BIOLOGIE

BIOLOGIE

Lehrbuch für Klasse 12

Volk und Wissen Volkseigener Verlag · Berlin 1973

Autoren:

Prof. Dr. Herwart Ambrosius, Prof. Dr. Erhard Geißler, Prof. Dr. Eike Libbert,
Prof. Dr. Rolf Löther, Dr. Alexander Wernecke

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik
als Schulbuch bestätigt

1. Auflage
Lizenz-Nr. 203 · 1000/72 (E)
ES 11 H
Redaktion: Ute Püschel, Gertrud Kummer
Einband: Behrendt/Wolff
Zeichnungen: Hans-Joachim Behrendt, Eberhard Graf, Ingrid Schäfer
Typographische Gestaltung: Atelier vwv
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden III/9/1
Schrift: 9/10 Garamond (Monotype)
Redaktionsschluß: 31. 10. 1972
Bestell-Nr. 01 12 54–1
EVP: 3,20

Inhaltsverzeichnis

Aus der Physiologie der Pflanzen und Tiere 5

Einführung 6

Physiologie des Stoffwechsels 7
Die Enzyme 8
Assimilation bei Pflanzen und Tieren 11
Dissimilation bei Pflanzen und Tieren 33
Zusammenwirken der Stoffwechselvorgänge 45

Reiz- und Bewegungsphysiologie 55
Die Reizbarkeit 55
Die Erregung 57
Die Reaktion 64
Vergleichende Betrachtung der Reizvorgänge bei Pflanzen und Tieren 72

Entwicklungsphysiologie 74
Übersicht über die Ontogenese bei Vielzellern 74
Regulationsvorgänge bei der Ontogenese 81

Aus der Genetik 89

Die Zelle als Träger und Überträger der Erbanlagen 90
Das elektronenmikroskopische Bild der Zelle 90

Die stoffliche Natur des genetischen Materials 98
Die Desoxyribonukleinsäure als Träger der genetischen Information 98
Die Struktur der DNS 100
Die identische Replikation der DNS 103
Die Rolle der DNS bei der Merkmalsausbildung 107

Die Funktion des genetischen Materials 113
Enzyme als Gen-Produkte 113

Die Gen-gesteuerte Protein-Synthese 116
Regulation der Synthese von Gen-Produkten 121
Die Gültigkeit der Mendelschen Gesetze auf molekularer Ebene 122

Mutationen als Veränderungen der genetischen Informationen 124
Mutationstypen und ihre Bedeutung 124
Auslösung von Mutationen 133
Ist eine gerichtete Veränderung des genetischen Materials möglich? 138

Die Bedeutung der Biologie für die Gesellschaft 141

Die biologische Wissenschaft als gesellschaftliche Erscheinung 142
Die revolutionäre Entwicklung der Biologie und das neue Bild von der lebenden Natur 142
Die Entwicklung der Auffassung vom Leben 146
Der Mensch als Einheit von Biologischem und Gesellschaftlichem 150

Biologie und gesellschaftliche Praxis 156
Bedeutung der Biologie als unmittelbare Produktivkraft 156
Bedeutung der Biologie für die Gesunderhaltung des Menschen 162
Mißbrauch biologischer Erkenntnisse durch den Imperialismus 166
Die Bedeutung der Biologie für die Gestaltung der Umwelt 175

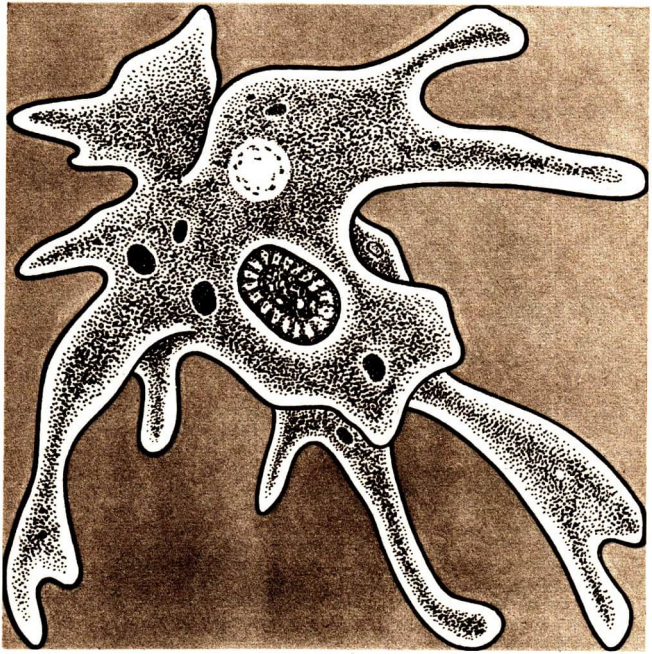
Zu den Aufgaben der Biologie im Sozialismus 180

Aufgaben und Fragen 185
Versuche 193
Worterklärungen 202
Register 205

Zeichenerklärung

① Fragen und Aufgaben
♂ männlich
♀ weiblich
★ Zur Information
▶ Merkstoff
↗ Hinweis auf andere Seiten oder Begriffe
1
▼ Versuche

Aus der Physiologie der Pflanzen und Tiere



Einführung

Die Physiologie ist die Wissenschaft von den Funktionen der Lebewesen. Sie muß die Allgemeingültigkeit chemischer und physikalischer Gesetzmäßigkeiten berücksichtigen, aber auch spezifisch biologische Prinzipien, wie das Prinzip der Ordnung und das Prinzip der Regulation. Die Grundvorgänge aller physiologischen Prozesse – wie zum Beispiel Stoffwechsel, Entwicklung, Bewegung – spielen sich in den Zellen ab. Die Zelle ist die Grundeinheit des Lebens. Dabei unterscheiden sich Tier- und Pflanzenzelle zwar in Einzelheiten des Aufbaus, aber nicht grundsätzlich (Abb. 6/1).

