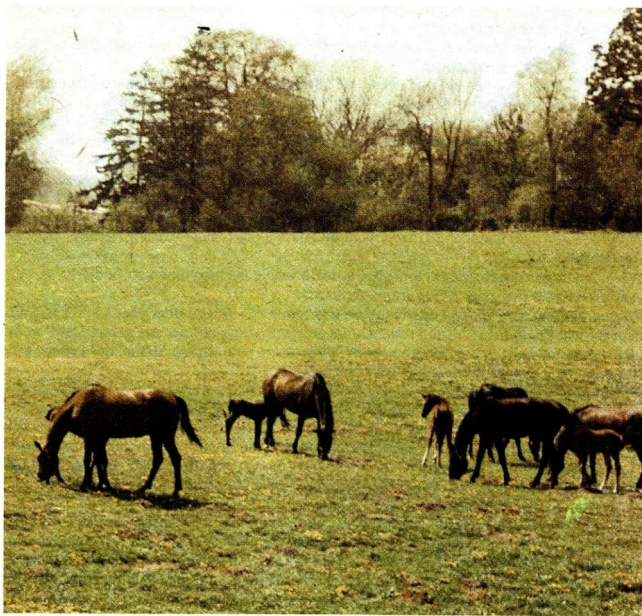
Evolution der Organismen	73
Wissenschaftliche Abstammungslehre von Charles Darwin	74
Auffassungen Lamarcks über die Herkunft der Arten	78
Die Verbreitung der Abstammungslehre Darwins durch Ernst Haeckel	79
Bestätigung und Weiterentwicklung der Abstammungslehre Darwins	82
Evolutionsfaktoren	83
Evolutionsrichtungen	88
Aufgaben zur Wiederholung	94
Entstehung des Lebens	96
Stammesentwicklung der Organismen	99
Fossilien	99
Etappen der Stammesentwicklung	103
Wirbeltiere mit Merkmalen von zwei Wirbeltiergruppen	114
Aufgaben zur Wiederholung	116
Abstammung und Entwicklung des Menschen	117
Herausbildung des Menschen aus tierischen Vorfahren	118
Entwicklung bis zum Menschen der Gegenwart	123
Menschenrassen und ihre Entstehung	136
Aufgaben zur Wiederholung	141
<b>Register</b>	<b>143</b>

#### Zeichenerklärung



Jeder Hauptabschnitt des Lehrbuches ist durch eine Randmarke gekennzeichnet.

- ① Aufgaben und Fragen
- ▶ In diesem Abschnitt werden wichtige Aussagen zusammengefaßt (Merksätze).
- Diese Abschnitte vermitteln weitere interessante Einzelheiten zum behandelten Stoff.
- Sie haben am Anfang und am Ende des Abschnittes diese Zeichen.
- ♀ weiblich (Weibchen)
- ♂ männlich (Männchen)
- ↗ Hinweis auf andere Seiten des Buches



Pferde  
mit  
Jungtieren

## Vererbung

---

Seit der Mensch über sich und seine Umwelt nachdenkt, stellt er immer wieder Fragen nach den Ursachen der Ähnlichkeit und der Unterschiede von lebenden Organismen. Er fragt nach dem Wie der Weitergabe ihrer Merkmale von Generation zu Generation, nach ihrer Vererbung. Er denkt nach über die verschiedene Ausbildung der Merkmale bei unterschiedlichen Umweltbedingungen. Er sucht nach Erklärungen plötzlicher Merkmalswandlungen. Er prüft Möglichkeiten der willkürlichen Beeinflussung oder Veränderung der Merkmale.

Warum ähneln Kinder ihren Eltern, und warum unterscheiden sie sich von ihnen?

Warum gebären Igel immer wieder Igel? Und warum entsteht aus Fichtensamen niemals eine Eiche?

Warum haben manche Eltern nur Söhne, andere nur Töchter? Und warum ist eine Bevölkerung in der Regel zur Hälfte weiblichen, zur Hälfte männlichen Geschlechts?

Warum sitzt eine Hühnerglocke vergebens auf den Eiern, wenn auf dem Hühnerhof kein Hahn ist? Andere Organismen pflanzen sich doch auch aus nur einem Elter fort!

Warum können sich aus Kernen gelber Äpfel auch Bäume entwickeln, die andere Äpfel



tragen? Wenn doch aus Pfropfreisern des Baumes mit den gelben Äpfeln Äste wachsen, an denen immer gelbe Äpfel sind!

Warum sind einige Zwillinge zum Verwechseln ähnlich, andere nur an der gleichen Kleidung als Zwillinge zu erkennen?

Warum gehen aus Samen ein und derselben Löwenzahn-pflanze, die in unterschiedliche Böden eingebracht werden, Pflanzen mit ganz verschiedenem Wuchs hervor?

Warum aber entwickeln sich aus zwei Kuckuckseiern, von denen eines von Gartengrasmücken, das andere von Rotkehlchen ausgebrütet wird, zwei kaum zu unterscheidende Kuckucke? Niemals Gartengrasmücken oder Rotkehlchen! Und dabei sehen doch die Eier der Kuckucke denen der jeweiligen „Pflegeeltern“ zum Verwechseln ähnlich.

Warum brauchen bestimmte Nutzpflanzen Stallmistdüngung, wenn andere viel besser ohne solchen auskommen?

Warum lassen sich Bananenpflanzen nicht an Alaska gewöhnen, warum Heringe nicht an Dorfteiche?

Warum sind ganz, ganz selten in Rotwildrudeln weiße Nachkommen zu finden?

Warum werden manche Kinder krank geboren?

Warum kann es zu solchen Feststellungen wie „ganz der Vater!“ oder „der Mutter wie aus dem Gesicht geschnitten!“, später manchmal auch zu „völlig aus der Art geschlagen!“ kommen? Warum kann J. W. v. Goethe sagen „Vom Vater hab' ich die Statur, des Lebens ernstes Führen ...“? Was wird vererbt, was nicht?

Fragen über Fragen!

Wissenschaftlich begründete Antworten auf solche Fragen sind erst seit wenigen Jahrzehnten, manche sogar erst seit einigen Jahren möglich. Da ist es nicht verwunderlich, daß sich in vergangenen Jahrhunderten viele Spekulationen um Ähnlichkeiten und Unterschiede, Fortpflanzung, Entwicklung und Vererbung rankten. Sie gründeten sich auf Beobachtungen am Menschen selbst sowie an Pflanzen und Tieren seiner Umgebung, insbesondere an Nutzpflanzen und Haustieren.

Erfahrungen mit der Züchtung von Pflanzen und Tieren hat der Mensch seit Jahrtausenden gewonnen. Schon im Anfangsstadium von Ackerbau und Viehzucht waren Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den Organismen einer Art aufgefallen. Aufgefallen war auch, daß bestimmte Merkmale und Eigenschaften anscheinend mit der Fortpflanzung von Generation zu Generation weitergegeben wurden. Daher wurden bestimmte Individuen, die nach menschlichem Ermessen besonders wertvoll waren, ausgelesen und vermehrt. Bei Paarung solcher Individuen miteinander konnten gelegentlich bei Nachkommen unterschiedliche Merkmale kombiniert werden, die bei den Vorfahren nur getrennt vorgekommen waren. Im Laufe der Jahrtausende hat diese Auslesezüchtung eine große Anzahl verschiedener Haustierarten und Kulturpflanzen entstehen lassen. Viele sind von so vorzüglicher Qualität, daß es auch mit modernen Methoden schwierig erscheint, sie noch weiter zu verbessern.

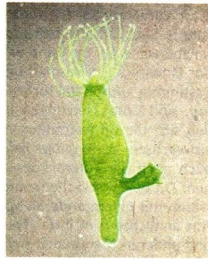
■ Die Dattelpalme ist schon seit dem Altertum (z. B. in Assyrien) künstlich bestäubt worden. Sie ist getrenntgeschlechtig. Die weiblichen Bäume brauchen zum Fruchtsatz Pollen von einem männlichen Baum. Durch künstliche Bestäubung konnte die Anzahl männlicher Bäume, die keine Früchte tragen, zugunsten der Anzahl weiblicher Bäume verringert werden. Außerdem trugen künstlich bestäubte Bäume reichlicher und regelmäßiger Früchte. □

Bei der Züchtung von Pflanzen und Tieren gewann der Mensch Erfahrungen und Erkenntnisse über die Fortpflanzung, ihre Bedeutung für die Erhaltung der Organismenarten und über das Variieren der Merkmale bei Organismen einer Art.

**Geschlechtliche und ungeschlechtliche Fortpflanzung.** Pflanzen können sich entweder durch Samen oder durch Ableger fortpflanzen. Die Fortpflanzung durch Samen ist die geschlechtliche Fortpflanzung. Die Fortpflanzung durch Ableger ist die ungeschlechtliche Fortpflanzung.

Während die ungeschlechtliche Fortpflanzung bei Pflanzen, auch bei höherentwickelten,





Organismen mit ungeschlechtlicher Fortpflanzung (von links: Bakterien, Knoblauch, Süßwasserpolyt)

weit verbreitet ist, sind von den Tieren unter natürlichen Bedingungen nur relativ einfach gebaute Wirbellose zur ungeschlechtlichen Fortpflanzung fähig. Auch einzellige Lebewesen können sich ungeschlechtlich fortpflanzen.

Bei ungeschlechtlicher Fortpflanzung entstehen Nachkommen aus Körperzellen. Bei geschlechtlicher Fortpflanzung verschmelzen bei der Befruchtung eine Eizelle und eine Samenzelle miteinander.



Organismen mit geschlechtlicher Fortpflanzung (von links: Kirsche, Lärche, Erdkröten)

Die Fortpflanzung ist in der Regel mit einer Vermehrung, das heißt mit einer Erhöhung der Individuenanzahl, verbunden. ① ②

**Erhalten der Art durch Fortpflanzung.** Die Lebenszeit der Individuen ist begrenzt. Viele Tier- und Pflanzenarten kommen aber schon Tausende oder sogar Millionen von Jahren auf der Erde vor. Das Erhaltenbleiben der Arten ist durch die Aufeinanderfolge der Generationen ermöglicht. Jede Folgegeneration entsteht durch Fortpflanzung von Individuen der vorhergehenden Generation. In jeder Folgegeneration weisen die Individuen einer Art immer wieder ihre charakteristischen Merkmale auf.

**Variieren der Merkmale in der Population.** Die Individuen einer Population sind durch die Artmerkmale charakterisiert. Daneben besitzen sie aber auch Merkmale, durch die sie voneinander unterscheidbar sind; sie variieren.

- 
- ① Erläutern Sie an Beispielen von Pflanzen und Tieren die ungeschlechtliche Fortpflanzung!
  - ② Nennen Sie Beispiele für geschlechtliche Fortpflanzung bei Pflanzen und Tieren und erläutern Sie ein Beispiel!
-



Zum Variieren der Merkmale der Angehörigen einer Population tragen zwei schon bekannte Sachverhalte bei: Individuen einer Population weisen unterschiedlich breite Toleranzbereiche auf und sind während ihrer Individualentwicklung in unterschiedlicher Weise der Einwirkung biotischer und abiotischer Umweltfaktoren ausgesetzt.

Bestimmte Umweltfaktoren, wie Nährstoffe, Sauerstoff, Wasser, Licht, Temperatur, Biotoptop, sind Voraussetzungen für Wachstum und Entwicklung der Organismen. Unterscheiden sich die Umweltfaktoren, mit denen zwei Individuen mit gleichen Toleranzbereichen aufwachsen, dann entwickeln sich selbst diese Individuen in unterschiedlicher Weise. Sind auch noch die Toleranzbereiche verschieden, können noch größere Unterschiede entstehen. Da beide Ursachenkomplexe nie bei zwei Individuen völlig gleich sind, ist kein Lebewesen mit einem anderen völlig identisch.

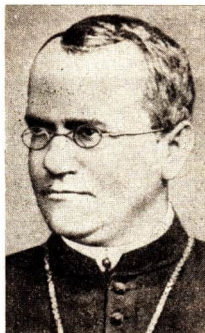
Am ähnlichsten in ihren Toleranzbereichen und damit in anatomischen, physiologischen und anderen Merkmalen sind Individuen einer Population, die miteinander verwandt sind. Von den Eltern muß demnach jeweils an die Nachkommen etwas vererbt worden sein.

① ②

## Mendelsche Gesetze



Klostergarten in Brno



Gregor Johann Mendel (1822 bis 1884)

Noch 1859 hatte Charles Darwin (↗ S. 74) in seinem bedeutenden Werk „Über die Entstehung der Arten ...“ festgestellt, daß „die Gesetze der Vererbung vollkommen unbekannt sind“. Nach solchen Gesetzen über die Vererbung von Merkmalen und Eigenschaften wurde zu dieser Zeit in vielen Ländern zielstrebig und emsig geforscht. Man versprach sich von der Aufklärung dieser Gesetzmäßigkeiten vor allem in der Landwirtschaft und im Gartenbau bedeutende Fortschritte. Die wissenschaftlichen Veröffentlichungen über entsprechende Forschungsarbeiten wurden bald so zahlreich, daß sie kaum noch jemand überblicken konnte.

Um das Jahr 1900 stießen bei der Durchsicht von Fachliteratur über Kreuzungsexperimente mit Pflanzen mehrere Wissenschaftler unabhängig voneinander auf einen Zeitschriftenartikel, der 1865 von Gregor Mendel verfaßt und 1866 in Brünn (heute Brno, ČSSR) gedruckt worden war. Er umfaßte 43 Seiten und hatte den Titel „Versuche über Pflanzen-Hybriden“.

In dieser Abhandlung war an Kreuzungsexperimenten mit Erbsenpflanzen zum erstmal



ein klarer Weg zur Aufklärung der Gesetzmäßigkeiten der Vererbung gewiesen. Aus den von Mendel gewonnenen Ergebnissen ließen sich grundlegende Regeln ableiten, die später zu Ehren ihres Entdeckers als „Mendelsche Gesetze“ bezeichnet wurden. Sie erwiesen sich bald als allgemeingültig für die Pflanzen, die Tiere und den Menschen. Ein Jahrtausende altes Problem war gelöst.

**Gregor Johann Mendel.** G. J. Mendel wurde 1822 in Mähren als Sohn eines Bauern in Heinzendorf (heute Hynčice, ČSSR) geboren. Nach dem Studium der Philosophie wurde er 1843 in das Augustinerkloster in Brünn aufgenommen. Er studierte dort Theologie und Landwirtschaft. Nach kurzer Tätigkeit als Gymnasiallehrer für Mathematik und Griechische Sprache wurde er vom Abt des Klosters nach Wien geschickt, um Physik und andere Naturwissenschaften zu studieren.

Zurückgekehrt nach Brünn führte Mendel neben seiner Tätigkeit als Lehrer für Naturwissenschaften an höheren Lehranstalten auf dem Klostergelände umfangreiche Kreuzungsexperimente mit Pflanzen durch. 1868 wurde er zum Abt des Klosters gewählt. 1884 starb Mendel in Brünn.

Die in der Landwirtschaft und im Gartenbau damals üblichen Methoden der Züchtung waren Mendel bekannt. Anlaß für seine Kreuzungsversuche war die Frage, wie die große Variabilität der Merkmale von Kulturpflanzensorten zustande kommt. Ganz besonders interessierte ihn, wie die vielen Farbvarianten gezüchteter Blumen entstehen und warum bei Weiterzüchtungen oft unerwartet Rückschläge in frühere Ausgangsformen erfolgen. Sein Ziel war es, die bis dahin unberechenbaren Vorgänge der gärtnerischen Blumenzucht zu durchschauen, um somit gezielt Einfluß auf die Farbausbildung nehmen zu können.

**Kreuzungsexperimente von G. J. Mendel.** Mendel war nicht nur ein ausgezeichnete Praktiker, wie andere Forscher auch, sondern zugleich ein gründlich arbeitender Theoretiker. Beim Studium der Physik hatte er gelernt, daß alle Erscheinungen in der Natur Gesetzen unterliegen. Er wußte, daß man, um diese erkennen zu können, die Bewegung der jeweils kleinsten Bausteine verfolgen und mathematisch formulieren muß. Um dieses Ziel zu erreichen, genügte es nicht, Spekulationen anzustellen. Es war vielmehr erforderlich, durch planmäßige und wohlgedachte Versuche eine fundierte Theorie auszuarbeiten. Nach diesen Prinzipien ging Mendel Schritt für Schritt vor. Dabei baute er auf den neuesten Erkenntnissen über Pflanzenbefruchtung auf.

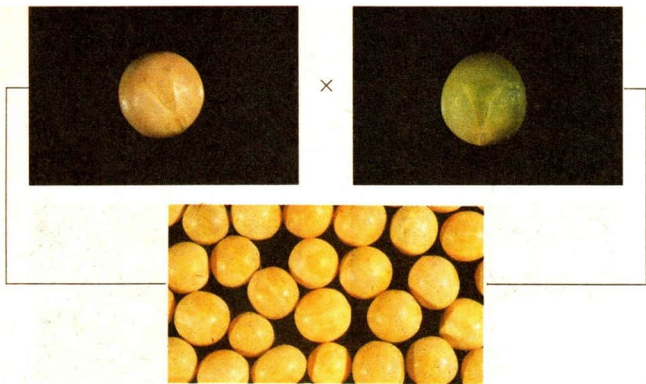
Viele Forscher waren damals der Ansicht, daß bei Kreuzungen bestimmte Merkmale der Eltern in jedem Nachkommen zusammentreffen und dort alle miteinander verschmelzen. Bei der Untersuchung der Kreuzungsergebnisse wurden daher die Nachkommen als Ganzes mit ihren Eltern verglichen. So kam es zu Bezeichnungen wie „mehr nach der Mutter“ und „mehr nach dem Vater“. Gesetzmäßigkeiten in der Weitergabe der Merkmale konnten so nicht erkannt werden, da bei jedem Nachkommen immer wieder andere Merkmalskombinationen auftraten.

Die geniale Idee von Mendel war, den Organismus nicht als undurchschaubares Ganzes, sondern als ein Mosaik von Merkmalen aufzufassen, die frei und unabhängig voneinander kombinierbar sind und über die Generationen verfolgt werden können. Auch die Grundsätze seiner Versuchsanordnung können heute noch als Musterbeispiel gelten: mögliche Vereinfachung der Fragestellung, Beschränkung auf nur wenige Erscheinungen, Variieren der Versuchsbedingungen (um Zufälle auszuschalten), Durchführung von Vorversuchen und Kontrollversuchen.

Durch Vorversuche entschied sich Mendel für Kreuzungsexperimente mit verschiedenen

- 
- ① Was ist eine Population? Nennen Sie Ursachen für das Variieren von Merkmalen bei Individuen einer Population!
  - ② Erläutern Sie an einem Beispiel die Angepaßtheit der Organismen an ihre Umwelt!
-





Merkmal Ausbildung in der 1. Tochtergeneration nach der Kreuzung reinerbig gelberbiger mit reinerbig grünerbiger Pflanzen (100% gelbe Samen)

Damit hatte Mendel eine Gesetzmäßigkeit entdeckt. Sie wurde später nach ihm das 1. Mendelsche Gesetz oder Uniformitätsgesetz genannt.

**Entdeckung des Spaltungsgesetzes.** Mendel war überzeugt, daß bei diesen Nachkommen trotzdem beide Merkmalfaktoren vorhanden sind, der eine Faktor allerdings irgendwie verborgen sei.

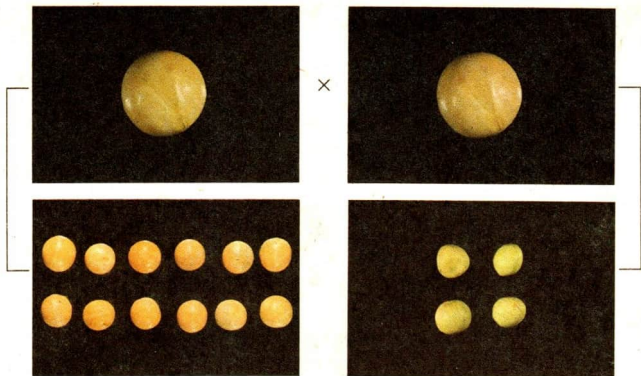
Um dies zu beweisen, überließ Mendel die Pflanzen der 1. Tochtergeneration der Selbstbefruchtung. Die uniform rotblühenden Pflanzen der 1. Tochtergeneration bildeten nun Samen, von denen einige wiederum zu rotblühenden, die anderen aber zu weißblühenden Pflanzen auswuchsen. Die Individuen einer solchen 1. Tochtergeneration können also nicht reinerbig sein, sie sind mischerbig. Zum gleichen Ergebnis wäre Mendel gekommen, hätte er Pollen einer rotblühenden Pflanze der 1. Tochtergeneration auf die Narben einer anderen solchen Pflanze übertragen.

Wieder und wieder prüfte Mendel diese Aufspaltung in der 2. Tochtergeneration. Dabei zählte er die unterschiedlichen Nachkommen jeder Pflanze: Bei Prüfung der Erbsenfarbe und der Erbsenform zählte er die Erbsensamen, bei anderen Merkmalen die aus den Erbsensamen auswachsenden Pflanzen.

Mendel fiel auf, daß die Pflanzen oder die Samen mit dem in der 1. Tochtergeneration nicht zu beobachtenden Merkmal (die weißblühenden, die kantigen, die grünen) viel seltener als die anderen waren. Beim Vergleichen der Anzahlen stellte er fest, daß jeweils etwa  $\frac{3}{4}$  der Pflanzen (bzw. der Erbsensamen) die eine, nur etwa  $\frac{1}{4}$  die andere Merkmalsform zeigten; ein Verhältnis also von 3 : 1. Warum ein solches Überwiegen der einen Merkmalsform?

Mendel überließ die Pflanzen der 2. Tochtergeneration der Selbstbefruchtung. Alle weißblühenden Pflanzen hatten nur weißblühende Nachkommen, sie waren also alle reinerbig. Ganz anders war es bei den rotblühenden Pflanzen der 2. Tochtergeneration. Bei ihrer

- ① Welche Methoden wählte Mendel für seine Experimente zur Vererbung?
- ② Erläutern Sie, wie Mendel zum Uniformitätsgesetz kam!



Merkmalsausbildung in der 2. Tochtergeneration nach der Kreuzung mischerbig gelberbsiger Pflanzen (75% gelbe Samen, 25% grüne Samen)

Eltern- generation	Kreuzungsexperiment 1			Kreuzungsexperiment 2		
	Erbsenpflanzen mit runden oder mit kantigen Samen			Erbsenpflanzen mit gelben oder mit grünen Samen		
1. Tochter- generation	alle Samen rund			alle Samen gelb		
2. Tochter- generation	Samen rund		kantig	Samen gelb		grün
Ergebnisse aus Mendels Versuchsreihen	Pflanzen	Samen	Samen	Pflanze	Samen	Samen
	1	45	12	1	25	11
	2	27	8	2	32	7
	3	24	7	3	14	5
	4	19	10	4	70	27
	5	32	11	5	24	13
	.	.	.	.	.	.
Gesamtergebnis	253 Pflanzen ergaben 5474 runde und 1850 kantige Samen			258 Pflanzen ergaben 6022 gelbe und 2001 grüne Samen		

Selbstbefruchtung hatte nur  $\frac{1}{3}$  der Pflanzen ausschließlich rotblühende Nachkommen.  $\frac{2}{3}$  der rotblühenden Pflanzen der 2. Tochtergeneration hatten wiederum rotblühende und weißblühende Nachkommen im Verhältnis 3 : 1; sie waren also wieder mischerbig. In der 2. Tochtergeneration mit rotblühenden Pflanzen und weißblühenden Pflanzen im Verhältnis 3 : 1 war demnach das Verhältnis von reinerbigen rotblühenden Pflanzen zu mischerbigen rotblühenden Pflanzen zu reinerbigen weißblühenden Pflanzen 1 : 2 : 1. Entsprechende Ergebnisse ließen sich auch mit den anderen Erbsenmerkmalen erzielen.



Wiederum hatte Mendel in verschiedenen umfangreichen Experimenten das gleiche Ergebnis gewonnen. Dieses Ergebnis war also nicht zufällig entstanden, sondern typisch. Damit hatte Mendel eine weitere Gesetzmäßigkeit entdeckt, die später als 2. Mendelsches Gesetz oder Spaltungsgesetz formuliert wurde.

► **Werden die mischerbigen Individuen der 1. Tochtergeneration miteinander gekreuzt, so sind ihre Nachkommen in der 2. Tochtergeneration in Gruppen mit festen Zahlenverhältnissen gespalten.**

Eine solche Feststellung war nur möglich, weil Mendels Material für statistische Auswertungen umfangreich genug war. Im Verlauf von 8 Jahren hatte er 355 künstliche Befruchtungen an Erbsenpflanzen durchgeführt, 12980 Nachkommen gezogen und etwa 350000 Erbsensamen in die Auswertungen einbezogen. ①

**Schlußfolgerungen Mendels.** Die Ergebnisse dieser und weiterer Experimente bestärkten Mendel in seiner Ansicht, daß nicht Merkmale von Generation zu Generation vererbt werden, sondern Anlagen zur Ausbildung dieser Merkmale. Wie sonst wäre es möglich gewesen, daß bei Kreuzung von reinerbigen rotblühenden und reinerbig weißblühenden Erbsenpflanzen miteinander nur rotblühende entstehen? Und wie hätten, würden Merkmale vererbt, aus rotblühenden Individuen der 1. Tochtergeneration auch weißblühende Nachkommen hervorgehen können?

Mendel kam zu der Überzeugung, daß die Anlagen zur Ausbildung der Merkmale von Generation zu Generation durch Geschlechtszellen übertragen werden. Da sich nach seiner Meinung zum Entstehen eines neuen Individuums zwei Geschlechtszellen vereinigen, mußten demnach für jedes Merkmal zwei solcher Anlagen vorhanden sein. Diese dürften, sollte seine Theorie stimmen, nicht miteinander verschmelzen oder sich irgendwie auflösen. Sie müßten sich bei der Geschlechtszellenbildung des neu entstandenen Individuums auch wieder trennen und getrennt weitervererben lassen, unabhängig voneinander. Diese Annahmen konnten mit der Entdeckung des Uniformitäts- und des Spaltungsgesetzes bestätigt werden.

► **Mit der Entdeckung des Uniformitäts- und des Spaltungsgesetzes konnte Mendel seine Annahme bestätigen, daß nicht Merkmale vererbt werden, sondern nur Anlagen für die Herausbildung der Merkmale von der Eltern- an die Tochtergeneration weitergegeben werden.** ②

Gleichzeitig fühlte sich Mendel in seiner Vermutung bekräftigt, daß sich bei der Fortpflanzung „je eine Keim- und eine Pollenzelle zu einer einzigen Zelle“ vereinigen. Er hatte damit etwas vorweggenommen, was die Zellforschung erst 20 Jahre später nachwies (→ S. 16)!

Wir wissen heute, daß sich alle Körperzellen aus dieser „einzigen Zelle“, der befruchteten Eizelle, entwickeln. Dadurch sind in allen Körperzellen für jedes Merkmal zwei solcher Anlagen vorhanden. In jede Geschlechtszelle aber gelangt nur eine von beiden Anlagen. Bei der Befruchtung kommen zwei Geschlechtszellen zusammen; welche, das bleibt dem Zufall überlassen. Dadurch ergeben sich verschiedene Kombinationsmöglichkeiten von Anlagen.

Erhält ein Individuum durch jede der zwei Geschlechtszellen und damit von jedem Elter die gleiche Anlage für ein Merkmal (z. B. für die Blütenfarbe), ist es reinerbig. Individuen, die durch jede Geschlechtszelle und damit von jedem Elter eine andere Anlage zur Ausbildung des Merkmals erhalten, sind mischerbig.

Aus reinerbigen Individuen bestehen beispielsweise die von Mendel für seine Experimente

- 
- ① *Welche Überlegungen und Experimente führten Mendel zu den Erkenntnissen, die im Spaltungsgesetz ausgesagt werden?*
  - ② *Wie kam Mendel zu der Feststellung, daß nicht Merkmale, sondern nur die Anlagen für die Ausbildung von Merkmalen weitergegeben werden?*
-



ausgewählten Erbsensorten. In jeder Geschlechtszelle eines reinerbigen Individuums ist die gleiche Anlage. Bei Kreuzung reinerbiger Individuen miteinander entstehen immer wieder reinerbige Individuen mit gleicher Ausprägung des betreffenden Merkmals.

Werden dagegen zwei Erbsensorten, die sich in einem Merkmal unterscheiden, miteinander gekreuzt, entstehen nur mischerbige Individuen. Ein Teil der Geschlechtszellen jedes mischerbigen Individuums enthält die eine Anlage, die anderen enthalten die andere Anlage. Bei Kreuzung mischerbiger Individuen miteinander (oder bei ihrer Selbstbefruchtung) werden diese Geschlechtszellen nach dem Zufall miteinander kombiniert. Die Nachkommen können dadurch zweimal die eine Anlage, zweimal die andere Anlage oder von jeder Anlage eine erhalten. ①

Bei Kreuzung oder Selbstbefruchtung mischerbiger Individuen hatte Mendel aber jeweils eine Aufspaltung der 2. Tochtergeneration in nur zwei Gruppen beobachtet, beispielsweise in rotblühende und weißblühende Pflanzen im Verhältnis 3 : 1 (→ S. 35). Die gleiche Merkmalsausprägung bei den reinerbigen rotblühenden und den mischerbigen rotblühenden Pflanzen führte er auf ein Vorherrschen, ein „Übergewicht“ der Anlage für Rot zurück.

■ Bei verschiedenen Organismen kann bei der Kreuzung reinerbiger Individuen, die sich in einem Merkmal unterscheiden, die 1. Tochtergeneration zwar untereinander gleich, aber von beiden Eltern verschieden sein. Beispielsweise entstehen bei Kreuzung reinerbiger rotblühender Wunderblumen mit reinerbigen weißblühenden Wunderblumen rosablühende Pflanzen: Das bedeutet, daß hier keine der beiden Anlagen vorherrschend ist. Werden diese rosablühenden mischerbigen Pflanzen miteinander gekreuzt, finden sich unter ihren Nachkommen rotblühende, rosablühende und weißblühende im Verhältnis 1 : 2 : 1. □

Nachdem Mendel mit seinen Experimenten das Vorhandensein von Anlagen zur Ausbildung von Merkmalen bestätigt und die Weitergabe dieser Erbanlagen von Generation zu Generation grundsätzlich geklärt hatte, wandte er sich komplizierteren Fragestellungen und Versuchsanordnungen zu. Er kreuzte Elternpaare, die sich in zwei, drei oder bis zu sieben Merkmalen unterschieden. Bei solchen Kreuzungen entstehen so viele neue Formen, wie es Kombinationsmöglichkeiten der Erbanlagen gibt. Daraus schlußfolgerte er, daß nicht nur die beiden Anlagen, die für die Ausbildung eines Merkmals verantwortlich sind, getrennt vererbt werden, sondern auch die Anlagen für unterschiedliche Merkmale (z. B. die für Farbe einerseits und die für Blütenform andererseits) unabhängig voneinander weitergegeben werden. Die Erbanlagen bleiben als selbständige Einheiten unverändert.

► Bereits 1865 formulierte Mendel seine Vermutung von der Existenz von zwei Erbanlagen für die Ausbildung jedes Merkmals, die unabhängig voneinander und auch unabhängig von Erbanlagen für andere Merkmale vererbt werden.

Damit war für Mendel zunächst die für die Blumenzucht wichtige Frage geklärt, wie die vielen Farbvarianten bei Blumenzüchtungen zustande kommen. Daß er mit seinen Methoden, Ergebnissen und Schlußfolgerungen gleichzeitig die Grundlagen für die Entwicklung der Vererbungswissenschaft geschaffen hatte, wurde erst um die Jahrhundertwende klar.

■ Unabhängig voneinander entdeckten der Holländer Hugo de Vries (1848 bis 1935), der Deutsche Carl Correns (1864 bis 1933) und der Österreicher Erich von Tschermak-Seysenegg (1871 bis 1962) Mendels Publikation. Sie waren aufgrund eigener Experimente zu gleichen Auffassungen wie er gelangt. □

► Gregor Johann Mendel (1822 bis 1884) kam durch umfangreiche Kreuzungsversuche an Pflanzen und die statistische Auswertung der gewonnenen Ergebnisse zu allgemeingültigen Gesetzen über das Vererbungsgeschehen bei Pflanzen, Tieren und Menschen. Diese Gesetze wurden später nach ihm als Mendelsche Gesetze benannt.

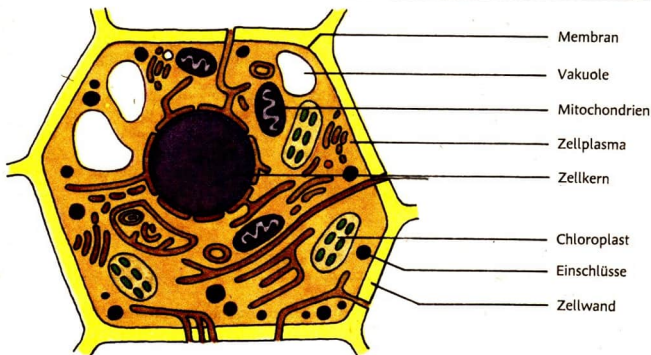
Mendel war sicher, daß die Anlagen zur Ausbildung der Merkmale in den Zellen lokalisiert waren. Er hatte jedoch noch keine Vorstellung davon, wie diese Anlagen gestaltet sein könnten. Er konnte auch nicht wissen, wo in der Zelle diese Anlagen zu finden sind. Und völlig unklar war zu seiner Zeit, aus welchem Stoff sie aufgebaut sein könnten. ②





- 1 Belegen Sie am Beispiel der Kreuzungsexperimente Mendels, daß das methodische Herangehen eine wesentliche Voraussetzung für erfolgreiches Arbeiten darstellt!
- 2 Welche biologischen Arbeitstechniken wendete Mendel an, um zu seinen statistisch auswertbaren Forschungsergebnissen zu gelangen?
- 3 Was besagt das Uniformitätsgesetz?
- 4 Erläutern Sie anhand der Tabelle auf S. 12 das 2. Mendelsche Gesetz!
- 5 Berechnen Sie anhand der Tabelle auf S. 12 die Spaltungsverhältnisse, die sich aus Mendels Kreuzungsexperimenten 1 und 2 ergaben, und interpretieren Sie diese! Wenden Sie dabei Ihre Kenntnisse über die Mendelschen Gesetze an!
- 6 Kennzeichnen Sie die ungeschlechtliche und die geschlechtliche Fortpflanzung!
- 7 Welche Bedeutung haben die ungeschlechtliche und die geschlechtliche Fortpflanzung für die Erhaltung der Arten und für die Sicherung der Ernährung und der Rohstoffquellen des Menschen?
- 8 Naturnahe Waldökosysteme weisen ein relativ stabiles Gleichgewicht auf. Kennzeichnen Sie die Wechselbeziehungen zwischen biotischen und abiotischen Umweltfaktoren in ihrer Bedeutung für die Stabilität des Ökosystems!

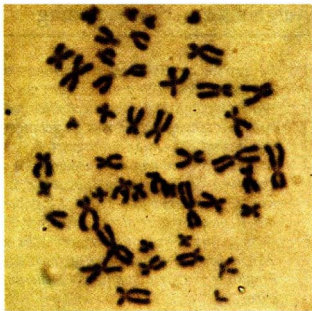
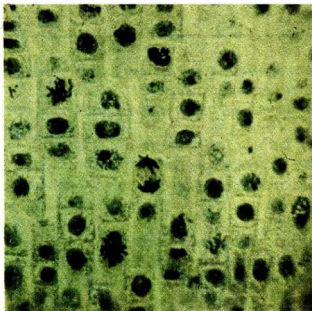
## Zelluläre Grundlagen der Vererbung



Bau einer Zelle

Mit der Erfindung des Mikroskops im 17. Jahrhundert war es möglich geworden, auch den Feinbau der Pflanzen und der Tiere zu erforschen. Noch im 17. Jahrhundert wurde nach Untersuchungen am Kork und anderen Pflanzenteilen der Begriff „Zelle“ geprägt. Der Zellkern wurde erst vor etwa 150 Jahren entdeckt. ③

- ① Erläutern Sie an je einem Beispiel reinerbig und mischerbig!
- ② Worin bestehen die besonderen Leistungen Mendels?
- ③ Beschreiben Sie den Bau einer Zelle!



Chromosomen (links: in Wurzelspitzenzellen einer Zwiebel, rechts: in einer Körperzelle des Menschen)

■ Mit immer besseren Mikroskopen erkannten viele Forscher, daß Gewebe und Organe sowohl von Pflanzen als auch von Tieren aus Zellen aufgebaut sind. Aus diesen Beobachtungen leiteten die deutschen Wissenschaftler Matthias Jacob Schleiden (1804 bis 1881) und Theodor Schwann (1810 bis 1882) in den Jahren 1838/39 die sogenannte Zellentheorie ab. Diese Theorie besagt, daß die Zelle der kleinste lebensfähige Grundbaustein aller Organismen ist. Bestimmte Organismen bestehen sogar nur aus einer einzigen Zelle. Die Zellentheorie führte zur Eröffnung unermesslich vielfältiger und großer Forschungsgebiete der Biologie. □

Um 1875 konnte die Vermehrung der Zellen durch Zellteilung nachgewiesen werden. Einige Jahre später wurden in sich teilenden Zellen fädige Strukturen entdeckt, die die Bezeichnung „Chromosomen“ erhielten. Daß damit Gebilde gefunden waren, die die von Mendel vermuteten Erbanlagen beinhalten, wurde aber erst zu Beginn unseres Jahrhunderts erkannt (↗ S. 18). Die Frage, aus welchem Stoff diese Anlagen bestehen, kann sogar erst seit wenigen Jahrzehnten beantwortet werden (↗ S. 53).

## Chromosomen als Träger der Erbanlagen

---

Bei den meisten Organismen befinden sich die Chromosomen im Zellkern. Bei Bakterien und Blaualgen liegen die Chromosomen frei im Zellplasma.

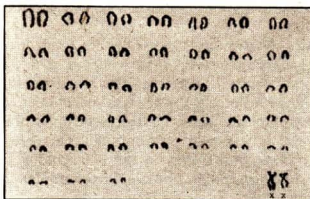
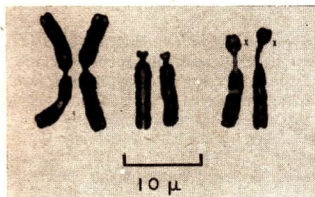
Jeder Teilung von Zellen mit Zellkern geht eine Kernteilung voraus. Während dieser Kernteilung können die Chromosomen in einem Präparat angefärbt und damit im Mikroskop sichtbar gemacht werden. ①

Der Zellkern jeder Zelle enthält meist mehrere Chromosomen. Sie sind nach ihrer Größe und Form unterscheidbar.

■ Die Chromosomenanzahl kann 2 (bei einem Korbblütengewächs) bis etwa 2000 (bei einem Einzeller) betragen. □

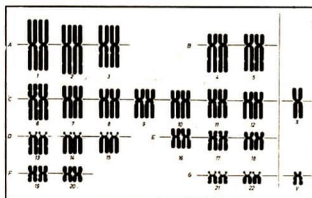
Anzahl, Größe und Form der Chromosomen stimmen in allen Körperzellen eines Organismus überein. Auch alle Individuen einer Pflanzen- oder Tierart weisen untereinander in ihren Körperzellen die gleichen Chromosomen auf.

► Die Chromosomen sind Bestandteile des Zellkerns. Anzahl, Größe und Form der Chromosomen sind artspezifisch.



Chromosomenanzahl in Körperzellen, links: Muntjak (ceylonesischer Hirsch), rechts: Feldmaus

Organismus	Chromosomenanzahl
Gartenerbse	14
Roggen	14
Mais	20
Kartoffel	48
Taufliege	8
Regenwurm	32
Karpfen	104
Rind	60
Mensch	46



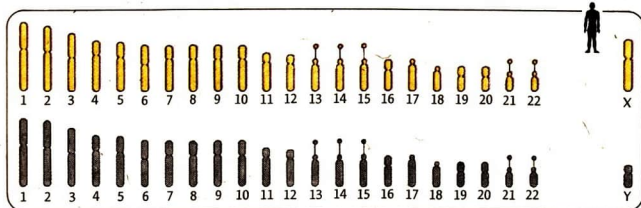
Chromosomenanzahl in Körperzellen verschiedener Organismen

Chromosomenanzahl in einer Körperzelle des Menschen

Anzahl, Größe und Form der Chromosomen sind auch bei allen Menschen gleich.

In den Körperzellen der meisten Organismengruppen treten die Chromosomen paarweise auf (→ Abb. S. 17). Die Chromosomen jedes Paares sind von gleicher Größe und Form. Der Chromosomenbestand einer Körperzelle umfaßt damit zwei übereinstimmende Gruppen von Chromosomen.

■ Eine solche Chromosomengruppe wird als Chromosomensatz bezeichnet. Der Chromosomenbestand einer Körperzelle wird zweifacher Chromosomensatz genannt. □ Nur zwei Chromosomen bilden bei vielen Organismen eine Ausnahme. Bei den meisten Wirbeltieren und beim Menschen stimmen diese beiden Chromosomen nur im weiblichen Geschlecht überein, sie werden als X-Chromosomen bezeichnet. Männliche Individuen da-



Chromosomenpaare in einer Körperzelle eines Mannes (schematisch)

- ① Beobachten Sie das Dauerpräparat einer Pflanzenzelle in Kernteilung mit dem Mikroskop! Stellen Sie Ihre Beobachtungsergebnisse zeichnerisch dar!



gegen haben nur ein X-Chromosom und dazu ein anders geformtes, kleineres Y-Chromosom. ①

Um 1900 war das Wissen über die Zelle, den Zellkern und die Chromosomen bereits erheblich fortgeschritten. Es war bekannt, daß jede Tier- oder Pflanzenart durch eine konstante Anzahl von Chromosomen charakterisiert ist. Es hatte sich gezeigt, daß die Chromosomen in den Körperzellen paarweise vorkommen. Darüber hinaus waren Eizelle und Samenzelle, trotz ihrer deutlichen Unterschiede in Form und Größe, als Zellen erkannt. Bei ihrer Untersuchung hatte sich herausgestellt, daß jede dieser Zellen nur die halbe Anzahl von Chromosomen besitzt und bei der Befruchtung beisteuert.

► **In Körperzellen sind die Chromosomen paarweise, in Geschlechtszellen nur in Einzahl vorhanden.**

■ Der Chromosomenbestand einer Eizelle oder einer Samenzelle wird einfacher Chromosomensatz genannt. □

Schon bald nach der Entdeckung der Chromosomen war überlegt worden, ob diese Strukturen eventuell Träger der Erbanlagen sein könnten. Diese Vermutungen wurden bestärkt, als bekannt wurde, daß die Chromosomen in den Körperzellen paarweise, in den Geschlechtszellen aber nur in Einzahl vorhanden sind. Hatte nicht ein Mendel behauptet, daß auch die Erbanlagen in den Körperzellen zweifach, in den Geschlechtszellen aber nur einfach vorhanden sind? Und waren diese Annahmen nicht inzwischen von de Vries, Correns und von Tschermak-Seysenegg bekräftigt worden? Die Parallelität der Mendelschen Vermutungen und der Beobachtungen an Chromosomen lag auf der Hand. Zudem war bereits beobachtet worden, wie bei der Geschlechtszellenbildung die Chromosomen jedes Chromosomenpaares voneinander getrennt wurden, so daß jede Geschlechtszelle nur die halbe Chromosomenanzahl erhielt. Die Kombination von zwei Geschlechtszellen hatte wieder eine Zelle mit Chromosomenpaaren ergeben. Die Chromosomen mußten die Schlüsselemente sein, durch die die Weitergabe der Erbanlagen an die Tochtergeneration erfolgt: die Trennung der Anlagen bei der Geschlechtszellenbildung, die Kombination von je zwei Anlagen bei der Befruchtung.

Diese Erkenntnis wurde in den Jahren 1902 bis 1904 gewonnen. Die Chromosomen wurden als die Träger der Erbanlagen gekennzeichnet. Heute besteht kein Zweifel mehr an der Richtigkeit dieser damals aufsehenerregenden Erkenntnis.

■ Diese Theorie wird Chromosomentheorie der Vererbung genannt. □

► **Die Chromosomen sind Träger der Erbanlagen. Die zwei Erbanlagen zur Ausbildung eines Merkmals befinden sich in den zwei Chromosomen eines Chromosomenpaares.**

■ Der Begründung der Genetik, die die Vererbung der Organismen wissenschaftlich untersucht, gingen wichtige Erkenntnisfortschritte im 19. und 20. Jahrhundert voraus. Sie sind außer mit G. J. Mendel und den Wiederentdeckern seiner Erkenntnisse (→ S. 14) mit den Namen vieler anderer bedeutender Wissenschaftler verbunden.

Th. Schwann (1839): Alle Lebewesen bestehen aus Zellen.

R. Virchow (1855): Jede Zelle entsteht aus einer Zelle.

W. Flemming (1880): Jeder Zellkern entsteht aus einem Zellkern.

Th. Boveri (1887): Jedes Chromosom entsteht aus einem gleichartigen Chromosom.

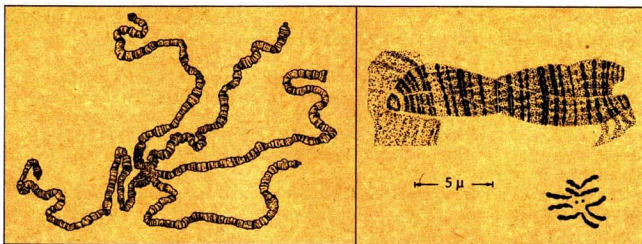
Th. M. Montgomery, W. S. Sutton, Th. Boveri (1902/1904): Die Chromosomen sind Träger der Erbanlagen. □ ② ③ ④

Nachdem erkannt worden war, daß die Erbanlagen in den Chromosomen enthalten sind, versuchten viele Forscher, die Anordnung der Erbanlagen in den Chromosomen aufzuklären. Um 1935 konnte nach Untersuchungen an der Taufliege (*Drosophila*) erstmals gezeigt werden, daß die Anlagen zur Ausbildung von Merkmalen in einer linearen Reihe auf den Chromosomen angeordnet sind.

Die Taufliege hat in manchen ihrer Zellen sogenannte Riesenchromosomen, die mehrere hundertmal länger als beispielsweise die Chromosomen des Menschen sind. Jedes der in der Abbildung auf S. 19 dunkel gefärbten Bänder solcher Riesenchromosomen enthält eine Erbanlage. ⑤



Taufliegen (von links: Normaltyp, mit gelockten Flügeln, mit Stummelflügeln)



Speicheldrüsenchromosomen der Taufliede (rechts: Ausschnittsvergrößerung und Chromosomenpaare)

Die lineare Anordnung der Erbanlagen konnte inzwischen auch in den Chromosomen anderer Organismen nachgewiesen werden.

► Die Erbanlagen werden als Gene bezeichnet. Die zwei Gene zur Ausbildung eines Merkmals befinden sich in den zwei Chromosomen eines Chromosomenpaares an gleicher Stelle.

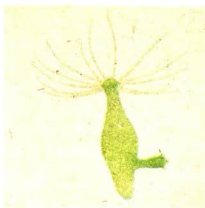
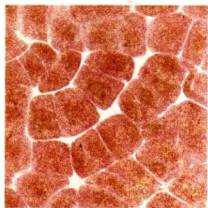
Individuen mit gleichen Genen werden als genetisch gleich oder erbgleich bezeichnet.

⚡ Beschreiben Sie den chromosomalen Unterschied der Körperzellen von Männern und Frauen!

- ② Welche Erkenntnisse über die Zelle waren Mendel bei der Durchführung seiner Experimente noch nicht bekannt?
- ③ Durch welche Erkenntnisse wurden die Auffassungen Mendels über die Erbanlagen bestätigt?
- ④ Wieviele Chromosomen und welche Geschlechtschromosomen enthalten die Körperzellen des Menschen?
- ⑤ Beobachten Sie Riesenchromosomen von *Drosophila* in einem Dauerpräparat mit dem Mikroskop! Beschreiben Sie ihre Beobachtungen!