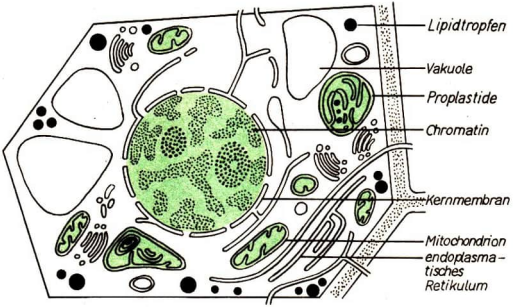


Abb. 6/1
Schematische Darstellung einer jungen Pflanzenzelle (nach elektronenmikroskopischen Beobachtungen)

Das Grundplasma ist ein kolloidales System; es besteht im wesentlichen aus Eiweißmolekülen, die ein instabiles Maschenwerk bilden. Im Grundplasma spielen sich viele chemische Vorgänge des Stoffwechsels ab. Durch das Endoplasmatische Retikulum wird es in viele Reaktionsräume unterteilt.

Der Zellkern ist Träger der Erbinformation in der Zelle, er reguliert den Ablauf der einzelnen Prozesse und spielt eine wichtige Rolle bei der Zellteilung, der Fortpflanzung und Vererbung.

Zu den Plastiden gehören neben den farblosen Leukoplasten und roten bis gelben Chromoplasten die grünen Chloroplasten, die der Photosynthese dienen und als Assimilationspigmente Chlorophylle und Karotinoide enthalten.

Die Mitochondrien sind die Atmungszentren der Zellen; sie setzen durch Oxydation organischer Substanzen die benötigten Energiemengen frei. An den Ribosomen findet die Biosynthese der Eiweiße statt; sie sind in großer Anzahl in den Zellen enthalten.

Physiologie des Stoffwechsels

Die hochkomplizierte Struktur jeder lebenden Zelle ist instabil und kann deshalb nur unter ständigem Energieaufwand aufrechterhalten werden. Außer dieser Erhaltungsenergie wird für die Ausführung der meisten Funktionen der lebenden Zelle (z. B. Stoffaufnahme aus der Umgebung, Bewegungen, Biosynthese lebensnotwendiger Substanzen) Energie benötigt. Diese Energiemengen werden durch den Abbau organischer, zelleigener Substanzen in kleine Bausteine gewonnen. Die Gesamtheit der energiefreisetzenden (exothermen) Reaktionen heißt Dissimilation.

Die im Prozeß der Dissimilation abgebauten zelleigenen Substanzen müssen laufend ersetzt werden – entweder durch Aufnahme mit der Nahrung wie beim Tier oder durch zelleigene Synthese aus einfachen Stoffen unter Benutzung äußerer Energiequellen (Sonnenlicht) wie bei der grünen Pflanze. Darüber hinaus ist auch für die Vermehrung der organischen Materie (Wachstum, Zellerneuerung) die ständige Synthese zelleigener Substanzen aus aufgenommenen Nährstoffen notwendig. Die Gesamtheit dieser meist energiebedürftigen (endothermen) Syntheseprozesse ist die Assimilation. Dissimilations- und Assimilationsprozesse bilden als widersprüchliche Einheit den Stoffwechsel der Zelle. Sie lassen sich nicht scharf voneinander trennen und sind miteinander verknüpft.

Der Stoffwechsel kann nur unter ständigem Stoffaustausch mit der Umgebung (Außenwelt oder Nachbarzellen) erfolgen. Zu den ausgetauschten Stoffen gehören in Wasser gelöste Substanzen sowie Gase (Kohlendioxid, Sauerstoff). Der Stoffwechsel ist ein wesentliches Merkmal der lebenden Materie. Fast alle lebenden Zellbestandteile sind dem ständigen Stoffwechsel unterworfen; sie werden im Stoffwechsel ständig erneuert (lediglich DNS-Moleküle bilden eine Ausnahme). Die lebende Zelle ist also ein dynamisches System.

Der Stoffwechsel der Zelle besteht aus zahlreichen einzelnen chemischen Reaktionen, die zu einem räumlich und zeitlich geordneten Ganzen verknüpft sind. Keinem Chemiker gelingt es, auf derart begrenztem Raum eine solche Vielzahl von Reaktionen zu vereinigen, die noch dazu teilweise gegenläufig sind (Reduktionen und Oxydationen; Aufbau- und Abbauprozesse). Für die räumliche und zeitliche Ordnung in einem derart komplizierten System spielt die molekulare Feinstruktur der Zelle eine große Rolle. Von gleicher Wichtigkeit ist aber auch eine wirksame Regelung. Dabei spielen die Enzyme eine überragende Rolle. Enzyme sind zelleigene Substanzen, die jeweils bestimmte chemische Reaktionen katalysieren und deren Geschwindigkeit bestimmen. Von überragender Bedeutung ist jedoch, daß die Enzyme selbst einer mehrfachen Steuerung unterworfen sind. Sowohl ihre Aktivität als auch (unter Einschaltung des genetischen Systems, also der DNS im Zellkern) ihre Produktion unterliegen hochkomplizierten Regulationsmechanismen, die im Sinne kybernetischer Systeme selbstregulierend arbeiten. Wichtige Einblicke in solche Regulationssysteme sind der Wissenschaft in den letzten Jahren gelungen (Molekularbiologie, ↗ S. 121 f.). Die

Regulationssysteme bedingen, daß die einzelnen chemischen Teilreaktionen des Stoffwechsels außerordentlich fein aufeinander abgestimmt sind. Jede Änderung in den Bedingungen, denen die Zelle unterworfen ist, wie beispielsweise Änderungen im Nährstoffangebot, führt zu Umschaltungen im Stoffwechsel (Hemmung bestimmter Umsetzungen zugunsten anderer), der dadurch den neuen Bedingungen angepaßt wird.

Die Fähigkeit zum Stoffwechsel ist die zentrale Eigenschaft der lebenden Materie. Der ununterbrochene Stoffumsatz, verbunden mit einem ständigen Energieumsatz, stellt die Grundlage aller Lebensäußerungen dar. Der räumliche und zeitliche Zusammenschluß einzelner Stoffwechselreaktionen zu einem geordneten Ganzen kann als Kriterium des Lebens bezeichnet werden.

Bei aller Kompliziertheit und Mannigfaltigkeit der Stoffwechselvorgänge lassen sich doch sehr klar Hauptwege des Stoffwechsels erkennen. Die wichtigsten Stoffe, wie zum Beispiel Eiweiße und Kohlenhydrate, werden bei allen Organismen in grundsätzlich gleicher Weise umgesetzt. Diese Einheit in der Vielfalt der gesamten lebenden Materie auf der Erde ist ein deutlicher Beweis ihres gemeinsamen Ursprungs aus Urformen, aus denen sich im Verlauf der Phylogenese die Vielzahl der heute lebenden Organismen entwickelt hat.