## Weitergabe der Chromosomen mit den Genen



Gewebe (links), Polyp mit Knospe (Mitte), Wacholderdrossel mit Jungtieren (rechts)

Bei der Entwicklung und beim Wachstum mehrzelliger Organismen werden die Chromosomen mit den Genen von Zelle zu Zelle weitergegeben. Bei der ungeschlechtlichen und bei der geschlechtlichen Fortpflanzung erfolgt die Weitergabe der Chromosomen und Gene von Generation zu Generation. Die Weitergabe der Chromosomen mit den Genen erfolgt über Zellteilungen. Bei zellkernhaltigen Organismen ist jede Zellteilung mit einer Teilung des Zellkerns verbunden. ①

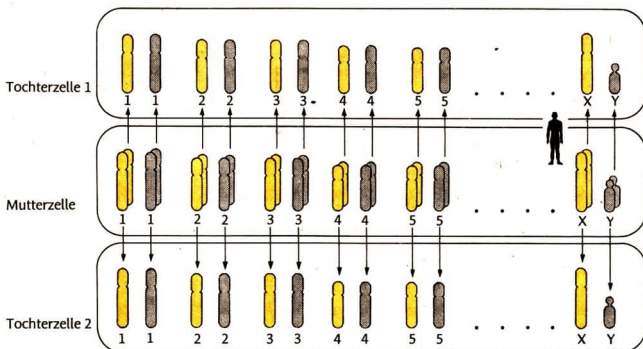
► Die Weitergabe der Chromosomen mit den Genen von Generation zu Generation wird als Vererbung bezeichnet.

**Weitergabe der Gene beim Wachstum.** Das Wachstum mehrzelliger Organismen erfolgt über die Vermehrung der Zellen durch Zellteilungen.

► Nach der Teilung einer Körperzelle enthalten die zwei Tochterzellen die gleichen Chromosomen und damit die gleichen Gene wie die Mutterzelle.

Vor der Teilung des Zellkerns verdoppelt sich jedes Chromosom. Es besteht dann aus zwei identischen Strängen, die als Tochterchromosomen bezeichnet werden.

Die beiden Tochterchromosomen werden voneinander getrennt und gelangen bei der Teilung



Verdoppelte Chromosomen eines Mannes, Längsteilung jedes Chromosoms und Verteilung der Tochterchromosomen auf die Tochterzellen bei der Vermehrung von Körperzellen (schematisch)



Kernteilungsverlauf bei der Teilung von Körperzellen (schematisch)

lung der Zelle in die Tochterzellen.

■ Auch andere in der Zelle vorhandene Bestandteile (z. B. Mitochondrien, Chloroplasten) haben sich vor der Zellteilung durch Selbstteilung vermehrt. Ihre Teilungsmechanismen sind im einzelnen noch weitgehend unbekannt. □

Jede der beiden Tochterzellen enthält die gleichen Chromosomen und Gene wie die anderen Tochterzellen bzw. wie die Mutterzelle, aus der beide hervorgegangen sind. ②

Diese Zellvermehrung ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Konstanzhaltung des Chromosomen- bzw. Genbestandes bei Wachstumsvorgängen mehrzelliger Organismen. Alle Körperzellen mehrzelliger Organismen sind durch aufeinanderfolgende Teilungen dieser Form aus einer einzigen Zelle, der befruchteten Eizelle, hervorgegangen. Sie enthalten wie diese alle Chromosomenpaare mit allen in der Ausgangszelle vorhandenen Genen. ③

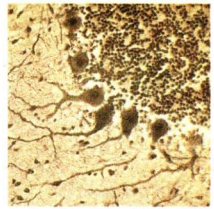
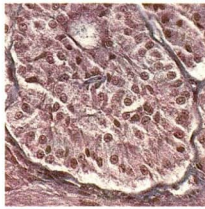
■ Obwohl alle Körperzellen eines mehrzelligen Organismus die gleichen Gene enthalten, haben doch nicht alle Körperzellen gleiches Aussehen und gleiche Leistungen.

Beispielsweise bilden Nervenzellen keine Verdauungssäfte, Drüsenzellen nehmen keine Lichtreize wahr, Knorpelzellen können sich nicht wie Muskelzellen zusammenziehen. Solche Unterschiede zwischen Körperzellen entstehen während des Wachstums und der Entwicklung des Individuums. Sie sind dadurch bedingt, daß in den Körperzellen immer nur bestimmte Gene aktiv, die anderen inaktiv sind. Diese Differenzierungsmöglichkeit der Körperzellen hat sich während der Evolution der Mehrzeller herausgebildet. Sie ist eine Voraussetzung für die Höherentwicklung im Tier- und Pflanzenreich (↗ S. 89). □

♣ Schildern Sie den Vorgang der ungeschlechtlichen und der geschlechtlichen Fortpflanzung! Nennen Sie Organismen, die sich nur ungeschlechtlich, und solche, die sich nur geschlechtlich fortpflanzen!

② Erläutern Sie die Teilung von Körperzellen!

③ Welche Bedeutung hat die Teilung der Körperzellen für den Organismus?



Verschiedene Zellarten eines Organismus (von links: Knorpelzellen, Drüsenzellen, Nervenzellen)

**Weitergabe der Gene bei ungeschlechtlicher Fortpflanzung mehrzelliger Organismen.** Auch die ungeschlechtliche Fortpflanzung von Mehrzellern erfolgt über die Vermehrung von Körperzellen durch Zellteilungsvorgänge wie beim Wachstum (→ S. 20).

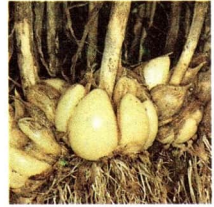
► **Bei ungeschlechtlicher Fortpflanzung von Mehrzellern enthalten die Nachkommen in ihren Zellen die gleichen Chromosomen und damit die gleichen Gene wie die Körperzellen, aus denen sie hervorgegangen sind.** ①



Knollen (Kartoffel)



Ausläufer (Erdbeere)



Brutzwiebel (Knoblauch)

Wird beispielsweise ein Weidenzweig geteilt, sind alle aus den Teilstücken aufwachsenden Organismen erbgleich. Sie bilden einen sogenannten Klon. Auch alle aus Aststücken eines Obstbaumes entstehenden Obstbäume sind ein Klon. Sie sind erbgleich und bringen unter gleichen Umweltbedingungen gleiche Erträge. Ebenso bilden alle Pflanzen oder Pflanzenteile, die durch natürliche ungeschlechtliche Fortpflanzung entstehen (z. B. Sprossung, Brutzwiebelbildung, Ausläufer- oder Senkerbildung), mit dem Ausgangsindividuum einen Klon. Die durch Knospung ungeschlechtlich entstehenden Nachkommen eines Süßwasserpolypten (→ Abb. S. 7) sind ebenfalls genetisch gleich. ② ③

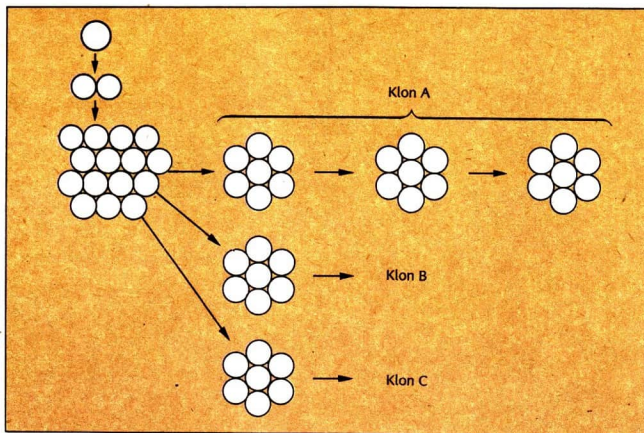
Die Erzeugung von Klonen, die Klonierung, wird in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Gartenbau zur Produktion vieler Nachkommen mit übereinstimmenden Genen und damit gleichen Leistungsvoraussetzungen angewandt. So sind alle Pflanzen einer Kartoffelsorte, einer Erdbeersorte oder alle Beerensträucher einer Sorte ein Klon und untereinander genetisch gleich. ④

Zur Klonierung mehrzelliger Organismen kann man verschiedene Wege gehen. Es können größere Pflanzenteile in der Erde oder anderen Nährsubstraten zur Bewurzelung und weiteren Entwicklung gebracht werden.

■ Alle Bäume, die kernlose, wohlschmeckende Nabelorangen tragen, sind über ungeschlechtliche Fortpflanzung erzeugte Nachkommen eines einzigen Baumes, der zufällig keine Samen bilden konnte. □

Es können aber auch kleinere Pflanzenteile (z. B. kleine Gewebeteile oder gar einzelne Zellen von Sproß, Wurzel oder Blatt) unter künstlichen Bedingungen zu vollständigen Indivi-





### Klonierung in Zellkulturen

duen herangezogen werden. Solche Verfahren, bei denen aus einer oder wenigen teilungsfähigen Zellen ungeschlechtlich Zellverbände, Gewebe oder sogar ganze Organismen entwickelt werden können, werden als Zellkulturtechnik bezeichnet.

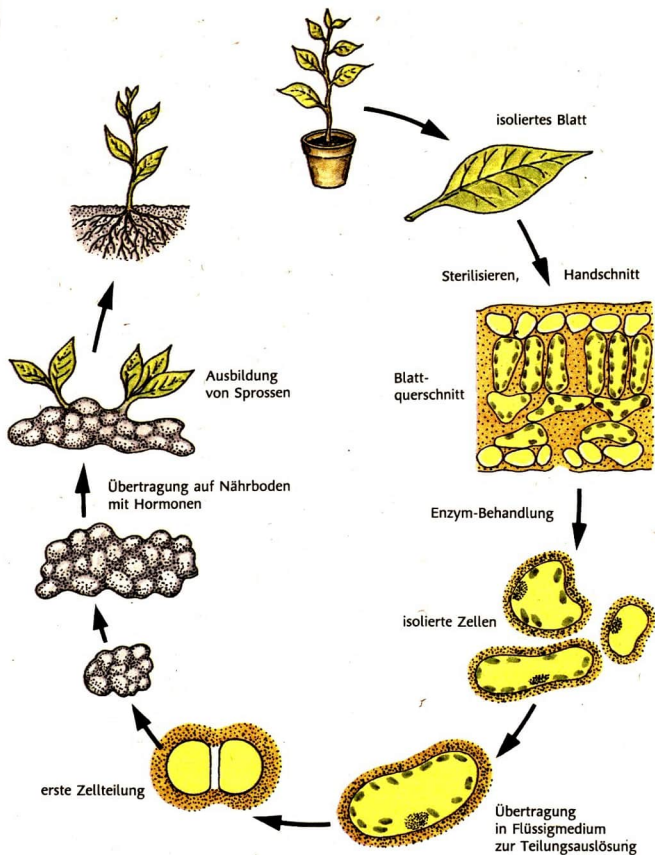
■ Wenige aus dem Fruchtwasser entnommene Zellen eines noch ungeborenen Kindes können ebenfalls durch Zellkulturtechnik so vermehrt werden, daß aus den vielen Zellen des entstehenden Zellverbandes eine sichere vorgeburtliche Diagnose des Chromosomenbestandes des Kindes vorgenommen werden kann (↗ S. 50).

Aus teilungsfähigen Einzelzellen einer Mohrrübe können bei geeigneter Zellkulturtechnik neue Mohrrübenpflanzen entwickelt werden, die alle gleiche Gene haben. □

Wie effektiv Verfahren der künstlichen Klonierung sind, zeigt sich an folgendem Beispiel: Eine Erdbeerpflanze kann auf natürliche Weise innerhalb von 6 Monaten etwa 10 „Senker“ bilden. Durch Zellkulturtechnik können dagegen in der gleichen Zeit mehr als 10000 Nachkommen einer solchen Pflanze gewonnen werden.

Auch eineiige Zwillinge haben einen übereinstimmenden Genbestand. Sie sind, im Gegensatz zu zweieiigen Zwillingen, aus einer einzigen befruchteten Eizelle hervorgegangen. In der Regel bleiben die zwei Tochterzellen der befruchteten Eizelle zusammen, teilen sich weiter und bauen gemeinsam nur einen Organismus auf. Haben sie sich zufällig voneinander getrennt und unabhängig voneinander zu je einem Organismus entwickelt, sind zwei

- ① Erläutern Sie die Bedeutung der ungeschlechtlichen Fortpflanzung für den Kulturpflanzenanbau! Nennen Sie Beispiele für ungeschlechtlich vermehrte Kulturpflanzen!
- ② Warum können bestimmte Zellen und Gewebeteile einer Pflanze alle Organe einer Pflanze neubilden?
- ③ Warum haben bei ungeschlechtlicher Fortpflanzung von Mehrzellern die Nachkommen in ihren Zellen die gleichen Chromosomen und Gene wie der Organismus, von dem sie abstammen?
- ④ Was verstehen Sie unter Klonierung?



Aufzucht einer ganzen Pflanze aus isolierten Zellen

Individuen mit völlig gleichem Genbestand entstanden. Die Ausbildung eineiiger Zwillinge beweist, daß beide Tochterzellen der befruchteten Eizelle über den gesamten Genbestand verfügen. ①

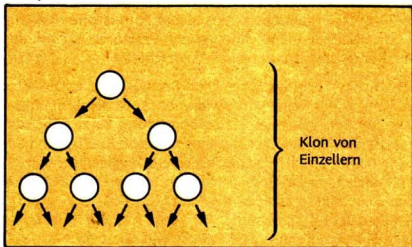
Diese Fähigkeit zur Entwicklung eines vollständigen Individuums weisen auch noch die Zellen sehr junger Embryonen auf. Bei Nutztieren (z. B. bei Rindern) können in sehr frühen Entwicklungsstadien im Labor alle Zellen voneinander getrennt werden. Sie werden in besonderen Gefäßen einzeln zur Entwicklung gebracht und dann in verschiedene Muttertiere

übertragen. Dort wachsen sie bis zur Geburt zu vollständigen Organismen mit gleichen Chromosomen und gleichen Genen heran. ②



**Weitergabe der Gene bei ungeschlechtlicher Fortpflanzung einzelliger Organismen.** Bei der ungeschlechtlichen Fortpflanzung von Einzellern erfolgt die Weitergabe der Chromosomen mit den Genen ebenso wie bei der Teilung von Körperzellen mehrzelliger Organismen (→ S. 20).

► Bei ungeschlechtlicher Fortpflanzung eines Einzellers haben seine zwei Nachkommen die gleichen Chromosomen und damit die gleichen Gene wie der Mutterorganismus. Sie bilden gemeinsam einen Klon. ③



Klonierung von Einzellern

Die Klonierung von Mikroorganismen, hauptsächlich von Bakterien, aber auch von Pilzen und Algen mit besonderen Leistungen (z. B. Synthese von Penizillin), wird zunehmend biotechnologisch genutzt.

■ Die erste Nutzung von Mikroorganismen, die bestimmte Leistungen vollbrachten und sich ungeschlechtlich rasch vermehren konnten, liegt weit zurück. Bereits vor mehreren tausend Jahren wurde Wein aus verschiedenen Früchten gewonnen. Seit etwa 1000 Jahren kann Essig hergestellt werden. Später kam die Herstellung von verschiedenen Käsesorten, Sauermilchprodukten, Bier und Branntwein hinzu. Die Herstellung solcher Produkte erfolgte, ohne daß der Mensch etwas von der Existenz und den Eigenschaften der dazu benötigten Mikroorganismen wußte. □ ④

Erst Anfang des 19. Jahrhunderts begann die wissenschaftliche Erforschung von Prozessen, die durch die rasche massenhafte Vermehrung von Mikroorganismen mit besonderen Leistungen bewirkt werden. Beispielsweise wurden 1818 erstmals Hefen als Auslöser von Gärungsprozessen erkannt. Erste entscheidende wissenschaftliche Grundlagen der Biotechnologie wurden von Pasteur, Liebig und Büchner geschaffen. Sie analysierten unter Nutzung chemischer Erkenntnisse biologische Prozesse, die durch Mikroorganismen hervorgerufen werden und industriell verwendbar waren. Damit begann die wissenschaftlich begründete Nutzung von Mikroorganismen in der Produktion. Die Aufklärung der Stoff- und Energie- wechselvorgänge in der Zelle und deren industrielle Nutzung ermöglichte in den Folgejah-

- ① *Eineiige Zwillinge stimmen in ihren Merkmalen deutlicher überein als zweieiige Zwillinge. Begründen Sie!*
- ② *Erläutern Sie die Bedeutung der Klonierung embryonaler Zellen für die Tierzucht!*
- ③ *Klonierte Einzeller vollbringen bei gleichen Lebensbedingungen gleiche Leistungen. Begründen Sie!*
- ④ *Der Umgang des Menschen mit Mikroorganismen reicht weit in die menschliche Geschichte hinein. Kennzeichnen Sie einige Verwendungen!*



ren auch das Entstehen neuer Erzeugnisse, die nun biotechnologisch gewonnen wurden: Backhefe (1880), Milchsäure (1881), Industrialkohol (1907), Glycerol, Azeton, Butanol, Eiweiß (1914 bis 1918), Zitronensäure (1923) und andere.

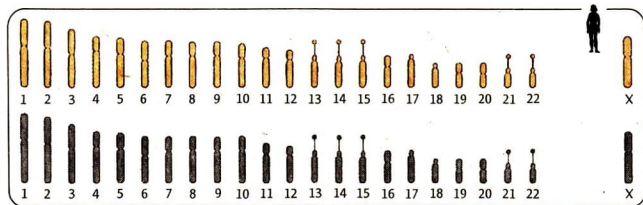
In jüngster Zeit sind zu den biotechnologischen Verfahren zur massenhaften Produktion von Mikroorganismen, die spezielle Stoffwechselprodukte liefern oder bestimmte Leistungen vollbringen, neuartige Verfahren und Anwendungsmöglichkeiten hinzugekommen, die eine außerordentliche volkswirtschaftliche Bedeutung haben. Dadurch können weitere Impfstoffe zur Vorbeugung und Behandlung von Infektionskrankheiten des Menschen und der Tiere entwickelt werden. Aus Rohstoffen (z. B. Erdölresten), die zur Zeit nicht verfütterbar sind, können Futtermittelbestandteile synthetisiert werden. Abprodukte der tierischen Produktion können beseitigt oder als organischer Dünger und Futterstoffe oder zur Biogaserzeugung genutzt werden. Einsatz finden biotechnologische Verfahren auch in der geologischen Industrie und der Metallurgie sowie in der Wasserwirtschaft. ① ②

**Weitergabe der Gene bei geschlechtlicher Fortpflanzung.** Die Chromosomenanzahl aller Individuen einer Art ist gleich und bleibt in der Regel von Generation zu Generation unverändert (→ S. 16). Die Fortpflanzung von Generation zu Generation erfolgt bei den meisten Organismenarten geschlechtlich. Dazu werden Geschlechtszellen, das sind Eizellen und Samenzellen, gebildet (→ S. 29). Je eine Eizelle und eine Samenzelle verschmelzen bei der Befruchtung miteinander. Aus der mit einer Samenzelle befruchteten Eizelle entwickelt sich durch aufeinanderfolgende Teilungen ein neues Individuum (→ S. 21). ③ ④

■ Bei Fremdbefruchtung stammen Eizelle und Samenzelle von verschiedenen Individuen. Bei Selbstbefruchtung verschmelzen eine Eizelle und eine Samenzelle, die beide vom selben Individuum gebildet werden. □

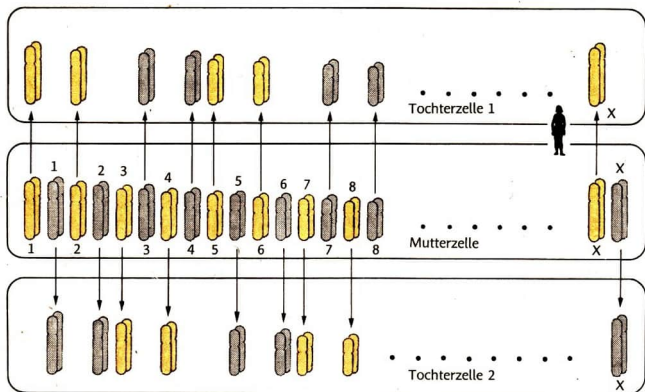
Enthielten die Zellkerne der Eizelle und der Samenzelle die volle Anzahl der elterlichen Chromosomen (z. B. beim Menschen 46), müßten alle Körperzellen des entstehenden Individuums doppelt so viele Chromosomen (z. B. Mensch 92) wie jeder seiner Eltern haben. Nach wenigen Generationen wäre die Chromosomenanzahl ins Unermeßliche gestiegen. Die Chromosomenanzahl bleibt aber konstant! Das heißt, daß der Verschmelzung von Eizelle und Samenzelle eine Verminderung der Chromosomenanzahl-in ihnen um die Hälfte vorausgehen muß.

Die Zellen, aus denen sich Geschlechtszellen bilden können, haben den gleichen zweifachen Chromosomenbestand wie die Körperzellen.



Chromosomenpaare in einer Körperzelle einer Frau (schematisch)

Die Geschlechtszellenbildung beginnt wie die Teilung von Körperzellen mit der Verdoppelung jedes Chromosoms, sie endet wie die Teilung von Körperzellen mit der Trennung der Tochterchromosomen voneinander (→ S. 20). Abweichend von der Teilung in Körperzellen ist aber bei der Bildung der Geschlechtszellen ein weiterer Teilungsschritt eingeschoben. Durch ihn werden zuerst das vormalige väterliche und das vormalige mütterliche Chromosom jedes Chromosomenpaares voneinander getrennt. Dadurch kommt es zur Verminderung der Chromosomenanzahl in beiden Tochterzellen um die Hälfte.



Verdoppelte Chromosomen einer Frau, Verteilung der Chromosomen jedes Chromosomenpaares bei der Eizellenbildung (schematisch)

Bei diesem Teilungsschritt bleibt es dem Zufall überlassen, welches der beiden Chromosomen in die eine Tochterzelle, welches in die andere Tochterzelle gelangt. Dadurch können die beiden Tochterzellen unterschiedliche Kombinationen vormals väterlicher und mütterlicher Chromosomen enthalten. Bei  $n$  Chromosomenpaaren können so durch diese Chromosomenverteilung  $2^n$  verschiedenartige Teilungsprodukte gebildet werden. Da die Chromosomen jedes Chromosomenpaares unterschiedlicher Herkunft und demzufolge in vielen Genpaaren unterschiedlich (mischerbig) sind, sind diese Teilungsprodukte bezüglich der Gene, das heißt genetisch verschiedenartig. <sup>(5)</sup>

■ Beim Menschen, der 23 Chromosomenpaare besitzt, sind  $2^{23} = 8388608$  genetisch unterschiedliche Teilungsprodukte möglich. □

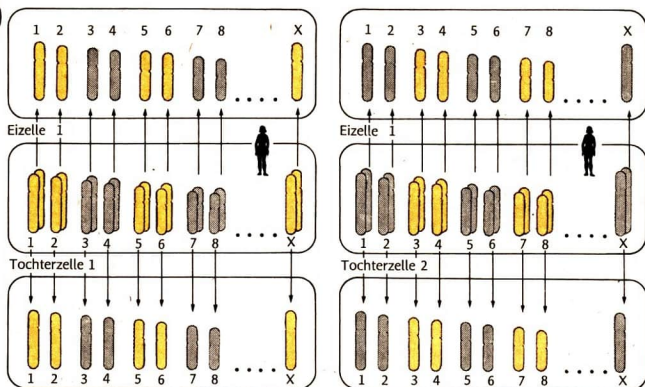
Nach dem zweiten Teilungsschritt (→ Abb. S. 28) sind zweimal zwei Zellen entstanden, nicht nur zwei wie bei der Teilung von Körperzellen. Jede der vier Geschlechtszellen enthält von jedem Chromosomenpaar nur ein Chromosom.

► **Jede Eizelle und jede Samenzelle enthält nur halbsoviele Chromosomen mit Genen wie eine Körperzelle.**

Die Bildung der Eizellen und der Samenzellen erfolgt in besonderen Organen. Bei Wirbeltieren werden Eizellen in den Eierstöcken, Samenzellen in den Hoden gebildet. <sup>(6)</sup>

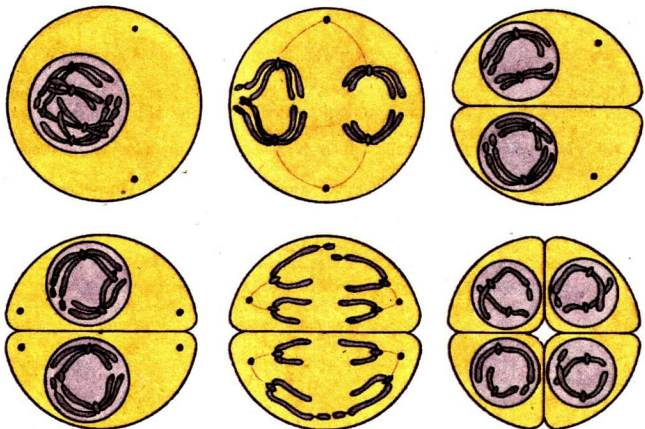
■ Vor der Bildung der Geschlechtszellen verdoppelt sich jedes Chromosom der Mutter-

- ① Warum werden vor allem Mikroorganismen in biotechnologischen Prozessen eingesetzt?
- ② Nennen Sie einige biotechnologisch produzierte Stoffe und deren Verwendung!
- ③ Nennen Sie pflanzliche und tierische Organismen mit geschlechtlicher Fortpflanzung! Welche Arten können sich sowohl geschlechtlich als auch ungeschlechtlich fortpflanzen?
- ④ Erläutern Sie den Unterschied zwischen Selbstbefruchtung und Fremdbefruchtung! Nennen Sie Beispiele!
- ⑤ Weshalb sind die  $2^n$  möglichen Produkte bei der Trennung der Chromosomenpaare genetisch verschieden?
- ⑥ In welchen Organen werden Eizellen bzw. Samenzellen gebildet?



Eizelle 2  
Längsteilung jedes Chromosoms und Verteilung der Tochterchromosomen auf die vier Geschlechtszellen (schematisch)

zelle. Die verdoppelten Chromosomen ordnen sich in einer Ebene in der Zellmitte so an, daß von jedem Chromosomenpaar ein Chromosom oberhalb, das andere unterhalb dieser Ebene zu liegen kommt (→ Abb. S. 28). Im Gegensatz zur Körperzelleilung werden jetzt noch nicht Tochterchromosomen, sondern zunächst die Chromosomen jedes Chromosomenpaares voneinander getrennt. Das heißt, es werden ganze, jeweils aus zwei Tochter-



Kernteilungsverlauf bei der Bildung von Geschlechtszellen

chromosomen bestehende Chromosomen verteilt. Das Ergebnis sind daher zwei Kernteilungsprodukte, deren Chromosomenanzahl auf die Hälfte reduziert ist. Sie sind genetisch verschieden.

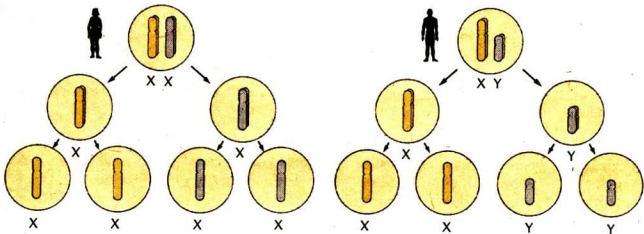
Nach einer Pause, deren Länge bei den Organismenarten verschieden ist, beginnt ein zweiter Teilungsschritt (→ Abb. S. 28). Er gleicht in seinem Ablauf weitgehend der Teilung von Körperzellen. Dabei werden die beiden Tochterchromosomen jedes Chromosoms voneinander getrennt.

Das Ergebnis dieser Zellteilung sind zweimal zwei Zellen mit je einem Kern. In jedem Kern befindet sich ein einfacher Chromosomensatz. □

Wie wir bereits wissen (→ S. 17), enthalten bei vielen Wirbeltieren die Körperzellen männlicher Individuen ein X- und ein Y-Chromosom, die weiblicher Individuen zwei X-Chromosomen. Durch dieses Chromosomenpaar ist das Geschlecht des Individuums festgelegt. Deshalb werden die Chromosomen X und Y als Geschlechtschromosomen bezeichnet.

Bei der Bildung der Geschlechtszellen erhalten alle Eizellen ein X-Chromosom. Bei der Bildung von Samenzellen erhält die Hälfte der Samenzellen ein X-Chromosom, die andere Hälfte ein Y-Chromosom.

① ② ③ ④ ⑤



Verteilung der Geschlechtschromosomen bei der Bildung von Eizellen (schematisch)

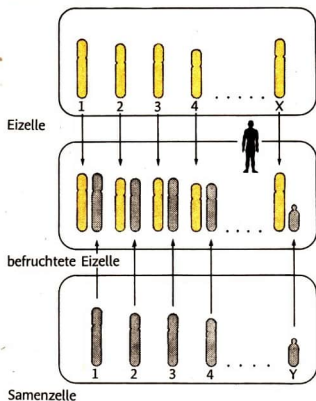
Verteilung der Geschlechtschromosomen bei der Bildung von Samenzellen (schematisch)

► Bei vielen Wirbeltieren einschließlich dem Menschen enthalten alle Eizellen ein X-Chromosom, Samenzellen enthalten entweder ein X-Chromosom oder ein Y-Chromosom.

- ① Erläutern Sie, was unter „Tochterchromosomen“ zu verstehen ist!
- ② Vergleichen Sie die Anzahl der Chromosomen der Mutterzelle mit der der Tochterzellen bei der Bildung der Geschlechtszellen!
- ③ Beschreiben Sie anhand der Schemadarstellung auf der Seite 29 die Weitergabe der Chromosomen bei der Geschlechtszellenbildung!
- ④ Vergleichen Sie die Weitergabe der Chromosomen beim Wachstum von mehrzelligen Organismen mit der bei der ungeschlechtlichen und bei der geschlechtlichen Fortpflanzung!
- ⑤ Eizellen des Menschen weisen immer ein X-Chromosom, die Hälfte der Samenzellen aber ein Y-Chromosom auf! Begründen Sie!

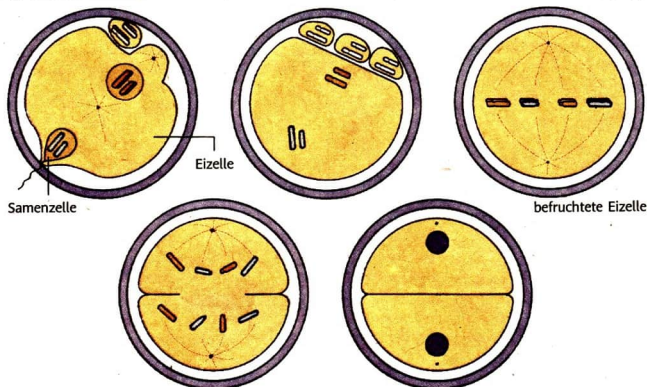


## Kombination der Chromosomen und Gene bei der Befruchtung



Bildung der befruchteten Eizelle beim Menschen (schematisch)

Die geschlechtliche Fortpflanzung beruht auf der Vereinigung einer Eizelle mit einer Samenzelle, die beide nur den halben Chromosomenbestand einer Körperzelle haben (beim Menschen 23 Chromosomen). Bei dieser Vereinigung gelangen die Chromosomen der Eizelle und die Chromosomen der Samenzelle zueinander. Dieser Vorgang wird als Befruchtung bezeichnet. Das aus Eizelle und Samenzelle gebildete Produkt wird befruchtete Eizelle genannt. Durch die Befruchtung ist eine Zelle mit Chromosomenpaaren entstanden (z. B. beim Menschen 23 Paare, d. h. 46 Chromosomen). ① ②



Kombination der Chromosomen bei der Befruchtung und Teilung der befruchteten Eizelle



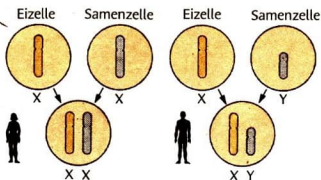


Die befruchtete Eizelle teilt sich (→ Abb. S. 30 unten), die Tochterzellen teilen sich wieder und wieder. Ein neues Individuum entsteht. Es hat in allen seinen Zellen die gleichen Chromosomen und Gene.

**Festlegung des Geschlechts beim Menschen.** Beim Menschen ist ein Teil so neuentstehender Individuen weiblichen, der andere Teil männlichen Geschlechts. Die Festlegung des Geschlechts ist durch die Samenzelle erfolgt.

Alle Eizellen des Menschen enthalten ein X-Chromosom. Beinhaltet auch die Samenzelle ein X-Chromosom, entsteht bei der Befruchtung ein Mädchen. Beinhaltet die Samenzelle ein Y-Chromosom, entwickelt sich ein Junge. Da X- und Y-Samenzellen in gleicher Häufigkeit gebildet werden, ist die Wahrscheinlichkeit des Entstehens von Mädchen ebenso groß wie die des Entstehens von Jungen.

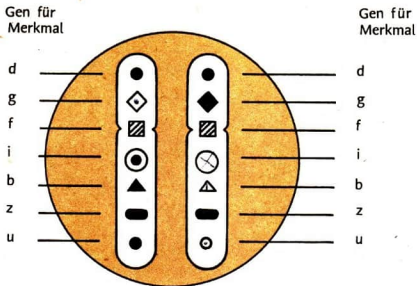
③ ④



Festlegung des Geschlechts beim Menschen (schematisch)

► Das Geschlecht des sich entwickelnden Individuums wird bei vielen Wirbeltieren einschließlich dem Menschen bei der Befruchtung durch das in der Samenzelle enthaltene Geschlechtschromosom festgelegt.

**Entstehen von Reinerbigkeit und Mischerbigkeit.** Alle Körperzellen, die aus einer befruchteten Eizelle durch aufeinanderfolgende Teilungen hervorgegangen sind, enthalten



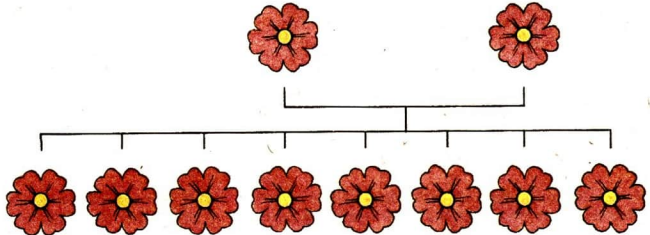
Gleiche Anordnung der Gene in den Chromosomen eines Chromosomenpaares (schematisch)

- ① Beschreiben Sie die geschlechtliche Fortpflanzung bei Samenpflanzen an einem Beispiel!
- ② Nennen Sie Unterschiede zwischen Bestäubung, Begattung, Besamung und Befruchtung!
- ③ Weshalb kommen in großen Populationen etwa gleichviel männliche und weibliche Nachkommen vor?
- ④ Stellen Sie die bei der Befruchtung möglichen Kombinationen von Geschlechtschromosomen des Menschen in einem Schema dar! Berücksichtigen Sie dabei die Abbildungen auf den Seiten 30 u. 31!

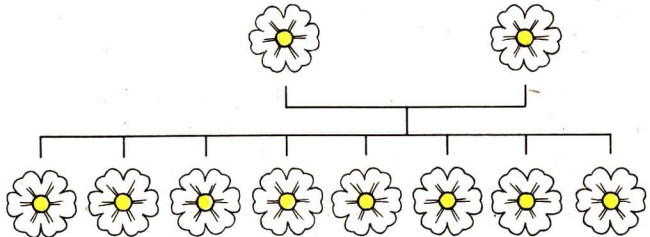


zwei einander entsprechende Chromosomengruppen. Die eine Gruppe von Chromosomen stammt von der Eizelle, die andere Gruppe von der Samenzelle. Wie Mendel bereits vermutet hatte, sind damit zur Ausbildung jedes Merkmals zwei Gene zusammengesommen ( $\rightarrow$  S. 13). Diese beiden Gene befinden sich in den Chromosomen eines Chromosomenpaares an gleicher Stelle. Sie können gleich oder verschieden sein.

Diese Kenntnisse über die Kombination der Chromosomen und Gene bei der Befruchtung erlauben es, die schon verwendeten Begriffe „reinerbig“ und „mischerbig“ zu präzisieren. Als reinerbig waren gleichaussehende Organismen bezeichnet worden, die bei Kreuzung miteinander immer wieder nur Nachkommen mit gleicher Merkmalsausbildung wie bei den Eltern lieferten. Das traf beispielsweise auf Saaterbsenpflanzen mit grünen Samen und auf einige Saaterbsenpflanzen mit gelben Samen zu ( $\rightarrow$  S. 35). Gleiche Beobachtungen lassen sich an anderen Pflanzen (z. B. der japanischen Wunderblume) vornehmen. Die aus



Kreuzung japanischer Wunderblumen mit roter Blütenfarbe (schematisch)



Kreuzung japanischer Wunderblumen mit weißer Blütenfarbe (schematisch)

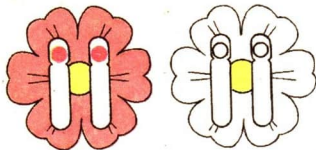
Kreuzungen rotblühender Wunderblumen immer wieder entstehenden rotblühenden Nachkommen sind wie die Eltern reinerbig. Die aus Kreuzungen weißblühender Eltern entstehenden weißblühenden Nachkommen sind ebenfalls reinerbig.

Unter Einbeziehen des Wissens über Chromosomen und Gene kann präzisiert werden:

► Sind die in einem Chromosomenpaar befindlichen zwei Gene für die Ausbildung eines Merkmals gleich, ist das Individuum in dieser Anlage reinerbig.

Das Gen für die Blütenfarbe bei der japanischen Wunderblume kann als Gen  $P^R$  (rotes Pigment bildend) oder als Gen  $P^W$  (kein Pigment bildend) auftreten. Bei Reinerbigkeit  $P^R P^R$  ist die Blütenfarbe rot, bei Reinerbigkeit  $P^W P^W$  ist die Blütenfarbe weiß.

Die Merkmalsausbildung wird bei Reinerbigkeit von beiden Genen in gleicher Weise beeinflusst. Reinerbige Individuen bilden bezüglich dieses Gens jeweils nur eine Sorte von Ei- oder von Samenzellen.



$p^R$  ●  $p^W$  ○

Chromosomen und Gene bei rotblühenden und weißblühenden japanischen Wunderblumen (schematisch)

Als mischerbig waren gleichaussehende Organismen bezeichnet worden, die bei Kreuzung miteinander überraschenderweise auch Nachkommen mit anderer Merkmalsausbildung als bei den Eltern hatten. Mendel hatte dies beispielsweise bei Erbsenpflanzen beobachtet, die aus der Kreuzung reinerbiger Pflanzen mit gelben Samen und reinerbiger Pflanzen mit grünen Samen hervorgegangen waren (→ S. 11. u. 12). Entsprechende Beobachtungen könnten an der japanischen Wunderblume angestellt werden: Nach Kreuzung reinerbiger Pflanzen mit



Japanische Wunderblume (von links: rot, weiß, rosa)

roter Blüte und reinerbiger Pflanzen mit weißer Blüte entstehen nach dem 1. Mendelschen Gesetz (→ S. 10) Pflanzen mit untereinander gleicher Blütenfarbe, in diesem Fall rosa. Sie sind uniform.

Bei der Befruchtung sind zwei unterschiedliche Gene für die Blütenfarbe kombiniert worden. Die entstandenen Pflanzen mit rosafarbenen Blüten sind mischerbig.

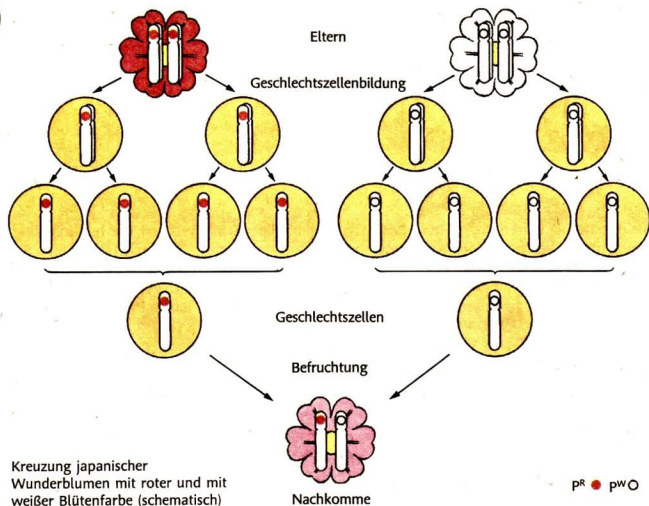
► Sind die in einem Chromosomenpaar befindlichen zwei Gene für die Ausbildung eines Merkmals unterschiedlich, ist das Individuum in dieser Anlage mischerbig.

Mischerbige Individuen bilden bezüglich dieses Gens zwei Sorten von Ei- oder von Samenzellen. Bei Kreuzung rosablühender Wunderblumen miteinander sind daher in der Nachkommenschaft neben rosablühenden Pflanzen auch Pflanzen mit roten und solche mit weißen Blüten zu finden.

Die Merkmalsausbildung wird bei Mischerbigkeit von beiden Genen in unterschiedlicher Weise beeinflusst. <sup>①</sup>

Einige Merkmale können bei Mischerbigkeit eine Mittelform zwischen den beiden reinerbigen Formen darstellen. So ist eine mischerbige Wunderblume weder rot wie der eine reinerbige Elter noch weiß wie der andere reinerbige Elter; sie ist rosa.

① Präzisieren Sie die von Mendel verwendeten Begriffe „reinerbig“ und „mischerbig“ unter Anwendung Ihrer Kenntnisse über die Kombination der Chromosomen und Gene bei der Befruchtung!



Kreuzung japanischer Wunderblumen mit roter und mit weißer Blütenfarbe (schematisch)

p<sup>R</sup> ● p<sup>W</sup> ○

■ Bei anderen Merkmalen können beide Gene auch so an der Merkmalsausbildung mitwirken, daß beide Genwirkungen nebeneinander erkennbar sind. Beispielsweise werden bei Personen, die ein Blutgruppen A und ein Blutgruppen B besitzen, also mischerbig sind, zwei Blutgruppensubstanzen nebeneinander gebildet. Die Personen haben das Blutgruppenmerkmal AB. □

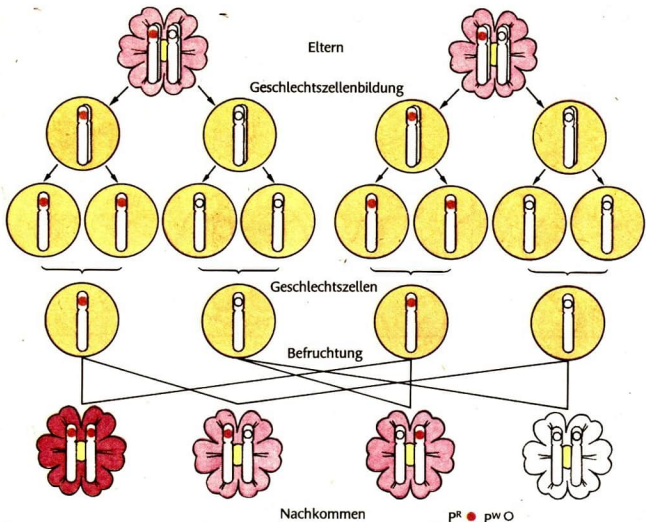
Bei vielen Merkmalen hat bei mischerbigen Individuen eines der beiden Gene keine Auswirkung auf das Merkmal. Die Merkmalsausprägung bei mischerbigen Individuen erfolgt dann in der Regel wie bei Individuen, die für das andere Gen reinerbig sind.

■ Personen mit der Blutgruppe A können zwei Blutgruppene A besitzen (reinerbig AA) oder nur ein Blutgruppen A und dazu ein Blutgruppen 0 aufweisen (mischerbig A0). Die unterschiedlichen Genkombinationen AA und A0 sind im Blut nicht zu erkennen, da die bei dem mischerbigen Individuum durch das eine Gen A bedingte Blutgruppensubstanz zur gleichen Merkmalsausbildung führt wie bei Reinerbigkeit AA. Entsprechendes gilt bei Blutgruppe B (→ Abb. S. 36). □

Bei einer solchen Mischerbigkeit wird das Gen, das allein die Merkmalsausprägung bestimmt, als dominant (vorherrschend) bezeichnet. Das Gen dagegen, das bei der Merkmalsausbildung nicht in Erscheinung tritt, ist rezessiv (zurückweichend); seine Auswirkungen können nur dann erkannt werden, wenn es auf beiden Chromosomen eines Chromosomenpaares vorhanden ist. Ein Individuum mit diesem Chromosomenpaar ist für das rezessive Gen also reinerbig.

■ Personen, die reinerbig für das Blutgruppen 0 sind und damit die Blutgruppe 0 tragen, bilden keine Blutgruppensubstanz. Sie sind als Blutspender gut geeignet, da ihre roten Blutkörperchen nicht durch die im Empfängerorganismus (bei Personen mit Blutgruppe A, B oder 0) vorhandenen Antistoffe zusammengeballt und damit unwirksam gemacht werden können. □

Merkmalbildungen, die durch unterschiedliche Gene bedingt sein können, welche zu



Kreuzung japanischer Wunderblumen mit rosafarbenen Blüten (schematisch)


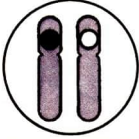
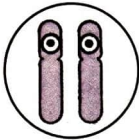
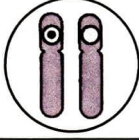
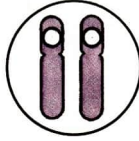
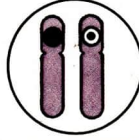
einander dominant beziehungsweise rezessiv sind, sind dominant-rezessive Merkmalsausbildungen. Die dominanten Gene werden in der Regel mit Großbuchstaben (z. B. A), die rezessiven Gene mit zugehörigen Kleinbuchstaben (z. B. a) bezeichnet. Diese Schreibweise wurde bereits von Mendel für die von ihm vermuteten Anlagen eingeführt. Auch die Bezeichnung dieser Anlagen als „dominierend“ und „rezessiv“ geht auf Mendel zurück. Ausgenommen davon sind die Bezeichnungen der Blutgruppengene mit A, B und 0. ② ③

Auch die Samenfarbe von Saaterbsensorten, die von Mendel für Kreuzungsversuche verwendet wurden (→ S. 10), wird durch ein Genpaar bestimmt, von dem ein Gen dominant (A), das andere rezessiv (a) ist. Das dominante Gen bedingt die Farbe Gelb, das rezessive Gen die Farbe Grün. Selbstbestäubende Pflanzen, die reinerbig für das dominierende Gen sind (AA), bilden nur gelbe Erbsen aus. Pflanzen, die reinerbig für das rezessive Gen sind (aa), bilden bei Selbstbestäubung nur grüne Erbsen.

Bei Kreuzung der beiden unterschiedlich reinerbigen Pflanzen miteinander erhalten alle Erbsensamen ein Chromosomenpaar mit zwei verschiedenen Genen für die Samenfarbe, sie sind mischerbig (Aa). Da das dominierende Gen die Wirkung des rezessiven Gens über-

- ① Ein Vater hat die Blutgruppe A, eine Mutter hat die Blutgruppe B. Welche Blutgruppen können die Kinder haben?  
Verwenden Sie dabei die für die schematische Darstellung der Geschlechtszellenbildung und Befruchtung benutzten Chromosomen- und Gensymbole!
- ② Erläutern Sie die dominant-rezessive Merkmalsausbildung an einem Beispiel!
- ③ Nennen Sie mögliche reinerbige und mischerbige Kombinationen der Gene B und b!



<b>Blutgruppe A:</b>	<p>Blutgruppengen A  Blutgruppengen A</p> <p>Blutgruppengen A  Blutgruppengen 0</p>
<b>Blutgruppe B:</b>	<p>Blutgruppengen B  Blutgruppengen B</p> <p>Blutgruppengen B  Blutgruppengen 0</p>
<b>Blutgruppe 0:</b>	<p>Blutgruppengen 0  Blutgruppengen 0</p>
<b>Blutgruppe AB:</b>	<p>Blutgruppengen A  Blutgruppengen B</p>

Rein- und Mischerbigkeit bei den ABO-Blutgruppen des Menschen (schematisch)



● A ● a

Chromosomen und Gene bei Rein- und Mischerbigkeit der Samenfarbe von Erbsenpflanzen (von links: reinerbig gelb, mischerbig gelb, reinerbig grün)

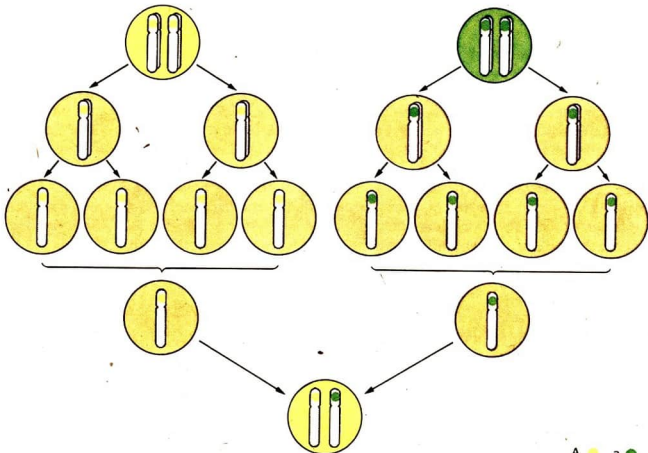
deckt, sind sie gelb. Im Gegensatz zur Farbausprägung bei mischerbigen Wunderblumen (→ S. 33) gleicht also die Farbausprägung bei mischerbigen Erbsensamen der einer reinerbigen Sorte mit zwei dominanten Genen (→ Abb. unten).