1 2 3 4

Die Enzyme

Ein Enzym ermöglicht eine bestimmte Stoffwechselreaktion und steuert deren Geschwindigkeit. Die wissenschaftlichen Namen der Enzyme enden mit -ase; zum Beispiel ist Amylase ein Amylose (Stärke) spaltendes Enzym.

Enzyme sind zelleigene organische Substanzen, die aus einem Proteinmolekül bestehen, an das eine andere organische Verbindung, das Koenzym („Wirkgruppe"), gebunden sein kann. Bei Enzymen mit Koenzym wird der Proteinanteil als Apoenzym

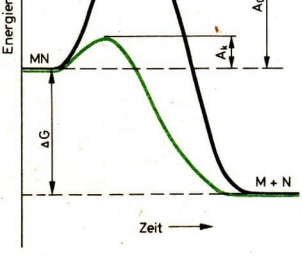


Abb. 8/1 Erniedrigung der Aktivierungsenergie durch einen Katalysator am Beispiel der chemischen Reaktion MN → M + N (Spaltung des Substrats MN in die Produkte M und N). A_0 = Aktivierungsenergie ohne Katalysator, A_k = Aktivierungsenergie mit Katalysator, ΔG = Unterschied im Energieniveau zwischen MN und M + N

bezeichnet; Apoenzym oder Koenzym allein wirken nicht, erst gemeinsam sind sie als Holoenzym aktiv.

Enzyme sind biologische Katalysatoren. Chemische Reaktionen finden, auch wenn sie exotherm sind, erst nach Zufuhr einer bestimmten Energiemenge, der Aktivierungsenergie, statt. Katalysatoren und Enzyme setzen die Aktivierungsenergie herab (Abb. 8/1). Während der von einem Enzym gesteuerten Reaktion wird das Substrat vorübergehend an das Enzym gebunden; das Enzym tritt im Endprodukt der Reaktion nicht auf und ist nach beendeter Reaktion nicht verändert. Ein Enzym kann jedoch die von ihm gesteuerte Reaktion nicht beliebig oft durchführen, es verliert allmählich seine Aktivität.

Abb. 9/1 Modell für die Bindung eines Substrats an ein Enzym.
Das Substrat muß zum Enzym „passen" wie der Schlüssel zum Schloß (links), die nicht „passende" Substanz (rechts) wird nicht umgesetzt

Die meisten Enzyme greifen nur eine Substanz (ihr Substrat) oder eine geringe Anzahl chemisch verwandter Substrate an. Diese Substratspezifität wird durch das Apoenzym bestimmt (Abb. 9/1). Die chemische Umsetzung des Substrats, die Reaktion, wird durch das Koenzym unter Mitwirkung des Apoenzyms vorgenommen; beide gemeinsam bestimmen, welche Reaktion am Substrat vorgenommen wird, sie bestimmen die Reaktionsspezifität des Enzyms. Unterschiedliche Apoenzyme können sich mit jeweils gleichen Koenzymen verbinden; an unterschiedlichen Substraten können dadurch gleiche Reaktionen ablaufen. Bei Enzymen ohne Koenzym hat ein Aminosäurerest des Proteinmoleküls die Koenzymfunktion.

Zu den enzymatisch gesteuerten Reaktionen gehören beispielsweise die Übertragung von Elektronen oder Wasserstoff (Redoxreaktionen) sowie von Atomgruppen (z. B. Amino- oder Methylgruppen) von einem Substrat auf ein anderes, die Spaltung von Molekülen (z. B. Hydrolyse von Polysacchariden zu Di- oder Monosacchariden) oder die Verknüpfung mehrerer kleinerer Moleküle zu einem größeren Molekül (z. B. Aminosäuren zu Polypeptiden). Jede Zelle bildet eine große Anzahl der verschiedensten Enzyme. So braucht zum Beispiel ein Bakterium zum Aufbau und zur Vermehrung seiner Zellsubstanz bis zur erneuten Teilungsbereitschaft etwa 1000 unterschiedliche Enzyme.

Während beispielsweise die grüne Pflanze alle benötigten Koenzyme selbst herstellt, müssen viele andere Organismen, auch der Mensch, mit der Nahrung Koenzyme oder deren Bausteine als Vitamine aufnehmen.

Die meisten Enzyme wirken innerhalb der lebenden Zelle. Manche werden aber auch in innere Hohlräume (z. B. die proteinspaltenden Enzyme Pepsin in den Magen

und Trypsin in den Darm) oder nach außen (die „Exoenzyme" z. B. bei Bakterien, insektenverdauenden Pflanzen, Spinnen) abgegeben. Aus den Zellen können die Enzyme nach mechanischer Zellzerstörung (z. B. Zermörsern) ohne Verlust der Aktivität extrahiert werden. Mit chemischen Methoden kann man sie von Begleitsubstanzen und anderen Enzymen trennen und sie sogar kristallin darstellen; die in Lösung gebrachten Kristalle sind enzymatisch aktiv. Außerhalb der Zelle („in vitro") lassen sich Enzyme am leichtesten untersuchen.

Durch stärkeres Erhitzen, das zur Protein-Denaturierung führt, werden die meisten Enzyme irreversibel inaktiviert, nur wenige sind kochfest. Dagegen überstehen Enzyme ein Einfrieren und anschließendes Wiederauftauen ohne Aktivitätsverlust. Die enzymatischen Reaktionen sind von der Temperatur abhängig. Unterhalb eines deutlich ausgeprägten Temperaturoptimums verhalten sie sich wie jede chemische Reaktion. Weitere Temperaturerhöhung über das Optimum hinaus führt durch Hitzedenaturierung zur Inaktivierung und schließlich zur Zerstörung des Enzymproteins (Abb. 10/1).

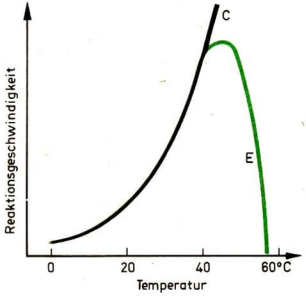


Abb. 10/1 Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Temperatur für eine chemische (C) und eine enzymatische (E) Reaktion

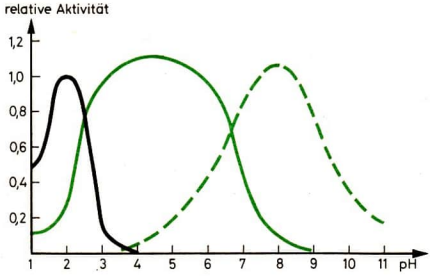


Abb. 10/2 Abhängigkeit der Enzymwirkung vom *p*H-Wert. Darstellung am Beispiel der eiweißspaltenden Enzyme Pepsin (links) und Trypsin (rechts) sowie des rohrzuckerspaltenden Enzyms α-Glukosidase

Proteinmoleküle dissoziieren bei verschiedenen *p*H-Werten unterschiedlich. Bei Enzymproteinen ändert sich mit der Dissoziation auch die Enzymaktivität. So besitzen die einzelnen Enzyme deutlich ausgeprägte, unterschiedliche *p*H-Optima (Abb. 10/2).

5 6 7 ↓

Zum Stoffwechsel gehören die meist endotherme, substanzliefernde Assimilation und die exotherme, energiefreisetzende Dissimilation.

Die einzelnen Stoffwechselreaktionen werden durch Enzyme katalysiert.

Enzyme sind Proteine, bei manchen Enzymen ist an das Protein eine andere organische Verbindung, das Koenzym, gebunden.

Assimilation bei Pflanzen und Tieren

Im Verlaufe der Assimilation werden vom Organismus körperfremde Stoffe aufgenommen und in die Vielzahl der körpereigenen, komplizierten chemischen Verbindungen umgewandelt. Je nach der Verbindung, die dabei in den Stoffwechsel einbezogen wird, spricht man von Kohlenstoff-, Stickstoff- oder Mineralstoffassimilation.

Für die Stoffproduktion im Organismenreich spielt die Kohlenstoffassimilation die bedeutendste Rolle. Da im Verlaufe der von allen Lebewesen betriebenen Dissimilation ständig organische Substanz abgebaut wird, ist die Synthese neuer organischer Substanz aus anorganischen Kohstoffen die entscheidende Voraussetzung für die Existenz des Lebens.

Biosynthese organischer Stoffe in den Organismen

Anorganische Rohstoffe
Mineralsalze, Luft, Wasser

↓

Organische Zwischenstoffe
3-Phosphoglyzerinaldehyd (3-Phospho-2.3-Dihydroxypropanal)
Brenztraubensäure (2-Oxypropansäure) u. a.

↑ ↓

Niedermolekulare Körpersubstanzen
Monosaccharide, Fettsäuren (Monokarbonsäuren), Aminosäuren u. a.

↓ ↑

Hochmolekulare Körpersubstanzen
Polysaccharide, Fette, Proteine, Nukleinsäuren u. a.

Der Aufbau hochmolekularer Körpersubstanzen aus organischen Zwischenstoffen ist mit verhältnismäßig geringem Energieaufwand durchführbar. Die dazu notwendigen Voraussetzungen sind bei allen Lebewesen, vom einfachsten Bakterium bis zum Menschen, vorhanden.

Der Aufbau der organischen Zwischenstoffe aus anorganischen Rohstoffen, also die eigentliche autotrophe Kohlenstoffassimilation, erfordert einen hohen Energieaufwand. Er ist nur mit Hilfe besonderer Zellbestandteile zu bewältigen, vor allem Chloroplasten mit Chlorophyll, die nicht bei allen Organismen vorkommen.

Die chlorophyllhaltigen Gruppen von Organismen können ihre organischen Substanzen aus anorganischen Stoffen herstellen. Sie ernähren sich autotroph.

Die Mehrzahl aller Organismen ist bei der Nahrungsaufnahme auf organische Stoffe angewiesen, die von anderen Lebewesen gebildet wurden. Sie ernähren sich heterotroph.

Da die Mehrzahl der Organismen heterotroph lebt, wäre der Vorrat an organischen Substanzen bald aufgebraucht, wenn nicht die autotrophen Organismen immer wieder neue Vorräte an organischen Stoffen bildeten.

* Auch autotrophe Organismen sind zu heterotropher Lebensweise fähig. Im Experiment können höhere Pflanzen im Dunkeln (sie bleiben dann chlorophyllfrei) unter Zufuhr von Traubenzucker, also heterotroph, zum Blühen und Fruchten kommen. Bei vielzelligen Pflanzen muß sich stets ein großer Teil der Zellen heterotroph ernähren: Alle chlorophyllfreien Zellen und Pflanzenteile (z. B. Wurzeln, Stengelinneres) sind auf die Zufuhr organischer Substanzen von den chlorophyllführenden Zellen her angewiesen. Auch keimende Jungpflanzen, deren Chlorophyll noch nicht entwickelt ist, ernähren sich von den organischen Reservestoffen (Stärke, Fett, Eiweiß), die im Samenkorn oder in unterirdischen Speicherorganen (Wurzelstock, Zwiebel, Knolle, Rübe) enthalten sind. Die Tatsache, daß alle Lebewesen heterotroph leben können, aber nur wenige Gruppen zur autotrophen Ernährung befähigt sind, deutet darauf hin, daß die heterotrophe Lebensweise erdgeschichtlich älter ist als die autotrophe. Wahrscheinlich war die Heterotrophie nach der Entstehung des Lebens auf der Erde die allgemeine Ernährungsweise der Urorganismen, welche auf Kosten organischer Substanzen lebten, die vor der Bildung der ersten lebenden Materie entstanden waren. *

Autotrophe Ernährungsweise

Kohlenstoffassimilation: Der Rohstoff für die Biosynthese aller organischen Verbindungen durch die autotrophen Lebewesen ist das in der Luft enthaltene und im Wasser gelöste Kohlendioxid.

Bei den meisten autotrophen Organismen entsteht als Hauptprodukt der Kohlenstoffassimilation ein Kohlenhydrat, dem die allgemeine Formel $(CH_2O)_n$ zukommt. Der Vergleich mit der Formel CO_2 zeigt deutlich die Notwendigkeit der Reduktion. Reduziert wird jedoch in keinem Falle das Kohlendioxid selbst; vielmehr wird dieses zuerst an eine organische Substanz gebunden, deren Reduktion im Verlaufe weiterer chemischer Umsetzungen erfolgt.