■ Die Ausbildung der gelben Farbe bei mischerbigen Erbsensamen ist unabhängig davon, ob Pollen der Erbsensorte mit grünen Erbsen auf die Narbe eigentlich gelberbiger Pflanzen übertragen wurde oder ob die Pollenübertragung in umgekehrter Richtung erfolgte. □

Bei der Kreuzung mischerbiger Erbsenpflanzen miteinander (oder bei Selbstbestäubung) kommt es wie bei der Wunderblume (→ S. 35) zu drei unterschiedlichen Genkombinationen bei den Nachkommen, den Erbsensamen. Im Gegensatz zur Wunderblume sind aber bei ihnen nur zwei Farbausprägungen zu beobachten. Manche Hülsen enthalten nur gelbe, andere nur grüne Erbsensamen, in einigen Hülsen sind sowohl gelbe als auch grüne Samen. Das Verhältnis der drei Genkombinationen AA, Aa und aa zueinander ist 1:2:1, das Verhältnis von gelben und von grünen Erbsensamen zueinander aber 3:1.

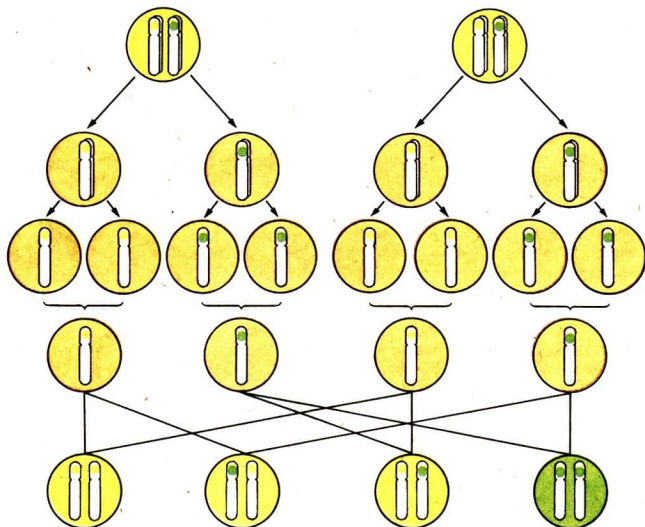
Die Aufspaltung nach dem 2. Mendelschen Gesetz (→ S. 11) ist abhängig davon, ob die zwei Gene bei mischerbigen Individuen gleichrangig oder dominant-rezessiv zueinander sind.

Bei Gleichrangigkeit (wie bei der japanischen Wunderblume) ist das Verhältnis der Genkombinationen und auch das Verhältnis der unterschiedlichen Merkmalsausprägungen zueinander 1:2:1. Bei dominant-rezessiver Merkmalsausprägung (wie bei den Erbsen) ist das



A ● a ●

Kreuzung einer für gelb reinerbigen und einer für grün reinerbigen Erbsenpflanze



Kreuzung von Erbsenpflanzen, die mischerbig für gelbe Samen sind

A ● a ●

Verhältnis der Genkombinationen ebenfalls 1:2:1, das Verhältnis der unterschiedlichen Merkmalsausprägungen zueinander aber 3:1. ①

Das Uniformitätsgesetz und das Spaltungsgesetz gelten bei der geschlechtlichen Fortpflanzung für alle Gene, von denen mindestens zwei unterschiedliche Sorten bekannt sind (z. B. zwei unterschiedliche Gene für die Samenfarbe bei Erbsen, drei unterschiedliche Gene für die Blutgruppe des Menschen). Ist der eine Elter für das eine Gen, der zweite Elter für das andere Gen (oder eines der anderen Gene) reinerbig, dann werden bei der Befruchtung jeweils zwei unterschiedliche Gene kombiniert. Es entstehen mischerbige uniforme Nachkommen. Werden diese miteinander gekreuzt, dann kann die nächste Generation nach drei unterschiedlichen Genkombinationen gespalten werden: für das eine Gen reinerbige Formen, mischerbige Formen und für das andere Gen reinerbige Formen im Verhältnis 1:2:1. Die reinerbigen Formen gleichen den Großeltern, die mischerbigen Formen den Eltern. ②

## Bedeutung der Neukombination von Genen bei der Befruchtung für die Population

Bei geschlechtlich sich fortpflanzenden Organismen entstehen durch die Geschlechtszellenbildung (→ S. 26) und die Befruchtung (→ S. 30) immer wieder neue Chromosomenkombinationen und damit neue Genkombinationen in unüberschaubarer Vielzahl.

Bei der Geschlechtszellenbildung gibt es viele verschiedene Möglichkeiten der zufälligen



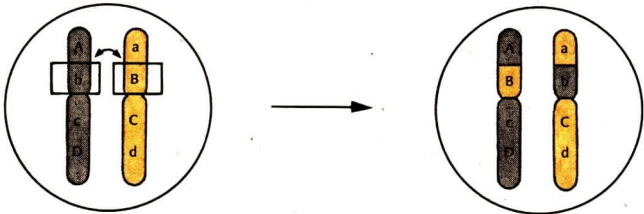


Verteilung der ehemals väterlichen und mütterlichen Chromosomen ( $\rightarrow$  S. 27). Dadurch entstehen genetisch unterschiedliche Eizellen und genetisch unterschiedliche Samenzellen. Bei der Befruchtung kann dadurch jede der Eizellen mit genetisch unterschiedlichen Samenzellen kombiniert werden. <sup>③</sup>

Das durch die Befruchtung entstehende Individuum weist dann gegenüber beiden Eltern Neukombinationen von Genen und dadurch veränderte Merkmale auf. Es ist auch von seinen Geschwistern, seinen sonstigen Verwandten und von allen anderen Individuen in der Population genetisch verschieden.

■ Bei der Eizellenbildung einer Frau können theoretisch aus einer Zelle mit zweifachem Chromosomensatz  $2^{23}$  genetisch unterschiedliche Teilungsprodukte, d. h. Eizellen mit einfachem Chromosomensatz gebildet werden. Auch beim Mann, dessen Chromosomen aufgrund anderer familiärer Abstammung als seine Frau für viele Merkmale andere Gene als die seiner Frau tragen, können  $2^{23}$  genetisch unterschiedliche Teilungsprodukte und damit Samenzellen gebildet werden. Jedes Kind eines Elternpaares stellt demzufolge eines von  $2^{23} \cdot 2^{23}$  möglichen, genetisch unterschiedlichen Kombinationsprodukten aus einer Ei- und einer Samenzelle dar. Eine von mehr als 70 Billionen Möglichkeiten! Da wird verständlich, daß es einem Elternpaar so gut wie unmöglich ist, zwei genetisch identische Kinder zu bekommen (Ausnahme sind eineiige Zwillinge  $\rightarrow$  S. 23). Verständlich ist so auch, daß die Wahrscheinlichkeit, unter den „nur“ 5 Milliarden Menschen unserer Erde zwei genetisch identische Personen zu finden, sehr gering ist (Ausnahme wiederum sind eineiige Zwillinge).

Ein weiterer Vorgang, durch den die genetische Unterschiedlichkeit der Geschlechtszellen noch vergrößert wird: Während jeder Geschlechtszellenbildung finden Austausche von Chromosomenstücken zwischen den beiden Chromosomen jedes Chromosomenpaares



Chromosomenstückeaustausch zwischen Chromosomen eines Chromosomenpaares (schematisch)

statt. Dadurch wird der Gengehalt der Chromosomen verändert. Durch diesen Chromosomenstückeaustausch stimmt kein einziges Chromosom der Geschlechtszellen mehr mit seinem Ausgangszustand vor der Teilung überein. Das heißt auch, die Chromosomen der Geschlechtszellen sind von den entsprechenden Chromosomen der Körperzellen verschieden. Kein Chromosom wird unverändert an die Nachkommen weitergegeben. Anzahl, Ort und Umfang der Chromosomenstückeaustausche sind zufällig. □

Nicht ein Individuum einer Population gleicht somit einem anderen in allen Merkmalen.

- ① Begründen Sie die unterschiedlichen Spaltungsziffern nach der Kreuzung mischerbiger japanischer Wunderblumen und nach der Kreuzung mischerbiger Erbsenpflanzen!
- ② Erklären Sie das 1. und das 2. Mendelsche Gesetz unter Anwendung Ihrer Kenntnisse über die Weitergabe von Chromosomen und Genen!
- ③ Warum sind Geschlechtszellen eines Menschen, die doch alle einen kompletten Chromosomensatz von 23 Chromosomen enthalten, genetisch verschieden?



Diese große Variabilität ist ein Kennzeichen der Organismengruppen, die sich geschlechtlich fortpflanzen. Oder anders formuliert: Geschlechtliche Fortpflanzung führt in jeder Generation zu neuer genetischer Vielfalt und damit zu immer wieder großer Merkmalsvariabilität.

Die zufällige Verteilung der vormaligen väterlichen und mütterlichen Chromosomen während der Geschlechtszellenbildung und die freie Kombinierbarkeit der genetisch unterschiedlichen Ei- und Samenzellen bei der Befruchtung sind also Vorgänge, die Merkmalsvariabilität in der Population verursachen (→ S. 7). ① ②

■ Bei Organismenarten, die sich nur ungeschlechtlich fortpflanzen, finden solche Vorgänge nicht statt. Ihre Variabilität ist daher meist geringer. Sie kann nur durch Veränderung der Chromosomen und Gene (→ S. 44) vergrößert werden. □

► **Geschlechtliche Fortpflanzung führt in jeder Generation zu neuen Chromosomen- und Genkombinationen und damit zu großer Merkmalsvariabilität in der Population.**

Eine große Merkmalsvariabilität in der Population ist wesentliche Voraussetzung für ihren Fortbestand (→ S. 84): Unter bestimmten Umwelteinflüssen wird sich nur ein Teil der Individuen einer Population besonders gut entwickeln. Bei Änderung der Umweltbedingungen werden andere Individuen Vorteile haben, sich verstärkt fortpflanzen und damit das Überleben der Population sichern. Wären alle Individuen einer Population in ihren Genen und ihren Merkmalsausprägungen gleich, könnte bei Änderungen der Umweltbedingungen die Population aussterben.

► **Eine große Merkmalsvariabilität in der Population ist eine wesentliche Grundlage für den Fortbestand der Population bei sich verändernden Umweltbedingungen.**

Durch das Wirken bestimmter äußerer Einflüsse (→ S. 84) kann es geschehen, daß Individuengruppen einer Art, die zufällig bestimmte Gene beziehungsweise Merkmale häufiger als im Artdurchschnitt aufweisen, isoliert werden. Bleiben sie über lange Zeiträume hinweg ohne geschlechtliche Beziehungen zu den restlichen Individuen der Art, kann ihre Entwicklung eine andere Richtung als in der übrigen Art nehmen und schließlich zur Bildung neuer Arten führen. ③

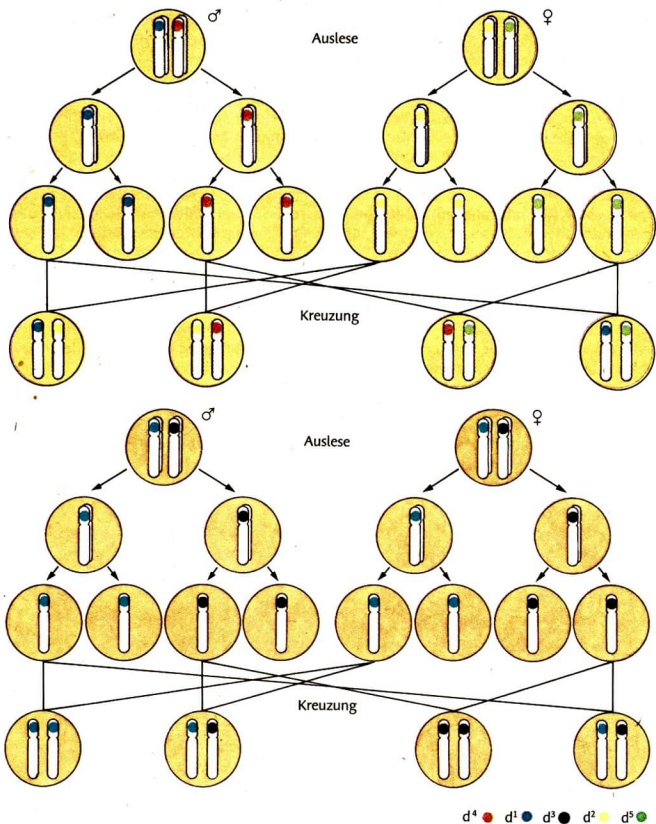
► **Die Neukombination der Gene bei der geschlechtlichen Fortpflanzung ist eine Ursache für die Variabilität in der Population und eine wesentliche Voraussetzung für die Entstehung neuer Sorten oder Rassen und auch neuer Arten.**

## Bedeutung der Neukombination von Genen bei der Züchtung

Die Kenntnis über die Weitergabe der Chromosomen mit den Genen bei der ungeschlechtlichen und bei der geschlechtlichen Fortpflanzung nutzt der Mensch in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Gartenbau zur Züchtung.

Züchtung ist die bewußte Veränderung von Pflanzen- und Tiermerkmalen durch den Menschen entsprechend den gesellschaftlichen Bedürfnissen beziehungsweise den individuellen Wünschen. Dabei ist besonderes Augenmerk auf die ausreichende und bedarfsgerechte Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln und Konsumgütern zu richten, die aus Kulturpflanzen und Nutztieren gewonnen werden können.

Die von Jahr zu Jahr schnell anwachsenden Bevölkerungszahlen unserer Erde und die wachsenden Bedürfnisse der Menschen erfordern eine rasche Steigerung der tierischen und pflanzlichen Produktion. Bis zu einem bestimmten Ausmaß kann eine Steigerung durch Gestaltung der Umweltfaktoren im Pflanzenbau und in der Tierhaltung erreicht werden. Zu solchen Umweltfaktoren gehören in der Pflanzenproduktion ackerbauliche Maßnahmen, beispielsweise Saatbettbereitung, Einhalten optimaler Aussaattermine, Düngung und Pflanzenschutz. In der Tierhaltung ist auf Futtermittelsversorgung, hygienische Bedingungen, Krankheitsverhütung und anderes zu achten. Das Leistungsvermögen der Pflanzen und



Kreuzung von Individuen mit unterschiedlichen Genkombinationen eines Merkmals (schematisch):

- ① Weshalb findet kein Mensch auf Erden einen ihm in allen Merkmalen und Genen gleichen Menschen?
- ② Auf welche Weise bleibt die genetische Vielfalt einer Population erhalten?
- ③ Begründen Sie, warum die Neukombination der Gene bei der geschlechtlichen Fortpflanzung eine wesentliche Grundlage für den Fortbestand der Population und für die Entstehung neuer Arten ist!

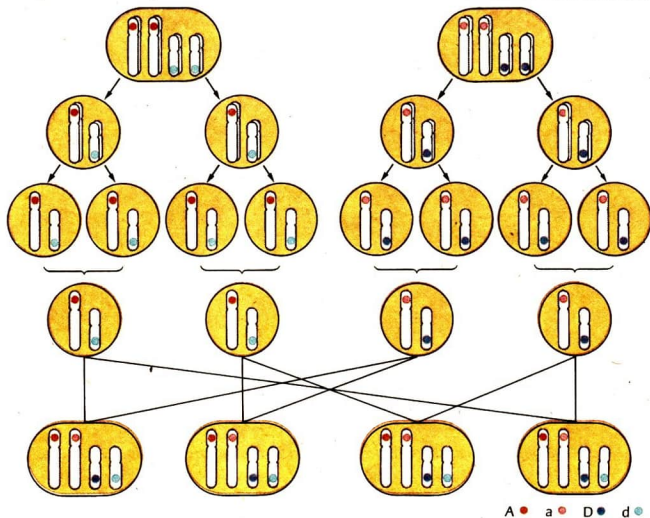


Tiere ist jedoch genetisch begrenzt. Sind optimale Umweltbedingungen erreicht, kann eine weitere Steigerung der Erträge und Leistungen durch Veränderung der Chromosomen- und Genkombinationen der Pflanzen und Tiere versucht werden.

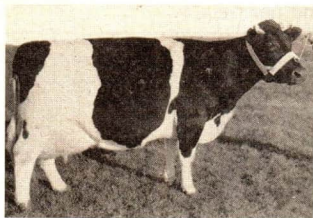
Bei diesen Arbeiten greift der Züchter auf Methoden zurück, die bereits Mendel bei seinen Experimenten anwandte: Auslese von Organismen mit bestimmten erwünschten Eigenschaften, bei manchen Pflanzen Verhinderung der Selbstbefruchtung oder Fremdbefruchtung, gezielte Kreuzung miteinander oder mit bestimmten anderen Organismen, Erfassen von möglichst großen Individuenzahlen über viele Generationen, statistische Auswertung. Auf diese mühevoll und langwierige Weise, die viel Wissen, Fleiß, Geduld und Geld erfordert, können neue Chromosomen- oder Genkombinationen gefunden werden. Organismen mit diesen Neukombinationen können beispielsweise für bisher übliche Umweltbedingungen und Standorte besser geeignet sein, höhere Erträge und Leistungen erbringen, Widerstandsfähigkeit gegenüber bestimmten Erkrankungen, Qualitätsverbesserung und Ertragsicherheit aufweisen oder sogar die Ausnutzung bisher nicht zu nutzender Lebensräume erlauben. Ein weiteres Zuchtziel bei vielen Organismen ist die Eignung für maschinelle Bearbeitung beziehungsweise industriemäßige Produktion.

Über Auslese und Kreuzung (Kreuzungszüchtung) können in einem Genpaar die unterschiedlichsten vorhandenen Gene kombiniert und die Ausprägung des betreffenden Merkmals in Abhängigkeit von diesen Genkombinationen untersucht werden (→ Abb. S. 41).

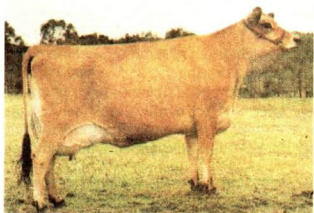
■ Bei vielen Merkmalen kann das zugrundeliegende Gen nicht nur in zwei Formen (z. B. A und a), sondern in mehreren Formen in der Population vorhanden sein (z. B. A, B und 0 bei der Blutgruppe). Unterscheiden sich solche Gene in ihrer Wirkungsweise bei der Ausbildung des Merkmals, können sich die Individuen mit unterschiedlichen Genkombinationen



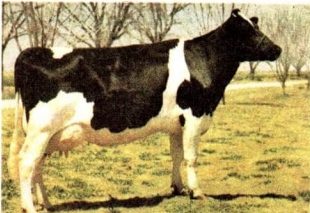
Kreuzung von Individuen, von denen jedes nur eine wünschenswerte Eigenschaft aufweist (schematisch) Gen A: niedriger Wuchs, Gen a: Hochwuchs, Gen D: hoher Ertrag, Gen d: geringer Ertrag, Zuchtziel: hoher Ertrag und niedriger Wuchs



Schwarzbunte Rinder



Dänisches Jersey-Rind



Holstein-Friesian Rind

in ihrem Erscheinungsbild oder ihrer Leistung unterscheiden. □

Es können aber auch über die Kombination von Genpaaren mehrerer Merkmale bestimmte wertvolle Merkmale in einem Organismus vereinigt werden, die vorher nur getrennt bei unterschiedlichen Organismen dieser Art vorhanden waren (↗ Abb. S. 42).

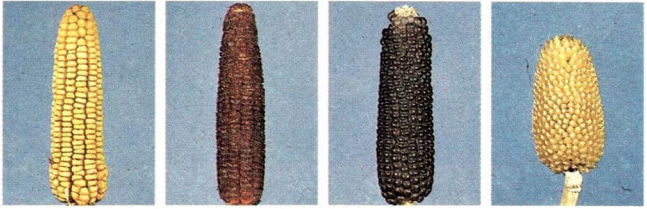
So ist es in der DDR vor wenigen Jahren durch Kreuzungszüchtung gelungen, eine neue leistungsfähige Rinderrasse zu züchten, das Schwarzbunte Milchrind. In ihm sind bestimmte Gene von drei Rinderrassen vereinigt: Gene für die hohe Milchmengenleistung des Holstein-Friesian-Rindes, Gene für den hohen Milchfettgehalt und für die gute Melkbarkeit des Dänischen Jersey-Rindes, Gene für das gute Fleischbildungsvermögen des Schwarzbunten Rindes.

Kreuzungszüchtungen erfordern oft viel Zeit. Die Kreuzungszüchtung einer neuen Getreideart beispielsweise dauert etwa fünf bis zehn Jahre. Um schneller zu gleichen Ergebnissen zu kommen, wird deshalb seit einiger Zeit versucht, nicht nur bereits vorhandene Gene neu zu kombinieren, sondern eine Veränderung bestimmter Gene vorzunehmen (↗ S. 44). ③

- ① Erläutern Sie, wie durch Auslese und Kreuzung leistungsstarke Kulturpflanzen und Nutztiere gezüchtet werden können! Benutzen Sie dazu auch Biologie in Übersichten, Seite 251 ff.! Auf welche Weise führen Kreuzungen zu Neukombinationen von Genen?
- ② Worin liegt die Bedeutung der Neukombination von Genen in der Tierzüchtung?
- ③ Informieren Sie sich über die Leistungssteigerung in der Pflanzenproduktion und werten Sie diese Ergebnisse!



## Veränderung der Chromosomen und der Gene



Durch Mutation entstandene unterschiedliche Maissorten

Pflanzliche Arten sowie tierische Arten unterscheiden sich durch bestimmte Merkmale, die durch ihre Chromosomen und ihre Gene bedingt sind. Die Angehörigen einer Art wiederum stimmen nur in den artspezifischen Merkmalen weitgehend überein, in vielen anderen Merkmalen unterscheiden auch sie sich mehr oder weniger deutlich voneinander. So gleicht keine Weizenpflanze völlig der anderen Weizenpflanze, Hunde sind im Aussehen verschieden, kein Mensch hat einen ihm in allen Merkmalen gleichenden Doppelgänger (→ S. 39).



Durch Mutation entstandene Hühnerrassen

Neben diesen in einer Art oder in einer Population zu beobachtenden Varianten entstehen aber auch manchmal Individuen, die Merkmale zeigen, welche noch nie vorher aufgetreten sind.

Solche Merkmale können oft auf eine neue Kombination bisher schon vorhandener Gene zurückgeführt werden.

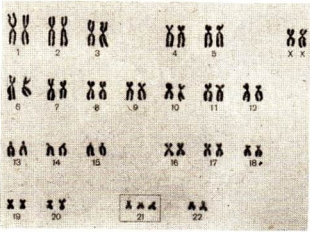
Sie können aber gelegentlich auch durch Veränderungen von Chromosomen und Genen hervorgerufen sein. Der Veränderungsprozeß wird als Mutation bezeichnet.

Mutationen können zu Veränderungen der Anzahl der Chromosomen führen (z. B. Erhöhung oder Verminderung der artspezifischen Chromosomenanzahl um ein oder wenige Chromosomen oder sogar um einen oder mehrere Chromosomensätze).

Mutationen können zu Veränderungen der Struktur einzelner Chromosomen führen (z. B. Verluste, Verdopplungen, Verlagerungen von Chromosomenstücken). ①

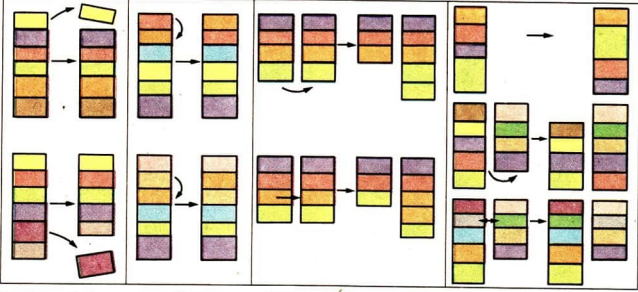
Bei Veränderung der Anzahl oder der Struktur der Chromosomen wird der Genbestand um viele Gene verändert. Mutationen können aber auch zu Veränderungen einzelner Gene führen (→ S. 66).

Mutationen werden durch das nachweisliche Einwirken bestimmter Faktoren ausgelöst oder können durch den Menschen bewußt hervorgerufen werden. Mutationen können



Dreifaches Vorhandensein des Chromosoms 21 beim Menschen (Trisomie 21)

Trisomie 21 bei eineiigen Zwillingen



Strukturveränderungen an Chromosomen (schematisch)

aber auch ohne bisher bekannte Ursache erfolgen. Mutationsauslösende Faktoren können aus der Umwelt, von außen auf den Organismus einwirken. Mutationen können aber auch ohne das Einwirken von außen ablaufen. Mutationen verursachende Faktoren werden als Mutagene bezeichnet. Das dadurch in seinen Chromosomen oder Genen veränderte Individuum ist eine Mutante.

Mutagene sind chemische Stoffe und physikalische Einflüsse (z. B. radioaktive Strahlung, UV-Strahlung, bestimmte Chemikalien). In einigen Fällen konnten bereits Teileinblicke in die Wirkungsmechanismen von Mutagenen gewonnen werden. Mutagene wirken indirekt (über bestimmte chemische Reaktionen im Organismus) oder direkt auf die Chromosomenverteilung bei Zellteilungen, auf den Bau der Chromosomen oder auf den Feinbau einzelner Gene.

► Mutationen sind Veränderungen der Chromosomen beziehungsweise der Gene. Sie können ohne erkennbare Ursache erfolgen oder durch bestimmte Faktoren hervorgerufen werden.

Mutationen können sowohl in Körperzellen als auch in Geschlechtszellen auftreten. Bei Mutationen in Körperzellen können die Mutanten selbst Veränderungen von Merkmalen

- ① Was sind Mutationen? Zu welchen unterscheidbaren Veränderungen können Mutationen führen?
- ② Welche Faktoren können Mutationen auslösen?



Normalform der Tomate (links) und Mutante mit ganzrandigen Blättern (rechts)



Normalform des Wirsingkohls (links) und Mutante (rechts)

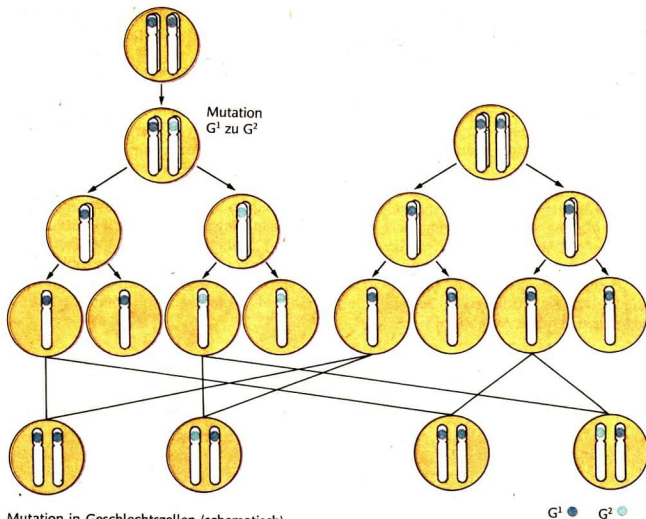
aufweisen. Unter ihren durch geschlechtliche Fortpflanzung entstehenden Nachkommen finden sich diese Merkmalsveränderungen aber nicht. Nur bei ungeschlechtlicher Vermehrung aus den Zellen, in denen diese Mutationen auftreten, können die Nachkommen die entsprechenden Merkmalsveränderungen wieder aufweisen.

Treten Mutationen nur in Geschlechtszellen ein, dann können Merkmalsveränderungen erst in Folgegenerationen erkennbar werden, oft erst nach vielen Generationen (↗ S. 47).

Auch die Unterschiede in der artspezifischen Anzahl der Chromosomen (↗ S. 16), die artspezifische Größe und Form der Chromosomen (↗ S. 16), die Genunterschiede (↗ S. 44) zwischen den Arten, aber auch zwischen Rassen, Sorten oder Individuen einer Art sind auf Mutationen zurückzuführen. Einige dieser Mutationen sind schon vor Jahrmillionen, andere erst in den letzten Jahren abgelaufen.

- ① *Vergleichen Sie Mutationen in Körperzellen und in Geschlechtszellen miteinander! Berücksichtigen Sie dabei für beide Erscheinungen die Ursachen und die Folgen für die Nachkommen!*
- ② *Können Mutationen in Körperzellen Ursache für das Entstehen neuer Arten sein? Begründen Sie Ihre Meinung!*





Mutation in Geschlechtszellen (schematisch)

Merkmalsänderungen, die durch Mutationen an Chromosomen beziehungsweise Genen hervorgerufen sind, ermöglichen über den Weg der Auslese (→ S. 87) die Anpassung von Lebewesen an langdauernde Veränderungen der Umweltfaktoren und schließlich die Artneubildung.

► Die Veränderbarkeit von Chromosomen beziehungsweise Genen ist ein Wesensmerkmal des Lebens. Mutationen sind Ursache für die Variabilität der Individuen in der Population und demzufolge eine Voraussetzung für die Evolution und für die Züchtung von Organismen. ②

## Auswirkung von Mutationen auf Organismen und Populationen

Alle Organismen, auch der Mensch, sind verschiedensten natürlichen Mutagenen ausgesetzt. Darüber hinaus wirken aber auch viele vom Menschen geschaffene Faktoren für bestimmte Organismen oder in bestimmten Konzentrationen als Mutagene. Bei weitem nicht alle Mutationen führen zur Verbesserung der Leistungs-, Lebens- und Fortpflanzungsfähigkeit der davon betroffenen Organismen oder Populationen. Die Anzahl der sich in einer bestimmten Umwelt begünstigend auswirkenden Mutationen ist verschwindend gering gegenüber sich nachteilig auswirkender Mutationen. Der Schutz des Menschen und seiner Umwelt muß daher auch den Schutz vor Mutagenen beinhalten. Manche Mutationen führen zu Veränderungen, die in der gegebenen Umwelt weder einen Vor- noch einen Nachteil bedeuten (z. B. weiße Haarsträhne beim Menschen). Andere lassen gegenwärtig überhaupt keine Veränderungen an Merkmalen erkennen.



► Durch Mutationen entstandene Chromosomen- oder Genveränderungen können für die Lebens- und Fortpflanzungsfähigkeit von Organismen und Populationen begünstigend, nachteilig oder ohne Wirkung sein. ①

■ Bei Änderung der Umwelt können sich durch Mutationen veränderte Gene, die vorher ungünstige Auswirkungen auf Lebens-, Fortpflanzungs- oder Leistungsfähigkeit hatten, günstig auswirken, und andere können Nachteile bringen. In bestimmten Bakterienstämmen sind neben „Normalbakterien“ auch einige wenige Bakterien mit veränderten (mutierten) Genen, die Widerstandsfähigkeit gegenüber bestimmten Arzneimitteln verursachen, vorhanden. Sie sind unter normalen Bedingungen oft in ihrer Lebens- und Fortpflanzungsfähigkeit eingeschränkt. Bei Einsatz der entsprechenden Arzneimittel aber wird der größte Teil der Bakterien vernichtet, die nicht widerstandsfähig sind. Die widerstandsfähigen Bakterien können sich nun ungehindert vermehren. Nach länger wirkendem Einsatz dieser Arzneimittel sind alle Bakterien dieser Art widerstandsfähig, das Arzneimittel wird unbrauchbar. Ähnliche Erscheinungen sind bei vielen tierischen Schädlingen gegenüber chemischen Schädlingsbekämpfungsmitteln zu beobachten. Solche Situationen erfordern ständig die Neuentwicklung von Bekämpfungsmitteln und -methoden, eine komplizierte und kostenaufwendige Aufgabe. □

## Nutzung von Mutationen in der Züchtung



Verschiedene Weizensorten (von links: Emmer Weizen, begrannter Saatweizen, unbegrannter Saatweizen)

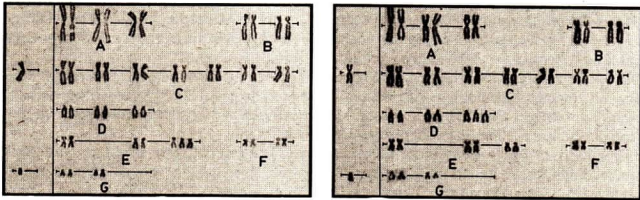
Durch Mutationen können Organismen entstehen, deren Merkmale gegenüber ihren Vorfahren für den Menschen spürbar nützlicher sind (z. B. höhere Körnerausbeute bei Saatweizen, Ausbildung bitterstofffreier Samen bei Süßlupinen gegenüber bitterstoffhaltigen Samen der Wildformen). So veränderte Individuen werden vom Züchter ausgelesen und weitervermehrt oder zu Kreuzungen verwendet. Durch künstlich ausgelöste Mutationen kann dieses Verfahren wesentlich beschleunigt werden. Zahlreiche neue Kulturpflanzenarten mit höheren Erträgen (z. B. von Sojabohnen, Reis, Pfirsichen, Weizen, Gerste) sind auf diese Weise entstanden. Auch Hochleistungsstämme von antibiotikaproduzierenden Pilzen (z. B. Penizillin) oder Insulin produzierende Bakterien sind nach künstlich hervorgerufenen Mutationen gezüchtet worden (→ S. 25).

Eine besondere Form der Veränderung der Chromosomenzahl ist die Vervielfachung des Chromosomenbestandes. Sie ist bei Pflanzen relativ häufig. Sie ist bei etwa 50% aller Samenpflanzen zu finden. Solche Pflanzen können eine bessere Anpassungsfähigkeit gegenüber extremen Standorten und Klimafaktoren aufweisen. Bei vielen Kulturpflanzen (z. B.

Saatweizen, Baumwolle, Zuckerrübe, Rotklee, Zwetschge, Kulturkartoffel) führt die Vervielfachung des Chromosomensatzes zur Steigerung der Erträge. Diese Mutationsform ist auch bei einigen Tieren zu finden (z. B. Seidenspinner). ②

## Genetisch bedingte Krankheiten des Menschen durch Chromosomenveränderungen

Viele Krankheiten des Menschen und anderer Organismen sind auf Veränderungen des Chromosomenbestandes zurückzuführen. Beim Menschen kommt eine Vervielfachung des Chromosomenbestandes nicht vor. Es können aber Abweichungen in der Anzahl einzelner Chromosomen beobachtet werden. Sie führen bei ihm wie bei anderen Organismen meist zu starken Schädigungen.



Durch Mutationen veränderte Chromosomensätze beim Menschen

■ Die häufigste Veränderung der Chromosomenzahl beim Menschen ist das dreifache Vorhandensein des Chromosoms 21 (→ S. 45). Patienten mit diesem Chromosomenbestand weisen das sogenannte Down-Syndrom auf. Sie haben neben verschiedenen äußeren Veränderungen auch innere Fehlbildungen. Sie sind nicht oder nur bedingt bildungsfähig, aber liebenswert und ausgeglichen. Das Down-Syndrom ist eine der häufigsten genetisch bedingten Krankheiten. Mit zunehmendem Lebensalter der Eltern, besonders nach dem 38. Lebensjahr der Frau, steigt der Prozentsatz der Geburt von Kindern mit dieser Fehlbildung an. Ursache für diese Erscheinung ist die mit dem Alter zunehmende Häufigkeit von Zellteilungsfehlern. Das Risiko, nach der Geburt eines Kindes mit Down-Syndrom ein zweites mit der gleichen Krankheit zu bekommen, ist im Durchschnitt aber noch geringer als 1 Prozent.

Bei einer noch viel selteneren Form des Down-Syndroms, bei der das dritte Chromosom 21 an ein anderes Chromosom angelagert ist, kann ein größeres Wiederholungsrisiko vorhanden sein. Dann wird bei folgenden Schwangerschaften eine vorgeburtliche Chromosomenuntersuchung durchgeführt, sofern die Eltern dies wünschen. Sie erfolgt durch Untersuchung der Chromosomen in Fruchtwasserzellen oder anderen, das werdende Kind umgebenden Gewebeteilen. In den meisten Fällen stellt sich dabei heraus, daß das Kind kein Down-Syndrom hat. Mit dieser Feststellung wird der Familie, weit vor der Geburt, eine große Sorge genommen. Würde andererseits eine anormale Chromosomenanzahl

- ① Erläutern Sie die Bedeutung von Mutationen für die Lebens- und Fortpflanzungsfähigkeit von Organismen und Populationen!  
 ② Nennen Sie Beispiele für die Nutzung von Mutationen in der Züchtung!



nachgewiesen, könnten die Eltern überlegen, ob sie sich zu einem Schwangerschaftsabbruch entschließen wollen. □

Auch Veränderungen der Struktur einzelner Chromosomen des Menschen sind mit unterschiedlichen, oft schweren Beeinträchtigungen der Gesundheit verbunden.

■ Eine solche sehr seltene Veränderung ist das Fehlen eines Chromosomenstücks an einem Chromosom Nr. 5. Patienten mit dieser genetisch bedingten Krankheit, dem sogenannten Katzenschreisyndrom, bleiben in der körperlichen und geistigen Entwicklung zurück und haben eine geringe Lebenserwartung. Das Wiederholungsrisiko kann so sein, daß auch hier erwogen werden könnte, bei einer nachfolgenden Schwangerschaft eine vorgeburtliche Chromosomenanalyse durchzuführen. □

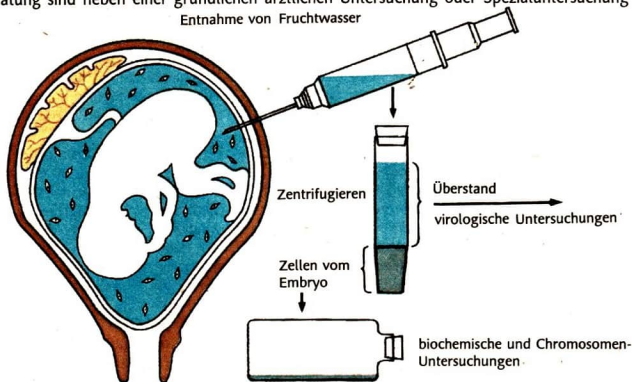
Maßnahmen zur Vorbeugung, Früherkennung und Therapie genetisch bedingter Krankheiten des Menschen werden in der DDR vor allem durch die vom Staat geschaffenen humangenetischen Beratungsstellen eingeleitet und kontrolliert. Die DDR war das erste Land, in dem zwischen 1970 und 1980 ein koordinierter humangenetischer Beratungsdienst mit einer einheitlichen Konzeption entstanden ist. „Humangenetische Beratungsstellen“ sind in allen Bezirken der DDR vorhanden. Sie können über den behandelnden Arzt oder auch direkt in Anspruch genommen werden. Damit ist in der DDR das Recht aller Bürger auf einen umfassenden Gesundheitsschutz auch in dieser Hinsicht nicht nur verfassungsmäßig garantiert, sondern in der Praxis verwirklicht.

Die Beratungsstellen haben in erster Linie die Aufgabe, alle Personen, die befürchten, Kinder mit genetisch bedingten Krankheiten zu bekommen, auf ihren Wunsch hin wissenschaftlich fundiert aufzuklären und eine dem derzeitigen Wissensstand entsprechende Entscheidungshilfe für ihre Familienplanung zu geben.

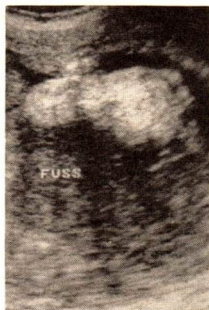
In den meisten Fällen sind solche Befürchtungen unbegründet. Nur selten ist tatsächlich ein erhöhtes Risiko für die Geburt eines Kindes mit einer genetisch bedingten Krankheit vorhanden. Dann können die Eltern entscheiden, ob sie dieses Risiko tragen oder angebotene Möglichkeiten der Vorbeugung in Anspruch nehmen möchten. Eine weitere Aufgabe der Beratungsstellen besteht darin, Personen mit genetisch bedingten Krankheiten die geeignetste Form der ärztlichen Betreuung zu sichern und sie bei der Berufswahl und Berufsausübung beratend zu unterstützen.

■ Die wichtigsten Untersuchungsmethoden zur Vorbereitung der humangenetischen Beratung sind neben einer gründlichen ärztlichen Untersuchung oder Spezialuntersuchung

Entnahme von Fruchtwasser



Vorgeburtliche Untersuchungen durch Fruchtwasserentnahme (schematisch)



Vorgeburtliche Ultraschalldiagnostik (links: Kind mit Mutterkuchen und Nabelschnur, Mitte: Fuß, rechts: Fetoskopie)

des Erkrankten und gegebenenfalls seiner Verwandten die Stammbaumanalyse, die Chromosomenanalyse, vorgeburtliche Untersuchungen (Chromosomenanalyse, Stoffwechseluntersuchungen, Genstrukturuntersuchungen, Ultraschalluntersuchungen). □ ① ②

## Maßnahmen zum Schutz vor Mutagenen

Die meisten Mutationen führen heute zur Beeinträchtigung der Lebens- und Fortpflanzungsfähigkeit. Die Ursache dafür besteht darin, daß die vorhandenen Organismenarten durch die Jahrmillionen dauernde Auseinandersetzung mit ihrer Umwelt relativ gut an diese angepaßt sind. Die meisten der zufällig auftretenden Mutationen müssen daher eine nachteilige Wirkung haben.

Diese Feststellung trifft auch auf den Menschen zu. Deshalb ist besonderes Augenmerk darauf zu richten, daß seine Chromosomen und Gene vor Mutagenen geschützt werden.

③ ■ Wie in vielen anderen Ländern werden auch in der DDR schon seit langem Mutagenitätsteste vorgenommen. Eine effektive Prüfung, ob bestimmte chemische und physikalische Faktoren beim Menschen Mutationen auslösen können, ist sehr schwierig. Sie erfordert das Arbeiten mit Bakterien, Tieren oder mit Zellkulturen von Säugetierzellen oder Zellen des Menschen. Ist ein Faktor als Mutagen erkannt, ist seine weitere Verwendung zu unterbinden. Falls aus bestimmten Gründen auf seine Benutzung nicht zu verzichten ist (z. B. Bestrahlung in der Krebstherapie), muß sehr verantwortungsbewußt mit ihm umgegangen werden. Es muß nach Wegen gesucht werden, möglichst viele dieser Stoffe durch nicht mutationsauslösende zu ersetzen. Bei der Entwicklung neuer Erzeugnisse und Verfahren müssen solche Lösungen gefunden werden, die Mutationsprozesse ausschließen. □

- ① Welche Aufgaben und welche Bedeutung haben die humangenetischen Beratungsstellen in der DDR?
- ② Welchen persönlichen Beitrag können Sie zu Ihrer Gesunderhaltung und zu der Ihrer Mitmenschen leisten?
- ③ Mutationen haben in der Regel negative Auswirkungen. Nennen Sie Beispiele!



Der Schutz vor Mutagenen ist in der DDR gesetzlich geregelt. Allen bekannt sind beispielsweise die strengen Vorkehrungen bei der Durchführung von Röntgenuntersuchungen. Bei vorgeburtlichen Untersuchungen sind Röntgenuntersuchungen durch Ultraschallverfahren ersetzt worden. Arzneimittel, Haushaltschemikalien, Schädlingsbekämpfungsmittel, Unkrautvertilgungsmittel, Konservierungsmittel und andere Stoffe, mit denen die Menschen in Berührung kommen, sind vor ihrer Verwendung auch darauf zu prüfen, ob sie Mutationen auslösen. Bei beruflich notwendigem Umgang mit Mutagenen (z. B. radioaktive Stoffe) sind die bestehenden gesetzlichen Bestimmungen gewissenhaft einzuhalten. Vor den mutationsauslösenden Faktoren im Tabakrauch bzw. Tabakteeer kann jeder einzelne von uns sich selbst schützen.

## Aufgaben zur Wiederholung

---

- 1 Nennen Sie die Bestandteile einer Pflanzenzelle und geben Sie deren Funktion an!
- 2 Erläutern Sie die Bedeutung der Zellbestandteile für den Ablauf der Lebensvorgänge der Pflanzen!
- 3 Vergleichen Sie die Zellen von Pflanzen, Tieren und Pilzen mit Bakterienzellen und Blaualgen! Stellen Sie Ihre Ergebnisse in einer Tabelle dar!
- 4 An den Sproß- und Wurzelspitzen der Pflanzen finden ständig Zellteilungen von Körperzellen statt. Welche Zusammenhänge bestehen zwischen dem Stoff- und Energiewechsel der Pflanzen und dem Wachstum der Sproß- und Wurzelspitzen?
- 5 Legen Sie dar, wie bei der Teilung von Körperzellen die Chromosomen mit den Genen weitergegeben werden!
- 6 Stellen Sie mögliche Kombinationen der Geschlechtschromosomen von Ei- und Samenzellen des Menschen bei der Befruchtung auf!
- 7 Wodurch unterscheiden sich Körperzellen von Geschlechtszellen?
- 8 Nennen Sie Beispiele, wo sich Mutationen begünstigend bzw. nachteilig auswirken!
- 9 Erklären Sie das Entstehen von Mischerbigkeit! Kennzeichnen Sie anhand der Aufspaltung in festen Zahlenverhältnissen (2. Mendelsches Gesetz) reinerbige und mischerbige Individuen!
- 10 Worin unterscheiden sich reinerbige Individuen von mischerbigen Individuen?
- 11 Nennen Sie Beispiele für die Anwendung von Mutationen in der Züchtung! Vergleichen Sie die Mutante mit der Ausgangsform!
- 12 Welche Ursachen liegen der Veränderung von Chromosomen und Genen zugrunde?
- 13 Kennzeichnen Sie die Mutationen in ihrer Bedeutung für das Leben von Organismen und Populationen!
- 14 Welche Vorgänge in den Zellen von Pflanzen und Tieren können beeinflusst bzw. gesteuert werden, um durch Zellkulturen viele Nachkommen zu produzieren?
- 15 Warum stimmen bei eineiigen Zwillingen die Merkmale deutlicher überein als bei zweieiigen Zwillingen?
- 16 In manchen Familien werden mehr Jungen als Mädchen, in anderen Familien mehr Mädchen als Jungen, in wieder anderen sogar nur Jungen oder nur Mädchen geboren. Inwiefern steht diese Beobachtung in Übereinstimmung mit der Tatsache, daß gleichviele Samenzellen ein X- oder Y-Chromosom aufweisen?



Bis zur Mitte unseres Jahrhunderts war bekannt: Grundlage für die Ausbildung von Merkmalen sind die in den Chromosomen befindlichen Gene. Sie werden mit den Chromosomen über Zellteilungen weitergegeben (→ S. 20). Beim Wachstum von mehrzelligen Organismen und bei ungeschlechtlicher Fortpflanzung geschieht das von Körperzelle zu Körperzelle. Bei geschlechtlicher Fortpflanzung (→ S. 26) erfolgt die Weitergabe an die Nachkommen durch Geschlechtszellen. ①

► **Vererbt werden Gene für die spätere Ausbildung von Merkmalen. Merkmale selbst werden nicht vererbt.**

Immer noch unbekannt war aber, woraus die Gene bestehen und in welcher Weise sie zur Merkmalsbildung beitragen. Erst 1944 gelang der Nachweis, daß die stoffliche Grundlage der Gene die DNS (Abkürzung für Desoxyribonukleinsäure) ist. Aus bestimmten Experimenten konnte außerdem geschlossen werden, daß jedes Gen einem Abschnitt dieses Moleküls entspricht.

Bald darauf wurde erkannt, daß die Gene durch ihre Struktur Anweisungen für den Aufbau spezifischer Eiweiße (→ S. 57) und damit für den Aufbau und die Funktion der Zellen und des gesamten Organismus enthalten. Diese Anweisungen werden als genetische Information bezeichnet.

Die Struktur der DNS (→ S. 54) konnte erst 1953 aufgeklärt werden, fast 100 Jahre nach der „Entdeckung“ der Anlagen für die Ausbildung von Merkmalen durch Mendel.

► **Bei den meisten Organismen sind die genetischen Informationen in der DNS gespeichert, die sich in den Chromosomen im Zellkern befindet.**

■ Lediglich bei einigen Phagen und anderen Viren ist nicht die DNS, sondern eine etwas anders zusammengesetzte RNS (Ribonukleinsäure) Träger der genetischen Information.

Offensichtlich sind während der Entwicklung der Organismen in langen erdgeschichtlichen Zeiträumen verschiedene Möglichkeiten der Verankerung der genetischen Information „erprobt“ worden. Dabei hat sich die DNS als die geeignetste Form erwiesen. □

Die DNS enthält nicht nur genetische Informationen, sondern ist in der lebenden Zelle auch in der Lage, sich selbst identisch zu verdoppeln. Dieser Vorgang ist Grundlage für die Weitergabe der Gene bei der Zellvermehrung im Organismus und bei der Fortpflanzung an die Nachkommen (→ S. 55). ②

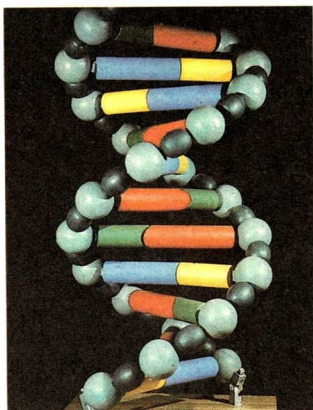
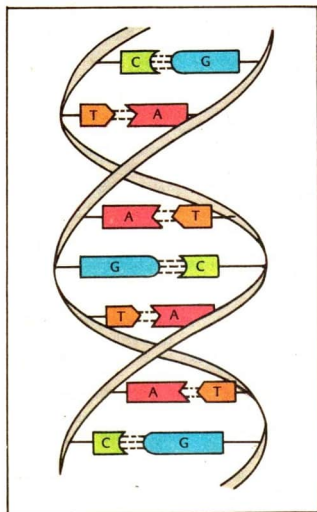
► **Die Übertragung genetischer Informationen von Generation zu Generation ist dadurch möglich, daß diese Informationen an Zellstrukturen gebunden sind.**

## Struktur der DNS

DNS-Moleküle gehören zu den größten in der Natur vorkommenden Molekülen. Bei Organismen mit Zellkernen ist die DNS während der Zellteilungen zu Chromosomen verdichtet, die im Mikroskop beobachtet werden können. Die Chromosomen bestehen also vor allem aus Genen.

Über die Anordnung der DNS zu Chromosomen ist bekannt, daß sie ähnlich einer in sich

- 
- ① *Wie vollzieht sich die Weitergabe der Chromosomen und Gene bei ungeschlechtlicher und bei geschlechtlicher Fortpflanzung?*
  - ② *In welchem Zusammenhang stehen die identische Verdopplung der DNS und die Ihnen schon bekannte Verdopplung der Chromosomen vor Zellteilungen?*
-



DNS-Modell

DNS-Molekül (schematisch)

verdrillten Strickleiter eine Doppelspirale bildet. Die Länge dieser Doppelspirale ist aber um ein Vielfaches größer als das Chromosom selbst. Die DNS muß also noch irgendwie gefaltet und umeinander gewunden sein.

■ Die Gesamtlänge der im zweifachen Chromosomensatz eines menschlichen Zellkerns enthaltenen DNS ist beispielsweise fast 2 Meter, die Länge der Chromosomen dagegen nur wenige Mikrometer. Die Gesamtlänge der in einem Zellkern der Taufliege vorhandenen DNS übertrifft mit etwa 40 mm sogar mehrfach die Körperlänge des Insekts. □

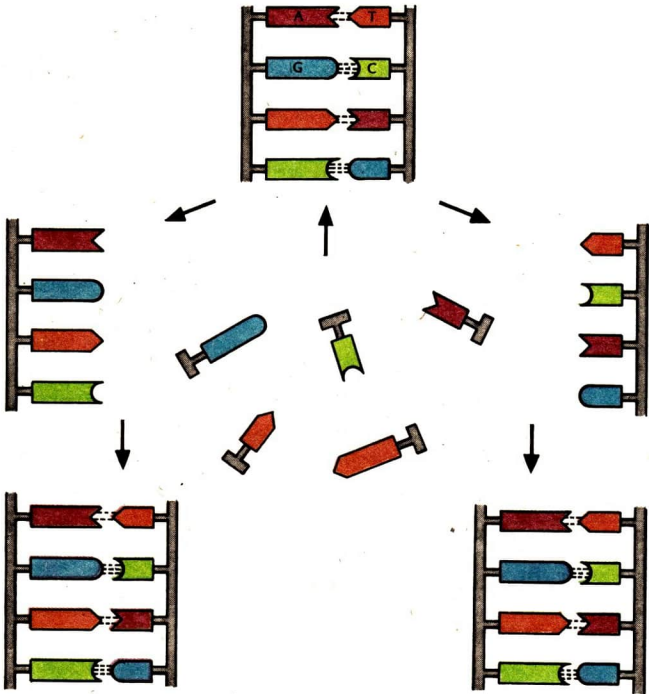
Die zwei Stränge der DNS sind durch vier spezielle Moleküle, die organischen Basen Adenin (A), Thymin (T), Guanin (G) und Cytosin (C), miteinander verbunden. Durch Bau und Größe bedingt ist jeweils nur Cytosin des einen Strangs mit Guanin des anderen, Adenin des einen Strangs mit Thymin des anderen verknüpft. Die Basenpaare der DNS sind also A - T und G - C.

Durch diese Bindungsregel ist die Aufeinanderfolge der Basen des einen Strangs durch die des anderen Strangs vorgegeben. Die Reihenfolge der Basenpaare ist in jedem DNS-Abchnitt anders. ①

► Die DNS der meisten Organismen ist ein organisches Molekül, das aus zwei zueinander parallel verlaufenden Strängen besteht, die durch Paare organischer Basen miteinander verknüpft sind.

In einem DNS-Molekül lebender Organismen sind mindestens 70 Basenpaare bis einige Millionen Basenpaare aneinandergesetzt (z. B. der längste bisher gefundene DNS-Strang umfaßt etwa  $10^7$  Basenpaare, das entspricht einer Länge von ungefähr 3 mm). In einem Zellkern sind um  $10^{11}$  Basenpaare vorhanden. ②





DNS-Verdopplung (schematisch; Größenverhältnisse unberücksichtigt)

Die Weitergabe der Chromosomen mit den Genen beim Wachstum, bei der ungeschlechtlichen und bei der geschlechtlichen Fortpflanzung setzt die Verdopplung jedes Chromosoms voraus (↗ S. 20). Die Verdopplung der Chromosomen erfolgt vor den jeweiligen Zellteilungen, die zwei Tochterchromosomen eines Chromosoms sind identisch (↗ S. 21, S. 28). Mißt man den DNS-Gehalt von Körperzellen, ihren Tochterzellen und von Geschlechtszellen, kann festgestellt werden: Der DNS-Gehalt der zwei Tochterzellen einer Körperzelle ist

- ① Schreiben Sie die Basenfolge eines DNS-Strangs auf, dessen Parallelstrang die Basenfolge Cytosin – Guanin – Guanin – Adenin – Cytosin – Thymin aufweist!
- ② Beschreiben Sie den Aufbau des DNS-Moleküls!



gemeinsam doppelt so groß wie in der Körperzelle. Der DNS-Gehalt der vier Geschlechtszellen ist gemeinsam ebenfalls doppelt so groß wie in der Ausgangszelle. Mit der Verdopplung der Chromosomen in der Mutterzelle ist also auch eine Verdopplung des DNS-Gehalts erfolgt. Aber wie passiert das? <sup>①</sup>

► Die originalgetreue Verdopplung der DNS wird durch die Basenbindungsregel ermöglicht.

Die zwei Stränge der DNS verhalten sich zueinander wie eine Gußplatte und ihr Abdruck. Trennen sich die gegenüberliegenden Basen voneinander, werden beide Stränge voneinander gelöst. Jeder Strang kann nun als Form für die Synthese eines neuen Strangs dienen (→ Abb. S. 55).

Dabei werden an jeden der Elternstränge DNS-Molekülbausteine, die in der Zelle vorhanden sind, angelagert. Nach der Bindungsregel lagert sich dabei an jede Base der Elternstränge ein Baustein mit der entsprechenden Base an. Nach Verbindung der angelagerten Bausteine untereinander ist an jedem Elternstrang ein ihm entsprechender Parallelstrang entstanden. Die Verdopplung der DNS ist abgeschlossen, zwei Tochterchromosomen sind entstanden.

► Bei der identischen Verdopplung der DNS spaltet sich die zweisträngige DNS in zwei Einzelstränge. Jeder Einzelstrang dient als Form für die Bildung eines entsprechenden Parallelstrangs. <sup>②</sup>

Durch die Basenbindungsregel ist garantiert, daß die in jedem Tochterchromosom vorliegenden, wieder zweisträngigen DNS-Moleküle untereinander und auch dem DNS-Molekül der Mutterzelle völlig gleich sind. Sie werden bei der Chromosomenteilung mit den Tochterchromosomen an die Tochterzellen weitergegeben. <sup>③</sup>

► Die Verdopplung der DNS ist Voraussetzung für die Chromosomenteilung und damit für die Weitergabe der Gene bei Zellteilungen. <sup>④</sup>

■ Der Verdopplungsmechanismus der DNS konnte bisher für Bakterien annähernd vollständig geklärt werden. Bei ihnen ist die DNS nicht in kompliziert strukturierte Chromosomen eingebaut und nicht in einem Kern eingeschlossen. Nach den bisherigen Erfahrungen mit DNS aus Zellkernen kann jedoch geschlußfolgert werden, daß die Verdopplung dieser DNS ähnlich abläuft. □

Die DNS unterliegt durch ihre Doppelstrangstruktur kaum Umbauvorgängen. Schäden, die an einem DNS-Strang eingetreten sind, können durch den Einbau entsprechender Molekülbausteine „repariert“ werden, wobei der andere Strang als Form dient. Die Gene beziehungsweise die in ihnen gespeicherten Informationen sind dadurch relativ stabil. Sie können unverändert über Generationen weitergegeben werden. Dadurch ist auch die relative Konstanz der Arten gewährleistet (→ S. 7). <sup>④</sup>

- 
- ① *Vergleichen Sie die DNS-Menge einer Eizelle mit der einer Körperzelle!*
  - ② *Beschreiben Sie die identische Verdopplung der DNS!*
  - ③ *Beschreiben Sie die Zellteilungen, bei denen Chromosomenteilungen erfolgen!*
  - ④ *Erläutern Sie die Bedeutung der identischen Verdopplung der DNS!*
  - ⑤ *Was ist ein Gen? Welche Beziehungen bestehen zwischen Gen und Merkmal?*
  - ⑥ *Welche Aufgaben haben Eiweiße im Organismus zu erfüllen?*
-



Garten-Löwenmaul (von links: gelb, rot, rosa)

Die abgebildeten Blüten vom Gartenlöwenmaul sind im Merkmal Blütenfarbe verschieden. Diesen unterschiedlichen Merkmalsausprägungen liegen Genverschiedenheiten zugrunde.

Die Ausbildung der Merkmale ist eng mit dem Aufbau von Eiweißen verbunden, der durch die Gene gesteuert wird. Sind die Gene verschieden, dann unterscheiden sich auch die Eiweiße und damit die Merkmale.

► Ein Gen ist ein Abschnitt eines DNS-Moleküls, der die Information für den Aufbau eines bestimmten Eiweißmoleküls enthält. Die genetische Information ist in der Basenfolge der DNS verschlüsselt gespeichert.

■ Der Mensch besitzt schätzungsweise  $10^4$  bis  $10^5$  Genpaare. Ein Gen umfaßt durchschnittlich 1000 Basenpaare. □

Das durch ein Gen bedingte Eiweiß kann direkt als Merkmal in Erscheinung treten (z. B. Blutgruppensubstanzen). Häufiger sind Eiweiße Grundlage oder Zwischenstufe bei der Ausbildung von Merkmalen. Ein Eiweiß wirkt allein auf die Ausprägung eines oder mehrerer Merkmale. Es kann auch gemeinsam mit anderen Eiweißen, die durch andere Gene bestimmt sind, wirken. Die Merkmale eines Individuums sind also von der Basenfolge der ihnen jeweils zugrundeliegenden Gene abhängig. Unterschiedlichen Ausprägungen eines bestimmten Merkmals bei verschiedenen Individuen einer Population müssen demzufolge unterschiedliche Basenfolgen der betreffenden Gene zugrundeliegen, falls nicht allein Umweltfaktoren die Ursache für die Unterschiede sind (→ S. 70).

■ Die unterschiedlichen Blütenfarben der Löwenmäulchen sind durch voneinander etwas abweichende Basenfolgen in den für die Blütenfarbe zuständigen Genen verursacht. Auch die Farbstoffbildung in der Haut und in den Haaren der Tiere und des Menschen wird durch Eiweiße gesteuert. Ist die Basenfolge zur Ausbildung dieser Eiweiße gestört, wird der Farbstoff nicht gebildet; es entsteht ein Albino.

Die Größenunterschiede von Kartoffeln einer Sorte sind dagegen durch Umwelteinflüsse hervorgerufen.

Die Blutgruppensubstanzen (→ S. 60) sind selbst Eiweiße. Unterschiedlichen Blutgruppensubstanzen liegen unterschiedliche Basenfolgen im Blutgruppengen zugrunde.

Auch das Wachstumshormon (→ S. 58) ist ein Eiweiß. Starke Veränderungen in der Basenfolge des entsprechenden Gens können zur Bildung eines nicht wirksamen Wachstumshormons führen. Ist ein Individuum für dieses veränderte Gen reinerbig, kommt es zu Wachstumsbeeinträchtigungen. □

► Eiweiße sind wichtige Bestandteile aller zellulären Strukturen oder steuern als Enzyme die im Organismus ablaufenden Stoff- und Energiewechselvorgänge. ⑤ ⑥

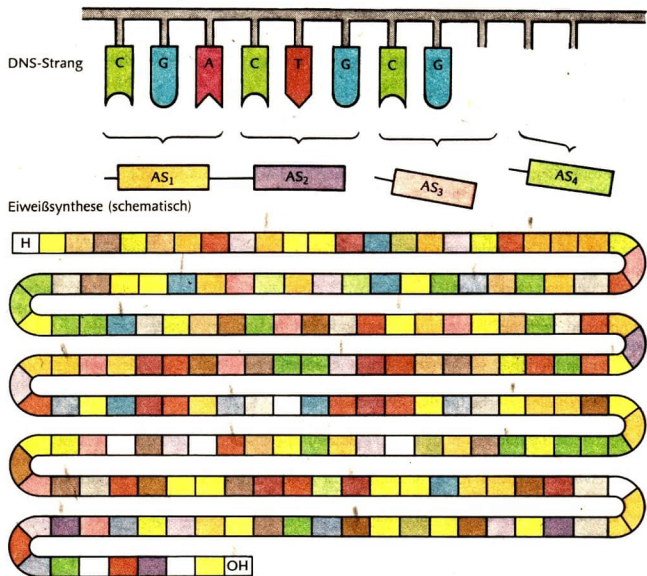


Eiweißmoleküle bestehen aus aneinandergereihten Aminosäuren. Am Aufbau der Eiweiße sind 20 verschiedene Aminosäuren beteiligt, die aus dem Stoffwechsel der Zelle stammen oder dem Organismus durch die Nahrung zugeführt werden. Die Unterschiedlichkeit der durch verschiedene Gene bedingten Eiweiße beruht darauf, daß sie aus unterschiedlich vielen Aminosäuren bestehen. Außerdem sind diese in jeweils anderer Anzahl und anderer Reihenfolge miteinander verknüpft. ①

■ Wie vielfältig die sich daraus ergebenden Möglichkeiten sind, läßt sich aus einem Vergleich erkennen: Aus unserem zwar nicht 20, sondern 26 Buchstaben („Aminosäuren“) umfassenden Alphabet können die unterschiedlichsten Sätze („Eiweiße“) gebildet werden, je nachdem wieviele und welche Buchstaben aneinandergereiht werden. □ ②

► Die Reihenfolge der Aminosäuren eines Eiweißmoleküls ist durch die Reihenfolge der Basen des Gens festgelegt.

■ Jeweils drei aufeinanderfolgende Basen des einen DNS-Strangs bestimmen die Eingliederung einer bestimmten Aminosäure ins Eiweiß (der Parallelstrang bewirkt keine Eiweißsynthese). Diese Verschlüsselung gilt bei Mikroorganismen, Pflanzen, Tieren, auch beim Menschen. □



Aminosäurefolge des Wachstumshormons des Menschen (schematisch)

► Die unterschiedliche Aneinanderreihung der vier Basen in der DNS ist eine Ursache der Vielfalt der Organismen und ihrer Merkmale. ③

**Artspezifik der Eiweiße.** Die gleiche Reihenfolge der Basenpaare eines Gens in der Mutterzelle und in den Tochterzellen bewirkt die jeweils gleiche Ausbildung des betreffenden Ei-



weißes. Dadurch können bestimmte Merkmale unverändert über Zellgenerationen oder Individuengenerationen fortbestehen.

■ Die Struktur der DNS ermöglicht die große Stabilität der genetischen Information, die Abgabe der Information für die Eiweißsynthese und die originalgetreue Weitergabe der Information an die Nachkommen. □

► Ursachen der relativen Konstanz jeder Art über Generationen hinweg sind bestimmte Basenfolgen, die weitgehend unverändert an die Nachkommen weitergegeben werden. Veränderungen in der DNS-Basenfolge anderer Gene können zur Variabilität in der Merkmalsausprägung führen.

Durch die über Generationen unveränderte Basenfolge der DNS ist die Konstanz artspezifischer Eiweiße und damit artspezifischer Merkmale über lange Zeiträume gewährleistet.

► Angehörige einer Art stimmen in der artspezifischen Basenfolge und damit im Aufbau artspezifischer Eiweiße und in der Ausbildung artspezifischer Merkmale überein. ④

■ Zu den wichtigsten Eiweißen der Wirbeltiere gehören die Blutfarbstoffe (Hämoglobine). Ihr Eiweißaufbau ist bei allen Wirbeltierarten etwas anders. Enger verwandte Arten sind in der Hämoglobinzusammensetzung ähnlicher als nicht so eng verwandte. Die Hämoglobine können zur Klärung von Problemen der Abstammung und Verwandtschaft von Wirbeltierarten herangezogen werden. Da die Eiweißzusammensetzung die Basenfolge in der DNS widerspiegelt, kann so die Veränderung von DNS über die Jahrmillionen hin verfolgt werden. □

**Variieren der Eiweiße.** In vielen Merkmalen lassen sich individuelle Unterschiede beobachten. Sie sind auf individuelle Unterschiede in der Aminosäurefolge von Eiweißen und damit auf individuelle Unterschiede in der Basenfolge der DNS zurückzuführen.

Die Verschiedenartigkeit der Basenfolge eines Gens ist irgendwann einmal durch Mutationen entstanden (→ S. 44).

Mutationen im Blutgruppengens des Menschen haben zur Bildung unterschiedlicher Blutgruppengene geführt, die mit A, B und 0 bezeichnet werden (→ S. 34). Es ist weitgehend belanglos, welche zwei dieser Gene bei einem Individuum zusammenkommen.

Mutationen an Genen haben auch zur Bildung unterschiedlicher Samenformen bei Erbsen geführt (→ S. 10), die von G. J. Mendel bei Kreuzungsexperimenten genutzt wurden.



Verschiedene Samenformen bei Erbsen (von links: runde, runde in Hülse, kantige in Hülse)

- ① Beschreiben Sie den Aufbau von Eiweißen!
- ② Erläutern Sie die Beziehungen Gen-Eiweiß und Eiweiß-Merkmal!
- ③ Worauf ist die Vielfalt der Organismen und ihrer Merkmale zurückzuführen?
- ④ Erläutern Sie, wie die Konstanz der Information für den Aufbau von Eiweißen über Generationen zustandekommt!



Aminosäurenfolge im normalen roten Blutfarbstoff



Mutation in einem bestimmten DNS-Abschnitt



Aminosäurenfolge im roten Blutfarbstoff bei Sichelzellenanämie

Aminosäurenfolge des normalen roten Blutfarbstoffs (oben) und bei Sichelzellenanämie (unten)

■ Vom roten Blutfarbstoff des Menschen sind etwa 130 Varianten bekannt. Sie unterscheiden sich fast alle in ihrem Eiweißaufbau vom normalen roten Blutfarbstoff nur durch eine einzige, jeweils andere Aminosäure.

Probe:			Gegenprobe:		
Anti-A	Anti-B	Anti-A + B	A	B	0
Testserum und zu bestimmendes Blut			Testblutkörperchen und Serum des zu bestimmenden Blutes		
Blutgruppe					
Blutkörperchen verklumpen			Blutkörperchen verklumpen nicht		

Blutgruppenbestimmung (schematisch)



Der Aminosäureaustausch ist meist auf den Austausch eines einzigen Basenpaares zurückzuführen. Einige der Varianten des Blutfarbstoffs sind für das Leben des Menschen ohne Bedeutung, andere führen zu schweren Erkrankungen oder zum Tod. □ ① ②

Ähnliche Varianten wie für dieses Eiweiß gibt es auch bei anderen Körperproteinen.

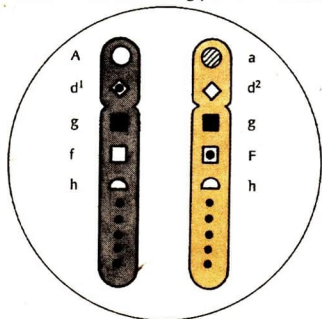
Werden Eiweiße eines Individuums in den Organismus eines anderen eingebracht (z. B. Blutübertragung, Organtransplantation), rufen diese Abwehrreaktionen des Empfängerorganismus hervor.

Solche Abwehrreaktionen treten nur dann nicht ein, wenn das eingebrachte Eiweiß im Aminosäureaufbau mit entsprechenden Eiweißen des Empfängers übereinstimmt.

Bei Nichtübereinstimmung werden die eingebrachten Eiweiße nach Möglichkeit vernichtet oder abgestoßen, wobei mehr oder weniger starke Beschwerden oder der Tod eintreten können. Bei Blutübertragungen wird daher generell eine Blutgruppenbestimmung bei Spender und Empfänger sowie ein sogenannter Kreuztest vorgenommen (→ Abb. S. 60).

Bei Organtransplantationen (z. B. Nierentransplantation) wird versucht, die Erkennungs- oder Abstoßungsreaktion zu verhindern. ③

Bei Organismen, die in ihren Körperzellen einen zweifachen Chromosomensatz besitzen, stehen für die Ausbildung jedes Merkmals zwei Gene zur Verfügung (→ S. 18).



Lineare Anordnung der Gene (schematisch)

Reinerbigkeit (→ S. 32) liegt dann vor, wenn die Basenfolge in beiden Genen übereinstimmt. Mischerbigkeit (→ S. 33) liegt vor, wenn die Basenfolge in den zwei Genen unterschiedlich ist.

■ Eine Ausnahme bilden die Gene auf den Geschlechtschromosomen. Beim Menschen stehen für Merkmale, die durch Gene auf dem X-Chromosom bestimmt werden, nur im weiblichen Geschlecht jeweils zwei Gene zur Verfügung. Im männlichen Geschlecht hat kein Gen des X-Chromosoms ein dazugehöriges zweites, da es kein zweites X-Chromosom gibt. An dessen Stelle steht ein Y-Chromosom. □

Einige Merkmale werden durch nur ein Genpaar und damit zwei gleiche oder zwei unterschiedliche Eiweiße bedingt (z. B. Blutgruppe beim Menschen). An der Ausprägung der

- ① Worauf können unterschiedliche Merkmalsausprägungen bei Individuen einer Population zurückgeführt werden?
- ② Trotz relativer Konstanz der Art kommt es in Populationen zu Variabilität. Erklären Sie!
- ③ Worauf lassen sich Unverträglichkeitsreaktionen bei Organtransplantationen zurückführen?



meisten Merkmale sind aber viele Genpaare und damit unterschiedlichste Eiwieße beteiligt, deren Zusammenwirken meist noch nicht überschaubar ist (z. B. bei fast allen „Normalmerkmalen“ des Menschen, wie Haarfarbe, Körperbau, physiologische Vorgänge). ①

## Gentechnik

Seit 1972 wurden in vielen Ländern Verfahren entwickelt, die dem Menschen gezielte Eingriffe in die genetischen Grundlagen von Organismen ermöglichen. Diese Verfahren werden als Gentechnik bezeichnet. Sie sind ein Komplex genetischer, molekularbiologischer und biochemischer Methoden. Sie dienen vielfältigen Zwecken der Forschung und Anwendung in Medizin, Landwirtschaft und Industrie.

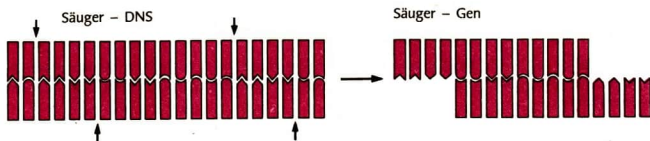
► Als **Gentechnik** werden Verfahren zur gezielten Veränderung und Übertragung von Genen bezeichnet.

■ Daneben gibt es Methoden, die auf nicht natürlichem Weg zur Neukombination von Genen führen. So können beispielsweise heute Zellen verschiedener Pflanzenarten oder auch Zellen verschiedener Tierarten miteinander verschmolzen werden. Aus den Verschmelzungsprodukten hervorgegangene Individuen weisen dann Merkmale beider (oder mehrerer) Ausgangsformen auf. □

Die Gentechnik wurde dadurch möglich, daß die chemischen Grundlagen des Aufbaus der Gene und deren Wirkungsweise aufgeklärt werden konnten. 1972 wurde dann entdeckt, daß besondere Enzyme DNS-Moleküle an bestimmten Stellen zu spalten vermögen und daß so entstandene Teile auch wieder zusammengefügt werden können. Selbst das Zusammenfügen von DNS-Teilen unterschiedlicher Herkunft (das heißt von unterschiedlichen Organismenarten) glückte. Damit waren erstmals gerichtete Eingriffe in die genetische Grundlage der Merkmale möglich geworden. ②

Bei der Anwendung der Gentechnik sind mehrere aufeinanderfolgende Verfahren zu unterscheiden:

– Herausstrennen (Isolierung) eines DNS-Abschnitts, der ein Gen oder mehrere Gene umfaßt und ein gewünschtes Merkmal oder mehrere Merkmale bedingt.

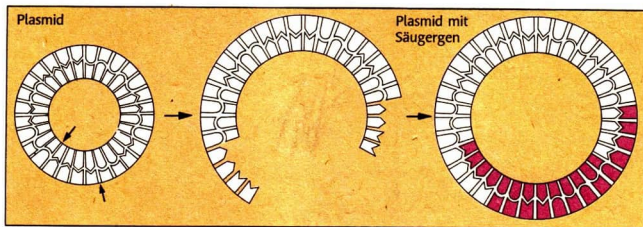


Herausstrennung eines Gens aus der DNS eines Säugetiers (schematisch)

– Verknüpfung des isolierten Gens mit der DNS eines geeigneten Überträgers, der es in eine andere Zelle einschleusen soll. Als solche Überträger eignen sich beispielsweise Viren.

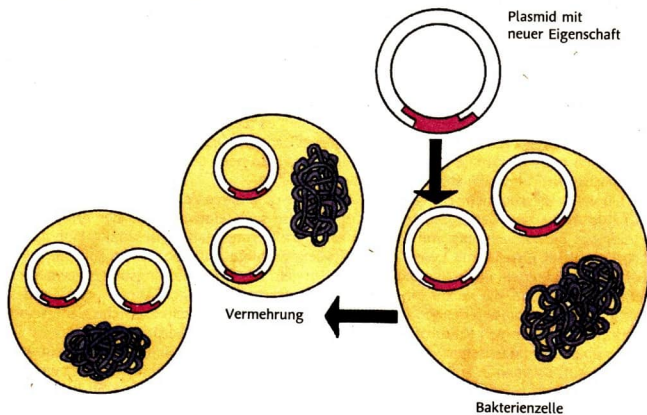
- ① Erläutern Sie „reinerbig“ und „mischerbig“ unter Berücksichtigung Ihrer Kenntnisse über die molekularen Grundlagen der Vererbung!
- ② Aus welchen Gründen sind gentechnische Verfahren entwickelt worden? Werten Sie die ökonomische und wissenschaftliche Bedeutung dieser Verfahren!
- ③ Welche Möglichkeiten des Eingriffs in die genetischen Grundlagen von Organismen kennen Sie? Erläutern Sie diese Methoden!





Verknüpfung eines Säugergens mit einem Überträger (schematisch)

– Vermehrung des mit dem Überträger verknüpften Gens. Diese Vermehrung erfolgt durch Einbringen der mit diesem Gen beladenen Überträger in geeignete Wirtszellen und Vermehrung dieser Wirtszellen. Solche Wirtszellen sind häufig Bakterienzellen (auch Hefe- oder Säugetierzellen werden verwendet). Während der Vermehrung der Wirtszellen erfolgt auch die Vermehrung der Überträger mit dem eingebauten Gen (Klonierung) und ihre Weitergabe an die jeweiligen Tochterzellen.

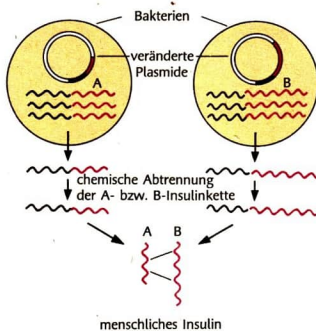


Vermehrung des Säugergens in Wirtszellen (schematisch)

– Gewinnung der vermehrten Gene, Analyse ihrer Basenfolge, gegebenenfalls Veränderung ihrer Basenfolge, Einsatz dieser DNS für bestimmte genetische Experimente und Verfahren.

– Einbringen des Gens in Bakterienzellen mit Hilfe von Überträgern. Diese Bakterienzellen sind nun bei Schaffung bestimmter Voraussetzungen befähigt, das durch das eingebrachte Gen bedingte Eiweiß zu bilden.

③ Auf diese Weise können biotechnologisch (→ S. 25) große Mengen an nützlichen Eiweißstoffen produziert werden, die sonst nicht leicht oder nicht billig aus natürlichen Quellen gewonnen werden müßten. So können heute bestimmte Hormone, Enzyme und Impfstoffe



Produktion des menschlichen Insulins durch Bakterien (schematisch)

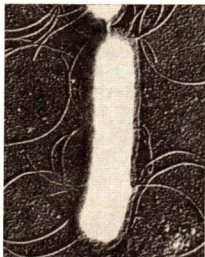
hergestellt werden. Ein solches Hormon ist das menschliche Insulin für die Behandlung von Diabetikern, Patienten, die an der Zuckerkrankheit *Diabetes mellitus* leiden.

■ Der Entdecker des tierischen Hormons Somatostatin hatte 500 000 Schafgehirne aufarbeiten müssen, um etwa 5 Milligramm dieses Hormons zu gewinnen, das in der Medizin Verwendung findet. Nachdem 1977 die Klonierung des Somatostatin-Gens in Bakterien gelungen war, wurden, um die gleiche Menge zu isolieren, lediglich 8 Liter Bakteriensuspension benötigt. □

Andere gentechnologische Verfahren haben die Veränderung von Merkmalen höherer Organismen zum Ziel. Eine dazu führende Möglichkeit ist die Klonierung bestimmter Gene in der geschilderten Weise und ihre Übertragung auf andere Organismen, die mit der neuen DNS auch neue Merkmale ausprägen beziehungsweise neue Leistungen vollbringen. Gegenwärtig wird an vielen solchen Projekten gearbeitet.

■ Ein volkswirtschaftlich sehr wichtiges Ziel ist die qualitative Verbesserung von Eiweißen aus Kulturpflanzen. Getreide-Eiweiße beispielsweise sind relativ arm an der Aminosäure Lysin, was die Verwendung von Getreide zur Tierfütterung stark einschränkt. Eine Anreicherung dieser Eiweiße mit Lysin ist deshalb eine wichtige Aufgabe für die Forschung. Bestimmte Bakterien, die in Symbiose in den Wurzeln von Schmetterlingsblütengewächsen leben, haben Gene, die sie zur Bindung von Luftstickstoff befähigen. Dieser wird von den mit ihnen in Symbiose lebenden Pflanzen genutzt. Die Möglichkeiten, solche Gene sogar direkt in die Zellen von Kulturpflanzen zu übertragen, werden überprüft. □

Gegenüber den „klassischen“ Methoden der Züchtung weist die Gentechnik bedeutende Vorteile auf. So kann zum Beispiel auf eine Kulturpflanze, die genetisch verändert werden soll, theoretisch jedes verfügbare Gen unabhängig von seiner Herkunft (z. B. Bakterien-, Pflanzen-, Tiergen) übertragen werden. Auf dem in der Züchtung üblichen Weg der Kreuzung dagegen lassen sich natürlich nur Gene von solchen Organismen übertragen, mit denen der zu verändernde Organismus kreuzbar ist. In der Regel sind das Gene aus Individuen der gleichen Art oder sehr nahe verwandter Arten, die über die Befruchtung eingekreuzt werden können. So können in Weizen problemlos Weizengene anderer Pflanzen eingekreuzt werden, etwas schwieriger auch Gene anderer Getreidearten und verwandter Formen. Mit Hilfe der Gentechnik könnten aber auch Gene nichtverwandter Organismenarten eingebracht werden. ① ②



Bakterienzelle



Bakterien in Spaltung



Virus

Bei der Erforschung der Gene konnten vor allem an Bakterien wichtige Erkenntnisse gewonnen werden. Bakterien sind unter anderem einer genetischen Untersuchung deshalb besonders zugänglich, weil ihre genetische Information nur aus einem einzigen DNS-Molekül besteht und dieses einfach gebaute Chromosom nicht in einem Kern eingeschlossen ist. Sie vermehren sich rasch. Innerhalb eines einzigen Tages können aus einem Bakterium  $10^7$  bis  $10^9$  Bakterien werden. Unter diesen vielen Bakterien lassen sich dann immer einige Mutanten finden, die für bestimmte genetische Untersuchungen oder auch für gentechnische Verfahren eingesetzt werden können.

Die sehr kleinen Viren (Größe etwa zwischen zehn und einigen hundert Nanometern) vermehren sich parasitisch in Zellen von Organismen. Außerhalb dieser Wirtszellen können die Viren über sehr lange Zeit erhalten bleiben. Viren können keinen eigenen Stoffwechsel vollziehen. Dringt ein Virus in die lebende Zelle eines Wirtsorganismus ein, nutzt es den darin ablaufenden Stoff- und Energiewechsel. Der Stoff- und Energiewechsel in den Zellen wird dabei auf Virusvermehrung umgestellt.

Durch die genetische Information des Virus werden mit Hilfe des Stoffwechsels und einiger Enzyme der Zelle neue Virusbausteine erzeugt und zu Viren zusammengefügt. In vielen Fällen werden dadurch die infizierten Zellen geschädigt oder zerstört. Die Viren können freigesetzt werden und neue Zellen infizieren.

► **Bakterien und Viren sind gut geeignete Objekte für genetische Untersuchungen sowie für gentechnische und biotechnologische Verfahren. Sie sind relativ einfach gebaut, lassen sich leicht anzüchten und rasch vermehren.** ③

■ Jede Virusgruppe ist im allgemeinen auf ganz bestimmte Wirtszellen spezialisiert. Nach dem Wirtsorganismus können Viren, die Bakterien, Pilze, Pflanzen, Tiere oder Menschen befallen, unterschieden werden. □

Bei allen Lebewesen können Viren Krankheiten verursachen. Beim Menschen werden Kinderlähmung, Masern, Grippe, Pocken und andere Krankheiten durch bestimmte Virusinfektionen hervorgerufen. Einige Viren sind durch die Störung des Stoffwechsels der Zelle

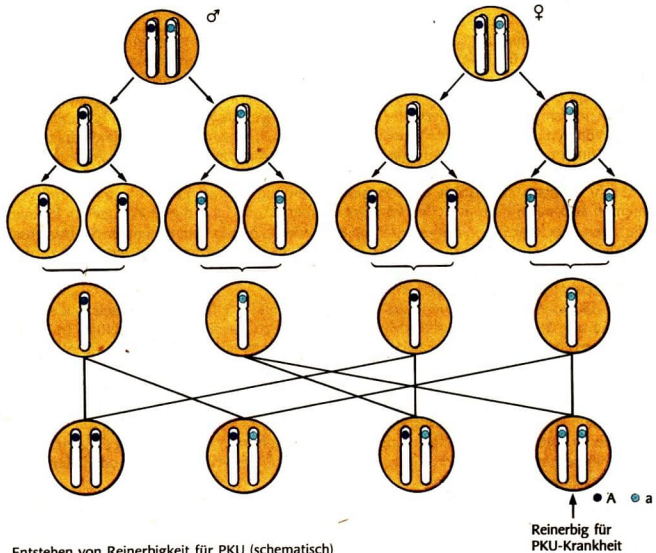
- ① Erläutern Sie das Grundprinzip der Gentechnik!
- ② Erläutern Sie die Vorteile der Gentechnik gegenüber herkömmlichen Verfahren in der Züchtung!
- ③ Warum sind Bakterien und Viren als Untersuchungsobjekt der Genetik besonders gut geeignet?



maßgeblich an der Entstehung von Krebs beteiligt. In der Landwirtschaft können Viren große Schäden verursachen. So erregen Viren die Maul- und Klauenseuche und die Geflügelpest. Kartoffeln, Tabak und viele andere Kulturpflanzen können von bestimmten Viren befallen und geschädigt werden.

Neue Kenntnisse über molekulargenetische Ursachen der Grippeerkrankungen sowie über die Ausbreitung der Grippeviren berechtigen zu der Hoffnung, mit gentechnisch erzeugten Impfstoffen Grippeepidemien noch wirksamer eindämmen zu können. Auch gegen die Maul- und Klauenseuche können bereits gentechnisch Impfstoffe in größeren Mengen billig produziert werden. Dazu mußten bestimmte genetische Informationen der Maul- und Klauenseuche verursachenden Viren in Bakterien übertragen werden.

## Genetisch bedingte Krankheiten des Menschen durch Genveränderungen



Viele Krankheiten des Menschen (z. B. bestimmte Infektionskrankheiten) mit zum Teil furchtbaren Folgen gehören der Vergangenheit an. Sie konnten durch unterschiedlichste Maßnahmen (z. B. Impfen) ausgerottet werden. Nach wie vor aber werden Kinder mit genetisch bedingten Krankheiten geboren. Diese Kinder erfahren durch unsere Gesellschaft besondere Fürsorge und Unterstützung. Von vielen solchen Krankheiten ist bekannt, daß sie durch Mutationen an einzelnen Genen bedingt sind (andere Mutationen → S. 44). Die

meisten dieser Krankheiten sind sehr selten. Trotz vielfältiger Anstrengungen ist die therapeutische Behandlung, die Linderung oder gar Heilung solcher Krankheiten gegenwärtig leider noch nicht generell möglich.

■ Gene sind nicht unveränderlich. Sie können spontan mutieren. Wird durch einen Mutationsprozeß die Reihenfolge der Basen eines Gens verändert, resultiert daraus ein in seiner Aminosäurezusammensetzung verändertes Eiweiß. Dieses Eiweiß kann eine veränderte, eine völlig andersartige oder keine Aktivität bei der Ausbildung des betreffenden Merkmals zeigen. □

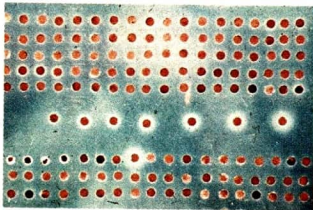
► Mutationen an Genen sind Austausch, Verluste oder Einfügungen einzelner Basenpaare sowie Veränderungen, Verluste oder Einfügungen größerer Genabschnitte. ①

Ob aufgrund solcher Genmutationen Krankheiten entstehen, hängt oft auch von anderen Faktoren (z. B. Umweltfaktoren) ab. Viele Genmutationen stellen nur eine Veranlagung dar. Bei Ausbleiben des auslösenden Faktors oder bei Verhinderung oder Vermeidung seines Einwirkens bleibt die Krankheit aus. ②

Eine der häufigsten angeborenen Stoffwechselerkrankungen ist die Phenylketonurie (PKU). Sie tritt bei Reinerbigkeit des rezessiven PKU-Gens auf. Neben verschiedenen körperlichen Veränderungen wäre bei unbehandelten Patienten bereits im ersten Lebensjahr durch Störung der Gehirnentwicklung und -funktion schwerer Schwachsinn zu erwarten. Die Lebenserwartung wäre gering.

Die Krankheitserscheinungen werden dadurch hervorgerufen, daß das dominante Gen, welches die Bildung eines bestimmten Enzyms auslösen könnte, fehlt. Durch dieses Enzym wird normalerweise die mit der Nahrung aufgenommene Aminosäure Phenylalanin umgebaut. Die bei PKU-Patienten vorhandenen beiden mutierten Gene können kein genügend aktives Enzym induzieren. Es kommt zu einer Anhäufung von Phenylalanin im Körper. Als Folge davon werden der Stoffwechsel der Nervenzellen sowie andere Körperfunktionen beeinträchtigt. An der erhöhten Phenylalaninkonzentration im Blut läßt sich die Krankheit erkennen.

Werden PKU-Patienten von Geburt an durch phenylalaninarme Kost ernährt, können sie sich normal entwickeln. In der DDR werden als einem der ersten Länder der Welt aus diesem Grund seit 1967 alle Neugeborenen auf PKU untersucht. Die bereits nach wenigen Tagen ermittelten PKU-Patienten können sofort mit der entsprechenden, industriell hergestellten Diät kostenlos versorgt werden. ③ ④



Diagnostik der PKU (Feststellen der Phenylalaninkonzentration im Blut)

- ① Was ist unter Genmutationen zu verstehen?
- ② Wie können genetisch bedingte Erkrankungen entstehen?
- ③ Inwiefern können die Mendelschen Gesetze in der Humangenetischen Beratung zur Risikoeinschätzung herangezogen werden?
- ④ Was wissen Sie über die Behandlung der Patienten mit der Stoffwechselerkrankung PKU?



Mit molekularbiologischen Methoden einschließlich der Zellkulturtechnik bemühen sich Humangenetiker und Molekularbiologen gegenwärtig weltweit um die Aufklärung auch anderer DNS-Veränderungen, die zu Krankheiten führen. Ziel der Bemühungen ist es, auch für solche Krankheiten Behandlungs- oder Heilungsmöglichkeiten zu entwickeln.

Bei mehreren solcher Stoffwechselerkrankungen wie PKU wird gegenwärtig auch versucht, die Gene für das jeweils fehlende Enzym aus Bakterien- oder Säugerzellen zu isolieren, zu klonieren (→ S. 62) und mit Hilfe von Überträgern (Viren) in Zellen derjenigen Menschen einzuführen, die an dem Enzymdefekt leiden.

■ Viele Erkrankungen des Menschen sind durch die Wirkung mehrerer bis vieler Gene bedingt, die auf verschiedenen Chromosomenpaaren lokalisiert sein können.

Eine durch die Veränderung mehrerer Gene bedingte Erkrankung ist eine bestimmte Form der Zuckerkrankheit. Bei ihr ist die Synthese von Insulin gestört oder sein Wirken im Stoffwechsel aus verschiedenen Ursachen behindert. Dadurch kann der mit der Nahrung aufgenommene und ins Blut gelangte Zucker nur in ungenügendem Maße abgebaut werden. Die Behandlung erfolgt durch Zufuhr von Insulin (→ S. 64) sowie durch eine speziell eingestellte Diät, körperliche Tätigkeit und Verhinderung von Übergewicht. □

Der größte Teil genetisch bedingter Erkrankungen ist auf die Vermehrung und Weitergabe von in der Familie schon vorhandenen Defektgenen zurückzuführen. Solchen genetisch bedingten Krankheiten kann in vielen Fällen durch eine rechtzeitig durchgeführte humangenetische Beratung vorgebeugt werden (→ S. 50). ①

## Aufgaben zur Wiederholung

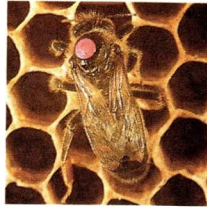
---

- 1 Erläutern Sie die Verdopplung der DNS und kennzeichnen Sie die Bedeutung dieses Vorgangs für den Fortbestand des Lebens auf der Erde!
- 2 Stellen Sie eine Beziehung her zwischen der Verdopplung der DNS, der Verdopplung der Chromosomen und dem gesetzmäßigen Auftreten von Merkmalen in der Generationenfolge gemäß der Mendelschen Gesetze!
- 3 Was sind Gene?
- 4 Eiweiße sind artspezifisch. Was verstehen Sie darunter? Erklären Sie, warum bei Blutübertragung nur blutgruppengleiches Blut übertragen werden darf!
- 5 Nennen Sie die Bestandteile des Blutes und deren Funktion!
- 6 Welche Blutgruppen gibt es?
- 7 Erläutern Sie die Transport-, Schutz- und Abwehrfunktion des Blutes!
- 8 Nennen Sie Möglichkeiten des Entstehens der Immunität gegenüber Infektionskrankheiten!
- 9 Nennen Sie Maßnahmen zur Verhütung von Infektionskrankheiten und begründen Sie diese!
- 10 Warum ist die Teilnahme aller Bürger an den gesetzlich vorgeschriebenen Impfungen Pflicht?
- 11 Kennzeichnen Sie den Prozeß der Energiefreisetzung in grünen Pflanzen, bei dem ein Teil der Energie für den Aufbau von DNS-Strängen und Eiweißen dient!
- 12 Charakterisieren Sie einige Ihnen bekannte biotechnologische Verfahren und deren Einsatz in der Produktion, besonders in der Naturerhaltung!
- 13 Begründen Sie, daß biotechnologische Verfahren und die Gentechnik einen gravierenden Eingriff in Lebensprozesse darstellen! Werten Sie diese Eingriffsmöglichkeiten!
- 14 Warum sind Bakterien und Viren geeignete Objekte in der Gentechnik?

## Zusammenwirken innerer und äußerer Faktoren bei der Merkmalsausbildung



Arbeitsbiene



Königin



Drohn

Von den Eltern werden auf die Nachkommen keine fertigen Merkmale vererbt, sondern Anlagen für die Ausbildung von Merkmalen, die Gene. Ob und in welchem Ausmaß die mit den Genen weitergegebenen Informationen realisiert werden, das heißt in der Merkmalsausprägung erkennbar werden, hängt weitgehend von der Umwelt ab. Die Umwelteinwirkung ist neben Neukombination und Mutation eine weitere Ursache für die große Variabilität der Organismen.

Unter Umwelt eines Organismus ist die Gesamtheit aller auf einen Organismus einwirkenden biotischen und abiotischen Faktoren zu verstehen. Auf Umweltfaktoren können die Organismen innerhalb ihres Toleranzbereiches reagieren. Jeder Toleranzbereich wird durch ein Minimum und ein Maximum begrenzt. Das Vermögen eines Organismus, innerhalb seines Toleranzbereiches Schwankungen eines Umweltfaktors zu ertragen, ist die ökologische Potenz. Die ökologische Potenz ändert sich im Verlauf der Individualentwicklung des Organismus.

Toleranzbereich und ökologische Potenz eines Organismus sind durch seine Gene festgelegt. Unter übereinstimmenden Umweltbedingungen bilden alle Organismen einer Population, die für ein bestimmtes Merkmal die gleichen Gene und damit den gleichen Toleranzbereich haben, dieses Merkmal in gleicher Form aus. Bei einem Individuum mit ebenfalls den gleichen Genen, das aber in anderer Umwelt lebt, kann das Merkmal verändert ausgebildet sein (→ S. 71). Solche Veränderungen sind Modifikationen. Sie werden durch das Einwirken solcher abiotischer und biotischer Umweltfaktoren, wie Nahrung, Luft, Temperatur, Licht auf die Merkmalsausbildung hervorgerufen. Diese Faktoren nehmen dabei keinen Einfluß auf die Gene selbst. Beim Menschen können auch gesellschaftliche Faktoren verändernd auf die Merkmalsausbildung einwirken. ②

Auch die meisten Merkmale des Menschen werden durch das Zusammenwirken von Genen und Umweltfaktoren geprägt. Im Gegensatz zu allen anderen Organismen ist der Mensch jedoch befähigt, seine Umwelt selbst zu seinen Gunsten zu gestalten.

■ Die Erbanlagen eineiiger Zwillinge sind identisch, da die Zwillinge aus einer gemeinsamen befruchteten Eizelle hervorgegangen sind. Trotzdem unterscheiden sich die Zwillinge mit fortschreitendem Lebensalter in einigen körperlichen und psychischen Merkmalen immer mehr voneinander, da sie auch bei gemeinsamem Aufwachsen in vieler Hinsicht verschiedenen Umweltbedingungen ausgesetzt sind. Bei getrennt aufwachsenden eineiigen

① *Wie ist die Fürsorge unserer Gesellschaft für Mitmenschen gewährleistet, die von genetisch bedingten Krankheiten betroffen sind?*

② *Was verstehen Sie unter Modifikationen?*



Zwillingen sind die zu beobachtenden Unterschiede noch wesentlich größer. Trotzdem sind sie einander ähnlicher als zweieiige Zwillinge, da ihre genetisch bedingten Toleranzbereiche übereinstimmen. □

► **Modifikationen sind durch Umweltfaktoren verursachte Veränderungen der Merkmale ohne Beeinflussung der Gene.** ①

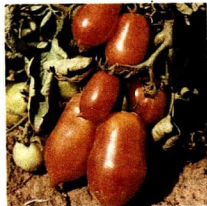
Voraussetzung für das Entstehen von Modifikationen ist die Veränderbarkeit der Merkmale, das heißt ein mehr oder weniger großer Toleranzbereich. Die meisten Merkmale sind veränderbar, durch die Umwelt beeinflussbar.