Die Reduktion, ein stark endothermer Prozeß, erfordert ein Reduktionsmittel und Energie. Als Reduktionsmittel fungiert gebundener Wasserstoff ⟨H⟩. Er wird bei den grünen Pflanzen durch Spaltung von Wassermolekülen gewonnen; dabei bleibt Sauerstoff übrig, der für die Pflanze den Photosynthese„abfall" darstellt und an die Luft ab-

gegeben wird. Bei grünen Bakterien werden andere Wasserstoffquellen (Schwefelwasserstoff, verschiedene organische Verbindungen) aufgenommen. Als Energiequelle für die Reduktion des gebundenen Kohlendioxids und für die Wasserspaltung dient bei grünen Pflanzen das Licht. Diese Form der autotrophen Kohlenstoffassimilation heißt deshalb Photosynthese. Auch Kunstlicht ist dabei verwendbar. – Eine Reihe nichtgrüner Bakterien und Blaualgen gewinnt dagegen die zur Reduktion nötige Energie durch Oxydation von Substanzen, die sie aus der Umgebung aufnehmen. Diese Form der autotrophen Kohlenstoffassimilation ist die Chemosynthese.

Die Verwertung der Lichtenergie für die Photosynthese wird durch Absorption der Lichtquanten durch den grünen Blattfarbstoff (Chlorophyll) eingeleitet, der somit den Ausgangspunkt für die Umwandlung der Lichtenergie in chemische Energie darstellt. An der autotrophen Kohlenstoffassimilation sind zahlreiche Enzyme beteiligt, welche den Stoffwechselweg vom Kohlendioxid zum Endprodukt der Kohlenstoffassimilation katalysieren. Das Endprodukt der Assimilation wird Assimilat genannt.

Autotrophe Kohlenstoffassimilation

	Photosynthese		Chemosynthese
	Algen, Moose, höhere Pflanzen	grüne Bakterien, Purpurbakterien	einige farblose Bakterien und Blaualgen
C-Quelle	CO_2	CO_2	CO_2
H-Quelle	H_2O	H_2S, organische Säuren	H_2S u. a.
Energiequelle	Licht	Licht	Oxydationsprozesse
lichtabsorbierender Farbstoff	Chlorophyll	Bakteriochlorophyll	
Hauptassimilat	Kohlenhydrat	verschiedene organische Substanzen	verschiedene organische Substanzen

8 9 10

Die Photosynthese

Die grundlegenden Erkenntnisse über die Biochemie der Photosynthese wurden zuerst an den einzelligen Grünalgen *Chlorella* und *Scenedesmus* gewonnen, später an isolierten Chloroplasten höherer Pflanzen (z. B. Spinat) und an Bakterien.

Die Photosynthese läßt sich summarisch, also ohne Berücksichtigung der vielen Teilreaktionen und Zwischenprodukte, in folgender Gleichung wiedergeben:

$$6\,CO_2 + 12\,H_2O \xrightarrow{\text{Sonnenlicht}} (CH_2O)_6 + 6\,H_2O + 6\,O_2 \qquad \Delta H = +\,686\ \text{kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$(CH_2O)_6$ ist ein Molekül Monosaccharid, beispielsweise Fruktose oder Glukose, also das primäre Assimilat.

In der Gleichung tritt auf beiden Seiten H_2O auf. Die einfachere Gleichung

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \longrightarrow (CH_2O)_6 + 6\,O_2$$

gibt aber nicht den wahren Sachverhalt wieder. Der bei der Photosynthese frei werdende Sauerstoff stammt nämlich ganz aus dem Wasser, nicht aus dem Kohlendioxid; folglich müssen, wenn 6 Moleküle Sauerstoff entstehen, 12 Moleküle Wasser verbraucht werden. Die Herkunft des Sauerstoffs konnte unter anderem durch Verwendung des Isotops ^{18}O anstelle von ^{16}O aufgeklärt werden. Algen, deren Photosynthese in Anwesenheit von Wasser $H_2{}^{18}O$ ablief, schieden Sauerstoff $^{18}O_2$ aus.

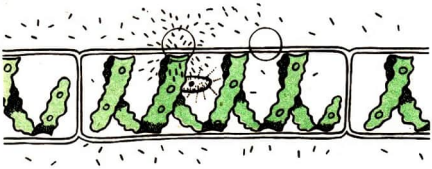


Abb. 14/1 Lokalisierung der Sauerstoffbildung in einer photosynthetisierenden Zelle von *Spirogyra* mit Hilfe sauerstoffliebender Bakterien, die sich nur am beleuchteten Teil des Chloroplastenbandes ansammeln

Die Photosynthese findet in den Chloroplasten statt. Die beiden Anfangsreaktionen, nämlich die Lichtabsorption und der Kohlendioxid-Einbau, lassen sich auf den Chloroplasten nachweisen und ebenso die Entstehung der beiden Endprodukte, nämlich des Kohlenhydrats (Assimilationsstärke) und des Sauerstoffs (Abb. 14/1). Die in der Photosynthese umgesetzten Wassermoleküle werden mit Hilfe der vom Licht gelieferten Energie gespalten (Photolyse). Diese Erkenntnis war einer der ersten Schritte zu der Entdeckung, daß die Photosynthese in zwei weitgehend voneinander unabhängigen Stufen abläuft; einer Lichtreaktion und einer Dunkelreaktion. In der Lichtreaktion wird durch Photolyse der Wasserstoff gewonnen; in der Dunkelreaktion erfolgt mit Hilfe dieses Wasserstoffes, aber ohne direkte Mitwirkung des Lichts, die Reduktion des Kohlendioxids (nach seinem Einbau in die organische Substanz, Abb. 14/2). Die Lichtreaktion findet auf den Membranen der Chloroplasten statt, die Dunkelreaktion zwischen den Membranen.

Diese Darstellung berücksichtigt zwar den Substanz-, aber nicht den Energieumsatz während der beiden Teilreaktionen. Tatsächlich sind Licht- und Dunkelreaktion nicht nur durch einen Strom von Wasserstoff verbunden, sondern auch durch einen Energiestrom. Diese Energie wird in der Lichtreaktion beim Transport von Elektronen (e^-) freigesetzt, die zusammen mit Protonen (H^+) bei der Photolyse des Wassers

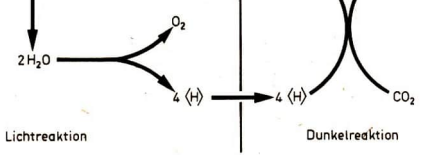


Abb. 14/2 Schematische Darstellung der Licht- und der Dunkelreaktion der Photosynthese unter Weglassung des Energieumsatzes. $(CH_2O) = {}^1/_6$ Molekül Monosaccharid

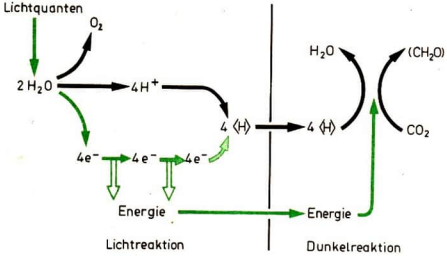


Abb. 15/1 Schematische Darstellung der Licht- und der Dunkelreaktion der Photosynthese unter Berücksichtigung des Energieumsatzes

gebildet werden, ehe sich beide zu gebundenem Wasserstoff ⟨H⟩ vereinigen (Abb. 15/1).