Einige Merkmale (z. B. die Blutgruppen beim Menschen) sind nicht durch die Umwelt zu beeinflussen und werden so lange in gleicher Weise ausgeprägt, wie ihre Gene unverändert erhalten bleiben.

Gene, die durch die Umwelt veränderbaren Merkmalen zugrundeliegen, bedingen nicht die identische Ausbildung einer ganz bestimmten Merkmalsform. Sie bestimmen nur die Art des Merkmals und die Grenzen, innerhalb derer das Merkmal variieren kann. Die Ausprägung des Merkmals (z. B. Größe oder Masse eines Organs oder eines Organismus) erfolgt im Zusammenwirken mit der Umwelt. Eine Veränderung über die Grenzen dieses durch das Gen festgelegten Toleranzbereiches hinaus ist auch unter extremen Umwelteinflüssen nicht möglich.

Die Individuen einer Population sind in artspezifischen Merkmalen relativ ähnlich und über Generationen hinweg in diesen Merkmalen relativ konstant. Ursache dieser relativen Konstanz sind bestimmte, weitgehend unverändert an die Nachkommen weitergegebene Gene. Angehörige einer Population unterscheiden sich aber auch voneinander. Ursache dieser Variabilität in der Merkmalsausprägung sind neben Mutationen und Neukombinationen auch Modifikationen.

► **Durch Modifikationen können sich Organismen einer Population im Verlauf ihrer Entwicklung in einem genetisch begrenzten Ausmaß an bestimmte Umweltbedingungen anpassen.**



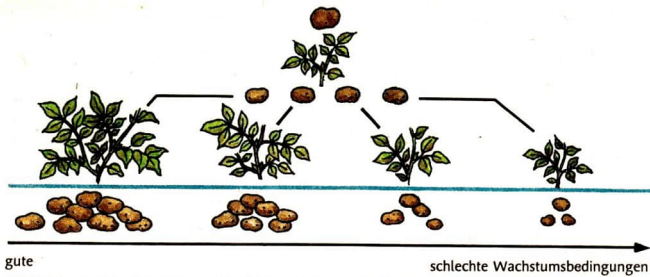
Durch Mutation entstandene unterschiedliche Tomatensorten

Die Variabilität der Organismen einer Population ist also die Summe aus erblicher Variabilität und nichterblicher Variabilität. ②

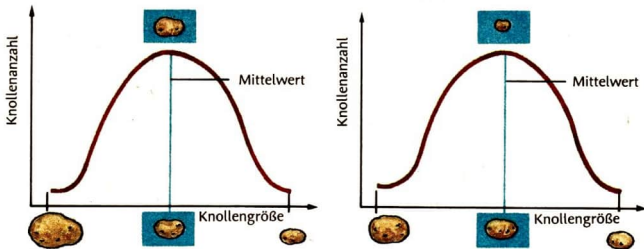
Ein Ausdruck erblicher Variabilität sind unterschiedliche Erträge von genetisch verschiedenen Kartoffelsorten bei gleichen Kulturbedingungen. Ausdruck nichterblicher Variabilität sind die unterschiedlichen Erträge genetisch gleicher Kartoffeln (von derselben Stamm-pflanze) bei unterschiedlichen Wachstumsbedingungen (→ Abb. S. 71).

Trotz unterschiedlicher Größe sind diese Kartoffeln aber nicht in ihren Genen verändert: Unter gleichen Umweltbedingungen (z. B. gleiche Bodenqualität, gleiche Pflege) liefern kleine und große Kartoffeln einer Stamm-pflanze gleiche Erträge. Sind optimale Anbaubedingungen für diese Kartoffelsorte gefunden, können darüber hinausgehende Veränderungen der Kulturbedingungen (z. B. höhere Düngergabe, reichlichere Bewässerung) nicht zu einer weiteren Ertragssteigerung führen.





Kartoffeln einer Sorte bei unterschiedlichen Wachstumsbedingungen (durch Modifikation)



Erträge verschieden großer Kartoffeln einer Sorte bei gleichen Bedingungen (schematisch)

Durch die Anwendung verschiedener Züchtungsmethoden (→ S. 40) wird versucht, Tiere und Pflanzen zu züchten, deren obere Grenze des Toleranzbereiches noch weit hinausgeschoben ist. Die so verbesserte genetische Potenz führt allerdings nur dann zu einer Leistungssteigerung in der Tier- und Pflanzenproduktion, wenn es gleichzeitig gelingt, die äußeren Bedingungen in Pflanzenbau und Tierhaltung optimal zu gestalten.

Das Hauptziel der derzeitigen intensiven Pflanzenproduktion in der Landwirtschaft besteht darin, durch pflanzenbauliche Maßnahmen das Ertragspotential der Kulturpflanzen soweit wie möglich auszuschöpfen. Von Fachleuten wird geschätzt, daß unter mitteleuropäischen Verhältnissen bei unseren Hauptgetreidearten Erträge von mehr als 200 dt/ha möglich sind. Voraussetzung dafür ist die Schaffung optimaler Anbaubedingungen. Gegenwärtig liegen die Spitzenerträge bei etwa 100 dt/ha. <sup>③</sup>

In der DDR kommt der Schafproduktion zunehmend volkswirtschaftliche Bedeutung zu (Verringerung der Wollimporte, Erhöhung der Fleischexporte, Produktion von Pelzen und Leder). Bis 1990 soll der Schafbestand auf etwa 3 Millionen Tiere anwachsen. Durch Züchtung können Woll- und Fruchtbarkeitsresultate bedeutend gesteigert werden.

- ① Wodurch unterscheiden sich Modifikationen von Mutationen?
- ② Erläutern Sie die unterschiedliche Merkmalsausbildung bei Individuen einer Population an einem Beispiel!
- ③ Informieren Sie sich anhand der Direktive des XI. Parteitag der SED über weitere Zielstellungen zur Erhöhung der Pflanzenproduktion!



Woll- und Fruchtbarkeitsergebnisse  
von Merinofleischschaf (MF) und Merinolangwollschaf (ML) in der DDR

Jahr	Reinwollertrag (kg/Jahr)				geborene Lämmer je 100 Geburten	
	Zuchtböcke		weibliche Jungschafe			
	MF	ML	MF	ML	MF	ML
1965	3,02	4,06	3,24	2,57	135	125
1975	6,19	5,57	4,37	4,30	155	150
1983	6,23	7,07	4,43	4,91	154	149

In der Tier- und Pflanzenproduktion gewinnt die wissenschaftliche Bestandsführung zunehmend an Bedeutung. Persönliche Erfahrungen allein genügen nicht mehr, die anspruchsvollen Ziele zu erreichen.

Bisher wurden in der Pflanzenproduktion Ertragssteigerungen vor allem durch die Einführung neuer Sorten, den verstärkten Einsatz mineralischer Düngemittel und von Herbiziden erzielt. Gegenwärtig kommt es mehr und mehr darauf an, die biologischen Möglichkeiten zur Ertragssteigerung konsequenter zu beachten und auszunutzen. Deshalb werden im Rahmen der wissenschaftlichen Bestandsführung alle Faktoren erfaßt, die Einfluß auf die Ertragssteigerung haben. Für jedes Flurstück werden beispielsweise Bodenqualität, Fruchtfolge, Bearbeitungs- und Bewässerungsmaßnahmen, Düngergaben und Erträge registriert. Aus diesen Daten lassen sich mit Hilfe moderner Computertechnik die ackerbaulichen Maßnahmen ermitteln, die zu einer optimalen Nutzung der genetischen Potenz der Organismen führen. <sup>①</sup>

## Aufgaben zur Wiederholung

- 1 Nennen Sie gesellschaftliche Faktoren, die auf die körperliche Entwicklung des Menschen Einfluß nehmen!
- 2 Was verstehen Sie unter Umwelt!
- 3 Erläutern Sie die unterschiedliche Ausbildung von weiblichen Bienen als Modifikation!
- 4 Wodurch können sich Organismen, die einer Art angehören, genetisch unterscheiden?
- 5 Nennen Sie aus Ihrer Umgebung Beispiele für Modifikationen in einer Art! Begründen Sie Ihre Auswahl und diese Erscheinung!
- 6 Was sind Modifikationen?
- 7 Nennen Sie Beispiele dafür, wie sich Lebewesen an veränderte Umweltbedingungen anpassen vermögen!
- 8 Erläutern Sie in bezug auf den Zusammenhang von Merkmalsausprägungen und Umweltfaktoren Ihre Kenntnisse über die Bedeutung der Stoffwechselfolgenhänge für eine gesunde Ernährung!
- 9 Beruht die Übergewichtigkeit bei Menschen auf Modifikation oder Mutation? Begründen Sie Ihre Meinung! Nennen Sie Ursachen für das Auftreten von Übergewichtigkeit!
- 10 Begründen Sie die Ähnlichkeit und die Unterschiedlichkeit von Geschwistern!

- 
- ① Welche Bedeutung hat die wissenschaftliche Bestandsführung für die Steigerung der Hektarerträge in der Pflanzenproduktion?
-



Pflanzen  
und Tiere  
am See

## Evolution der Organismen

---

Gegenwärtig sind etwa 1,5 Millionen Arten von Organismen bekannt. Wissenschaftler vermuten, daß ihre Zahl noch höher ist. Funde aus verschiedenen geologischen Schichten zeigen, daß heute lebende Arten große Ähnlichkeit mit Organismen aufweisen, die schon vor Jahrmillionen gelebt haben. Dazu gehören viele Einzeller (z. B. Blaualgen, Geißeltiere), verschiedene Wirbellose (z. B. Muscheln, Tintenschnecken) und einige Pflanzen (z. B. Moose, Farnpflanzen). Manche Arten weisen gegenüber früher lebenden ähnlichen Organismengruppen deutliche Unterschiede auf (z. B. der Mensch).

Die Millionen heute noch existierenden unterschiedlichen Arten sind nur ein ganz geringer Bruchteil dessen, was die Evolution im Verlauf der vergangenen 4 Milliarden Jahre hervorgebracht hat. Über 99 Prozent aller jemals entstandenen Arten sind ausgestorben.

Zu den ausgestorbenen Organismengruppen gehören beispielsweise der Urvogel und die Saurier.

① ② ③ ④

Über die Entstehung der verschiedenen Arten haben die Menschen im Verlauf der Jahrtausende verschiedene Auffassungen entwickelt.

Schon lange vor Beginn unserer Zeitrechnung gab es auch Vorstellungen über eine natürli-

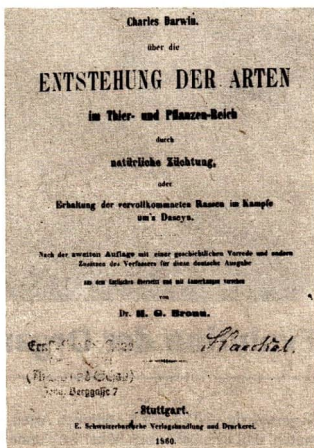
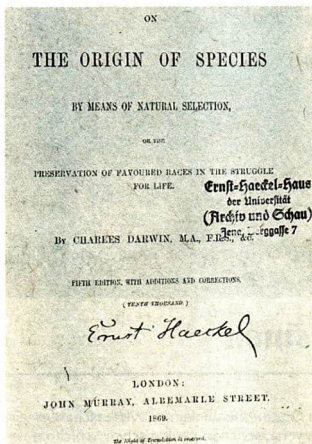


che Entstehung der Arten. Sie wurden im Verlauf der Jahrhunderte immer wieder aufgegriffen, konnten sich jedoch nicht durchsetzen.

Die meisten Erklärungen gingen davon aus, daß dieser Vorgang von übernatürlichen Kräften gesteuert würde. Weitgehend stimmten die Meinungen darin überein, daß die Arten einmal geschaffen wurden und seither nahezu unverändert erhalten geblieben sind. Diese Auffassung war als Lehrmeinung bis über die Mitte des 19. Jahrhunderts hinaus verbreitet.

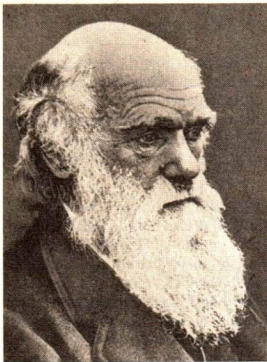
## Wissenschaftliche Abstammungslehre von Charles Darwin

1859 erschien in London ein Buch, das schon durch seinen Titel in Widerspruch zu der herrschenden Auffassung über die Herkunft der Arten geriet: „Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl“. Geschrieben hatte es Charles Darwin, ein englischer Privat-



Titelblatt aus Darwins Werk „Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl“ (links: Originalausgabe, rechts: deutsche Übersetzung)

- ① Stellen Sie in einer Tabelle die wichtigsten Gruppen der Wirbellosen und der Wirbeltiere zusammen! Charakterisieren Sie an 2 Beispielen die wesentlichen Merkmale von Vertretern jeder Gruppe!
- ② Weisen Sie nach, daß eine Zauneidechse <sup>ingerahnt</sup> und eine Ringelnatter näher miteinander verwandt sind als eine Zauneidechse und ein Wasserfrosch!
- ③ Raps und Acker-Senf sind Kreuzblütengewächse. Begründen Sie diese Aussage!
- ④ Nennen Sie Beispiele für Nacktsamer! Ordnen Sie diese nach der Verwandtschaft! Nutzen Sie zu Ihrer Orientierung auch „Biologie in Übersichten“!



Charles Darwin (1809 bis 1882)



Die „Beagle“

gelehrter, der bis dahin durch eine Reihe von naturwissenschaftlichen Reiseberichten und zoologischen Schriften bekannt geworden war. Erregte „Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl“ nach Aussage seines Verfassers zunächst „sehr wenig Aufmerksamkeit“, so war sie bald Gegenstand heftiger Auseinandersetzungen. Die darin von Darwin aufgestellte Theorie über eine natürliche Entwicklung der Arten im Verlauf langer Zeiträume fand bald zahlreiche Anhänger, aber auch viele erbitterte Gegner. Die Auseinandersetzungen über Darwins Auffassungen dauerten über ein Jahrhundert an und sind auch in der Gegenwart noch nicht überall in der Welt abgeschlossen.

Wer war der Mann, der einen solchen Meinungsstreit auslösen konnte, wie kam er zu seinen die Wissenschaft revolutionierenden Auffassungen? Worin bestand das Neue, das Wesentliche seiner Theorie?

**Aus Darwins Leben.** Charles Darwin wurde am 12. Februar 1809 als 5. Kind eines wohlhabenden englischen Landarztes in der Stadt Shrewsbury (England) geboren. Ein Medizinstudium brach er nach 2 Jahren ab und studierte dann Theologie. Dieses Studium beendete er erfolgreich mit dem Erwerb eines akademischen Grades. Schon während der Studienzeit befaßte er sich aus Liebhaberei mit dem Sammeln von Tieren und beschäftigte sich mit zoologischen und geologischen Problemen. Obwohl er nie Naturwissenschaften studierte, erwarb er gute Kenntnisse. Er holte sich Rat bei vielen bekannten Gelehrten seiner Zeit. Darwin erhielt die Möglichkeit, von 1831 bis 1836 auf dem Segelschiff „Beagle“ an einer Weltumseglung teilzunehmen, deren Hauptziel die Vermessung der Küsten Südamerikas und Australiens und die Überarbeitung der gültigen Seekarten war. Ihm wurde die Aufgabe übertragen, während dieser Reise Pflanzen und Tiere zu beobachten und zu sammeln sowie geologische Beobachtungen durchzuführen.

Von der Richtigkeit der Lehre, daß die einmal geschaffenen Arten unverändert erhalten blieben (Lehre von der Konstanz der Arten), war er fest überzeugt. Während der Reise betrieb Darwin ein intensives Selbststudium, besonders beschäftigte er sich mit Geologie. Dadurch erwarb er umfangreiche systematische Kenntnisse in den Naturwissenschaften.

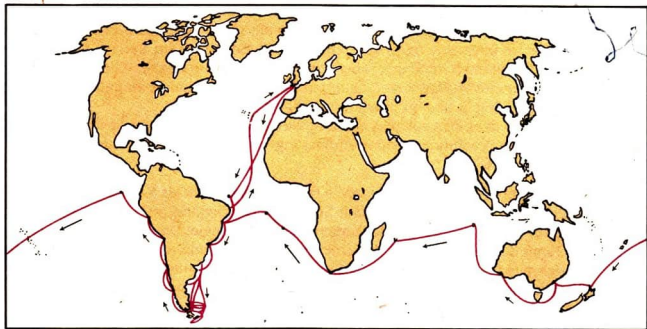
■ Großen Eindruck hinterließen auf Darwin die Auffassungen des Geologen Charles Lyell (1797 bis 1875). Lyell war der Meinung, daß die Veränderungen der Erdoberfläche durch solche Kräfte, wie sie auch gegenwärtig wirken (z. B. Wind, Wasser, Tätigkeit der Vulkane) in langen Zeiträumen entstanden seien. Damit trat er gegen eine damals herrschende Auf-



fassung auf, nach der die Gestaltung und Besiedlung der Erdoberfläche die Folge von Katastrophen wäre. Viele Beobachtungen Darwins während der Reise bestätigten die Vorstellungen Lyells. □

Darwin kehrte von seiner Weltreise mit veränderten Auffassungen über die Entstehung der Arten zurück. Er war nun überzeugt, daß die heute lebenden Organismen veränderte Nachkommen früher lebender, zum Teil inzwischen ausgestorbener Arten sind. Die Frage nach den Ursachen der Entwicklung konnte er zunächst noch nicht beantworten. Bis zu seinem Tode im Jahre 1882 widmete Darwin seine ganze Kraft der Auswertung des auf der Reise gesammelten Materials und der Erforschung von Ursachen und Verlauf der Entwicklung der Arten.

**Verlauf und Ergebnisse der Weltreise.** Während der Reise mit der „Beagle“ beobachtete, sammelte und beschrieb Darwin eine sehr große Anzahl von Pflanzen und Tieren. Längere Zeit hielt sich Darwin an den Küsten Südamerikas auf und unternahm Exkursionen ins Landesinnere. Dort fand er unter anderem Skelette von Riesenfaultieren und riesigen kamelartigen Tieren, die den in diesem Gebiet lebenden Lamas sehr ähnlich waren. Auf den Galapagos-Inseln entdeckte er Pflanzen und Tiere, die große Ähnlichkeit mit Arten auf dem südamerikanischen Kontinent aufwiesen. Er vermutete, daß sie von dort gekommen waren, obwohl die Entfernung etwa 1000 km beträgt. Von den in Südamerika lebenden Arten unterschieden sie sich aber auch in vielen Merkmalen. Unter den auf diesen Inseln herrschenden Bedingungen hatten sie sich verändert. Darwin beobachtete beispielsweise, daß auf den einzelnen Inseln unterschiedliche Arten von Schildkröten und Grundfinken lebten, die jeweils zur gleichen Gruppe wie die aus Südamerika eingewanderten gehörten.



Reiseroute der „Beagle“

■ Darwin beschäftigte sich nach seiner Rückkehr vor allem damit, die Ursachen der Veränderungen der Arten zu finden. Dazu trug er alle erreichbaren Kenntnisse über Veränderungen von Tieren und Pflanzen zusammen. Er wertete umfangreiche Literatur aus, studierte die Züchtung von Tieren in der landwirtschaftlichen Praxis und bezog in seine Überlegungen die Erfahrungen von Tier- und Pflanzenzüchtern ein. Er züchtete selbst Haustauben und andere Haustiere. □

Darwin erkannte die vom Züchter vorgenommene künstliche Zuchtwahl (Auslese) als die Ursache für die Entstehung neuer Rassen von Haustieren und Sorten von Kulturpflanzen. Aus dieser Erkenntnis leitete er das Prinzip der Entstehung neuer Arten in der Natur ab. Er ging davon aus, daß auch in einer Population Individuen mit unterschiedlichen Merkmalen



vorkommen. Über längere Zeiträume bleiben in der Population nur diejenigen Individuen erhalten, die den herrschenden Lebensbedingungen am besten entsprechen. Sie pflanzen sich stärker fort, und viele ihrer Nachkommen bleiben am Leben. Ändern sich aber die Umweltbedingungen, dann können andere in der Population vorhandene oder sich entwickelnde Varianten an die veränderten Bedingungen besser angepaßt sein als die bisherigen. Nunmehr haben sie die größeren Chancen zur Fortpflanzung. Sie können allmählich zur vorherrschenden Form der Population werden. Sind die Änderungen der Umweltbedingungen jedoch zu groß und gibt es in der Population keine Individuen, die den neuen Bedingungen angepaßt sind, stirbt die Population oder sogar die Art aus.

Ein besonders eindrucksvolles Beispiel für das Wirken der natürlichen Auslese in Populationen fand Darwin auf der Insel Madeira, die etwa 500 km vor der Westküste Afrikas im Atlantischen Ozean liegt. Dort leben etwa 550 Käferarten. 200 davon haben so verkümmerte Flügel, daß sie nicht fliegen können. Über die Insel wehen ständig kräftige Winde. Sie tragen fliegende Käfer häufig aufs offene Meer, wo sie zugrunde gehen. Das wiederholt sich schon seit langen Zeiträumen. Individuen, die verkümmerte Flügel hatten und sich nicht in die Luft erheben konnten, blieben erhalten und kamen zur Fortpflanzung. Durch diese über viele Generationen in der gleichen Richtung wirkende natürliche Auslese ging wahrscheinlich das Flugvermögen verloren, so entstanden neue Käferarten, die flügellos waren und erhalten blieben.

Darwin vermutete die Ursachen für die Herausbildung typischer Organismenformen in bestimmten Gebieten in der Vergangenheit der Erde. In „Die Entstehung der Arten“ schrieb er: „... nach meiner Theorie (besteht die Ursache) lediglich in der Vererbung, derjenigen Ursache, welche allein, soweit wir Sichereres wissen, gleiche oder ähnliche Organismen, wie die Varietäten sind, hervorbringt. Die Unähnlichkeit der Bewohner verschiedener Gegenden wird durch die Natürliche Züchtung und, in einem ganz untergeordneten Grade, dem unmittelbaren Einfluß äußerer Lebensbedingungen zuzuschreiben sein.“ Darwins Erkenntnisse lassen sich so zusammenfassen:

1. Die Individuen einer Art bringen mehr Nachkommen hervor als zur Erhaltung der Art notwendig wären.
2. Die Individuen einer Art variieren in ihren Merkmalen.
3. Die größte Chance zur Fortpflanzung haben Individuen, die den herrschenden Umweltbedingungen am besten angepaßt sind. Ändern sich die Umweltbedingungen, haben andere bessere Chancen. Bisher Angepaßtes kann nun unangepaßt sein und aussterben.
4. Wirken gleiche Umweltbedingungen über viele Generationen auf die Population ein, können durch die Auslese neue Arten aus dem Prozeß hervorgehen.

► **Nach Darwin entstehen neue Arten durch das Zusammenwirken von erblichen Veränderungen, natürlicher Auslese und Isolation.**

Diese im Verlauf vieler Jahre als Ergebnis gründlicher Forschungen gewonnenen Erkenntnisse legte Darwin schriftlich nieder. Erste Gedanken zu diesem Problem schrieb er schon kurz nach Beendigung der Weltreise auf. Zur Veröffentlichung seines Werkes „Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl“ konnte er sich erst 1859 entschließen, mehr als 20 Jahre nach seiner Rückkehr von der Fahrt mit der „Beagle“.

Den Menschen bezog Darwin zunächst nicht in seine Überlegungen mit ein. Erst in dem 1871 erschienenen Werk „Die Abstammung des Menschen und die geschlechtliche Zuchtwahl“ legte er dar, daß die Entstehung des Menschen nach den gleichen Entwicklungsgesetzen erfolgt sei, wie er sie für die Tiere formuliert habe.

Darwin gelang es, die Entstehung der Arten wissenschaftlich zu erklären. Er wies nach, daß durch Variabilität in den Populationen und durch Auslese im Verlauf langer erdgeschichtlicher Zeiträume neue Arten entstehen können. Damit schuf er eine wissenschaftlich gesicherte Vorstellung über die Abstammung und Entwicklung der Organismen. Da die Gesetzmäßigkeiten der Vererbung noch nicht entdeckt waren, konnte er jedoch die Ursache der Variabilität nicht erklären (↗ S. 40).

Mit der Begründung der wissenschaftlichen Abstammungslehre durch Darwin erhielt die



Biologie eine neue wissenschaftliche Grundlage. Damit war den damals verbreiteten Auffassungen über die Unveränderlichkeit der Arten der Boden entzogen. Die Theorie Darwins hatte weit über die Biologie hinaus große Bedeutung. Sie lieferte Beweise für die natürliche Veränderung und Entwicklung in der Natur und deren Erkennbarkeit durch den Menschen. Sie regte viele Menschen an, im Zusammenhang damit auch über die Zustände in der menschlichen Gesellschaft und Möglichkeiten zu ihrer Veränderung nachzudenken. Auch Karl Marx und Friedrich Engels studierten Darwins Werk und erkannten seine Bedeutung.

## Auffassungen Lamarcks über die Herkunft der Arten

---

Schon vor Darwin hat der französische Naturforscher Jean Baptiste Lamarck Vorstellungen über die Herkunft der Arten formuliert. Auch er war der Auffassung, daß sich neue Arten aus anderen Arten entwickelt haben. Lamarck ging davon aus, daß die Organismen sich in der Aufeinanderfolge der Generationen verändert haben. Diese Veränderungen führte er auf Einwirkungen der Umwelt zurück.

■ J. B. Lamarck wurde 1744 als 11. Kind einer armen Adelsfamilie in Frankreich geboren. Ursprünglich sollte er Geistlicher werden, ging jedoch als Siebzehnjähriger zur Armee und wurde Offizier. In seiner Freizeit beschäftigte er sich mit Pflanzen. Als er 1768 aus Gesundheitsgründen den Militärdienst aufgeben mußte, ging er nach Paris und studierte Medizin und Botanik. Bereits 1778 erschien seine dreibändige „Flora von Frankreich“, durch die er schnell berühmt wurde. Nach der Französischen Revolution, die von Lamarck begeistert begrüßt wurde, übernahm er 1794 im neugegründeten „Naturhistorischen Nationalmuseum“ Paris eine Professur für Zoologie. 1815 bis 1822 veröffentlichte er eine siebenbändige „Naturgeschichte der wirbellosen Tiere“. Obwohl er 1819 erblindete, führte er seine wissenschaftliche Arbeit mit Hilfe seiner Töchter weiter. Er starb 1829. □

Seine Auffassung über die Entstehung der Arten legte Lamarck in seinem Hauptwerk „Zoologische Philosophie“ ausführlich dar. Das Buch erschien 1809.

■ Lamarck formulierte zwei „Naturgesetze“ über die Beziehungen zwischen den Organismen und ihrer Umwelt.

1. Häufiger oder dauernder Gebrauch eines Organs über viele Generationen führt zu dessen kräftiger Ausbildung (z. B. langer Hals der Giraffe zum Erreichen der Laubblätter an den Bäumen), ständiger Nichtgebrauch schwächt das Organ oder läßt es verschwinden.
2. Was die Tiere durch Umwelteinwirkungen erwerben oder verlieren, wird auf die Nachkommen vererbt, wenn die erworbenen Veränderungen bei beiden Eltern vorhanden sind. □

Lamarck gründete seine Entwicklungslehre auf zahlreiche Beobachtungen an Haustieren und Kulturpflanzen. Viele Erkenntnisse sammelte er bei umfangreichen Studien an wirbellosen Tieren. Er hatte richtig erkannt, daß Veränderungen bei Organismen durch äußere und innere Faktoren bewirkt werden. Als inneren Faktor nahm er den Willen der Tiere zur Veränderung an.

Seine Vorstellungen über die Ursachen der Veränderungen (z. B. Gebrauch oder Nichtgebrauch eines Organs und der Wille der Tiere als innerer Faktor) wurden inzwischen eindeutig widerlegt. ① ② ③

Lamarck hat sich große Verdienste um die Abstammungslehre erworben. Er wandte sich gegen die Auffassungen von der Unveränderlichkeit der Arten und erkannte, daß Veränderungen über lange Zeiträume erfolgen.





## Die Verbreitung der Abstammungslehre Darwins durch Ernst Haeckel

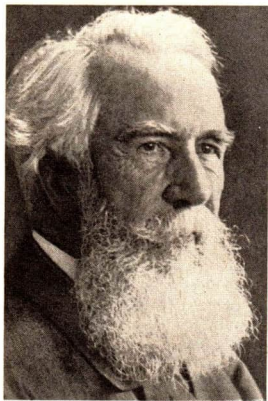
Obwohl Darwins Theorie bereits unter seinen Zeitgenossen zahlreiche Anhänger fand, setzte sie sich erst in einem jahrzehntelangen, harten Kampf mit anderen Auffassungen durch. Eine der Ursachen dafür war, daß Darwin einige Aussagen seiner Theorie nicht erklären konnte, weil dazu notwendige Kenntnisse noch nicht bekannt waren.

■ In jenen Jahren waren die Arbeiten Gregor Mendels über die Gesetzmäßigkeiten der Vererbung wenig verbreitet. Über Mutationen, ihre Auslösung und ihre Wirkungen, über Gene und ihre Wechselbeziehungen sowie über genetische Prozesse in Populationen war noch nichts bekannt (→ S. 87). Deshalb konnte Darwin seine Vorstellungen über die Entstehung abweichender Merkmale und ihre Weitergabe an die Nachkommen sowie die Wirkung der Auslese bei der Entstehung neuer Arten nicht erklären. □

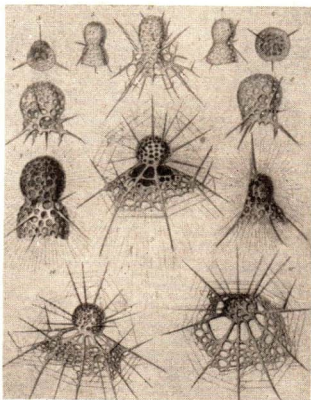
Die Auseinandersetzungen um die Lehre Darwins hatten jedoch vor allem gesellschaftliche Ursachen.

Zu den Wissenschaftlern, die sich besonders um die Durchsetzung der Lehre Darwins verdient machten, gehörten Thomas Henry Huxley in England, Kliment Arkadjewitsch Timirjassow in Rußland und Ernst Haeckel in Deutschland.

■ Am 16. Februar 1834 wurde Ernst Haeckel in Potsdam geboren. Schon als Schüler in-

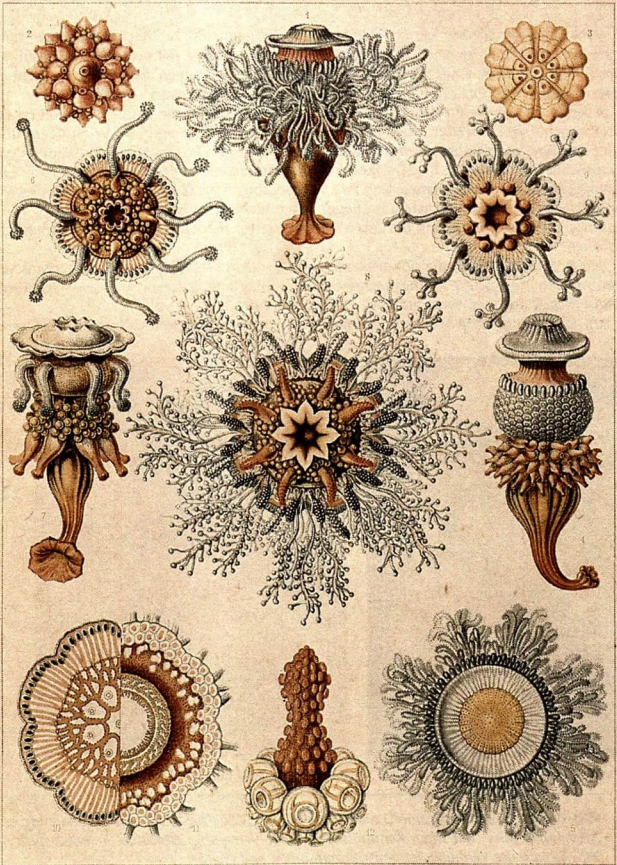


Ernst Haeckel (1834 bis 1919)



Radiolarien (Zeichnung: E. Haeckel)

- ① *Widerlegen Sie die Auffassung Lamarcks, daß der „Wille der Tiere“ zur Veränderung von Merkmalen führt, mit Ihren Kenntnissen über die Vererbung! Beachten Sie dabei auch die Möglichkeit der Veränderung von Chromosomen und Genen!*
- ② *Erläutern Sie mit Hilfe Ihrer Kenntnisse über die Vererbung, daß die Ausbildung von Merkmalen durch innere und äußere Faktoren beeinflusst wird!*
- ③ *Warum hat Lamarcks Entwicklungslehre große Bedeutung für die Herausbildung wissenschaftlicher Auffassungen über die Entstehung der Arten?*



Siphonophorae - Staatsquallen

Staatsquallen (Zeichnung: E. Haeckel)





■ In der „Generellen Morphologie“ stellte Haeckel auch die Theorie auf, daß die individuelle Entwicklung eines jeden Lebewesens eine kurze Wiederholung seiner Stammesentwicklung seien. Er formulierte diese Auffassung als „Biogenetisches Grundgesetz“. Er vertrat die Auffassung, daß beispielsweise ein Säugetier während seiner Embryonalentwicklung die Stufen wiederholt, die von den Fischen bis zu den Säugern in langen Zeiträumen durchlaufen wurden. Beispielsweise treten während der Embryonalentwicklung des Menschen Kiemenspalten wie bei Fischen und eine lange Schwanzwirbelsäule wie bei anderen Wirbeltieren auf. Damit wurde durch Haeckel ein Beitrag zur Bestätigung der Darwinschen Abstammungslehre geleistet. □

Haeckels wirksamste Schrift zur Verbreitung der Auffassungen Darwins, die „Welträtsel“, wurde 1899 veröffentlicht. Sie fand großes Interesse in breiten Kreisen der Bevölkerung und trug auch bei vielen Arbeitern zur Herausbildung eines materialistischen Weltbildes bei. Durch seinen unerschrockenen Kampf für die Durchsetzung der Lehre Darwins wurde Haeckel zum Vorbild für viele Menschen. Sein Vorschlag, die Abstammungslehre in den Schulunterricht einzuführen, fand nur bei den Arbeitern Zustimmung. Zur Arbeiterbewegung hatte Haeckel selbst weder politische noch organisatorische Beziehungen, er stand ihr sogar ablehnend gegenüber.

Haeckel starb am 9. August 1919 in Jena. Über 50 Jahre hatte er für die Lehre Darwins gekämpft und sich zahlreiche Anhänger, aber auch viele Feinde erworben.

## Bestätigung und Weiterentwicklung der Abstammungslehre Darwins

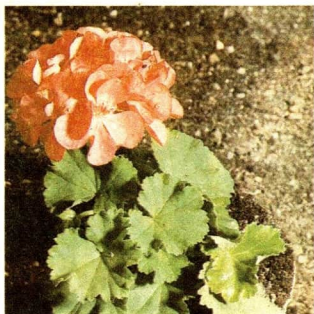
---

Die wissenschaftliche Erklärung der Herkunft und der Veränderungen der Arten durch Charles Darwin war eine der in ihrer Bedeutung weitreichendsten Theorien der Naturwissenschaften im 19. Jahrhundert. In der Geschichte der biologischen Wissenschaften gibt es kein anderes Werk, das die Entwicklung der Biologie so stark beeinflusste wie Darwins Buch „Über die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl“.

Darwins Theorie, die er aufgrund seiner Beobachtungen aufstellte, konnte zu seiner Zeit noch nicht umfassend erklärt und bewiesen werden. Vor allem gab es große Lücken bei der Erklärung der Veränderungen von Arten in langen Zeiträumen, der Entstehung neuer



Mutanten einer Wirbeltierart (Kaninchen)



Mutanten einer Pflanzenart (Pelargonien)

Merkmale bei Individuen einer Population und des Wiederauftretens dieser Merkmale in den nachfolgenden Generationen (→ S. 46).

Der Ablauf der Vererbungsvorgänge war noch nicht bekannt, die Chromosomen noch nicht entdeckt, und auch die Vorgänge, die bei der Befruchtung ablaufen (Verschmelzen der Zellkerne von Eizelle und Samenzelle), waren noch unbekannt. Die Klärung der noch nicht gelösten Probleme begann erst zur Zeit der Wiederentdeckung der Mendelschen Vererbungsgesetze um 1900.

■ Der deutsche Wissenschaftler August Weismann (1834 bis 1914) entwickelte eine wissenschaftliche Theorie der Vererbung. Er ging davon aus, daß sich innerhalb einer Art die Erbanlagen verändern können. Diese veränderten Anlagen werden bei der Keimzellenbildung (Bildung der Geschlechtszellen) von Generation zu Generation weitergegeben; bei den Nachkommen können veränderte Merkmale auftreten. Während der Individualentwicklung erworbene Eigenschaften können nicht vererbt werden. Damit hat er zur Klärung einer der bei Darwin noch offenen Fragen über die Ursachen der Artenstehung beigetragen. August Weismann stellte sich bedingungslos hinter die Lehre Darwins, da er aufgrund seiner Untersuchungen und Erkenntnisse über die Vermehrung durch Zellteilung von ihrer Richtigkeit überzeugt war. In seinen Vorlesungen lehrte er seine Studenten Darwins Theorie und war bestrebt, die von Darwin angeführten Beispiele zu erweitern. □

## Evolutionen Faktoren

Seit Darwin ist wissenschaftlich bewiesen, daß die Arten- und Formenvielfalt der Organismen das Ergebnis der Evolution ist. Zu den etwa 1,5 Millionen Organismenarten gehören Einzeller, wie die Wimpertierchen, und hochentwickelte Arten, wie der Mensch, heterotroph lebende Bakterien und die autotrophen Samenpflanzen. Unter ihnen gibt es „Spezialisten“, die sehr eng an ganz bestimmte Lebensbedingungen angepaßt sind wie beispielsweise der Bandwurm, während andere unter ganz unterschiedlichen Bedingungen leben können und weit verbreitet sind wie beispielsweise der Sperling. ①

① Erläutern Sie an einem Beispiel die Richtigkeit der Darwinschen Abstammungslehre



Artenvielfalt einer Pflanzenfamilie (von links: Wiesen-Margerite, Rainfarn, Garten-Aster)

Die Evolution der Organismen wird durch die Evolutionsfaktoren Mutation, Neukombination von Genen, Isolation und Auslese bewirkt (↗ S. 38, 47, 69 u. 84).

**Mutation.** In einer Population mit überwiegend gleichen Genen bei allen Individuen entstehen durch Mutationen abweichende Erbinformationen. Es kommt in den Genen einiger Individuen zu Veränderungen, die sich auf die Ausbildung von Merkmalen bei den Nachkommen auswirken können. Solche Veränderungen können nachteilig, vorteilhaft oder unbedeutend für die betroffenen Individuen sein (↗ S. 47). Durch den Prozeß der natürlichen Auslese, den Darwin in seiner Abstammungslehre darlegt, können sich die Nachkommen derjenigen Individuen einer Population, die am besten an die jeweiligen Umweltbedingungen angepaßt sind, besser fortpflanzen. ①

Über Generationen hinweg kann dieser Prozeß zu einer besseren Angepaßtheit der Organismen einer Population an ihre Umwelt führen.

**Neukombination.** Bei der geschlechtlichen Fortpflanzung innerhalb einer Population werden die Gene von Eltern, die in vielen Merkmalen unterschiedlich sind, entsprechend den von Mendel entdeckten Gesetzen neu kombiniert (↗ S. 40). Die Merkmale der Eltern treten bei den Nachkommen dadurch in unterschiedlichen Kombinationen auf. Bei den Nachkommen können auf diese Weise auch Merkmalskombinationen entstehen, die bei den Eltern nicht vorhanden sind. Die Neukombination von Genen kann also Auswirkungen auf das Erscheinungsbild und auf die Verhaltensweisen der Nachkommen innerhalb einer Art haben (↗ Abb. S. 42). ②

**Isolation.** Eine Population einer Fischart kann zum Beispiel durch Teilung eines Sees durch geologische Prozesse gespalten werden. Individuen aus einer Population einer Vogelart können durch Zufall vom Festland auf eine Insel oder von einer Insel auf eine andere Insel gelangen. Durch diese Teilung wird der Genbestand der ursprünglichen Population zufällig auf die neu entstandenen Populationen verteilt. Durch Mutation und Neukombinationen von Genen kann es auch in den neu entstandenen Populationen unter den verschiedenen Auslesebedingungen wieder zu Veränderungen kommen. Diese Entwicklung kann bis zur Entstehung neuer Arten in den neuen Populationen führen.

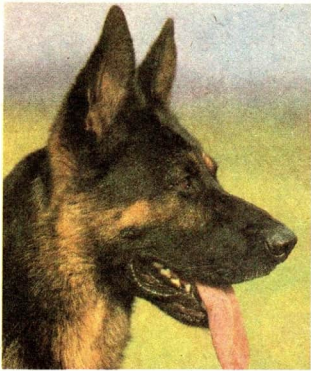
■ Auch durch die gewaltigen Gletschervorstöße in der Eiszeit wurden große Populations-

---

① Nennen Sie Ursachen für Mutationen und erläutern Sie an je einem Beispiel bei Pflanzen und Tieren diesen Vorgang!

② Erläutern Sie anhand des Beispiels einer Erbsenkreuzung bei Mendel die Neukombination von Genen und ihre Auswirkungen auf das Erscheinungsbild!

---

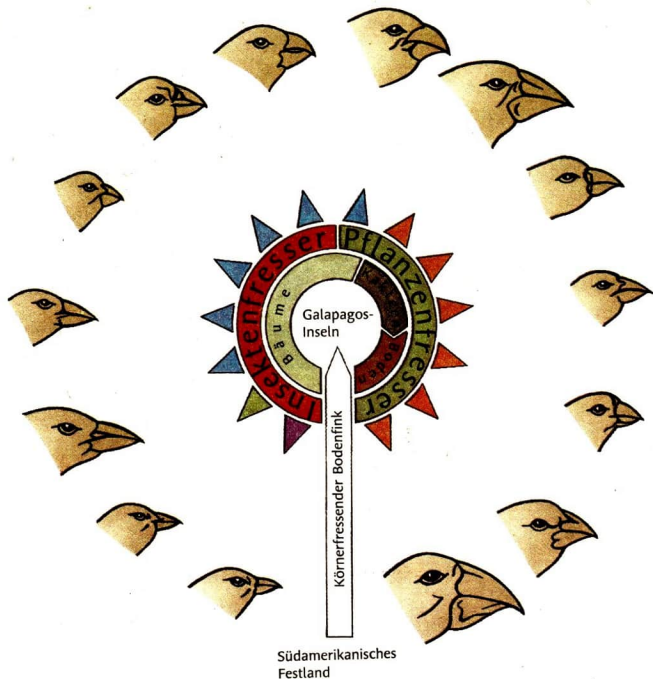


Formenvielfalt innerhalb einer Art

gruppen voneinander getrennt. Eine Trennung von Populationen kann auch durch Gebirge, Wüsten, Flüsse oder Kulturland erfolgen. □

► **Isolation ist wie Mutation und Neukombination von Genen ein Evolutionsfaktor.**

Für die Entwicklung der Darwinfinken (Grundfinken) war die Isolation eine wesentliche Ursache. Individuen einer bodenbewohnenden, körnerfressenden Finkenart gelangten vom südamerikanischen Kontinent auf die etwa 1000 km entfernten Galapagos-Inseln (↗ S. 86). Die Vögel fanden hier alle Lebensräume frei vor und besiedelten sie. In den einzelnen Lebensräumen setzen sich unter dem Einfluß unterschiedlich wirkender Umweltfaktoren die jeweils günstigsten Formen durch. So entstanden 14 Arten von Darwinfinken, die getrennte ökologische Nischen und Biotope besiedeln. Einige Arten der Darwinfinken le-



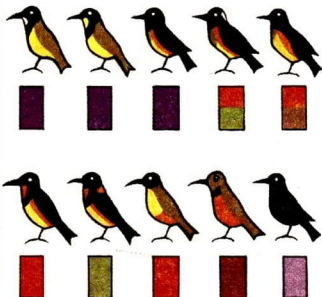
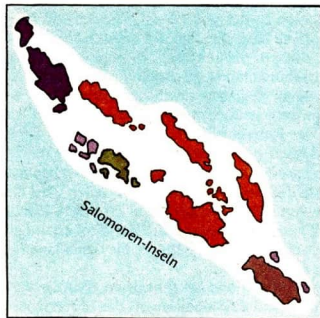
Evolution der Darwinfinken auf den Galapagos-Inseln

ben auf dem Boden, andere auf Kakteen, die meisten auf Bäumen. Manche Arten sind Körnerfresser, andere Blüten-, Früchte- oder Insektenfresser. ① ②

Auf den Salomonen-Inseln im Stillen Ozean leben mindestens vier Rassen einer Fliegenschnäpper-Art. Die einzelnen Rassen besiedeln jeweils andere Inseln. Ursprünglich gab es diese genetisch bedingten Unterschiede nicht. Die Besiedlung der verschiedenen Inseln durch diese Art führte zur Spaltung der Ausgangspopulation. Jede der durch geographische Isolation entstandenen Teilpopulationen entwickelte sich auf der Grundlage von Mutationen und der Neukombination von Genen unter den verschiedenen Auslesebedingungen weiter. So kam es zur Entstehung mehrerer Rassen dieser Art des Fliegenschnäppers.

- ① Begründen Sie, daß eine wesentliche Ursache der Entwicklung neuer Arten die Isolation ist!
- ② Erläutern Sie am Beispiel des Entstehens der Darwinfinken die Entwicklung neuer Arten infolge Isolation bei gleichzeitigem Wirken der anderen Evolutionsfaktoren!





Geographische Rassen einer Fliegenschnäpperart

**Natürliche Auslese.** Um 1850 umfaßte die dunkle Rasse des auf Birken lebenden Birkenspanners in England nur 1 Prozent aller Individuen. Die anderen Individuen gehörten zu der hellen, der typischen Rasse. Heute ist der Anteil der dunklen Rasse in den Populationen des Birkenspanners in England sehr unterschiedlich. Populationen in Nichtindustriegenden bestehen immer noch zu fast 100 Prozent aus der hellen Rasse. In Industriegebieten dagegen hat sich der Anteil der dunklen Rasse am jeweiligen Individuenbestand der Population stark erhöht. Er ist in den Industriezentren auf fast 100 Prozent gestiegen. Die



■ Industriegebiet

Anteil der dunklen Rasse des Birkenspanners in England

Rassen des Birkenspanners  
(links: helle Rasse,  
rechts: dunkle Rasse)

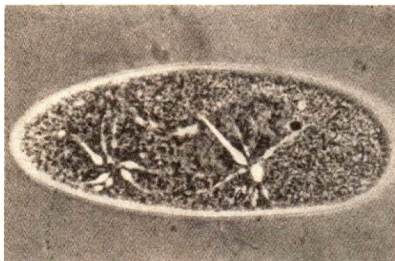


dunklen Tiere, deren Erscheinungsbild auf Mutation zurückzuführen ist, sind in Nichtindustriegebieten mit sauberer, heller Borke der Birken benachteiligt. Sie werden auf hellem Untergrund von Vögeln leichter entdeckt und deshalb oft gefressen. In Industriegebieten ist die Borke der Birken infolge Verschmutzung relativ dunkel. Hier sind die Individuen der dunklen Rasse des Birkenspanners besser vor Vögeln geschützt als die der hellen Rasse. Individuen der hellen Rasse werden häufiger gefressen. Dadurch wird der relative Anteil der dunklen Tiere in den Populationen im Prozeß der Auslese größer.

Die Evolutionsfaktoren wirken beim Evolutionsgeschehen zusammen. Mutationen sind dabei der primäre Evolutionsfaktor. Durch Mutationen treten im Genbestand einer Population zufällig Veränderungen auf. Durch Prozesse der Neukombination von Genen wird die genetisch bedingte Variabilität innerhalb einer Population weiter erhöht (→ S. 40). Durch die Evolutionsfaktoren Mutation und Neukombination von Genen wird der Genbestand einer Population verändert. Über die Ausbildung von Merkmalen bildet er die Grundlage für die Auslese. Die Auslese bestimmt die Richtung der Evolution. ①

► Ausgehend von der Darwinschen Abstammungslehre und Erkenntnissen über die Vererbung lassen sich heute die Entstehung der Arten und die Evolution als das Ergebnis des Zusammenwirkens von Mutation und Neukombination von Genen sowie von Isolation und Auslese erklären.

## Evolutionsrichtungen



Formenvielfalt als Folge der Evolution

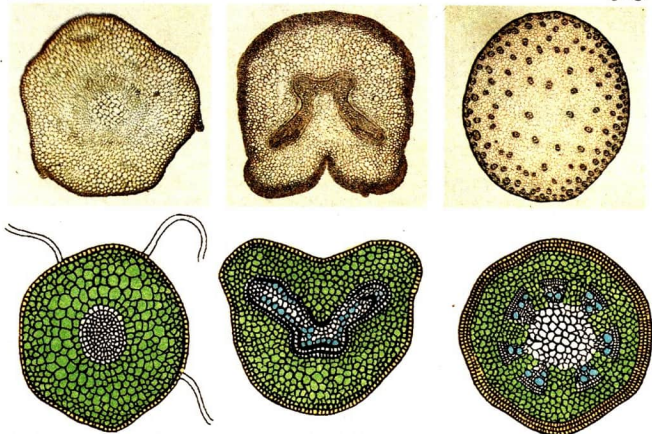


**Höherentwicklung.** Das komplexe Zusammenwirken aller Evolutionsfaktoren kann im Verlaufe langer erdgeschichtlicher Zeiträume in der Stammesentwicklung zur Veränderung von Zellen, Geweben und Organen führen. Neue Organe mit neuen Funktionen (z. B. Lichtsinnesorgane, Gliedmaßen) können ausgebildet werden. Das Ergebnis der Stammesentwicklung kann auch ein komplizierterer Bau der Organismen sein.

Alle diese Veränderungen können zu einer höheren Leistungsfähigkeit und damit zu einer größeren Unabhängigkeit von bestimmten Umweltbedingungen führen (→ S. 90). Organismengruppen mit solchen Merkmalen werden gegenüber anderen systematischen Gruppen als höherentwickelt bezeichnet. Diese Höherentwicklung kann als Differenzierung bei Zellen und Geweben auftreten und als Zentralisierung bei Geweben. ②

Farnpflanzen und Samenpflanzen sind höherentwickeltere Landpflanzen als Moospflanzen. Die Gewebedifferenzierung und Funktionsteilung ist gegenüber den Moospflanzen fortgeschritten. Bei Farn- und Samenpflanzen sind beispielsweise Leit- und Festigungsgewebe ausgebildet. Bei Moospflanzen werden Wasser und Nährstoffe durch einen Teil der Zellen des Grundgewebes transportiert.

Die Gewebedifferenzierung bei Farn- und Samenpflanzen ist ein Merkmal der Angepaßtheit an das Landleben und zugleich Ausdruck der Höherentwicklung gegenüber den Moospflanzen. ③ ④



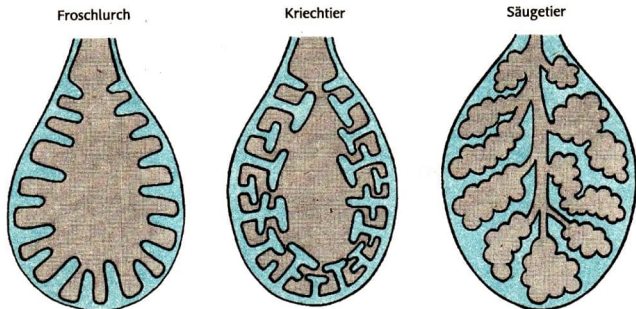
Zunehmende Gewebedifferenzierung als Beweis für die Höherentwicklung bei Landpflanzen (von links: Moosstämmchen, Sproßachse eines Farns, Sproßachse einer Samenpflanze)

- ① Erläutern Sie den Begriff „natürliche Auslese“! Vergleichen Sie die natürliche Auslese mit der künstlichen Auslese bei der Züchtung von Pflanzen und Tieren!
- ② Nennen Sie Merkmale der Höherentwicklung und erläutern Sie diese an Beispielen!
- ③ Beschreiben Sie den Bau eines Laubblattes und geben Sie die Funktionen der einzelnen Teile an! Beweisen Sie seine Höherentwicklung gegenüber dem Bau des Moosblättchens!
- ④ Beobachten Sie den Querschnitt eines Moosstämmchens, der Mittelrippe eines Farnwedels und der Sproßachse einer Samenpflanze an Dauerpräparaten mit dem Mikroskop! Vergleichen Sie die Leitgewebe!



Kriechtiere sind in vielen Merkmalen höherentwickelt als Lurche. Vögel und Säugetiere sind in bestimmten Merkmalen höherentwickelt als Kriechtiere. Die Höherentwicklung läßt sich unter anderem an der Differenzierung im Bau der Lungen nachweisen.

Bei Lurchen sind ungekammerte oder wenig gekammerte Lungen ausgebildet. Die Unterteilung der Lungen durch Kammerwände nimmt über die Lungen der Kriechtiere bis hin zu den Lungen der Säugetiere stark zu. Die Fläche für den Gasaustausch wird dadurch wesentlich größer, so kann in einer bestimmten Zeit mehr Sauerstoff durch die Lungen aufgenommen werden. Die Leistungsfähigkeit der Lungen wird größer.



Zunehmende Differenzierung und Leistungsfähigkeit der Lungen bei Wirbeltieren

Die höhere Leistungsfähigkeit der Lungen führt beispielsweise zu einer größeren Unabhängigkeit vom Umweltfaktor Temperatur. Die erhöhte Sauerstoffaufnahme ermöglicht die Erhaltung einer bestimmten Körpertemperatur, was durch die Körperbedeckung bei Vögeln und Säugern noch unterstützt wird. Deshalb können viele Vögel und Säuger ihre Körpertemperatur und ihre Leistungsfähigkeit auch im Winter konstant halten. Die Körpertemperatur von Fischen, Lurchen und Kriechtieren ist direkt von der Umwelttemperatur abhängig. Sie sind in der Regel bei Wärme aktiver als bei niedrigen Temperaturen. In der kalten Jahreszeit verfallen sie in Kältestarre, ihr Stoff- und Energiewechsel ist stark herabgesetzt. ① ②

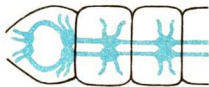
- ① Erläutern Sie an zwei Beispielen die ökologische Potenz und den Toleranzbereich von Organismen!
- ② Es gibt auch Säugetiere, die Winterschlaf halten. Nennen Sie dafür Beispiele! Erläutern Sie diese Erscheinung, beziehen Sie dabei Ihre Kenntnisse über den Energiehaushalt der Tiere ein! Nutzen Sie auch Ihre Kenntnisse aus dem Physikunterricht!
- ③ Vergleichen Sie die schematischen Abbildungen des Nervensystems von Hohltieren, Ringelwürmern und Säugetieren und begründen Sie, daß ein unterschiedliches Entwicklungsniveau vorliegt!
- ④ Vergleichen Sie die Aufnahme von Lichtreizen bei Regenwürmern und Insekten und begründen Sie, daß ein unterschiedliches Entwicklungsniveau vorliegt!
- ⑤ Zeigen Sie an Beispielen die Angepaßtheit von Tieren an verschiedene Lebensräume!
- ⑥ Erläutern Sie, daß die Schnabelformen des Haussperlings, der Rauchschnäbel und des Mäusebussards Ergebnisse der Spezialisierung sind!

Nervennetz



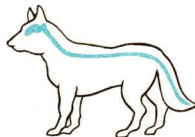
Süßwasserpolyp

Strickleiternnervensystem



Regenwurm

Gehirn und Rückenmark



Hund



Zunehmende Zentralisierung des Nervensystems

Auch Zentralisierung kann zu einer Leistungssteigerung von Organen führen. Ein Beispiel dafür ist die Entwicklung des Nervensystems.

► **Differenzierung, Zentralisierung, Zunahme der Kompliziertheit und dadurch Leistungssteigerung sowie Zunahme der Unabhängigkeit von bestimmten Umweltbedingungen** sind Merkmale der Höherentwicklung der Organismen. Höherentwicklung ist eine Evolutionsrichtung. <sup>③ ④</sup>

**Spezialisierung.** Ein weiteres Ergebnis der Stammesentwicklung infolge des komplexen Wirkens von Evolutionsfaktoren ist die Angepaßtheit der Organismen an spezifische Lebensbedingungen.

Verschiedene Vogelarten sind an jeweils verschiedene Lebensräume angepaßt. Vögel, die überwiegend auf dem Boden leben, sind meist unauffällig gefärbt. Die Gefiederfarbe der Feldlerche ist an der Körperoberseite dem Lebensraum angepaßt. Wasservögel, wie beispielsweise die Stockente, haben Schwimmhäute zwischen den Zehen. Vögel, die sich oft in der Luft aufhalten, haben häufig eine relativ große Flügelspannweite. Beim Albatros, einem ausdauernden Segelflieger, beträgt diese bis 3,5 m. Die verschiedenen Schnabelformen der Vögel sind an die jeweilige Ernährungsweise und die Art der Nahrung angepaßt. Bei verschiedenen Vogelarten hat sich ein bestimmtes Brutverhalten, eine hohe Angepaßtheit an ein bestimmtes Brutgebiet herausgebildet. <sup>⑤ ⑥</sup>

Der Zwergtaucher sucht zur Nistzeit dicht bewachsene Buchten von Teichen, Seen und toten Flußarmen auf. Er baut sein Nest aus Wasserpflanzen. Das Nest schwimmt auf dem Wasser und wird oft an Wasserpflanzen befestigt. Zwergtaucher können an Land nicht brüten. Wird ihr Brutgebiet verändert oder werden sie beim Brüten gestört, können sie keine



Angepaßtheit an Lebensräume (links: Wasser/Zwergtaucher, rechts: Land/Feldlerche)



Angepaßtheit der Schnabelformen von Vögeln an die Ernährungsweise (von links: Grünling, Gartenrotschwanz, Mäusebussard)

Jungen aufziehen, ihr Bestand geht zurück. Deshalb gehören der Schutz und die Erhaltung der Brutgebiete zu den Anliegen des Naturschutzes in der DDR.

Der Rinderfinnenbandwurm ist an seinen Lebensraum, den Darm des Menschen, und an die parasitische Lebensweise so stark angepaßt, daß er außerhalb des Wirtes nicht leben kann. Diese hochgradige Spezialisierung engt den Toleranzbereich der Art sehr ein, eine Anpassung an andere Lebensbedingungen ist nicht mehr möglich.

Die Wald-Kiefer ist ein Tiefwurzler. Ihre Wurzeln reichen weit in den Boden. Sie ist damit gut an das Leben auf trockeneren Böden angepaßt. Die Früchte der Gemeinen Kuhlume sind durch Flugeinrichtungen an die Verbreitung durch den Wind angepaßt.

► **Spezialisierung ist eine Evolutionsrichtung, die zur besseren Angepaßtheit an bestimmte Umweltbedingungen führt. Meist verändert sich dabei das erreichte Entwicklungsniveau nicht.**

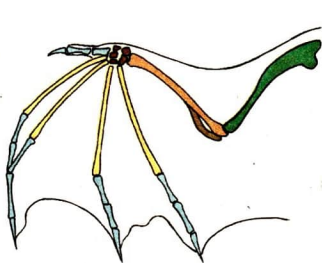
Spezialisierung führt oft zu einer Einengung des Toleranzbereiches. Dadurch wird die Anpassungsfähigkeit stark eingeengt. Das kann bei stärkeren Umweltveränderungen zum Aussterben der spezialisierten Arten führen, da diese nicht in der Lage sind, sich starken Umweltveränderungen anzupassen. Daraus folgt, daß am Anfang der Entwicklung neuer Organismengruppen immer unspezialisierte Ausgangsarten stehen. Spezialisierte Arten können also nicht Ausgangspunkt für neue Arten sein. ①

■ Infolge der Anpassung an bestimmte Umweltverhältnisse haben sich durch Spezialisierung die Vordergliedmaßen der Wirbeltiere verändert. Sie weisen im Bau und in der Funk-

Eidechse



Fledermaus



Wal



Skelette der Vordergliedmaßen verschiedener Wirbeltiere (von links: Eidechse, Fledermaus, Wal)



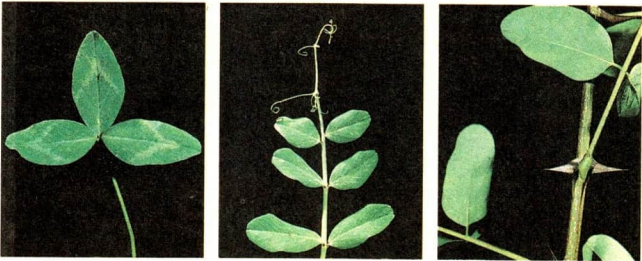
tion erhebliche Unterschiede auf, obwohl sie gleichen Ursprungs sind. Solche Organe sind homologe Organe. Sie weisen auf die Verwandtschaft der Arten hin. □

Homologe Organe sind beispielsweise auch die Laubblätter von verschiedenen Arten einer Familie der Samenpflanzen.

Homologe Organe sind ein Beleg für die stammesgeschichtliche Verwandtschaft der Organismen.

■ In Anpassung an gleiche Umweltbedingungen werden bei Individuen, die ganz unterschiedlichen Organismengruppen angehören, gleiche Funktionen von Organen ausgeführt, die ganz unterschiedlichen Ursprungs sind. Solche Organe sind analoge Organe. Die Flügel von Vögeln und Insekten, die Stacheln und Dornen bei verschiedenen Pflanzenarten beispielsweise sind analoge Organe. □

Analoge Organe weisen im Gegensatz zu homologen Organen nicht auf verwandtschaftliche Beziehungen zwischen den Organismen hin. ②



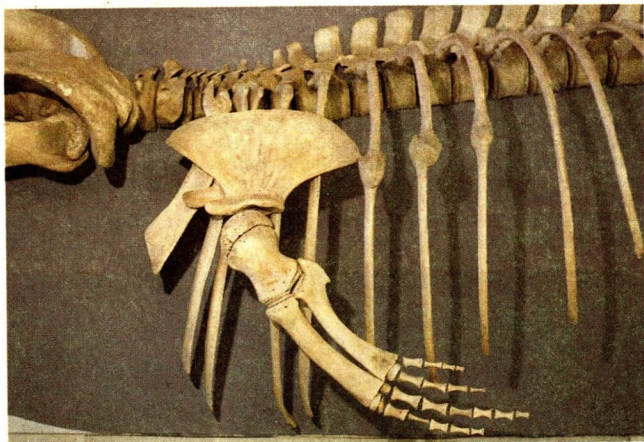
Laubblattumbildung bei Schmetterlingsblütengewächsen (von links: Rot-Klee, Erbsen, Robinie)

**Rückbildung.** Starke Änderungen der Umweltverhältnisse können durch das Wirken der Evolutionsfaktoren zu einer Verminderung oder zum Verlust der Funktionsfähigkeit von Organen oder Organteilen führen. Im Verlaufe der Stammesentwicklung können Rückbildungen solcher Organe oder Organteile eintreten. Rückbildungen können Ausdruck der Anpassung an spezielle Umweltverhältnisse sein. Rückbildung ist keine „Rückentwicklung“. Die Organismengruppen behalten ihre Organisationshöhe bei. Die Evolution der Organismen ist nicht umkehrbar.

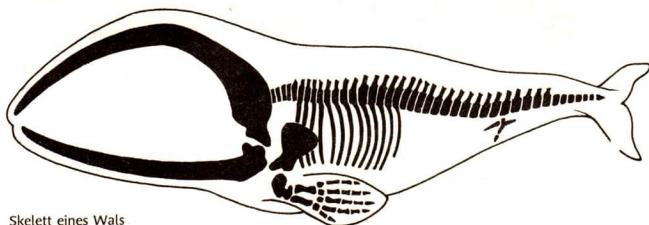
Der Schultergürtel bei Walen ist voll ausgebildet, von ihrem Beckengürtel sind nur noch kleine Überreste vorhanden. Bei Walen sind als Ergebnis der Anpassung an das Leben im Wasser keine Hintergliedmaßen mehr ausgebildet.

Rückbildungen können zum völligen Fehlen von Körperteilen führen (z. B. Hintergliedmaßen der Wale, Gliedmaßen der Schlangen, Verdauungskanal bei den Bandwürmern, Laubblätter bei manchen Kakteen). Es können aber auch Reste von Organen oder Organteilen erhalten bleiben (z. B. Wurmfortsatz des Blinddarms beim Menschen, Beckengürtel der Wale, Blätter bei einigen Kakteen). ③

- ① Begründen Sie an einem Beispiel, daß Spezialisierung zur Einengung des Toleranzbereiches führt!
- ② Zeigen Sie an Beispielen bei Pflanzen, daß analoge Organe trotz gleicher Funktion nicht auf verwandtschaftliche Beziehungen hinweisen!
- ③ Erläutern Sie am Beispiel der Bandwürmer, daß Rückbildung oft Ausdruck der Spezialisierung ist!



Flossenartige Ausbildung der Vordergliedmaßen beim Wal



Skelett eines Wals

► **Rückbildung** ist eine Evolutionsrichtung, die zur Verminderung oder zum Verlust der Funktionsfähigkeit von Organen führt, aber keine „Rückentwicklung“ darstellt. Sie führt oft zu besserer Angepaßtheit an bestimmte Lebensbedingungen.

## Aufgaben zur Wiederholung

---

- 1 Was verstehen Sie unter Variabilität der Organismen einer Population?
- 2 Begründen Sie das Entstehen von Modifikationen!
- 3 Was sind die Ursachen für Mutationen bzw. Neukombinationen von Genen?
- 4 Stellen Sie mit Ihren Kenntnissen einen Zusammenhang her zwischen ökologischer Potenz und Toleranzbereich bei Individuen einer Population und der Spezialisierung als Angepaßt-





- heit an spezielle Umweltbedingungen! Begründen Sie aus dieser Sicht die Notwendigkeit der Erhaltung von Lebensräumen für spezialisierte Arten!
- 5 Wiederholen Sie den Aufbau des Skeletts des Menschen und eines Säugetiers! Nennen Sie Gemeinsamkeiten! Kennzeichnen Sie die Teile im Grundbau des Skeletts der Säugetiere, die beim Wal eine Rückbildung erfahren haben!
  - 6 Inwiefern stellt die Rückbildung einen Vorteil für die Individuen einer Population in der Evolution dar?
  - 7 Zeigen Sie an den Arbeiten Mendels und Darwins, daß Beobachtung, Vergleich und Klassifizierung wissenschaftliche Methoden sind, mit denen in der Biologie Lebenserscheinungen erfaßt und einer Erklärung zugeführt werden können!
  - 8 Stellen Sie an einem selbstgewählten Beispiel die biotische und abiotische Umwelt eines Organismus dar!
  - 9 Welche Pflegemaßnahmen für eine Getreidepflanze können aus der Kenntnis der Umweltfaktoren abgeleitet werden?
  - 10 Weisen Sie die Bedeutung der Kenntnis des Toleranzbereiches von Tieren und Pflanzen für die landwirtschaftliche Produktion anhand eines Beispiels nach!
  - 11 Erläutern Sie die Wirkung der Umweltfaktoren auf die Populationsdichte an einer Tierpopulation! Welche Schlußfolgerungen ziehen Sie daraus?
  - 12 Beschreiben Sie die Reaktion des Regenwurms bei unterschiedlicher Lichteinwirkung und bei Berührung! Vergleichen Sie diese mit der Reaktion des Süßwasserpolypen auf Berührungsreize! Welchen Zusammenhang gibt es zwischen dem Verhalten der Tiere und dem Bau ihres Nervensystems?
  - 13 Vergleichen Sie den Blutkreislauf des Menschen mit dem des Fisches! Ziehen Sie Schlußfolgerungen bezüglich der Evolutionsrichtung!
  - 14 Auslese setzt Variabilität voraus. Wie bleibt die Variabilität in den Populationen auf die Dauer erhalten? Begründen Sie Ihre Aussage unter Anwendung Ihrer Kenntnisse über die Vererbung!
  - 15 Schon kurz nach Beginn der Anwendung des Insektizids DDT entwickelten Populationen der Stubenfliege unabhängig voneinander in verschiedenen Teilen der Erde eine starke Resistenz gegen dieses Insektenbekämpfungsmittel. Erklären Sie diesen Sachverhalt unter Anwendung Ihrer Kenntnisse über Evolutionsfaktoren!
  - 16 Zu einem Wolfsrudel gehören meist drei bis acht, manchmal bis zwölf Tiere. Nur sehr selten wurden Rudel mit etwa zwanzig Tieren beobachtet. Begründen Sie, daß durch das Wirken von Evolutionsfaktoren genetisch bedingte soziale Verhaltensweisen entstehen konnten, die sichern, daß ein Wolfsrudel aus einer für die Jagd eines großen Beutetiers und für die Sättigung der Rudelmitglieder optimalen Anzahl von Wölfen besteht!
  - 17 Schneehasen leben vor allem in Nordeuropa. Eine Unterart, die in den Alpen vorkommende etwas kleinere Alpen-Schneehase, entwickelte sich am Ende der Eiszeit. Erklären Sie!
  - 18 Eine Population der Rötelmaus in einem lichten und feuchten Wald war stark angewachsen. Die hohe Bestandsdichte führte zu Nahrungsmangel und Nahrungskonkurrenz. Schließlich brach die Population zusammen. Nur größere, schwerere und zugleich ältere Tiere überlebten. Vor allem die kleineren, leichteren und zugleich jüngeren Tiere gingen zugrunde. Begründen Sie, ob es sich hierbei um Auslese im Sinne der Evolutionstheorie handelt, die auf unterschiedlicher genetischer Umwelteignung der Organismen der Population beruht!
  - 19 Vergleichen Sie die natürliche Auslese und die Züchtung als einen vom Menschen gesteuerten Evolutionsprozeß besonderen Typs miteinander!
  - 20 Nennen Sie die Übereinstimmung bei allen Evolutionsrichtungen!
  - 21 Begründen Sie anhand der wasserleitenden Teile des Stämmchens bei Moosen und der Sproßachse bei Farnen, daß die Farne höherentwickelt sind als die Moose!
  - 22 Die Lungen der Wirbeltiere sind ein Beispiel für die Höherentwicklung. Erläutern Sie das am Bau und an der Leistungsfähigkeit der Lunge des Grasfrosches und des Menschen!
  - 23 Vergleichen Sie die Abbildungen der Lungen verschiedener Wirbeltierklassen und weisen Sie nach, daß der unterschiedliche Bau ein Ausdruck der Höherentwicklung ist!



- 24 *Das Nervensystem der Säugetiere ist höher entwickelt als das der Hohltiere. Begründen Sie am Bau des Nervensystems eines Säugetiers die höhere Leistungsfähigkeit!*
- 25 *Erläutern Sie Bau und Funktion der Laubblätter von Samenpflanzen! Begründen Sie, daß typische Laubblätter, Laubblätter mit Blattranken und Laubblätter mit Blattdornen bei Samenpflanzen homologe Organe sind!*
- 26 *Erläutern Sie anhand des Beckengürtels und der Gliedmaßen der Wale, daß Rückbildungen das Ergebnis der Anpassung an spezielle Umweltverhältnisse sein können!*

## Die Entstehung des Lebens

---

Die Frage nach der Herkunft des Lebens wurde im Verlaufe der Jahrtausende immer wieder gestellt und auf verschiedene Weise beantwortet. Die Fortschritte der Wissenschaften ermöglichten es erst im 20. Jahrhundert, der Beantwortung der Frage nach der Entstehung des Lebens auf wissenschaftlicher Grundlage näher zu kommen. Alle gegenwärtigen Auffassungen gehen davon aus, daß das Leben auf der Erde aus nichtlebenden anorganischen Stoffen entstanden ist.

**Kennzeichen des Lebens.** Im Verlaufe der letzten Jahrzehnte ist es immer besser gelungen zu erforschen, wie Lebendes sich von Nichtlebendem unterscheidet.

► **Lebewesen sind durch Lebenserscheinungen gekennzeichnet, die durch Gene und Enzyme gesteuert werden. Diese Lebenserscheinungen sind Stoff- und Energiewechsel, Reizbarkeit, Bewegung, Fortpflanzung, Wachstum, Vererbung, Individualentwicklung und Evolution. Lebewesen sind gekennzeichnet durch das Vorhandensein von artspezifischen Eiweißen und von DNS.**

Über die Entstehung von Lebewesen wurden im Verlauf der Jahrhunderte verschiedene Hypothesen entwickelt. ① ②

**Entstehung organischer Stoffe.** Vor etwa 5 Milliarden Jahren ist die Erde entstanden. Der feuerglühende Erdball war von einer Gashölle umgeben, die auch Wasserdampf enthielt. In dieser Uratmosphäre waren außerdem Wasserstoff, Ammoniak, Methan und geringe Mengen Schwefelwasserstoff enthalten.

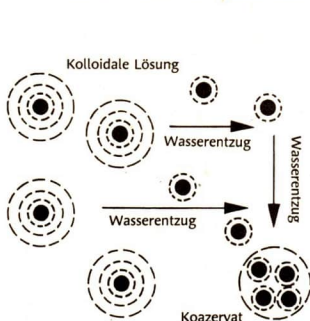
Kohlendioxidmoleküle und ungebundener Sauerstoff kamen in der Uratmosphäre nicht vor. Durch die allmählich fortschreitende Abkühlung entstand eine feste Erdoberfläche, Wasser fiel als heißer Regen auf die Erde und bildete den Urozean. Sowohl in der Uratmosphäre als auch im Urozean liefen zahlreiche chemische Reaktionen ab, als deren Ergebnis verschiedene anorganische und organische Verbindungen entstanden. Zwischen diesen Verbindungen kam es teilweise wieder zu chemischen Reaktionen. Die dazu notwendige Energie wurde durch die ultraviolette Strahlung der Sonne, radioaktive Strahlung und durch elektromagnetische Strahlung infolge von Gewittern bereitgestellt. Neben einfachen Kohlenwasserstoffen entstanden auch Kohlenwasserstoffe mit langen Kohlenstoffketten und deren Abkömmlinge (z. B. Karbonsäuren) sowie Verbindungen von Kohlenstoff mit Wasserstoff und Stickstoff. Reaktionen solcher Verbindungen mit Aldehyden, Ammoniak und Wasser führten zur Bildung von Aminosäuren. ③

■ Bereits 1953 wurde in einem Modellexperiment bewiesen, daß unter den oben genannten Bedingungen zahlreiche organische Verbindungen entstehen können. In einem Gerät wurden Wasserstoff, Ammoniak, Methan und Wasser unter ständigem Zirkulieren erhitzt und nach Durchlaufen einer Funkenstrecke abgekühlt. Schon im Verlauf weniger Tage entstanden so verschiedene Aminosäuren und andere organische Verbindungen. Auch Nucleinsäuren konnten unter Nachahmung von Bedingungen der Urerde synthetisiert werden. □

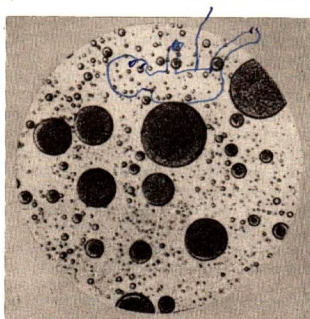


Entstehungsstufen der Erde

**Bildung von Urzellen.** Es gibt verschiedene Hypothesen, wie die ersten Zellen, die Urzellen, entstanden sein können. Sie gehen davon aus, daß das Leben auf der Erde auf natürliche Weise entstanden ist. Nach einer solchen Hypothese kamen die verschiedenen makromolekularen organischen Stoffe im Urozean untereinander in Berührung und reagierten teilweise unter Bildung neuer makromolekularer Stoffe miteinander. Dabei entstanden auch verschiedene komplizierte Verbindungen, die sich mit einer Hydrathülle vom umgebenden Wasser abgrenzten. Das war ein wesentlicher Schritt bei der Entstehung von Lebewesen. Innerhalb dieser von Hydrathüllen umgebenen makromolekularen Stoffe bildeten



Umwandlung von Kolloiden in Koazervate



Koazervate

- ① Erläutern Sie an einem Beispiel das Zusammenwirken der verschiedenen Lebenserscheinungen im Verlauf der Individualentwicklung!
- ② Begründen Sie, warum Lebewesen nur existieren können, wenn alle Kennzeichen des Lebens gemeinsam vorhanden sind!
- ③ Nennen Sie Vorgänge, die auf der Urerde zur Bildung solcher organischer Verbindungen führten, die auch für Organismen kennzeichnend sind!



sich innere Strukturen heraus, die Stoffwechsel und Fortpflanzung ermöglichten. So entstanden nach dieser Auffassung die Urzellen. ①

■ 1936 hat A. I. Oparin (1894 bis 1980) eine Hypothese aufgestellt, in der er die erste wissenschaftliche Erklärung für die Entstehung des Lebens auf der Erde gab. Er bezeichnete die räumlich abgegrenzten Makromoleküle als Koazervate. Diese Koazervate sind von einer Grenzschicht umgeben, sie können bedingt durch elektrische Ladungsverhältnisse aus der Umgebung Stoffe aufnehmen und im Inneren umsetzen. Mehrere kleine Koazervate können zu einem größeren Koazervat zusammenfließen, große in kleinere gleichartige Koazervate zerfallen. Damit zeigen die Koazervate wesentliche Erscheinungen, die auch das Leben kennzeichnen. Vermutlich haben sich in diesen Gebilden auch Verbindungen gebildet, die sich selbst verdoppeln konnten. Es entstanden auch Eiweiße und Enzyme. So entwickelten sich aus den Makromolekülen sich selbst regulierende Systeme, die Uroorganismen. □

► Das Leben ist vor mehr als 3,5 Milliarden Jahren auf der Erde entstanden. Der Entwicklungsprozess verlief von der Bildung einfacher organischer Verbindungen aus anorganischen Verbindungen über makromolekulare organische Verbindungen zu den Uroorganismen.

Aus der Umwelt aufgenommene organische Stoffe sicherten die Aufrechterhaltung des Stoffwechsels der Uroorganismen. Energie wurde vermutlich durch Gärung gewonnen. Die Umwandlung anorganischer Stoffe in organische Verbindungen war den Uroorganismen nicht möglich, es gab noch kein Chlorophyll, keinen ungebundenen Sauerstoff und kein Kohlendioxid. Die ersten Lebewesen könnten den heute heterotroph lebenden Bakterien ähnlich gewesen sein. Spuren wurden bisher nicht gefunden.

Für den Übergang von nichtlebenden Makromolekülen zu Uroorganismen gibt es bis jetzt keinen experimentellen Beweis. Offensichtlich ist es bisher nicht gelungen, die damals herrschenden inneren und äußeren Bedingungen nachzuahmen. Es ist aber zu erwarten, daß diese und andere noch ungelöste Fragen zur Entstehung des Lebens auf der Erde durch weitere Forschungen beantwortet werden können. ②

Die Uroorganismen lebten anfangs heterotroph. Im Verlauf der Entwicklung entstanden in den einfach gebauten Uroorganismen Enzyme, die auch die Umwandlung anorganischer Stoffe in organische Verbindungen ermöglichten. Einige Uroorganismen waren zur Photosynthese in der Lage. Durch diese Lebenserscheinung veränderte sich allmählich auch die Umwelt der Organismen. ③

Ungebundener Sauerstoff gelangte in die Atmosphäre, Energie konnte nun auch durch Atmung freigesetzt werden. Kohlendioxid wurde an die Luft abgegeben. Einfache pflanzliche und tierische Organismen waren entstanden. Zwischen den Organismen bildeten sich vielseitige Beziehungen heraus. Durch Photosynthese produzierten die Pflanzen organische Stoffe, die von den heterotroph lebenden Organismen als Nahrung aufgenommen wurden. Es entstanden also Produzenten, Konsumenten und Destruenten. Diese Entwicklung vollzog sich vor etwa einer Milliarde von Jahren. ④

Nicht alle Organismenarten blieben erhalten, es setzte eine Auslese ein. Verschiedene Evolu-

- 
- ① Warum war die Abgrenzung der Makromoleküle gegenüber ihrer Umgebung eine notwendige Voraussetzung für die Entstehung von Leben?
  - ② Warum ist unter den gegenwärtigen Bedingungen auf der Erde die Neuentstehung von Leben nicht möglich?
  - ③ Begründen Sie die heterotrophe Lebensweise der Uroorganismen!
  - ④ Erläutern Sie das Prinzip der Photosynthese! Worin besteht die Bedeutung der Photosynthese für die Erhaltung des Lebens?
  - ⑤ Stellen Sie in einer Tabelle Organismen zusammen, die die Energie für den Ablauf ihrer Lebensvorgänge aus der Zersetzung abgestorbener Pflanzen und Tiere gewinnen!
-



tionsfaktoren wirkten auf die Organismen ein. So entstanden im Verlauf langer Zeiträume zahlreiche Arten von Pflanzen und Tieren, die zu unterschiedlichen Zeiten die Erde besiedelten, teilweise ausstarben oder durch neue Arten verdrängt wurden. Die gegenwärtig auf der Erde lebenden Organismen sind das Ergebnis einer langen Entwicklung.

## Stammesentwicklung der Organismen

---



Fossiler Fisch

Die auf unserer Erde lebenden Organismenarten haben sich im Verlaufe vieler Millionen von Jahren aus einfacheren Formen entwickelt und sind mehr oder weniger miteinander verwandt. Für diese Verwandtschaft gibt es viele wissenschaftliche Belege (z. B. Bau der Wirbeltierskelette, Anzahl und Anordnung der Blütenteile bei den Samenpflanzen). Durch vergleichende Untersuchungen des Baues der Eiweiße bzw. der DNS kann heute der Grad der Verwandtschaft sehr genau festgestellt werden.

Die Oberfläche und die klimatischen Bedingungen der Erde haben sich im Verlauf der geologischen Entwicklung wiederholt verändert. In diesen einzelnen Entwicklungsetappen entstanden immer neue Arten von Organismen. Nur die den jeweiligen Umweltbedingungen am besten angepaßten Arten kamen zur Fortpflanzung, die anderen starben aus.

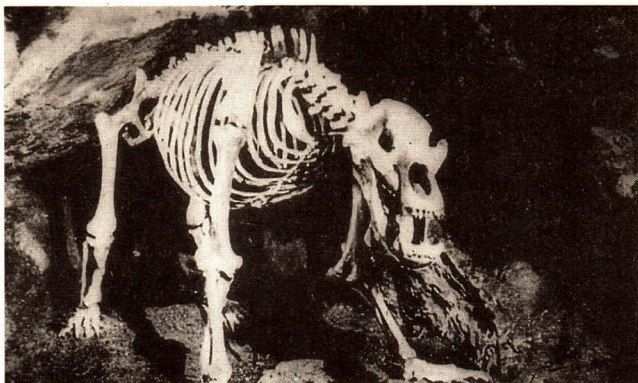
## Fossilien

---

Stirbt ein Lebewesen, so wird dessen Körper durch Gärungs-, Fäulnis- und Verwesungsprozesse zersetzt, oder es wird aufgeessen. Nur wenn zufällig durch Einbetten in Eis, Harz, feinen Sand, Schlamm oder durch Einlagerung in mineral- oder gerbstoffhaltiges Wasser die vollständige Zerstörung verhindert wird, bleiben Organismen oder Teile von ihnen erhalten, es entstehen Fossilien. ⑤

► **Fossilien sind Reste oder Spuren von Pflanzen und Tieren früherer Erdzeitalter.**

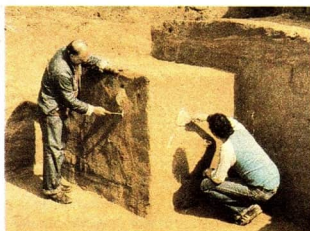
Fossilien sind vorwiegend in Sedimentgesteinen zu finden. Nach der Art ihrer Entstehung werden mehrere Formen von Fossilien unterschieden.



Skelett des Höhlenbären



Fossiler Unterkiefer des Menschen



Bergung eines fossilen Knochens

**Knochenfunde.** Die anorganischen Bestandteile von Knochen können unter bestimmten Umständen unter Luftabschluß lange Zeit in Sedimenten erhalten bleiben.

► Knochenfunde sind erhaltene gebliebene anorganische Reste von Wirbeltieren.

**Versteinerungen.** Gelangen verholzte Pflanzenteile, Knochen und andere Hartteile (z. B. Gehäuse von Schnecken) oder Organismen mit Hohlräumen in nasse, basische Sedimente, werden die organischen Bestandteile zersetzt. Dadurch entstehen Hohlräume, die sich nach und nach mit Kalk oder Kieselsäure füllen. Es entstehen Versteinerungen, Steinkerne oder Abgüsse. Die ursprüngliche Form der Organismen bleibt originalgetreu erhalten.

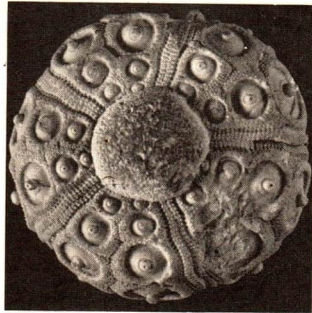
► Versteinerungen sind mineralisierte Organismen, Hartteile von ihnen oder mit Mineralien gefüllte Hohlräume von Organismen.

Zu den häufigsten Versteinerungen, die bei Strandwanderungen an der Ostseeküste gefunden werden können, gehören die sogenannten Donnerkeile. Sie sind Reste von ausgestorbenen Verwandten heute lebender Tintenschnecken. Sie fallen durch ihre gelbe bis graubraune Färbung auf. Nicht selten findet man auch versteinerte Seeigel.

**Abdrücke.** Hinterläßt ein Tier im Schlamm seine Fährte, gelangen Tiere oder Pflanzen oder Teile von ihnen in feinen Schlamm oder Sand, so kann durch den Druck der später darüber



Donnerkeile



Versteinerter Seeigel



Lebende Muschel



Versteinerte Muschelschalen

gelagerten Erdschichten aus dem Schlamm festes Sedimentgestein entstehen. In ihm kann die genaue Form der Organismen als Abdruck erhalten sein. Selbst feinste Einzelheiten, wie beispielsweise die Form der Federn des Urvogels, sind so erhalten geblieben. Der Abdruck wird erst sichtbar, wenn dieses Gestein in der Ebene des Abdrucks gespalten wird.

► **Abdrücke sind verfestigte Abbilder von Organismen, deren Teilen oder Lebensspuren, die in feine Materialien eingeschlossen sind.**

**Einschlüsse.** Bleiben ein Insekt oder Pollen von Pflanzen auf dem noch frischen, flüssigen Harz einer Kiefer kleben und es fällt ein weiterer Harztropfen darüber, kommt es zu einem luftdichten Einschluß. Das geschah auch in früheren Erdzeitaltern. Das Harz wurde im Verlauf von Tausenden von Jahren zu Bernstein. Haben sich die eingeschlossenen Organismen nicht viel bewegt, kann man heute im Bernstein noch alle Einzelheiten erkennen. Einschlüsse sind auch in Eis möglich. So wurden bereits mehrfach im sibirischen Dauerfrostboden vollständig erhaltene, in Eis konservierte Mammute gefunden.

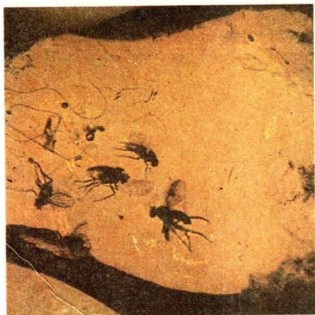
► **Einschlüsse sind in Harz oder in Eis luftdicht eingeschlossene Organismen oder Teile von ihnen.**



Abdruck eines Laubblattes



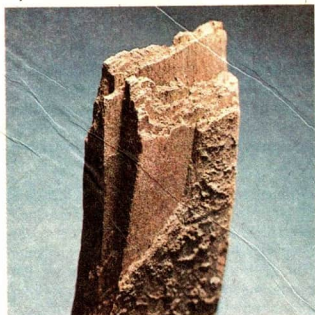
Abdruck einer Saurierfährte



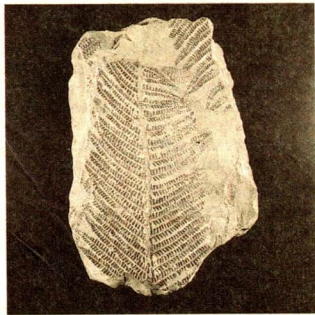
Insekten in Bernstein



Mammut in eiszeitlicher Landschaft



Braunkohle mit noch deutlich erkennbarer Holzstruktur



Inkohlter Farn in Sandstein





**Inkohlungen.** Werden organische Verbindungen unter Luftabschluß, Druck und Wärme stufenweise langsam zersetzt, bleibt durch den Prozeß der Inkohlung von den ursprünglich darin enthaltenen chemischen Elementen der organischen Stoffe als Hauptbestandteil der Kohlenstoff übrig. Auf diese Weise entstand aus Torfmoos der Torf, aus dem Holz riesiger Wälder wurden Braun- und Steinkohle. Wird ein Tier oder eine Pflanze luftdicht in ein Sediment eingeschlossen, kann ebenfalls Inkohlung eintreten. Nach Millionen von Jahren befinden sich auf dem nun zu Stein gewordenen Sediment nur noch dünne Beläge aus Kohlenstoff in der genauen Struktur der ehemaligen Lebewesen.

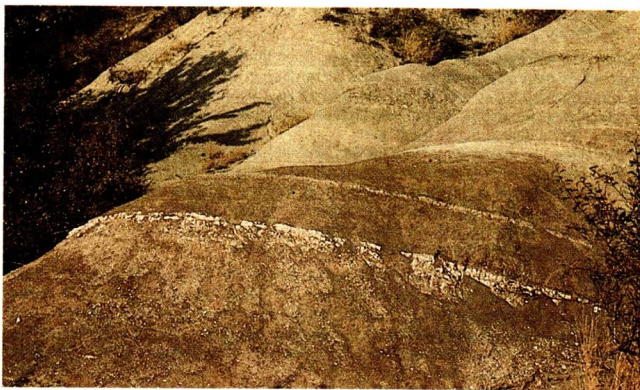
**Mumifizierung.** Geraten Pflanzen oder Tiere in gerbstoffhaltiges Wasser eines Moores, wird ihre Zersetzung durch die Gerbstoffe verhindert. ① ②

► **Mumifizierung ist die Erhaltung von Organismen durch konservierende Stoffe.**

**Bedeutung der Fossilien.** Fossilien sind wichtige Zeugnisse für die Evolution der Organismen. Sie ermöglichen Aussagen über die Pflanzen- und Tierwelt in bestimmten geologischen Abschnitten der Erdgeschichte. Sie liefern Beweise für die Höherentwicklung, die Spezialisierung und die Herausbildung der Formenvielfalt der Organismen über einen längeren Zeitraum im Verlaufe der Erdgeschichte. Sie ermöglichen Rückschlüsse auf die verwandtschaftlichen Beziehungen der Organismen. ③

► **Fossilien sind Belege für den Formenwandel der Organismen im Verlauf der Erdgeschichte.**

## Etappen der Stammesentwicklung



Schichtenfolge

- ① Ordnen Sie originale Fossilien nach der Art ihrer Entstehung! Bestimmen Sie ihr Alter!
- ② Stellen Sie anhand der Systemtabelle auf Seite 113 fest, aus welchem Zeitabschnitt der Erdgeschichte die auf den Seiten 99, 100 und 102 abgebildeten Fossilien stammen könnten!
- ③ Erläutern Sie die Bedeutung der Fossilien für die Kenntnisse von der Stammesentwicklung der Organismen! Beziehen Sie dabei auch die Arbeiten Darwins und Haeckels mit ein!



Die feste Erdkruste ist relativ dünn. Sie schwimmt auf dem flüssigen Magma und ist durch vielfältige Einflüsse (z. B. Vulkantätigkeit, Klima) einer ständigen Veränderung unterworfen. Wo sich heute tausende Meter hohe Gebirgsketten erheben, war vor Millionen von Jahren vielleicht Meeresboden, wo heute fast das ganze Jahr Schnee und Eis die Erdoberfläche bedecken, wuchsen früher möglicherweise tropische Urwälder.

■ In der Nähe des Polarkreises (bei Spitzbergen) wird Steinkohle abgebaut. Dieses Gebiet muß demnach vor Jahrmillionen von riesigen tropischen Farnwäldern bedeckt gewesen sein. □

Diese Veränderungen vollzogen sich über lange Zeiträume im Verlauf der Erdgeschichte. Sie waren eine der Ursachen für die Veränderungen der Organismen in Anpassung an die wechselnden Umwelteinflüsse in den Populationen.

► **Die Entwicklung der Organismen steht im engen Zusammenhang mit den geologischen und klimatischen Ereignissen der Erdgeschichte.**

Die Oberfläche der Erde und damit auch die Lebensbedingungen auf ihr wurden und werden von den Organismen auch selbst verändert. So entstand der gesamte, heute in der Atmosphäre enthaltene ungebundene Sauerstoff im Prozeß der Photosynthese der grünen Pflanzen. Dieser Sauerstoff ermöglicht die Energiegewinnung für den Ablauf der Lebenserscheinungen durch Atmung. Damit war die Grundlage für eine weitere Entwicklung der Organismen gegeben. Die vorhandenen organischen Nährstoffe konnten wesentlich besser genutzt werden, die Leistungen dieser Organismen nahmen zu. Auch für den Übergang der Tiere zum Landleben haben erste landlebende Formen der Pflanzenwelt Nahrungs- und Atmungsvoraussetzungen geschaffen. So entwickelte sich eine Vielzahl unterschiedlicher Organismen.

Die einzelnen Erdzeitalter waren durch ganz bestimmte geologische und klimatische Bedingungen sowie durch eine typische Pflanzen- und Tierwelt auf einer bestimmten Entwicklungshöhe gekennzeichnet. ① ②

**Erdfrühzeit.** Vor etwa 4000 Millionen Jahren lebten im Urozean vermutlich nur einzellige Organismen ohne abgegrenzten Zellkern. Sie ernährten sich heterotroph und gewannen die zum Leben nötige Energie aus Gärungsprozessen. Die Atmosphäre enthielt noch keinen ungebundenen Sauerstoff. So einfache Organismen kommen auch heute noch vor. Sie haben eine große Bedeutung in der Natur.

■ Blualgen und Bakterien wirken im Stoffkreislauf als Konsumenten und Destruenten. Sie sind beispielsweise an der biologischen Abwasserreinigung beteiligt. □

In der letzten Periode der Erdfrühzeit entstanden im Meer Einzeller und einfache Mehrzeller (z. B. Algen) mit einem abgegrenzten Zellkern und mit Chloroplasten. Sie lebten autotroph und waren in der Lage, die zum Leben nötige Energie aus den durch die Photosynthese selbst hergestellten organischen Stoffen freizusetzen.

**Erdaltzeit.** Vor etwa 600 Millionen Jahren entwickelten sich einfache mehrzellige Pflanzen, bei denen nur Sprosse, aber keine Laubblätter und Blüten ausgebildet waren. Sie ragten zum Teil aus dem Wasser heraus und besiedelten auch sumpfige Stellen auf dem Land. Diese Nacktsprosser sind die Vorfahren von Moosen und Farnen. In dieser Zeit entwickelten sich aus heterotroph lebenden Einzellern über viele Zwischenstufen aus Wirbellosen die ersten Wirbeltiere, die Fische. ③

- ① Welche Zusammenhänge bestehen zwischen geologischen und klimatischen Bedingungen und der Entwicklung der Organismen? Nennen Sie Beispiele aus der Evolution der Organismen!
- ② Vergleichen Sie den Energiegewinn bei Gärung und Atmung! Begründen Sie in diesem Zusammenhang die höhere Leistungsfähigkeit sauerstoffatmender Organismen!
- ③ Welche Veränderungen haben sich in Bau und Funktion der Pflanzen beim Übergang vom Leben im Wasser zum Leben auf dem Land vollzogen?



Ende der „heißen“ Phase der Erde zu Beginn der Erdfrühzeit

Gegen Ende der Erdaltzeit, vor etwa 300 Millionen Jahren, entwickelten sich zahlreiche schnellwachsende baumhohe Farnpflanzen. Es entstanden bei tropischem, feuchtem Klima riesige Sumpfwälder, diese bildeten die organische Substanz für die heutigen Steinkohlenlagerstätten.

In den Sumpfwäldern der Erdaltzeit lebten die ersten, von den Fischen abstammenden Lurche, denen Lungenatmung und Gliedmaßen ein Leben auch auf feuchten Stellen auf dem Land ermöglichten. Immer mehr Organismenarten entstanden, die an Land leben konnten (z. B. riesige Libellen).