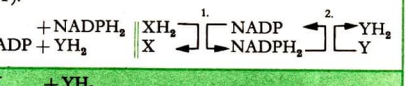
Lichtreaktion:	$12\,H_2O$ + Lichtenergie ⟶ $24\,\langle H\rangle + 6\,O_2$ + chemische Energie
Dunkelreaktion:	$6\,CO_2 + 24\,\langle H\rangle$ + chemische Energie ⟶ $(CH_2O)_6 + 6\,H_2O$
	$6\,CO_2 + 12\,H_2O$ + Lichtenergie ⟶ $(CH_2O)_6 + 6\,H_2O + 6\,O_2$

Licht- und Dunkelreaktion sind durch zwei Substanzen miteinander verbunden: eine wasserstoffübertragende und eine energieübertragende Substanz.

Die Oxydoreduktasen. Die wasserstoffübertragende Substanz ist ein Enzym, das zu den Oxydoreduktasen gehört. Oxydoreduktasen führen Oxydationen und Reduktionen durch, indem sie entweder Wasserstoff (also Elektronen + Protonen) oder nur Elektronen von einer chemischen Verbindung auf eine andere übertragen. Der Wasserstoff oder die Elektronen werden dabei vorübergehend an das Koenzym gebunden. Dasjenige Koenzym, das den Reduktionswasserstoff aus der Lichtreaktion zur Dunkelreaktion überträgt, wird mit einer internationalen Kurzbezeichnung als NADP (Nikotinsäureamid-Adenin-Dinukleotid-Phosphat) bezeichnet. Oxydoreduktasen liegen abwechselnd im oxydierten (NADP) und im reduzierten ($NADPH_2$) Zustand vor. Sie wirken abwechselnd oxydierend (1. Teilgleichung im Schema unten: NADP oxydiert XH_2) und reduzierend (2. Teilgleichung: $NADPH_2$ reduziert Y).

Wirkung einer Oxydoreduktase (NADP): Übertragung von Wasserstoff von einer Substanz (X) auf eine andere (Y).

1. $XH_2 + NADP \longrightarrow X + NADPH_2$
2. $NADPH_2 + Y \longrightarrow NADP + YH_2$



Summe: $XH_2 + Y \longrightarrow X + YH_2$

* Oxydoreduktasen sind sowohl bei der Dissimilation als auch bei der Assimilation von größter Bedeutung. In der Lichtreaktion der Photosynthese wird $NADPH_2$ ge-

bildet, dieses fließt in die Dunkelreaktion ein und kehrt schließlich als NADP in die Lichtreaktion zurück. – Elektronenübertragende Oxydoreduktasen spielen beispielsweise in der Lichtreaktion eine Rolle. Die Elektronen können durch ein im Koenzym enthaltenes Metall-Ion, zum Beispiel Eisen, gebunden werden, das dabei einen Wertigkeitswechsel durchmacht ($Fe^{3+} + e^- \rightleftharpoons Fe^{2+}$). *

Wirkung einer Oxydoreduktase ($R\text{-}Fe^{3+}$): Übertragung von Elektronen von einer Substanz (X) auf eine andere (Y).

$$\begin{array}{lcl} X^- & R\text{-}Fe^{3+} & Y^- \\ X & R\text{-}Fe^{2+} & Y \end{array}$$

Das ATP-System. Die Substanz, die die Energie von der Lichtreaktion zur Dunkelreaktion überträgt, ist Adenosintriphosphat (ATP), eine energiereiche Verbindung, die bei ihrer Bildung aus Adenosindiphosphat (ADP) und Phosphorsäure Energie aufnimmt. Die Energie wird durch Anlagerung eines dritten Phosphorsäurerestes an einen der beiden Phosphorsäurereste des ADP-Moleküls gebunden, es entsteht ATP.

Diese Form der energiebindenden Anlagerung wird in der chemischen Formel durch ~ symbolisiert. Bei der Abspaltung dieses dritten Phosphorsäurerestes, zum Beispiel durch Hydrolyse, wird die Energie wieder frei, es entsteht wieder ADP. Die Energiemenge, die von 1 mol ATP übertragen wird, beträgt 8,9 kcal.

Die energieübertragende Funktion des ATP-Systems

$$\begin{array}{llll} \text{Adenosin-P} \sim \text{P} + \text{P} & + 8{,}9\ \text{kcal} \rightleftharpoons & \text{Adenosin-P} \sim \text{P} \sim \text{P} & + H_2O \\ \text{ADP} & + H_3PO_4 + 8{,}9\ \text{kcal} \rightleftharpoons & \text{ATP} & + H_2O \end{array}$$

In der Lichtreaktion der Photosynthese verläuft die Gleichung von links nach rechts, ATP fließt in die Dunkelreaktion ein, speist deren Energiebedarf (Gleichung von rechts nach links) und kehrt als ADP + H_3PO_4 in die Lichtreaktion zurück.

Die Lichtreaktion. Die Lichtreaktion ist der Prozeß der Energieumwandlung, der Transformation von Strahlungsenergie in chemische Energie. Lichtquanten werden im Chlorophyll absorbiert; dabei geht Energie des absorbierten Lichtquants in das Chlorophyllmolekül über; es entsteht ein energiereiches Chlorophyllmolekül, das „angeregte" Chlorophyll (Chl*). Dessen Energie wird zur Photolyse des Wassers verwendet, wobei das Chlorophyll wieder in den Ausgangszustand zurückkehrt.