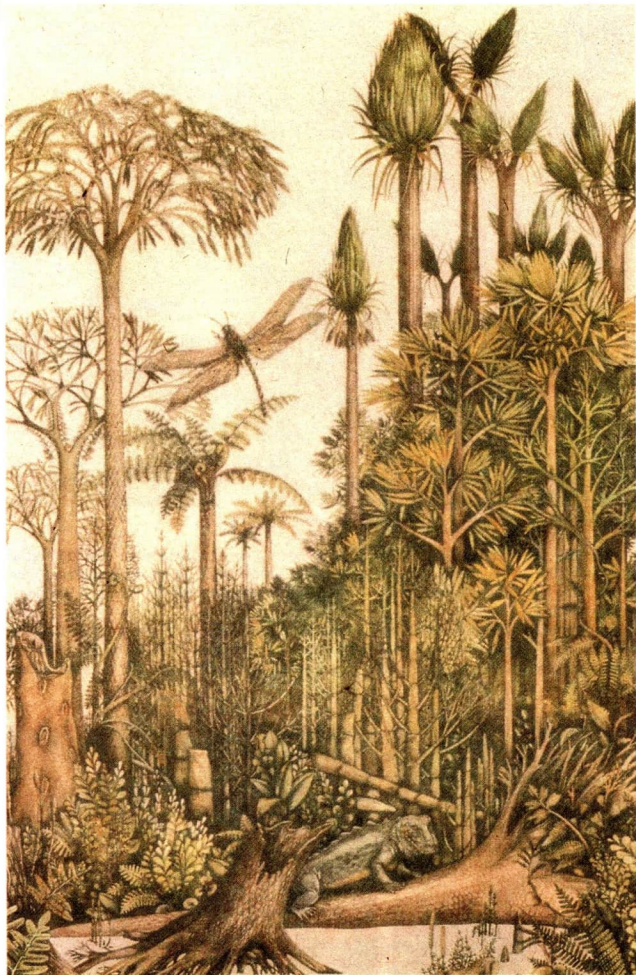
Lebensgemeinschaft im Meer



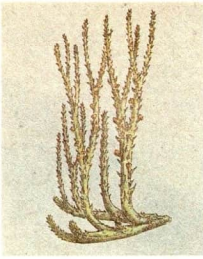
Versteinerter Trilobit



Versteinerter Kopffüßer



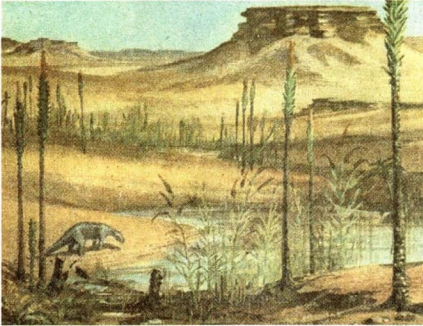
Steinkohlenwald



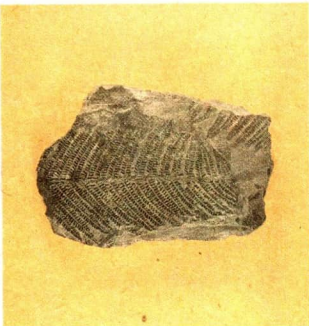
Nacktsprosser



Erste einfache Sproßpflanzen besiedeln den Lebensraum Land



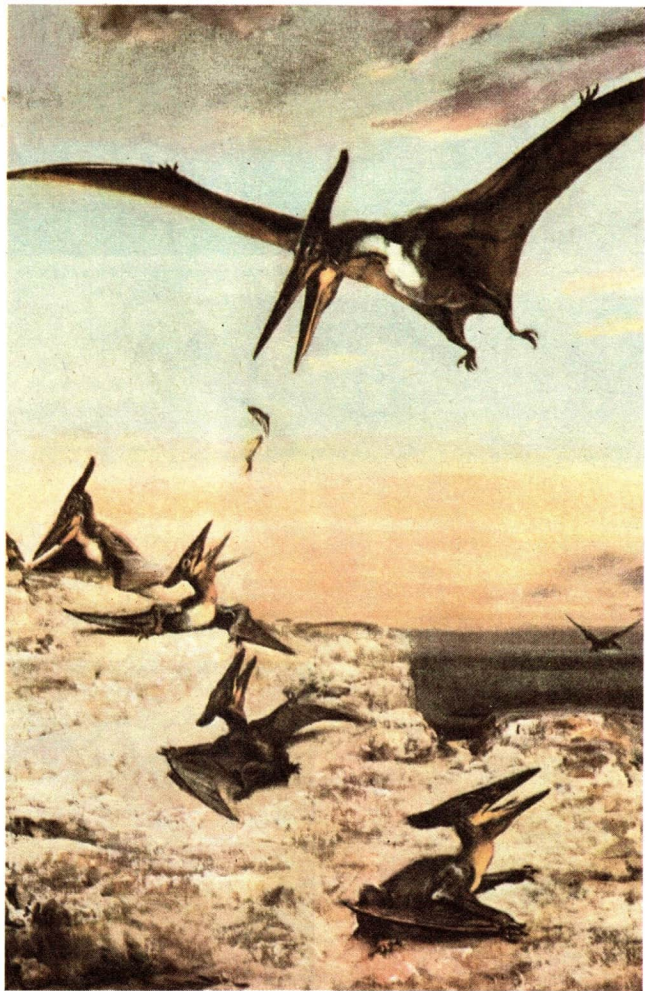
Erdmittelalter mit ersten Samenpflanzen und Ursaurier



Abdruck eines Farns



Ginkgo



Flugsaurier

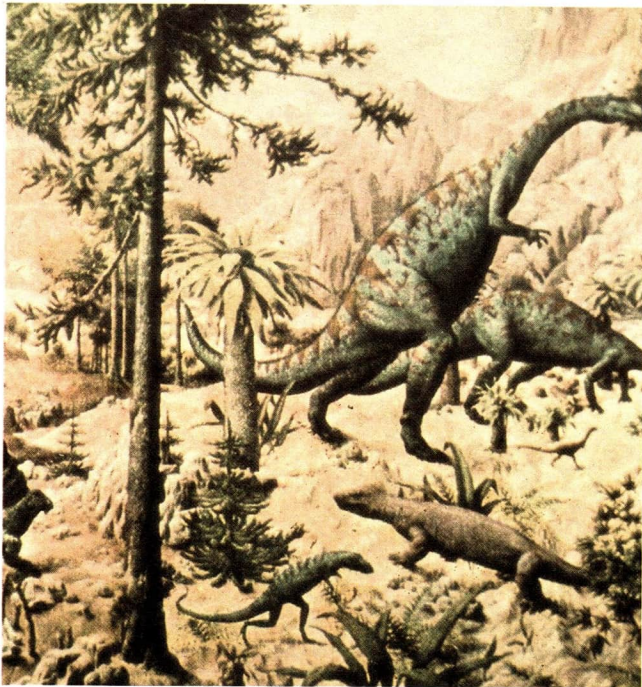


Im weiteren Verlauf der Erdaltzeit änderten sich die klimatischen Bedingungen. Es herrschte warmes, sehr trockenes Klima vor. Unter diesen Bedingungen entwickelten sich die ersten Kriechtiere und die ersten nacktsamigen Pflanzen.

**Erdmittelzeit.** Vor etwa 250 Millionen Jahren kam es zu einer intensiven Entfaltung der Kriechtiere. Durch Fossilien ist belegt, daß die vorherrschende Kriechtiergruppe die Saurier waren. Sie besiedelten alle Lebensräume. Aus Vorfahren der heute lebenden Kriechtiere entwickelten sich der Urvogel, die ersten Vögel und die ersten, noch sehr kleinen Säugtiere. Die Saurier starben am Ende der Erdmittelzeit aus. Aus nacktsamigen Pflanzen entstanden in dieser Zeit die ersten Bedecktsamer.

**Erdneuzeit.** Die Erdneuzeit begann vor etwa 70 Millionen Jahren. In diesem Erdzeitalter herrschte sehr unterschiedliches Klima. Anfangs war es warm und feucht, später kam es zu Eis- und Zwischeneiszeiten.

Unter diesen Bedingungen entwickelte sich die Mehrzahl der heute auf der Erde lebenden Pflanzen- und Tierarten.



Landschaft zur Erdmittelzeit



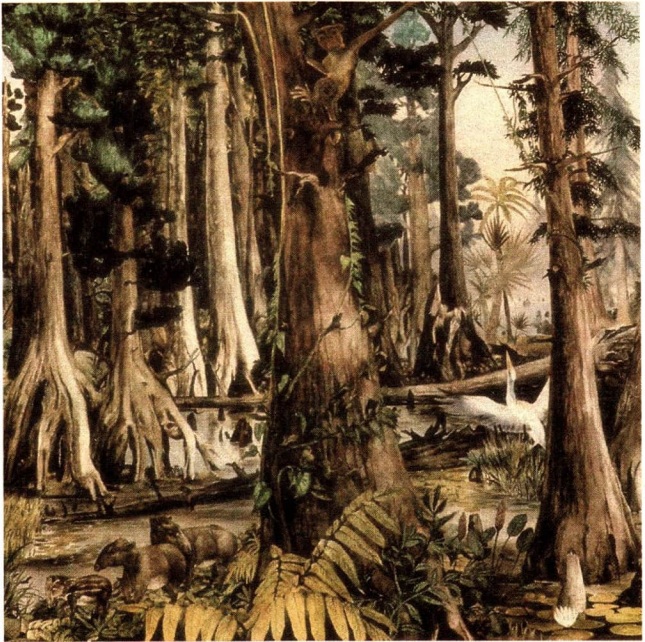
Landsaurier

- 
- ① Beschreiben Sie anhand der Abbildungen auf Seite 109 die Formenvielfalt der Saurier!
  - ② Schildern Sie die Tier- und Pflanzenwelt zu Beginn der Erdneuzeit! Nützen Sie dazu auch die Abbildung auf Seite 111 und die Tabelle auf Seite 113!
-





Tierwelt der Erdneuzeit



Braunkohlenwald

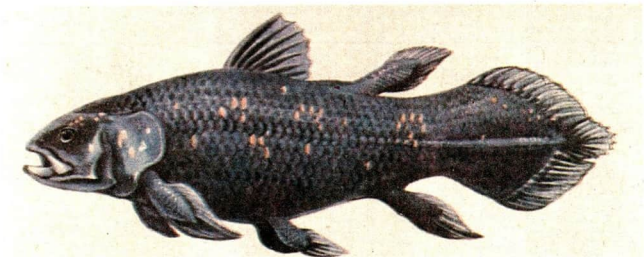
In der Pflanzenwelt entwickelten sich die Bedecktsamer zu ihrer heutigen Vielfalt, es kam zur Herausbildung der klimabedingten Vegetationsgürtel der Erde. In der Erdneuzeit begann auch die Entstehung und Entwicklung der Primaten einschließlich des Menschen und der menschlichen Gesellschaft.



Erdzeitalter	Klima und Umwelt	Entwicklung der Organismen	Hauptgruppen der Organismen	
			Tiere	Pflanzen
<b>Erdneuzeit</b> Beginn vor etwa 70 Mill. Jahren	wechselndes Klima, später mit Eis- und Zwischeneiszeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entstehung und Entwicklung des Menschen und der menschlichen Gesellschaft</li> <li>Entwicklung der Säugtiere</li> <li>Entfaltung der Bedecktsamer</li> </ul>	Vögel und Säuger	Bedecktsamer
<b>Erdmittelzeit</b> Beginn vor etwa 250 Mill. Jahren	warm, trocken	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erste Säugetiere</li> <li>Erste Vögel</li> <li>Entfaltung der Kriechtiere (Saurier)</li> <li>Erste Bedecktsamer</li> <li>Entwicklung der Nacktsamer</li> </ul>	Kriechtiere	Nacktsamer
<b>Erdaltzeit</b> Beginn vor etwa 600 Mill. Jahren	warm, trocken heiß, feucht  Eiszeit kalt, trocken	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erste Kriechtiere</li> <li>Erste nacktsamige Blütenpflanzen</li> <li>Erste land-wasserlebende Wirbeltiere (Urlurche) und Insekten</li> <li>Schnellwachsende, baumhohe Farnpflanzen</li> <li>Erste Wirbeltiere (Fische)</li> <li>Entwicklung vielzelliger wirbelloser Tiere im Meer (Hohltiere, Weichtiere)</li> <li>Erste einfache Sprosspflanzen an Land</li> </ul>	Fische und Lurche  Fische und Lurche	Farnpflanzen
<b>Erdfrühzeit</b> Beginn vor etwa 4000 Mill. Jahren	Landbildung  Eiszeit erster freier Sauerstoff	<ul style="list-style-type: none"> <li>Differenzierung der Organismen in Pflanzen und Tiere</li> <li>Erste Organismen mit abgegrenztem Zellkern</li> </ul>	Wirbellose im Meer	Algen
<b>Erdurzeit</b> Beginn vor etwa 5000 Mill. Jahren	sauerstofffreie Uratmosphäre Urozean	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entstehung erster, einfacher einzelliger Uroorganismen ohne abgegrenzten Zellkern</li> </ul>	Einzellige Uroorganismen ohne abgegrenzten Zellkern	



## Wirbeltiere mit Merkmalen von zwei Wirbeltiergruppen



Quastenflosser (oben: fossiler, unten: rezenter)

**Quastenflosser.** 1938 wurde nahe der Ostküste Afrikas zufällig ein Tier gefangen, das Merkmale von Fischen und von Lurchen aufwies und deshalb keiner dieser beiden Gruppen eindeutig zugeordnet werden konnte. Wissenschaftler erkannten die Übereinstimmung mit einem fossilen Fund, dem Quastenflosser. Die zu den Wirbeltieren gehörende Gruppe der Quastenflosser lebte in der Erdaltzeit. Zunächst wurde angenommen, daß die Wirbeltiergruppe ausgestorben sei. Die fossilen Formen lebten in Küstennähe und vermutlich auch im Süßwasser. Die Funde lassen den Schluß zu, daß sie sehr anpassungsfähig waren und in unterschiedlichen Lebensräumen existieren konnten. Quastenflosser haben an den paarigen Flossen durch Gelenke miteinander verbundene Knöchelchen. Sie waren damit in der Lage, mit diesen „Beinen“ auf dem Grunde der Gewässer und auf dem Ufer sich fortzubewegen. Diese Tiere waren wahrscheinlich in der Lage, auch Sauerstoff aus der Luft aufzunehmen. Sie überlebten so die zeitweilige Austrocknung ihres Gewässers.

- ① Welche Veränderungen in Bau und Funktion bei Tieren ermöglichen den Übergang vom Leben im Wasser zum Leben auf dem Land?
- ② Weshalb können die heute im Meer lebenden Quastenflosser sich nicht mehr wie ihre Vorfahren vor Millionen von Jahren zu Urlurchen weiterentwickeln?
- ③ Begründen Sie die Stellung des Urvogels in der Entwicklungsreihe der Organismen!



Schnabeltier

Die rezenten Quastenflosser leben im Meer in Tiefen zwischen 150 m und 600 m. In tropischen Meeren wurden bisher 30 dieser interessanten Tiere gefangen. Quastenflosser sind wichtige Belege der Stammesentwicklung der Wirbeltiere. ① ②

**Urvogel.** Zu den bekanntesten Fossilfunden gehört der Urvogel. 1861 wurde das Fossil eines Tieres bei Solnhofen in Bayern gefunden, das sowohl Merkmale der Kriechtiere als auch der Vögel aufweist. Inzwischen wurden sechs Abdrücke solcher Tiere gefunden. Das am besten erhaltene Exemplar der sechs Funde befindet sich im Museum für Naturkunde in Berlin. Bei diesem 1877 gefundenen Urvogel sind die Knochen als Versteinerung und die Federn als Abdruck erhalten geblieben.

Urvögel kletterten vermutlich mit Hilfe der Krallen an den Fingern der Flügel auf Bäume oder Felsen und konnten sich dann im Gleitflug von oben auf Beute stürzen. In seinem Körperbau vereint der Urvogel Merkmale der Kriechtiere (Zähne im Kiefer, drei bekrallte Finger und ein langer Schwanz mit beweglichen Wirbeln) und Merkmale der Vögel (vordere Gliedmaßen als Flügel ausgebildet, Körper mit Federn bedeckt). Die beim Urvogel anstelle der Schuppen gebildeten Federn trugen zur Erhaltung der Körpertemperatur bei. ③



Urvogel (links: Abdruck, rechts: Rekonstruktion)



► Der Urvogel weist Merkmale der Kriechtiere und der Vögel auf. Er ist ein wesentlicher Beweis für die Stammesentwicklung der Organismen.

**Schnabeltier.** Im Süden Australiens und in Tasmanien leben an den Ufern von Flüssen und Seen Schnabeltiere. Sie haben ein Fell und ernähren ihre Jungen durch milchähnliche Absonderungen aus Drüsen auf der Bauchseite des Muttertieres. Diese Flüssigkeit sammelt sich in einer Hautfalte, aus der die Jungen sie aufnehmen. Schnabeltiere werden deshalb den Säugetieren zugeordnet. Sie legen aber Eier in ein Nest am Ufer ab und brüten sie aus. Ober- und Unterkiefer bilden einen entenartigen Schnabel aus Horn, mit dessen Hilfe am Grund von Gewässern nach Würmern, Schnecken, Insektenlarven und Muscheln gesucht wird. Bei Schnabeltieren treten Merkmale von Säugetieren und von Kriechtieren auf.

## Aufgaben zur Wiederholung

---

- 1 Nennen Sie die Nährstoffe autotropher Pflanzen!
- 2 Vergleichen Sie in einer Tabelle Assimilation und Dissimilation!
- 3 Warum müssen Zuckerrüben nach der Ernte möglichst bald verarbeitet werden?
- 4 Erläutern Sie die Vorgänge bei der autotrophen Assimilation! Begründen Sie ihre zentrale Stellung in der Natur!
- 5 Beschreiben Sie die Prozesse, die bei der Gärung ablaufen!
- 6 Äpfel oder Kartoffeln schrumpfen bei längerer Lagerung. Erklären Sie diese Erscheinung!
- 7 Obst wird immer häufiger in großen, kühlen Räumen gelagert, in denen die Luft mit Kohlendioxid angereichert ist. Begründen Sie diese Verfahrensweise!
- 8 Nennen Sie Beispiele für Organismen mit heterotropher Lebensweise!
- 9 Nennen Sie für heterotrophlebende Bakterien die erforderlichen Umweltfaktoren! Erläutern Sie dabei den hemmenden bzw. fördernden Einfluß der Umweltfaktoren für die Lebensweise der Bakterien!
- 10 Welchen Zusammenhang gibt es zwischen der Lebensweise der Bakterien und ihrer Bedeutung als Destruenten im Stoffkreislauf der Natur? Beziehen Sie in Ihre Betrachtung die Produzenten und Konsumenten mit ein!
- 11 Beschreiben Sie den Prozeß der Energiefreisetzung bei Organismen, die in den Nahrungsbeziehungen in der Natur als Destruenten wirken! Nennen Sie einige solcher Organismen!
- 12 Erläutern Sie an einer Nahrungskette die Beziehungen zwischen Produzenten, Konsumenten und Destruenten und deren jeweilige Bedeutung für die Natur!
- 13 Stellen Sie in einer Übersicht je 5 Beispiele für Tierarten, Tiergruppen, Pflanzenarten und Pflanzengruppen zusammen, die sich während der Stammesentwicklung besonders stark verändert haben!
- 14 Erläutern Sie die Bedeutung des Urvogels als Beweis für die Richtigkeit der Stammesentwicklung der Organismen!
- 15 Ordnen Sie die Merkmale des Schnabeltieres der Gruppe der Kriechtiere und der der Säugetiere zu! Begründen Sie Ihre Entscheidung!
- 16 Erläutern Sie an einem Beispiel die Höherentwicklung bei Wirbeltieren! Berücksichtigen Sie dabei die verschiedenen Richtungen der Evolution!
- 17 Beschreiben Sie die Stammesentwicklung bei Pflanzen! Welche Veränderungen in Bau und Funktion der Pflanzenorgane stehen mit dem Leben auf dem Lande oder im Wasser in Verbindung?
- 18 Erläutern Sie die Begriffe Art und Population!



## Abstammung und Entwicklung des Menschen

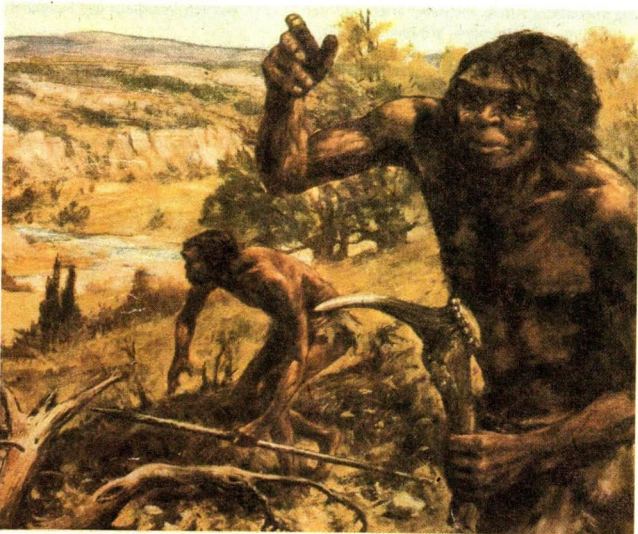
Die Abstammung des Menschen aus dem Tierreich und seine weitere Entwicklung bis zum Menschen der Gegenwart wurden seit der Mitte des 19. Jahrhunderts durch eine Vielzahl von vergleichenden Untersuchungen an Primaten sowie von Fossilfunden und kulturellen Zeugnissen eindeutig belegt. Systematische Ausgrabungen von Rastplätzen, wie beispielsweise bei Bilzingsleben im Bezirk Halle, haben zugleich umfangreiche Informationen über die Lebensweise der Vorfahren des heutigen Menschen geliefert.

Die Frage nach der Herkunft des Menschen ist jedoch wesentlich älter, fast so alt wie die Menschheit selbst. Antworten darauf sind in den einzelnen Zeitepochen in sehr unterschiedlicher Weise gegeben worden.

■ Von griechischen Naturphilosophen der Antike wurde erstmalig versucht, die Frage nach der Stellung des Menschen in der Welt wissenschaftlich zu beantworten.

Der Mensch wurde von ihnen als Naturwesen, als Schöpfer seiner selbst und seiner Kultur betrachtet. Aristoteles (384 bis 322 v. u. Z.) wies ihm einen Platz im System der Tiere zu. Der römische Dichter Lucretius Carus (96 bis 55 v. u. Z.) wandte sich gegen die allgemein verbreitete Auffassung von einer Schöpfung des Menschen durch Götter und sprach sich in seinem Poem „Über die Natur der Dinge“ für eine Entstehung des Menschen auf natürliche Weise aus. □

Diese Gedanken gerieten jedoch später in Vergessenheit. Fast zwei Jahrtausende beherrschte bei vielen Völkern die christliche Schöpfungsgeschichte das Denken des Men-



Rekonstruktion des Urmenschen nach Ausgrabungsbefunden auf dem 350 000 bis 300 000 Jahre alten Rastplatz bei Bilzingsleben (Bezirk Halle)



schen. Nach dem Alten Testament soll Gott den Menschen an einem Tag erschaffen haben. Diese Schöpfung, so wurde um 1650 errechnet, sollte im Jahr 4004 vor Christus, und zwar am 23. Oktober, 9 Uhr morgens, stattgefunden haben.

Erste Zweifel an der biblischen Schöpfungsgeschichte wurden zwar schon im 18. Jahrhundert geäußert. Ein entscheidender Wandel in der Auffassung vom Ursprung des Menschen trat jedoch erst nach der Mitte des 19. Jahrhunderts ein, nachdem Charles Darwin die Evolutionstheorie entwickelt hatte und damit der Weg für eine wissenschaftliche Erklärung der Herausbildung des Menschen aus tierischen Vorfahren frei geworden war. Ernst Haeckel (1834 bis 1919) und Thomas H. Huxley (1825 bis 1895) waren die eifrigsten Verfechter der Theorie von der „Affenabstammung des Menschen“ (→ S. 81).

Die von Karl Marx (1818 bis 1883) und Friedrich Engels (1820 bis 1895) entdeckten Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung der menschlichen Gesellschaft ermöglichten es, die Entstehung der Urgesellschaft zu rekonstruieren und in der Arbeit die wesentlichste Triebkraft im Prozeß der Menschwerdung zu sehen.

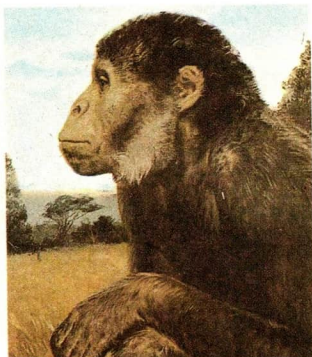
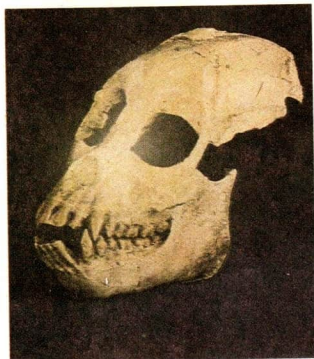
Der Kampf um die Theorie der „Affenabstammung des Menschen“ war zugleich eine Auseinandersetzung mit dem biblischen Schöpfungsglauben. Seit jener Zeit sind um die Herkunft des Menschen immer wieder weltanschauliche Auseinandersetzungen geführt worden.

## Herausbildung des Menschen aus tierischen Vorfahren

Die Halbaffen, Affen, Menschenaffen und der Mensch werden innerhalb der Säugetiere zur Ordnung der Primaten zusammengefaßt.

► Die ersten Primaten, etwa mausgroße Halbaffenformen, haben sich vor etwa 70 Millionen Jahren aus insektenfresserartigen Vorfahren entwickelt.

Halbaffen waren zunächst in Nordamerika und Europa, die damals noch durch eine Landbrücke über Grönland miteinander verbunden waren, weit verbreitet. Aus höher entwickelten Halbaffenformen haben sich dann die ersten Affen herausgebildet: die Neuwelt- oder Breitnasenaffen in Nordamerika, die Altwelt- oder Schmalnasenaffen in Europa oder Asien.



Schädel und Porträtrekonstruktion eines menschenaffenartigen Primaten



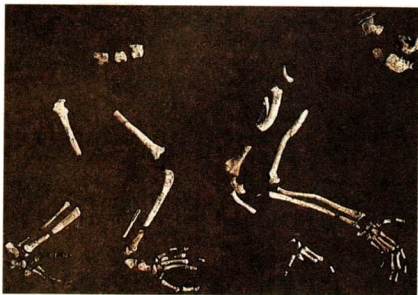


► **Neuwelt- und Altweltaffen haben sich von Anbeginn getrennt entwickelt. Da sie auf verschiedene Ausgangsformen innerhalb der Halbaffen zurückgehen, sind sie nicht unmittelbar miteinander verwandt.** ①

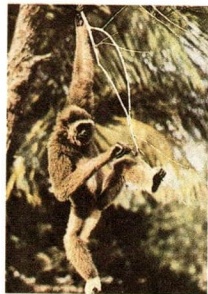
Die ersten Altweltaffen waren relativ kleine, vorwiegend baumbewohnende Tiere, die sich vierfüßig fortbewegten. Vor etwa 37 bis 35 Millionen Jahren haben sie sich in zwei große Gruppen aufgespalten, in meerkatzenartige und in menschenaffenartige Primaten. Die meerkatzenartigen Primaten haben sich zu den heutigen Meerkatzenaffen weiterentwickelt. Von den ältesten menschenaffenartigen Primaten hat sich sehr bald die zu den heutigen Gibbons führende Entwicklungslinie abgespalten.

**Menschenaffenartige Primaten.** Vor 25 bis 15 Millionen Jahren waren menschenaffenartige Primaten in Afrika, Europa und Asien weit verbreitet. Sie werden als Baumaaffen (wissenschaftlich: *Dryopithecinen*) bezeichnet, da sie ursprünglich Baumbewohner waren. Das räumliche Sehen, Greifhände und Greiffüße, wesentliche Voraussetzungen für das Baumleben, waren schon bei ihren Vorfahren ausgebildet. Vorder- und Hintergliedmaßen waren annähernd gleichlang. Im Geäst der Bäume konnten sie sich vierfüßig fortbewegen, aber auch mit den Händen greifend und mit den Beinen nachstemmend klettern (Stemmgreifkletterer). Nicht alle Formen der Baumaaffen waren typische Regenwaldbewohner. Einige lebten auch in offenen Galeriewäldern mit Savannencharakter und haben sich zumindest zeitweise auch vierfüßig auf dem Boden fortbewegt.

Die Größe der menschenaffenartigen Primaten reichte von der Größe eines Zwergschimpansen bis zu der eines Gorilla. Schädelbau und -proportionen entsprachen weitgehend denen der heutigen Menschenaffen: kleiner Hirnschädel, große, kräftige, stark vorspringende Kieferregion, U-förmiger Zahnbogen mit großen Eckzähnen und parallelen seitli-



Skelettreste eines menschenaffenartigen Primaten

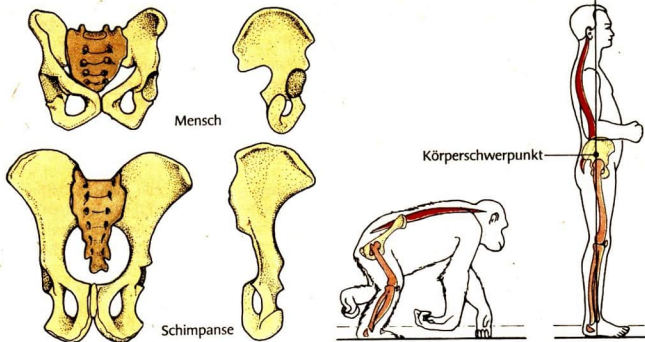


Schwingangelkletterer (Gibbon)

chen Zahnreihen. Lediglich der für Schimpanse und Gorilla typische Überaugenwulst war nicht vorhanden. Große Unterschiede bestanden aber im Körperbau. ②

Etwa 34 Millionen Jahre alte Reste von menschenaffenähnlichen Primaten wurden südlich von Kairo in Ägypten ausgegraben. Mehrere Schädel und Teile des Körperskeletts lassen erkennen, daß sie fuchsgroße Baumbewohner des tropischen Regenwaldes waren, die flink

- 
- ① Erklären Sie, weshalb Neuwelt- und Altweltaffen trotz getrennter stammesgeschichtlicher Entwicklung im äußeren Erscheinungsbild dennoch weitgehend übereinstimmen!
  - ② Begründen Sie die nahe Verwandtschaft des Menschen mit den heutigen Menschenaffen!
-



Form des Beckens

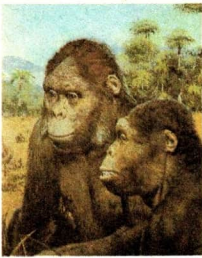
Stellung von Wirbelsäule, Becken und Beinknochen bei Schimpanse und Mensch

klettern und vierfüßig auf den Ästen entlang laufen, sich aber auch auf dem Boden fortbewegen konnten. Veränderungen der klimatischen Bedingungen, die vor mehr als 15 Millionen Jahren begannen, haben zu einer Lichtung der Regenwälder und allmählich zur Entstehung von Baumsavannen und schließlich von Steppen geführt. Einige menschenaffenartige Primaten zogen sich in die erhalten gebliebenen Regenwaldgebiete (z. B. in den zentralen und westlichen Regionen Afrikas) zurück und entwickelten sich dort zu Schwinghangelkletterern. Andere, unspezialisierte Formen, die weiterhin in den vom Waldrückgang betroffenen Gebieten (z. B. im Bereich des Ostafrikanischen Grabenbruches) lebten, sind immer mehr zu einem zeitweiligen, später sogar ständigen Bodenleben übergegangen. Neue Nahrungsquellen und Formen der Nahrungsgewinnung konnten dadurch erschlossen werden. Diese Veränderungen boten wahrscheinlich Individuen mit einer weniger kräftigen Kieferregion und kleineren Eckzähnen günstige Ernährungsbedingungen.

► Die menschenaffenartigen Primaten haben sich in zwei unterschiedliche Richtungen weiterentwickelt. Die eine Richtung führte über das Schwinghangelklettern zu den heutigen Menschenaffen, die andere über die Ausbildung des zweifüßigen aufrechten Ganges zum Menschen. <sup>①</sup>

Die Primaten, die sich vierfüßig auf dem Boden fortbewegten, richteten immer häufiger beim Sitzen ihren Körper auf und führten mit den Vordergliedmaßen verschiedene Tätigkeiten aus. Von Zeit zu Zeit richteten sie sich völlig auf. Dadurch waren trotz Bodenvegetation eine gute Orientierung und ein weites Blickfeld gegeben. Sie konnten beispielsweise Raubtiere in der offenen Landschaft rechtzeitig erkennen und sich in Sicherheit bringen. Dabei hatten offenbar solche Individuen einen Auslesevorteil, die gleichzeitig mit der Kör-

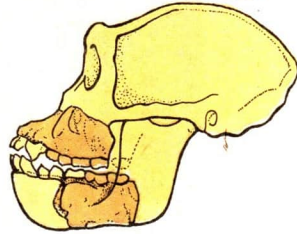
- ① Erläutern Sie anhand von Abbildungen die Unterschiede im Bau des Schädels sowie des Rumpf- und Gliedmaßenskeletts bei Mensch und Menschenaffen (Schimpanse) und stellen Sie die funktionelle Bedeutung dieser Unterschiede dar!
- ② Erläutern Sie das Zusammenwirken von Evolutionsfaktoren bei der Herausbildung der zweifüßig-aufrechten Fortbewegungsweise!
- ③ Nennen Sie die wichtigsten Veränderungen im Bau des Skeletts in Abhängigkeit von deren Funktion bei zweifüßigen Aufrechtgängern!



Porträtrekonstruktion eines frühen Hominiden



Älteste Fußspuren aufrechtgehender Hominiden



Schädelrekonstruktion eines frühen Hominiden

peraufrichtung auch über die Fähigkeit verfügten, sich zumindest kurzzeitig zweifüßig-aufrecht fortzubewegen. Sie konnten besser überleben und sich fortpflanzen. Ein starker Auslese-  
druck in Richtung auf eine Vervollkommnung dieser Fortbewegungsweise dürfte zum ständigen zweifüßig-aufrechten Gang (wissenschaftlich: *Bipedie*) geführt haben. Dieser bedeutete in der Auseinandersetzung mit der natürlichen Umwelt einen großen Auslesevorteil und wurde später, beim Leben in der Steppe, sogar lebensnotwendig. ②

Mit der Herausbildung der aufrechten Körperhaltung und der zweifüßigen Fortbewegungsweise waren zahlreiche Veränderungen im Bau des Skeletts verbunden (z. B. doppelt S-förmige Wirbelsäule, breites schaufelförmiges Becken). Die Vordergliedmaßen konnten nunmehr verstärkt gerichtete Tätigkeiten ausführen.

► Der zweifüßig-aufrechte Gang hat sich nur bei jenen Primaten ausgebildet, die der zum Menschen führenden Entwicklungslinie angehören.

**Menschenartige (Hominiden).** Zu ihnen gehören die heutige Menschheit, alle ausgestorbenen Menschenformen und die unmittelbaren tierischen Vorfahren des Menschen.

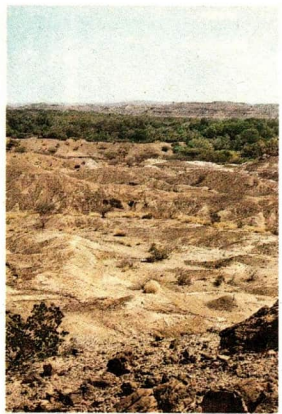
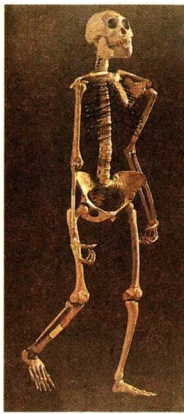
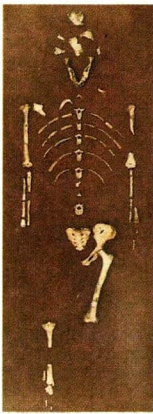
► Die Hominiden sind offenbar vor 25 bis 15 Millionen Jahren aus fossilen Menschenaffen, der gemeinsamen Ursprungsgruppe der heutigen Menschenaffen und des Menschen, entstanden. ③

Fossilfunde der ältesten Hominiden (wissenschaftlich: *Ramapithecinen*) sind aus Ostafrika bekannt und 15 bis 12 Millionen Jahre alt. Sie unterscheiden sich von gleichaltrigen Fossilfunden von Menschenaffen durch eine weniger stark vorspringende Kieferregion, einen mehr gerundeten Zahnbogen und kleinere Eckzähne. Ähnliche Funde aus Asien können noch nicht sicher in diese Gruppe eingeordnet werden.

► Die ältesten Hominiden lebten in einer offenen Wald- und Buschlandschaft und waren noch tierische Wesen.

Aus Süd- und Ostafrika ist von 18 Fundplätzen durch mehr als 1200 Reste (Schädel, Schädelteile, Zähne, Knochen des Rumpf- und Gliedmaßenskeletts) von mindestens 300 Individuen eine Gruppe fossiler Hominiden bekannt, die *Australopithecinen* genannt werden. Die Mehrzahl der Funde ist 3 bis 2 Millionen Jahre alt.

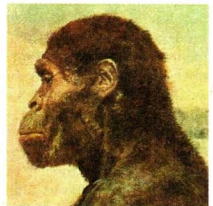
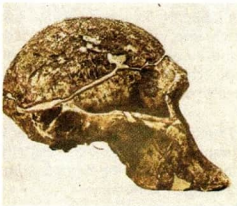
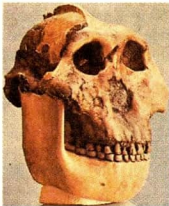
Im Bau des Schädels zeigen die *Australopithecinen* eine auffallende Kombination von affenartigen (z. B. Proportionen von Gesichts- und Hirnschädel; niedriger Hirnschädel mit kleinem Gehirn von 430 cm<sup>3</sup> bis 650 cm<sup>3</sup>, etwa wie bei Schimpanse und Gorilla; noch kräftige vorspringende Kiefer) und menschentypischen Merkmalen (z. B. geschlossener, gerundeter Zahnbogen mit kleinen Eckzähnen). Nach dem Bau des Schädels läßt sich demnach nicht entscheiden, ob es sich noch um affenartige, also tierische, oder schon menschliche Wesen handelte. Das Rumpf- und Gliedmaßenskelett war weitgehend menschenähnlich gebaut, die Fortbewegung zweifüßig-aufrecht.



Skelettreste und Skelettrekonstruktion von „Lucy“

Hadar-Gebiet in Nordost-Äthiopien

■ Der älteste Hinweis auf aufrechtgehende Hominiden stammt aus 3,75 Millionen Jahre alten Bodenschichten im Gebiet von Laetolil (Tansania). Dort wurden Fußspuren von zwei Individuen gefunden (→ Abb. S. 121). Auch das Skelett von „Lucy“, eines 1974 im Hadar-Gebiet (Äthiopien) entdeckten 18- bis 21jährigen Australopithecinenweibchens mit einem Alter von 3 Millionen Jahren, läßt einen vollkommen aufrechten Gang erkennen. □ Innerhalb der Australopithecinen lassen sich ein graziler und ein robuster Typ mit zahlreichen Spezialisierungen im Schädelbau (z. B. knöchernem Scheitellamm) unterscheiden. Die Australopithecinen lebten in den tropischen und subtropischen Savannen- und Steppengebieten Afrikas in kleineren Gruppen. Sie ernährten sich von Wurzeln und Früchten und erbeuteten auch kleine Wirbeltiere.



Schädel eines robusten (links) und eines gracilen (rechts) Australopithecinen

Porträtrekonstruktion eines gracilen Australopithecinen

- ① Nennen Sie die wichtigsten Merkmale der Hominiden am Ende der Tier-Mensch-Übergangsphase, auf deren Grundlage sich die Herausbildung der ältesten Menschen vollziehen konnte!

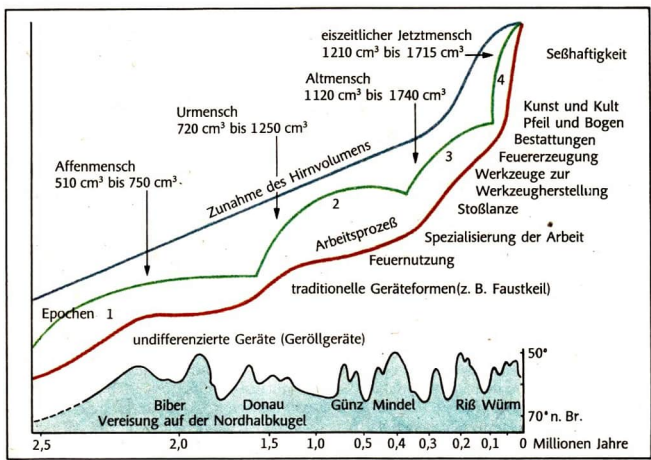


► Die Australopithecinen waren noch keine Menschen, sondern vormenschliche Wesen, die in der Tier-Mensch-Übergangsphase lebten. In ihren Verhaltensweisen standen sie dem ältesten Menschen schon recht nahe und somit gleichsam an der Schwelle zur Menschheit. ①

## Entwicklung bis zum Menschen der Gegenwart

Der Mensch ist das am höchsten entwickelte Lebewesen auf der Erde. Er ist in Jahrmillionen langer Entwicklung aus dem Tierreich hervorgegangen. Körperbau, Lebensfunktionen, Fortpflanzung, Embryonalentwicklung und Evolution werden auch beim Menschen durch biotische Faktoren und Gesetzmäßigkeiten bestimmt.

Der Mensch ist das einzige Lebewesen, das seine Existenz- und Produktionsmittel selbst produziert, zur Befriedigung seiner Bedürfnisse materielle und geistige Produkte herstellt und durch den Arbeitsprozeß aktiv auf die Natur einwirkt. Dadurch eignet er sich seine Umwelt bewußt an und verändert sie.



Zunahme des Hirnvolumens – Entwicklung des Arbeitsprozesses (Epochen ↗ 3. Umschlagseite)

Arbeit, Denken, Sprache und Bewußtsein sind die wesentlichsten Voraussetzungen des gesellschaftlichen Daseins des Menschen. Ermöglicht wurde eine solche Entwicklung durch eine enorme Größenzunahme und innere Umstrukturierung des Gehirns und die damit verbundene Leistungssteigerung. Der heutige Mensch besitzt ein etwa dreimal größeres Gehirn als die unmittelbaren tierischen Vorfahren des Menschen. Die Größenzunahme des Gehirns setzte erst nach dem Erwerb des zweifüßig-aufrechten Ganges ein. Sie erfolgte vor allem im Bereich des Großhirns. Dort werden die von den Sinnesorganen über die Nervenbahnen eingehenden Informationen verarbeitet, beantwortet und gespeichert. Die innere Umstrukturierung mit der Vergrößerung der Windungen der Großhirnrinde und der Erhö-

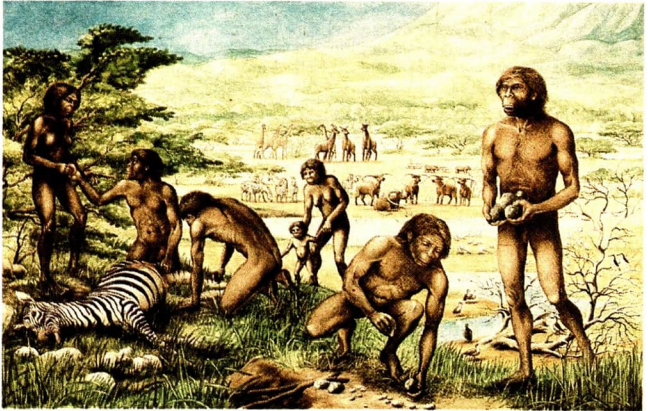


hung der Anzahl der Nervenzellen setzte offenbar erst vor etwa 100 000 Jahren verstärkt ein und dürfte vor 10 000 Jahren im wesentlichen abgeschlossen gewesen sein. Zwischen der Entwicklung des Gehirns und der des Arbeitsprozesses bestanden von Anfang an enge Zusammenhänge und Wechselwirkungen.

► **Der Mensch ist von Natur aus ein biotisches und seinem Wesen nach ein gesellschaftliches Lebewesen. Sein Dasein wird durch biotische und gesellschaftliche Gesetzmäßigkeiten bestimmt.** <sup>①</sup>

Im Verlaufe seiner Entwicklung hat der Mensch immer mehr gelernt, die Gesetze der Natur und der Gesellschaft zu erkennen und zu nutzen.

**Affenmensch.** In der Evolution des Menschen lassen sich mehrere Entwicklungsformen unterscheiden: Affenmensch, Urmensch, Altmensch, Jetztmensch.



Lebensweise des Affenmenschen

Vor etwa 2,5 Millionen Jahren hat sich in den tropischen Savannen- und Steppengebieten Afrikas aus vormenschlichen Wesen der Mensch herausgebildet. Die älteste Entwicklungsform des Menschen, der Affenmensch (wissenschaftlich: *Homo habilis*), glich im Körperbau noch weitgehend dem grazilen Typ der Australopithecinen (↗ S. 122). In zahlreichen Merkmalen des Schädels unterschied sich der Affenmensch jedoch deutlich von den Australopithecinen. Der Hirnschädel war größer, der Überaugenwulst nur noch schwach ausgeprägt. Das Hirnvolumen betrug 510 cm<sup>3</sup> bis 750 cm<sup>3</sup>. Das Rumpf- und Gliedmaßen skelett zeigte bereits große Ähnlichkeit mit dem des heutigen Menschen.

► **Der Affenmensch nahm eine Mittelstellung zwischen dem grazilen Australopitheciner und dem Urmenschen ein.**

- ① Erläutern Sie an Beispielen, daß der Mensch biotischen und gesellschaftlichen Gesetzmäßigkeiten unterliegt!
- ② Erläutern Sie anhand von Beispielen die Unterschiede zwischen vormenschlicher Tätigkeit und Arbeitstätigkeit des Menschen!
- ③ Begründen Sie, weshalb die Arbeit das wichtigste Kriterium des Menschseins darstellt!



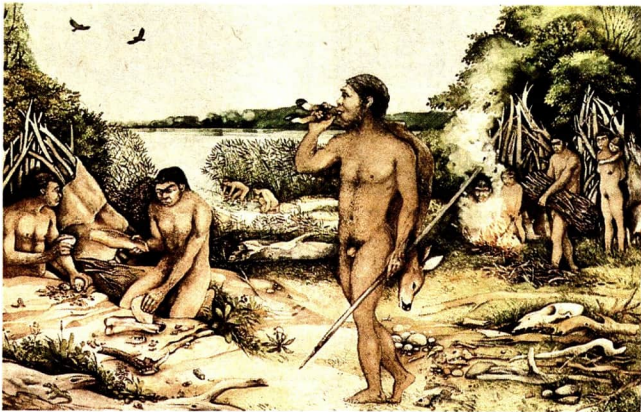
■ Bisher sind über 150 Reste (Schädel, Schädelteile, Zähne, Rumpf- und Gliedmaßenknochen) von 30 bis 40 Individuen des Affenmenschen geborgen worden. Drei Fundstellen liegen in Ostafrika (Olduvai in Tansania, Ost-Turkana in Kenia, Omo in Äthiopien), zwei in Südafrika (Sterkfontein, Swartkrans). Das Alter der Funde beträgt 2,5 bis 1,5 Millionen Jahre. □

Mit dem größeren Hirnvolumen des Affenmenschen war eine Leistungssteigerung der Funktionen des Gehirns verbunden. Das kam auch in der Herstellung von Geräten zum Ausdruck. Solche Geräte, mit wenigen Schlägen bearbeitete Kieselsteine, werden Geröllgeräte genannt und sind auf den Fundplätzen des Affenmenschen in größerer Anzahl entdeckt worden.

► **Der Affenmensch war der erste Hersteller von Geräten. Er lebte in kleineren Gruppen, den Urhorden, und war Jäger und Sammler.**

Er erlegte kleinere Wirbeltiere und erbeutete auch Fleisch von verendeten bzw. durch Raubtiere gerissenen größeren Tieren. Zerlegungsplätze von Elefanten und Nashörnern sind wiederholt gefunden worden. Vom Affenmenschen sind auch Rastplätze bekannt, auf denen es vielleicht schon windschirmähnliche Behausungen gab. ② ③

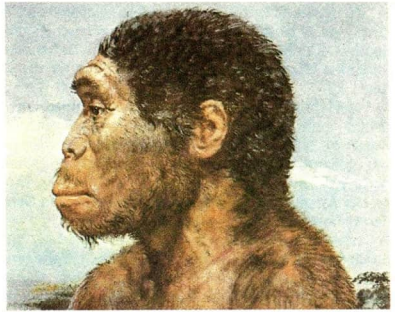
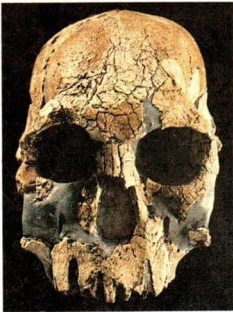
**Urmensch.** Ernst Haeckel hat 1866 in seiner „Generellen Morphologie der Organismen“ einen Stammbaum des Menschen entworfen (→ S. 81) und zwischen Menschenaffen und Mensch eine hypothetische Übergangsform eingefügt, die er *Pithecanthropus* (Affenmensch) nannte. 1887 faßte der holländische Arzt E. Dubois (1858 bis 1940) den Entschluß, Haeckels *Pithecanthropus* zu suchen. Er ging nach Java. Dort entdeckte er 1891/92 am Solofluß bei Trinil ein stark versteinertes, urtümlich wirkendes Schädeldach und einen Oberschenkelknochen, der nur von einem aufrechtgehenden Wesen stammen konnte.



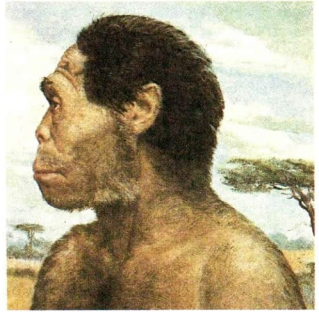
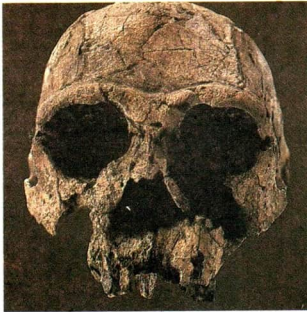
Lebensweise des Urmenschen von Bilzingsleben

E. Dubois nannte seinen Fund deshalb *Pithecanthropus erectus*. Er war überzeugt, die Reste einer ausgestorbenen Menschenform entdeckt zu haben. Heute wird diese Form Urmensch (wissenschaftlich: *Homo erectus*) genannt.

► **Der Urmensch hat sich vor etwa 1,5 Millionen Jahren in den tropischen Gebieten Ostafrikas aus dem Affenmenschen entwickelt.**



Schädel und Porträtrekonstruktion eines Affenmenschen



Schädel und Porträtrekonstruktion eines Urmenschen

■ Die ältesten Funde von Urmenschen liegen aus Olduvai in Tansania, vom Ufer des Turkana-sees in Kenia, aus Omo und Melka Kunturé in Äthiopien vor. Sie sind 1,5 bis 1,2 Millionen Jahre alt. Dazu gehört auch das fast vollständige Skelett eines etwa 12jährigen Knaben, der vor etwa 1,5 Millionen Jahren am Turkana-see gelebt hat (→ Abb. S. 127). □

► Vor etwa 1 Million Jahren haben Gruppen des Urmenschen erstmals die tropisch-afrikanische Urheimat der Menschheit verlassen und sind über Nordafrika nach Europa und über Vorderasien nach Südost- und Ostasien vorgedrungen. ①

■ Reste vom Urmenschen sind auf über 50 Fundplätzen in Afrika, Asien und Europa entdeckt worden (→ Abb. S. 127). Sie stammen von mehr als 175 Individuen. Meist liegen nur

- 
- ① Erläutern Sie, daß die Wiege der Menschheit in Afrika und nicht in Asien, wie früher vielfach angenommen worden ist, gestanden hat!
- ② Beschreiben Sie anhand der Abbildungen die Unterschiede zwischen Australopithecus, Affenmensch und Urmensch!
-





wenige Knochenbruchstücke vor. Vollständig erhaltene Schädel wurden selten gefunden. □

► Kennzeichnend für den Urmenschen ist ein massiver Knochenbau im Bereich des Schädels und des Gliedmaßen skeletts.

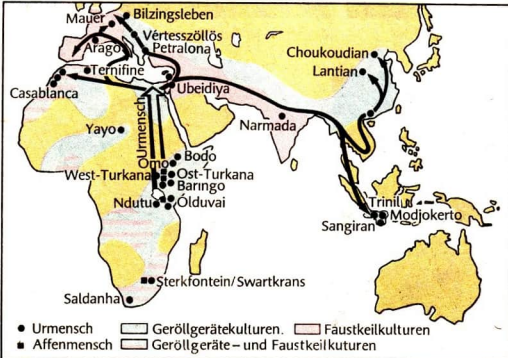
Der Hirnschädel ist besonders dickwandig, langgestreckt und niedrig und hinter den Augenhöhlen stark eingeschnürt. Die Stirn ist niedrig und fliehend, der Überaugenwulst kräftig entwickelt. Das Gesicht ist groß und massig, die Kiefer springen weit vor. Ein knöcherner Kinnvorsprung ist nicht entwickelt. ②

► Gegenüber dem Affenmenschen weist der Urmensch zahlreiche progressive Merkmale auf. Dazu zählt vor allem ein größeres Hirnvolumen (720 cm<sup>3</sup> bis 1250 cm<sup>3</sup>), das auf eine entsprechende Leistungssteigerung der Funktionen des Gehirns schließen läßt.

Die Zeit des Urmenschen umfaßt mehr als 1 Million Jahre. Innerhalb dieser Zeitspanne sind deutliche Veränderungen am Schädel erkennbar. Der Hirnschädel wird größer und voluminöser, die Stirn höher und steiler. Das durchschnittliche Hirnvolumen steigt von 860 cm<sup>3</sup> beim frühen Urmenschen (älter als 1 Million Jahre) auf 920 cm<sup>3</sup> bei 1 bis 0,5 Millionen Jahre alten Funden und auf 1130 cm<sup>3</sup> beim späten Urmenschen (jünger als 0,5 Millionen Jahre). Der Gesichtsschädel ist weniger kräftig ausgebildet. Beim Urmenschen haben sich in Anpassung an unterschiedliche Klimazonen (tropische bis gemäßigte Regionen) auch regionale und lokale Formen herausgebildet.

Die Steingeräte des Urmenschen weisen ein höheres Niveau der Bearbeitung auf als die Geröllgeräte des Affenmenschen (→ S. 128). Erstmals lassen sich standardisierte Formen erkennen. Ein für weite Gebiete Europas, Afrikas und Asiens typisches Gerät ist der Faustkeil (→ Abb. S. 128). Er ist beispielsweise zum Stechen, Bohren, Schlagen, Schneiden und Schaben verwendbar.

► Der Faustkeil ist das erste nach festen Formvorstellungen gefertigte Arbeitsinstrument des Menschen.



Verbreitung und Kulturen des Urmenschen

Urmenschen skelett vom Turkanasee in Kenia

Andere Geräte aus Stein wurden wie der Faustkeil zum Zerteilen und Aufbereiten der Jagdbeute sowie als Werkzeuge zur Herstellung einfacher Geräte aus Knochen und Holz benutzt. In einigen Regionen des Verbreitungsgebietes des Urmenschen wurden auch noch Geröllgeräte hergestellt. Der späte Urmensch erschloß sich das Feuer als Produktivkraft.



Diese Errungenschaft stellt die erste bedeutende Erfindung innerhalb der Menschheitsgeschichte dar. Obwohl zunächst das Feuer nur gewonnen, gepflegt und genutzt, aber nicht erzeugt werden konnte, waren von Anfang an damit bedeutende gesellschaftliche Veränderungen verbunden.

► Das Feuer wurde zum Mittelpunkt der Horde und förderte deren weiteren Zusammenschluß. Es diente der Zubereitung der Nahrung, gewährte Schutz vor Raubtieren und Kälte und wurde später auch unmittelbar im Arbeitsprozeß eingesetzt.

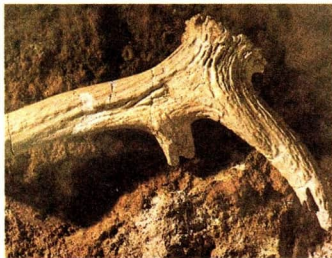
Ein besonders eindrucksvolles Bild vom Leben einer Urmenschenhorde vor 350 000 bis 300 000 Jahren vermitteln die Grabungsergebnisse aus Bilzingsleben im Bezirk Halle. Dort wird seit 1969 auf einer ehemaligen Uferterrasse neben einem Bach ein Rastplatz freigelegt. Zahlreiche Knochen vom Waldelefanten, Steppennashorn, Wisent, Auerochsen, Wildpferd, Hirsch, Bär und Wildschwein lassen erkennen, daß der Urmensch Großwild jagte. Eine solche Jagd konnte nur erfolgreich sein, wenn sie in der Gemeinschaft geplant,



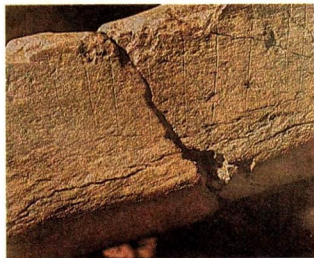
Geröllgerät des Affenmenschen



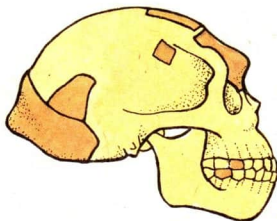
Faustkeil des Urmenschen



Geweihhacke aus Bilzingsleben



Knochengerät aus Bilzingsleben mit parallelen Einkerbungen



Rekonstruktion des Urmenschenschädels aus Bilzingsleben mit eingezeichneten Knochenbruchstücken

- ① Erläutern Sie, auf welche Weise die Gewinnung des Feuers erfolgen konnte!
- ② Begründen Sie, weshalb das Feuer im Leben des Urmenschen eine so bedeutende Rolle gespielt hat!
- ③ Erläutern Sie, wie die Jagd des Urmenschen auf Großwild geplant, vorbereitet und durchgeführt worden sein könnte!



vorbereitet und ausgeführt wurde. Die Jagd war Angelegenheit der Männer. Die Frauen sammelten Beeren und andere Früchte und trugen so ebenfalls zum Nahrungserwerb bei.

② ③

Auf dem Rastplatz von Bilzingsleben wurden Reste mehrerer runder und ovaler Behausungen, offenbar zeltartiger Hütten aus Stangengerüsten und Fellen, entdeckt. Vor den Behausungen lagen jeweils eine Feuerstelle und mehrere Arbeitsplätze.

Auf diesen Arbeitsplätzen wurden Tierknochen zertrümmert und gespalten, auch Hölzer mit Hiebgeräten aus Stein bearbeitet. In Bilzingsleben sind im ehemaligen Bach und auf der Uferfläche auch mehrere Schädelreste und Zähne von Urmenschen gefunden worden. Sie gehören vermutlich zu 4 bis 5 Individuen.



Ausgrabung des Rastplatzes der Urmenschen von Bilzingsleben

Der Urmensch von Bilzingsleben hat nicht nur Geräte und Werkzeuge nach festumrissenen Zielvorstellungen hergestellt, sondern auch in relativ hohem Maße damit bewußt und zielgerichtet gearbeitet. Auch die auf Knochen offenbar absichtlich eingravierten parallelen Linien und Zeichen lassen erkennen, daß der späte Urmensch bereits in der Lage war, sich Vorstellungen über sich und seine Umwelt zu machen und diese in einer Form seinen Mitmenschen mitzuteilen, die für die spätere geistige Entwicklung der Menschheit entscheidende Bedeutung erlangte.

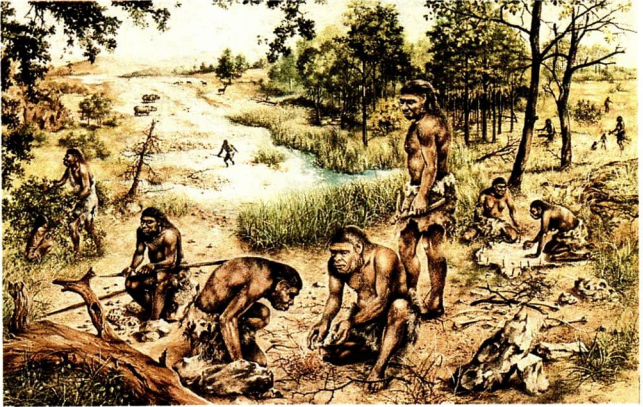
► **Der Urmensch von Bilzingsleben hat zielgerichtet gearbeitet. Zeichen auf Knochen deuten auf eine entwickelte Kommunikationsform hin.**

**Altmensch.** Vor etwa 300 000 Jahren hat sich aus Populationen des Urmenschen der Altmensch entwickelt.

Noch ungeklärt ist, ob dieser Prozeß sich gleichzeitig in Afrika, Europa und Asien oder nur in einem enger umgrenzten Gebiet vollzogen hat.

Beim Altmenschen (wissenschaftlich: *Homo sapiens neanderthalensis*) lassen sich zeitlich und auch regional mehrere Gruppen unterscheiden. Die ältesten Funde (Swanscombe in England, Steinheim in der BRD) sind 280 000 bis 250 000 Jahre, die jüngsten 40 000 bis 35 000 Jahre alt.

■ Altmenschenfunde sind aus Europa, Afrika und Asien bekannt. Insgesamt liegen von



Lebensweise des Altmenschen von Weimar-Ehringsdorf

mehr als 140 Fundplätzen Reste von mehr als 300 Individuen vor. Die meisten Funde stammen aus Europa. □

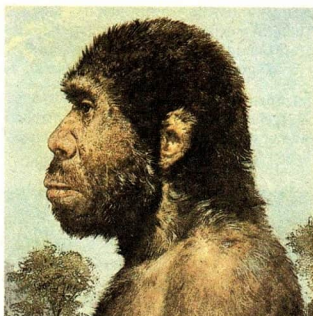
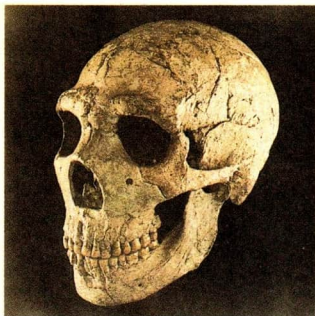
Das Verbreitungsgebiet des Altmenschen entspricht im wesentlichen dem des Urmenschen. Vor allem in Europa wurden die Entwicklung, der Lebensraum und die Lebensweise des Altmenschen durch den Wechsel von Kaltzeiten und Warmzeiten stark beeinflusst. Dadurch ist es zur Ausbildung von speziellen Anpassungsformen an das Klima in Eisrandnähe gekommen. Die Neandertaler Süd- und Westeuropas stellen eine solche Sonderform dar.

■ Die Bezeichnung Neandertaler geht auf den von J. C. Fuhlrott (1804 bis 1877) im Jahre 1856 untersuchten Fund von Schädel- und Skelettknochen im Neandertal bei Düsseldorf zurück. Fuhlrott erkannte in ihm die Reste eines fossilen Menschen. Seine Aussage wurde von den Fachgelehrten erst um die Jahrhundertwende anerkannt. Als Neandertaler wurden früher vielfach alle Altmenschen bezeichnet. Heute werden nur noch die Altmenschenfunde aus der letzten Eiszeit Europas und die aus Vorderasien so genannt. □

Der Schädel des Altmenschen ist auffallend groß, mit kräftigem Überaugenwulst und noch deutlich fliehender, niedriger Stirn. Das Gesicht zeigt ein grobes Relief, die Kiefer springen noch deutlich vor, ein knöcherner Kinnvorsprung ist nicht vorhanden. Das Hirnvolumen erreicht Werte zwischen  $1120 \text{ cm}^3$  und  $1740 \text{ cm}^3$ . Die Knochen der Gliedmaßen deuten auf einen kräftigen, etwas untersetzten Körperbau hin. Die Körperhöhe beträgt 1,55 m bis 1,65 m.

■ Ein bedeutender Fundplatz des frühen Altmenschen befindet sich in Weimar-Ehringsdorf. 1908 bis 1925 wurden auf einem ehemaligen Rastplatz neben Resten der Jagdbeute und Steingeräten auch Schädelknochen von etwa 10 Individuen entdeckt. □

- ① Erläutern Sie, wie sich der Wechsel von Kalt- und Warmzeiten in Europa auf das Leben des Altmenschen auswirkte!
- ② Erläutern Sie anhand der Abbildungen die Fortschritte in der Geräteherstellung zwischen Urmensch und Altmensch!



Schädel und Porträtrekonstruktion eines Altmenschen

Die Faustkeile und Abschlaggeräte wurden durch die Altmenschen weiterentwickelt, auch Differenzierungen in den Werkzeugtypen wurden erreicht. Stoßlanzen mit feuergehärteten Spitzen und Speere aus Holz sind bei der Jagd benutzt worden. Dadurch wurde die Jagd effektiver. Gleichzeitig verringerten sich die Gefahren für den Jäger, da Tiere aus einiger Entfernung erlegt werden konnten. ②

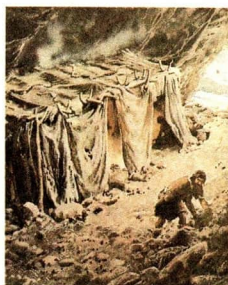
► Die Erzeugung des Feuers durch den Altmenschen bedeutete einen weiteren wesentlichen Schritt auf dem Wege zur Beherrschung der Natur.

Die Wohn- und Rastplätze des Altmenschen befanden sich im Freiland, in Höhlen oder unter Felsdächern. Von Freilandlagerplätzen sind Reste von Behausungen, die zuweilen aus Mammutstoßzähnen und Knochen bestanden, bekannt. Diese Lagerplätze wurden nur zeitweise, offenbar im Zusammenhang mit dem jahreszeitlich wechselnden Wildreichtum in den jeweiligen Gegenden, genutzt. In vielen Fällen wurde die Nutzung jedoch mehrmals wiederholt. Der Altmensch lebte wie der Urmensch als Jäger und Sammler in Horden. Diese waren jedoch schon fester gefügte, weitgehend sozial geprägte Gemeinschaften.

► Kooperation, Arbeitsteilung zwischen den Geschlechtern, Nahrungsteilung und gegenseitige Hilfe innerhalb der Gruppen waren beim Altmenschen zu sozialen Prinzipien geworden.



Geräte des Altmenschen

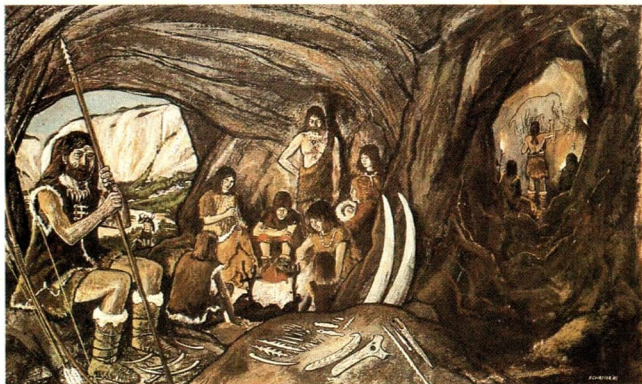


Rekonstruktion einer Behausung



Beim Altmenschen lassen sich aus dem Fundmaterial und den Fundumständen zahlreiche Totenriten erschließen. Erstmals treten zu Beginn der letzten Eiszeit Körperbestattungen in Erscheinung. Sie sind als Ausdruck des Bemühens um die geistige Bewältigung der Zusammenhänge zwischen Mensch und Natur, zwischen Leben und Tod zu deuten.

**Jetztmensch.** Bereits zur Zeit des Altmenschen lebten Individuen mit teilweise oder sogar weitgehend jetztmenschlichem Schädelbau. Wann und wo sich jedoch der Übergang vom Altmenschen zum Jetztmenschen vollzogen hat, darüber werden noch heute unterschiedliche Hypothesen vertreten.



Lebensweise des eiszeitlichen Jetztmenschen

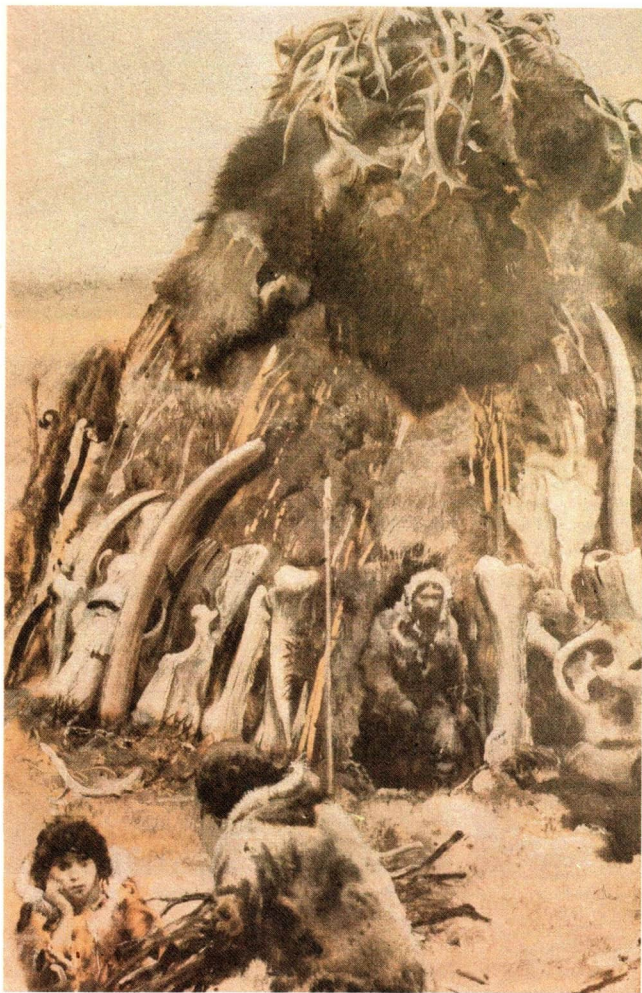
► Der Jetztmensch hat sich aus unspezialisierten Formen des Altmenschen entwickelt. Seit 40 000 bis 35 000 Jahren besiedelt er fast alle Gebiete der Erde.

Innerhalb der Gruppe des Jetztmenschen (wissenschaftlich: *Homo sapiens sapiens*) wird zwischen dem eiszeitlichen und dem rezenten Jetztmenschen (seit 10 000 Jahren) unterschieden. Der eiszeitliche Jetztmensch besiedelte fast alle Gebiete Afrikas, Europas und Asiens. Er drang von Asien aus erstmals nach Australien und Ozeanien, wenig später auch über die Bering-Landbrücke nach Nordamerika vor.

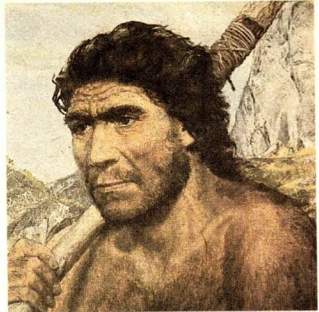
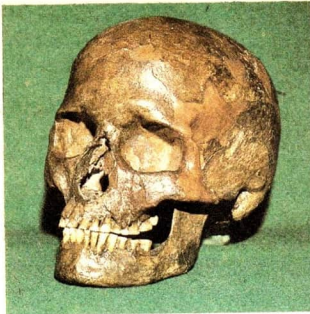
■ Vom eiszeitlichen Jetztmenschen sind von mehr als 300 Fundplätzen Reste von über 1100 Individuen bekannt, darunter auch viele fast vollständige Skelette. □

Im Vergleich zum Altmenschen ist der Schädel des Jetztmenschen weniger dickwandig, die Stirn ist steil und hoch. Das im Verhältnis zum Hirnschädel kleine, steilgestellte Gesicht hat rechteckige Augenhöhlen, Wangengruben und am Unterkiefer einen deutlichen knöchernen Kinnvorsprung. Das Gesichtsrelief ist gut ausgeprägt. Das Körperskelett ist ebenfalls grazil.

Das Hirnvolumen hat sich beim eiszeitlichen Jetztmenschen ( $1210 \text{ cm}^3$  bis  $1715 \text{ cm}^3$ ) gegenüber dem des Altmenschen nicht vergrößert. Die weitere Entwicklung des Gehirns vollzog sich durch innere Umstrukturierungen, die eine Verdichtung, Verkleinerung, stärkere Differenzierung und Zunahme der Anzahl der Nervenzellen einschlossen. In unmittelbarem Zusammenhang damit standen die weitere Vervollkommnung von Denken, Sprache und Bewußtsein. Dieser Prozeß erfolgte in Wechselwirkung mit der Arbeit und den gesellschaftlichen Beziehungen in der Auseinandersetzung mit der natürlichen Umwelt.



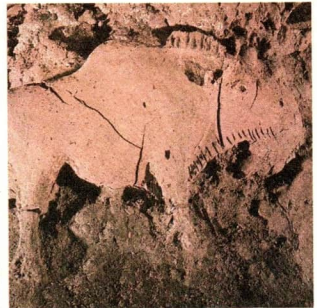
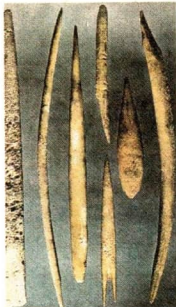
Rekonstruktion einer Zelthütte des eiszeitlichen Letztmenschen



Schädel und Porträtrekonstruktion eines eiszeitlichen Jeltzmenschen

► Mit der Herausbildung des Jeltzmenschen vor 40 000 bis 35 000 Jahren war der Prozeß der Menschwerdung abgeschlossen. Gleichzeitig wurde die Hordengesellschaft durch eine höhere Form der Gesellschaft, die Urgesellschaft, abgelöst. ①

Die Arbeitsgeräte und Arbeitsfertigkeiten zeigten beim eiszeitlichen Jeltzmenschen ein höheres Niveau als bei den älteren Menschenformen. Aus Geweih und Knochen wurden Spezialgeräte angefertigt. Zusammengesetzte Geräte, wie Wurfspeer und Speerscheuler, und die Erfindung von Pfeil und Bogen ermöglichten neue Jagdmethoden. Sie sicherten bessere und gleichbleibende Jagderfolge. Verbesserte Behausungen in Form von Zelthütten deuten darauf hin, daß der eiszeitliche Jeltzmensch zeitweise seßhaft war.



Knochengeräte, Frauenstatuette und plastische Bisdarstellung vom eiszeitlichen Jeltzmenschen geschaffen

- ① Charakterisieren Sie den Prozeß der Menschwerdung bis zu seinem Abschluß und stellen Sie die wichtigsten Entwicklungsetappen heraus!





Eiszeitlicher Künstler



► Das Niveau der Naturbeherrschung hat sich beim eiszeitlichen Letztmenschen gegenüber dem Altmenschen sichtbar erhöht. Grundlage des Lebens waren aber noch immer Jagd und Sammeltätigkeit. Der Mensch war dadurch noch mehr von der Natur abhängig als in heutiger Zeit.

In Felsbildern, Gravierungen sowie in vielfältigen Kleinkunst-, Schmuck- und verzierten Gebrauchsgegenständen spiegeln sich künstlerische Tätigkeiten wider. Kunst und Kult sind Ausdruck des Bemühens um eine geistige Bewältigung der natürlichen und gesellschaftlichen Umwelt des eiszeitlichen Letztmenschen. Vielfältige Totenrituale und zahlreiche Körperbestattungen deuten auf vertiefte Auseinandersetzung mit Leben und Tod hin.

► In der Urgesellschaft waren die Gesetzmäßigkeiten des gesellschaftlichen Zusammenlebens in ihrer Gesamtheit erstmals vollständig ausgeprägt. Verstärkte Arbeitsteilung nach Alter und Geschlecht, Zusammenarbeit und gegenseitige Unterstützung zum Erhalt der Gemeinschaft prägten ebenso wie andere Verhaltensnormen das Leben innerhalb der Gemeinschaft sowie in den Beziehungen zwischen den einzelnen Gruppen.

In der Urgesellschaft wurde die Wirkung der biotischen Entwicklungsgesetzmäßigkeiten noch weiter eingeschränkt. Die gesellschaftlichen Gesetzmäßigkeiten dominierten von nun an in der Entwicklung der Menschheit. ①

## Menschenrassen und ihre Entstehung



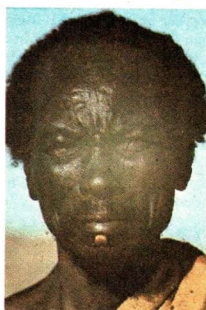
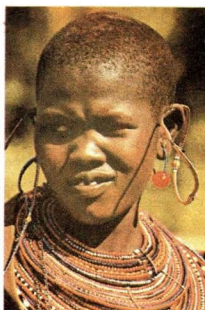
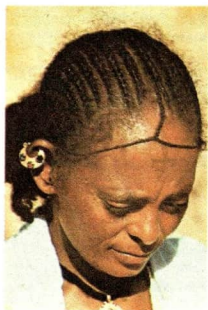
Vertreter verschiedener Rassenkreise des Menschen

Während der letzten Eiszeit haben sich zwischen Menschenpopulationen verschiedener geographischer Regionen und Kontinente Unterschiede herausgebildet. Sie sind unter dem Einfluß längerer geographischer Isolierung als Anpassung an unterschiedliche geographische Bedingungen (z. B. Temperatur, UV-Strahlung, Höhenlage, Klimazone) entstanden. Sie stellen das Ergebnis unterschiedlicher Wirkungsweisen verschiedener Evolutionsfaktoren (z. B. Auslese, Neukombination) in den geographisch isolierten Populationen dar.

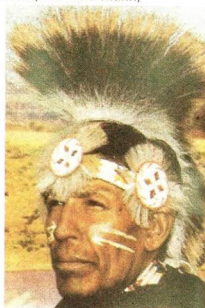
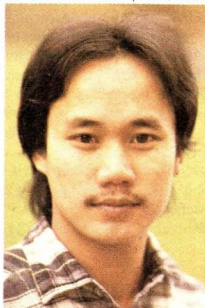
- ① Die Entwicklung der Menschheit vollzieht sich seit der Entstehung der Urgesellschaft vorwiegend auf gesellschaftlichem Gebiet. Begründen Sie!



Vertreter des europiden Rassenkreises (von links: Mitteleuropäer, Mediterrane Frau, Lappländerin)



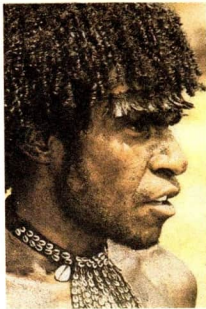
Vertreter des negriden Rassenkreises (von links: Äthiopierin, Massai-Frau, Turkana-Mann)



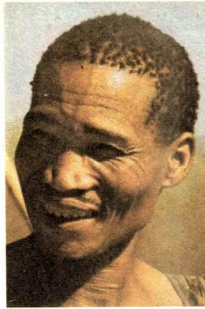
Vertreter des mongoliden Rassenkreises (von links: Mongolenkind, Vietnameser, Indianer)



Australischer Ureinwohner



Papua



Buschmann

► Alle heute lebenden Menschen gehören zur Art *Homo sapiens*. Zwischen ihnen bestehen Übereinstimmungen in allen wesentlichen genetischen, anatomisch-physiologischen und psychischen Merkmalen.

Veränderungen in den Populationen verschiedener Regionen führten zur Entstehung der drei Rassenkreise der Menschheit, der Europiden, Negriden und der Mongoliden. ①

**Europide.** Die Europiden sind durch eine helle bis dunkelbraune Hautfarbe, glattes bis welliges Kopfhhaar, relativ starke Körperbehaarung, deutliches Gesichtsrelief mit hoher, schmaler Nase und relativ schmalen Lippen und einen langen, breiten Rumpf gekennzeichnet. Die Europiden waren ursprünglich in Europa, Nordafrika und Vorderasien bis Süd-asien verbreitet.

**Negride.** Die Negriden haben eine dunkelbraune bis schwarze Hautfarbe, braun-schwarze Augen, kurzes, krauses bis spiralförmig gedrehtes schwarzes Kopfhhaar, eine spärliche Körperbehaarung, ein mäßig starkes Gesichtsrelief mit breiter, flacher Nase und dicken, gewulsteten Lippen sowie einen relativ kurzen Rumpf. Die Negriden waren ursprünglich nur in Afrika südlich der Sahara verbreitet.

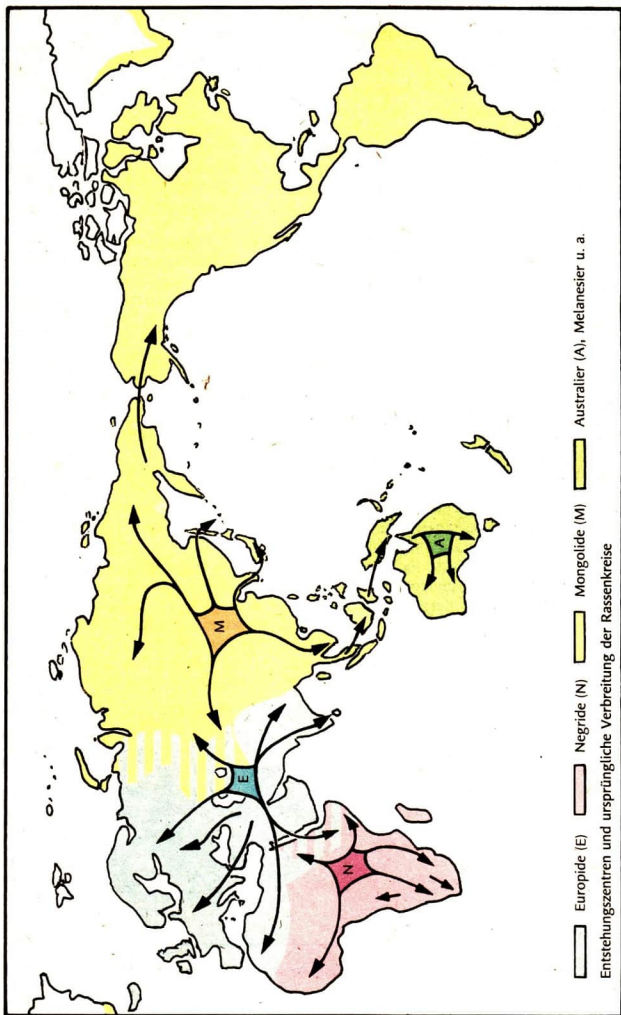
**Mongolide.** Die Mongoliden sind durch eine hellgelbliche bis dunkelbraune Hautfarbe, braune Augen, langes, straffes schwarzes Kopfhhaar, recht spärliche Körperbehaarung, ein auffallend flaches Gesicht mit hervortretenden Wangenbeinen, wenig vorspringender Nase, schräg nach außen ansteigender Lidspalte mit Mongolenfalte und einen breiten Rumpf charakterisiert. Die Mongoliden sind in Zentralasien entstanden und haben sich über fast ganz Asien ausgebreitet. Sie sind nach Nord- und Südamerika vorgedrungen und haben sich dort zu einer selbständigen Gruppe, den Indianiden, entwickelt.

■ Einige Bevölkerungsgruppen, beispielsweise die australischen Ureinwohner und Melanesier, lassen sich keinem der drei Rassenkreise zuordnen. □

Jeder Rassenkreis besteht aus zahlreichen Menschenrassen.

Menschenrassen sind das Ergebnis einer Wechselwirkung zwischen biotischer und gesellschaftlicher Entwicklung beim Menschen, zwischen natürlichen und gesellschaftlichen Lebensbedingungen vorwiegend unter dem Einfluß der geographischen Isolation. Sie stellen

① Begründen Sie, weshalb alle heute lebenden Menschen zur Art *Homo sapiens* gehören! Welche Schlußfolgerungen ergeben sich daraus für das Zusammenleben der Menschen?





keine unveränderlichen Gruppierungen dar, sondern sind zeitweilige Ergebnisse eines dynamischen Entwicklungsprozesses innerhalb der Menschheit.

► **Menschenrassen sind Populationen gemeinsamen Ursprungs, die sich durch einen bestimmten genetisch bedingten Merkmalskomplex und typische Verhaltensweisen auszeichnen. Sie unterscheiden sich dadurch von Gruppen in anderen Gebieten. Trotz dieser Unterschiede gehören alle Menschenrassen zu einer Art.**

In heutiger Zeit vollzieht sich, bedingt durch den technischen, kulturellen und sozialen Fortschritt, eine immer stärkere Vermischung der Rassen. Dadurch werden die Unterschiede zwischen den Menschenrassen immer geringer. Dieser Prozeß wirkt sich für die Menschheit positiv aus. Damit nehmen gleichzeitig die individuellen Unterschiede zwischen den Menschen und die Variabilität insgesamt zu. Auf diese Weise werden weitere Voraussetzungen für Populationsveränderungen geschaffen.

► **Rassenmerkmale sind für das gesellschaftliche Wesen des Menschen, für die geistige und kulturelle Leistungsfähigkeit ohne Bedeutung. Die zwischen Menschenrassen zeitweise bestehenden Entwicklungsunterschiede in sozialer und ökonomischer Hinsicht sind nicht biotisch bedingt. Sie sind meist die Folge natürlicher Isolation durch extreme geographische Randlagen oder künstlicher Isolierung vom gesellschaftlichen Fortschritt durch koloniale Unterdrückung.**

Menschen aller Rassen und Völker sind befähigt, ihre materiellen und geistigen Aufgaben zu lösen und in mehr oder weniger kurzer Zeit Anschluß an den erreichten Stand auf den verschiedensten Gebieten von Wissenschaft und Technik zu gewinnen, wenn die Fesseln der Unterdrückung, Ausbeutung und wirtschaftlichen Abhängigkeit gefallen sind.

► **Der wissenschaftliche Rassenbegriff stellt ein biologisches Einteilungsprinzip dar und drückt keinerlei Wertigkeiten aus.**

Es gibt also keine biologisch „minderwertigen“ oder besonders „wertvollen“, keine „niederen“ und keine „höheren“ Rassen! Wiederholt sind jedoch unwissenschaftliche Versuche unternommen worden, die biologische Verschiedenheit zwischen den Menschenrassen zur Rechtfertigung des Herrschaftsanspruchs der Ausbeuterklasse gegenüber den Ausgebeuteten (z. B. kolonialiserte Rassen und Völker) auszunutzen.

Die UNO-Konvention von 1965 hat jede Verbreitung von Ideen, die sich auf Rassenüberlegenheit oder Rassenhaß gründen, jede Aufhetzung und Rassendiskriminierung zu Verbrechen, den Rassismus als zutiefst menschenfeindlich erklärt. Trotzdem erschweren Rassenvorurteile, Rassendiskriminierung und Rassenhaß in zahlreichen Ländern noch das friedliche Zusammenleben unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen. ①

► **Der Kampf gegen jede Form von Rassismus ist ein fester Bestandteil des weltweiten ideologischen und politischen Kampfes aller friedliebenden Völker, ein Gebot des Humanismus!**

---

① Was verstehen Sie unter Rassismus? Weshalb ist Rassismus menschenfeindlich? Belegen Sie Ihre Meinung durch Beispiele aus der Gegenwart!

---

## Aufgaben zur Wiederholung

---



- 1 Stellen Sie in einer Tabelle die wichtigsten Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen Mensch und Menschenaffen zusammen!
- 2 Beschreiben Sie den Ablauf der Entwicklung von halbaffenartigen Formen bis zu den unmittelbaren tierischen Vorfahren des Menschen!
- 3 Begründen Sie, weshalb sich aus heute lebenden Menschenaffen keine Menschen entwickeln können!
- 4 Welche wissenschaftlichen Belege gibt es, die die Herkunft des Menschen aus dem Tierreich beweisen?
- 5 Stellen Sie die wichtigsten Merkmale der fossilen Menschenformen in einer Tabelle zusammen!
- 6 Beschreiben Sie die Lebensweise des Affenmenschen, Urmenschen, Altmenschen und eiszeitlichen Letztmenschen!
- 7 Begründen Sie, weshalb der Mensch von Natur aus ein biotisches und seinem Wesen nach ein gesellschaftliches Lebewesen ist!
- 8 Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen biotischer Evolution des Menschen und kultureller Entwicklung!
- 9 Warum ist der Arbeit eine zentrale Bedeutung im Prozeß der Menschwerdung beizumessen? Erläutern Sie das an Beispielen!
- 10 Erläutern Sie die Wechselwirkung zwischen Arbeit, Denken, Sprache und Bewußtsein bei der Entwicklung des Menschen!
- 11 Zeigen Sie, daß sich die fortschreitende Entwicklung des Menschen durch das Zusammenwirken biotischer und gesellschaftlicher Faktoren sowohl kontinuierlich als auch diskontinuierlich vollzog!
- 12 Erläutern Sie die Entstehung der Rassenkreise!
- 13 Begründen Sie die Wesensgleichheit aller heute lebenden Menschen!

- Abdrucke 100, 102\*  
Abstammungslehre 74 ff.  
Adenin 54, 55\*  
Affen 118  
Affenmensch 124 f., 124\*  
Altmensch 129 ff., 130\* ff.  
Altweltaffen 119  
Aminosäuren 58 ff.  
analoge Organe 93  
Anlage 13 f.  
Art 6, 7  
Auslese, natürliche 77, 87  
Australopithecinen 121, 122\*
- Bakterien 16, 65  
Basenfolge 57 ff.  
Basenpaare 54 f., 55\*  
Befruchtung 26, 26\*, 38  
Bindungsregel 54 f., 55\*  
Biotechnologie 25  
Blaualgen 16, 73
- Chromosomen 16, 16\* ff., 20\* f., 49, 53, 65  
Chromosomenanzahl 16  
Chromosomenpaare 17 ff.  
Cytosin 54, 55\*
- Dänisches Jersey-Rind 43, 43\*  
DNS 53, 54\*, 65  
Darwin, Charles 8, 74 ff., 75\*  
Differenzierung 89 ff., 89\*  
dominant 34 ff., 35\*, 37\*  
*Drosophila* 18, 19\*, 54
- Einschlüsse 101, 102\*  
Eiweiß 57 ff.  
Eizellen 26 ff., 29\*  
–, befruchtete 30, 30\*  
Elterngeneration 13  
Erbanlagen 18 f.  
Erdaltzeit 104, 113  
Erdfrühzeit 104, 113  
Erdneuzeit 109, 113  
Evolution 73 ff.  
Evolutionsfaktoren 83 ff.  
Evolutionsrichtungen 88 ff.
- Fortpflanzung  
–, geschlechtliche 6, 20, 26  
–, ungeschlechtliche 6, 7, 20
- Fossilien 99 ff., 99\* ff.  
Fremdbefruchtung 10, 42
- Gen 19 ff.  
Genetisch bedingte Krankheiten 49 ff., 66 ff.  
Geschlechtschromosomen 17 f.  
Geschlechtszellen 13, 18, 26, 27\*, 29, 39  
Guanin 54, 55\*
- Haeckel, Ernst 79 ff., 79\*  
Halbaffen 118  
Höherentwicklung 89, 89\*  
Holstein-Friesian-Rind 43, 43\*  
Hominiden 121 f., 121\*  
homologe Organe 82\*, 83  
Humangenetische Beratungsstellen 50
- Inkohlung 102\*, 103  
Isolation 77, 84
- Jetztmensch 132 ff., 132\* ff.
- Klon 22, 23\*, 25\*  
Klonierung 22 f.  
Knochenfunde 100, 100\*  
Koazervate 97, 97\*  
Körperzellen 17, 21, 55  
Kreuzung 8 f.  
Kreuzungsexperiment 8 f.  
Kreuzungszüchtung 43
- Lamarck, Jean Baptiste 78
- Mendel, Gregor 8 ff.  
Mendelsche Gesetze 9 ff.  
Menschenaffen 118  
–, fossile 119, 119\*  
Menschenartige 121, 121\*  
Menschenrassen 136 ff., 136\* f.  
Merkmale 5, 9 ff., 53, 57  
Merkmalsausbildung 9 f., 33 ff.  
Merkmalsvariabilität 40  
mischerbig 11 ff., 31 ff., 61  
Modifikation 69 f.  
Mumifizierung 103  
Mutagene 45, 51  
Mutante 45  
Mutation 44 ff., 44\* ff., 49, 67, 84  
Mutterzelle 20, 21\*



Neukombination 38 ff., 84  
Neuweltaffen 119

Ökologische Potenz 69  
Oparin, A. J. 98

Population 7, 69  
Primaten 118

Quastenflosser 114, 114\*

Rassenkreise 138 ff.  
Rassenkreis, europider 137\*, 138 f.  
Rassenkreis, mongolider 137\*, 138  
reinerbig 11 ff., 31 ff., 61  
rezessiv 34 ff., 35\*, 37\*  
Riesenchromosom 18, 19\*  
Rückbildung 93, 94\*

Samenzellen 26 ff., 29\*  
Schnabeltier 115\*, 116  
Schwarzbuntes Milchrind 43, 43\*  
Selbstbefruchtung 105, 42  
Spaltungsgesetz 11, 12\*  
Spezialisierung 92, 92\*  
Stammbaum 81, 81\*  
Stammesentwicklung 99 ff., 103 ff.

Taufliege 18, 19\*, 54  
Thymin 54, 55\*  
Tochterchromosomen 20, 20\*, 28, 28\*  
Tochtergeneration 11  
Tochterzellen 20, 21\*, 55  
Toleranzbereich 8, 69 f.

Umweltbedingungen 5, 69  
Uniformitätsgesetz 10, 11\*  
Urmensch 125 ff., 125\* ff.  
Urvogel 115, 115\*  
Urzellen 97

Variabilität 8, 69, 77  
Verdopplung, originalgetreue 55\*, 56  
Vererbung 5, 8, 53  
Versteinerung 100, 101\*

Weismann, August 83  
Wunderblume, japanische 32 ff., 32\* f.

X-Chromosomen 17 f.

Y-Chromosomen 18

Zellkulturtechnik 23, 23\*  
Zentralisierung 89 ff., 91\*  
Züchtung 6, 40

Fotos: Horst Theuerkauf außer ADN-ZB 136/1; Backhaus 74/2, 80/1; Blümel 91/1; Förster 88/3; Grimberger 88/4; Hamann 121/2, 124/1, 125/1, 126/1, 128/1, 130/1, 132/1, 134/5; Riesling 85/3; Scharnbeck 20/3; Thielecke 85/1, 2 u. 4; Ullrich 122/3, 134/1; Weise 51/1, 2 u. 3

Reproduktionen aus: Gowlett „Ascent to civilisation“ London 1984; Jelinek „Der große Bildatlas des Menschen der Vorzeit“ Praha 1980; Kindlers Enzyklopädie „Der Mensch“ Bd. 1 München 1982; La Recherche 1982; Leroi-Gourhan „Prähistorische Kunst“ Freiburg 1973; Mania/Dietzel „Begegnungen mit dem Urmenschen“ Leipzig 1980; Mazak/Burian „Der Urmensch und seine Vorfahren“ Praha 1983; Müller-Beck „Urgeschichte in Baden-Württemberg“ Stuttgart 1980; National Geographic 1973, 1979 u. 1985; Stingl „Indianer ohne Tomahawks“ Leipzig 1980; Suzuki/Takai „The Amud man“ Tokyo 1970; „The human primitive“ London 1981 (Poster); Weiner „Entstehungsgeschichte des Menschen“ Lausanne 1971; Wolf/Burian „Menschen der Urzeit“ Leipzig 1979; außerdem Diafundus der Urania und des ZIAGA bei der AdW der DDR.

Wir bedanken uns bei der Sektion Tierproduktion/Veterinärmedizin der Humboldt-Universität Berlin für ihre Unterstützung.

Menschwerdung (Anthropogenese)

Epoche der Urgesellschaft

Epoche der sozial-  
ökonomischen  
Formierung

Epoche der frühen  
Menschheits-  
entwicklung

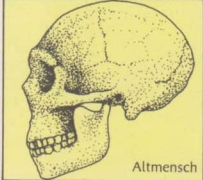
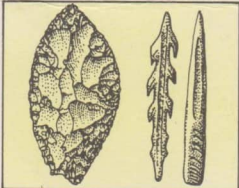
Epoche  
der Entstehung  
der Gattung Homo

Übergang  
zu menschlichen  
Hominiden

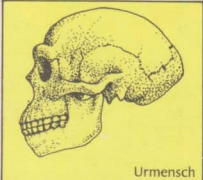
Heraus-  
differenzierung  
der Hominiden



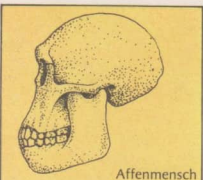
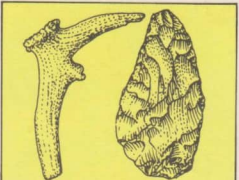
eisenzeitlicher  
Letztmensch



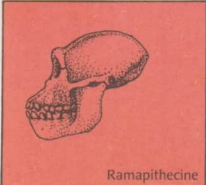
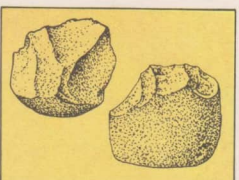
Altmensch



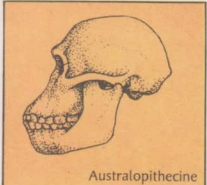
Urmensch



Affenmensch

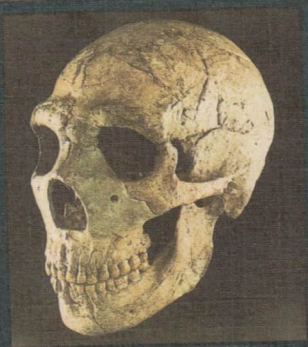
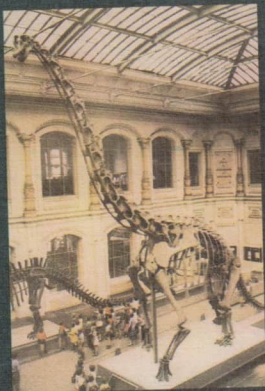


Ramapithecine



Australopithecine

Benutzung  
von  
Natur-  
gegenständen



Kurzwort: 011007 Lehb.Biolog.Kl.10  
Schulpreis DDR: 2,90  
ISBN 3-06-011007-7