Bei der Photolyse des Wassers entstehen Elektronen, OH-Radikale und Wasserstoff-Ionen (H^+). Die von den Lichtquanten durch das „angeregte" Chlorophyll gelieferte Energie liegt jetzt in Form der energiereichen Elektronen vor. Die OH-Radikale sind „Abfall", sie werden zu Wasser + Sauerstoff umgesetzt.

Photolyse des Wassers

$$\begin{array}{ll} 1: & 2\,H_2O \longrightarrow 2\,\langle OH\rangle + 2\,H^+ + 2\,e^- \\ 2: & 2\,\langle OH\rangle \longrightarrow H_2O + 1/2\,O_2 \end{array}$$

Summe: $H_2O \longrightarrow 2\,H^+ + 2\,e^- + 1/2\,O_2$

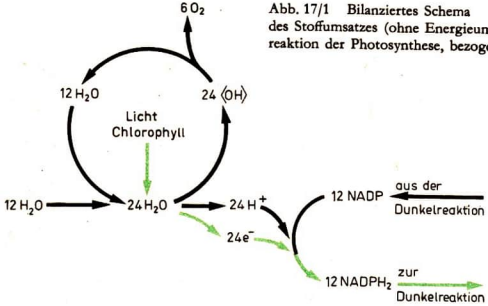
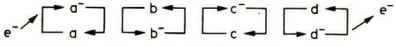


Abb. 17/1 Bilanziertes Schema des Stoffumsatzes (ohne Energieumsatz) bei der Lichtreaktion der Photosynthese, bezogen auf 1 $(CH_2O)_6$

(Die Photolyse des Wassers darf nicht verwechselt werden mit der Dissoziation des Wassers in H^+ und OH^-. Diese verläuft spontan und ohne Energiebedarf.)

Die Elektronen laufen nun über eine Redoxkette, das heißt über mehrere kettenförmig hintereinander geschaltete Oxydoreduktasen (↗ S. 15). Bei den dabei erfolgenden Oxydationsschritten wird die ursprüngliche Lichtenergie als Oxydationsenergie frei und zur Synthese des energiereichen ATP aus ADP und Phosphorsäure verwendet. Die Elektronen vereinigen sich schließlich mit den Wasserstoff-Ionen (H^+) zu Wasserstoff, der in gebundener Form ($NADPH_2$) auftritt. ATP und $NADPH_2$ fließen dann in die Dunkelreaktion ein (Abb. 17/1).

Modell einer elektronenübertragenden Redoxkette
(a, b, c und d sind elektronenübertragende Oxydoreduktasen)



* Im „angeregten" Chlorophyll (Chl*) ist durch die Absorption eines Lichtquants ein Elektron auf ein höheres Energieniveau geraten (vergleichbar einer höheren Elektronenschale in einem Atom). Am ursprünglichen Niveau dieses Elektrons bleibt eine Elektronenlücke (positive Ladung) zurück. Das Elektron kann auf seinem hohen

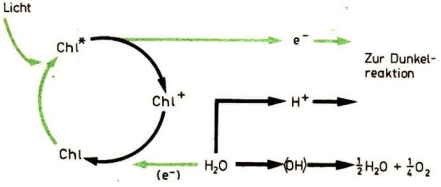


Abb. 17/2 Vorgänge bei der Photolyse des Wassers

Energieniveau von einer Oxydoreduktase übernommen werden (hohes Energieniveau = stark negatives Redoxpotential der Oxydoreduktase). Dabei entsteht positiv geladenes Chlorophyll (Chl*); die im Chlorophyllmolekül zurückbleibende Elektronenlücke entfaltet einen so starken „Elektronensog", daß die Photolyse des Wassers durch Elektronenentzug aus Wassermolekülen einsetzt. Das Chlorophyll kehrt damit in seinen Ausgangszustand (Chl) zurück (Abb. 17/2).

Auf der Stufe des H_2O liegt ein sehr niedriges Energieniveau vor (stark positives Redoxpotential). Die Energie der Lichtquanten wird primär dazu benutzt, die Elektronen auf ein hohes Energieniveau zu heben (stark negatives Redoxpotential). Der Rückfluß der Elektronen zu Oxydoreduktasen von mittlerem Energieniveau ist exotherm; er verläuft über eine längere Redoxkette. Dabei wird die Oxydationsenergie aus den Redoxreaktionen durch ATP-Bildung aufgefangen. *

Übersicht über die Energieumwandlung in der Lichtreaktion

Licht-energie → „angeregtes Chlorophyll" → Elektronen-energie → Oxydations-energie → ATP-Energie

Die Dunkelreaktion. Die Dunkelreaktion stellt den Prozeß der Substanzumwandlung, der Transformation anorganischer in organische Substanz, dar. Sie ist mit einer im Vergleich zur Lichtreaktion geringfügigen Energieumwandlung verbunden, nämlich mit der Transformation der ATP-Energie (einer besonderen Form chemischer Energie) in die chemische Energie des Assimilats (des Kohlenhydrats). Die Dunkelreaktion verläuft nicht nur im Dunkeln, sondern kann als lichtunabhängiger Prozeß gleicherweise am Licht und im Dunkeln ablaufen.

* Bei der Erforschung der Dunkelreaktion haben radioaktive Isotope eine große Rolle gespielt. Algen wurden während der Photosynthese mit Kohlendioxid versorgt, das statt des normalen Isotops ^{12}C das strahlende Isotop ^{14}C enthielt. Nach Photosynthesebeginn extrahierte man in kurzen Zeitabständen (Bruchteilen von Sekunden) die Algen und konnte so feststellen, welche Verbindungen zu den verschiedenen Zeitpunkten den radioaktiven Kohlenstoff enthielten. Damit wurde der Weg des assimilierten Kohlenstoffs deutlich. *

Die Dunkelreaktion beginnt mit der Bindung des Kohlendioxids an eine Substanz, die in der Zelle gebildet wird. Dieser „Akzeptor" ist eine Pentose (Ribulosediphosphat). Damit durch Verbrauch dieses Akzeptors die Dunkelreaktion nicht nach kurzer Zeit zum Erliegen kommt, muß dieser immer wieder zurückgebildet werden. Die Dunkelreaktion ist ein Kreisprozeß, in den Kohlendioxid einfließt und aus dem Kohlenhydrat abströmt. Dieser Kreisprozeß verläuft in 3 Phasen:

Karboxylierende Phase:	Akzeptor bindet CO_2, es entsteht eine Karboxylgruppe. ↓
Reduzierende Phase:	Die Karboxylgruppe wird unter Verwendung von ATP und $NADPH_2$ aus der Lichtreaktion zur Aldehydgruppe reduziert. ↓
Regenerierende Phase:	Reduktionsprodukt wird über viele Zwischenstufen unter Abzweigung von Kohlenhydrat zurückverwandelt in den Akzeptor.

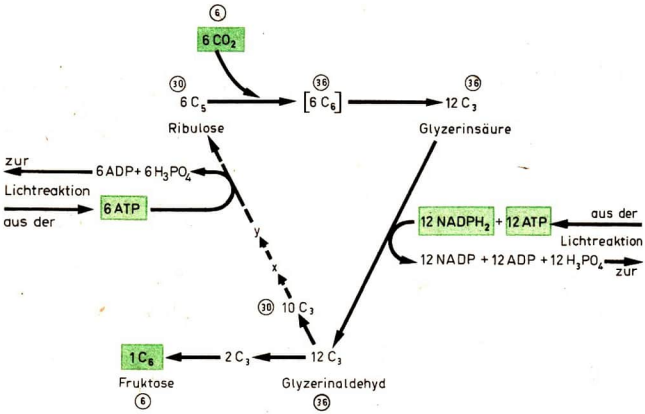


Abb. 19/1 Bilanziertes Schema der Dunkelreaktion der Photosynthese, bezogen auf 1 $(CH_2O)_6$. Oben karboxylierende, rechts reduzierende, links regenerierende Phase. Die Zahlen in Kreisen bedeuten die gesamte Anzahl der an dieser Stelle vorhandenen Kohlenstoffatome in unserem Schema

Auch die regenerierende Phase benötigt ATP aus der Lichtreaktion. Alle Teilschritte der Dunkelreaktion werden durch spezifische Enzyme gesteuert (Abb. 19/1). * Bei allen chemischen Umsetzungen der Dunkelreaktion spielt der Phosphor in Form des Phosphorsäureesters eine große Rolle, da alle Zwischenverbindungen (beginnend mit dem Akzeptor und endend mit dem regenerierten Akzeptor und dem Kohlenhydrat) als Phosphorsäureester vorliegen. In dieser Form sind sie reaktionsbereiter.

In der karboxylierenden Phase entsteht durch Bindung von Kohlendioxid an eine Pentose (Ribulosediphosphat) eine Verbindung mit 6 Kohlenstoff-Atomen. Diese ist unbeständig und zerfällt hydrolytisch in 2 Moleküle Phosphoglyzerinsäure. Glyzerinsäure (2.3-Dihydroxypropansäure) ist, wie an der Bruttoformel ($C_3H_6O_4$) zu erkennen ist, kein Zucker.

In der reduzierenden Phase findet eine Energieumwandlung statt: Phosphoglyzerinsäure wird unter Verbrauch von $NADPH_2$ und ATP zum Aldehyd (Alkanal), dem Phosphoglyzerinaldehyd reduziert (Abb. 20/1). Dieser Phosphoglyzerinaldehyd ist ein sehr wichtiger organischer Zwischenstoff (↗ S. 11). Glyzerinaldehyd (2.3-Dihydroxypropanal) ist ein Zucker, eine Triose ($C_3H_6O_3$).

Bei der Reduktion nimmt die ATP-Energie folgenden Weg: Zuerst wird 1 Molekülrest Phosphorsäure durch ein Enzym (Phosphotransferase) dem ATP-Molekül entnommen und an die Karboxylgruppe des Phosphoglyzerinsäuremoleküls gebunden, dabei entsteht ADP. Die Energie bleibt in der gleichen Form (~) erhalten, denn nun ist das Reaktionsprodukt 1.3-Diphosphoglyzerinsäure durch die Anlagerung des Phosphorsäurerestes an einen anderen Säurerest (die Karboxylgruppe) energiereich.

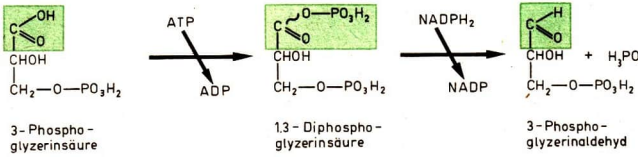


Abb. 20/1 Reduktion des gebundenen CO_2 in der Dunkelreaktion mit Hilfe von $NADPH_2$ und ATP aus der Lichtreaktion

Durch Wiederabspaltung des Phosphorsäurerestes wird so viel Energie frei, daß die 1.3-Diphosphoglyzerinsäure ohne zusätzlichen Energiebedarf durch $NADPH_2$ reduziert werden kann. Der entstehende Phosphoglyzerinaldehyd ist nun um die Reduktionsenergie des Wasserstoffs aus der Lichtreaktion reicher als die 1.3-Phosphoglyzerinsäure. Damit ist die kritische Stufe der Kohlenstoffassimilation, die stark endotherme Reduktion des Kohlendioxids, vollzogen (Abb. 20/1).

Dieses Beispiel verdeutlicht die Funktion einer Transferase. Transferasen sind Enzyme, die Atomgruppen von einem Molekül auf ein anderes übertragen (lat. transferre = übertragen). Die Phosphotransferasen übertragen Phosphorsäurereste. Sie sind besonders wichtig, da sie gleichzeitig Bindungsenergie übertragen können, wie aus dem Beispiel ersichtlich ist.

In der regenerierenden Phase werden die meisten Phosphoglyzerinaldehydmoleküle über viele Zwischenstufen in Ribulosediphosphat, den Akzeptor der karboxylierenden Phase, zurückverwandelt. Jedes sechste Phosphoglyzerinaldehydmolekül kann aber zur Synthese des Monosaccharids Fruktosediphosphat ($2\,C_3H_6O_3 \longrightarrow C_6H_{12}O_6$) abgezweigt werden und stellt somit den Reingewinn der Photosynthese dar. In der regenerierenden Phase wird ATP zur Herstellung von Ribulosediphosphat aus Ribulosephosphat benötigt; das ist ein zweites Beispiel für die Wirkung einer Phosphotransferase. *

Photosyntheseprodukte. Das erste Produkt der Photosynthese ist Fruktosediphosphat. Es wird zum großen Teil in verschiedene Monosaccharide, vor allem Glukose, umgewandelt. Grüne, photosynthetisierende Zellen können zwar bereits Zwischenprodukte aus der Dunkelreaktion entziehen und für verschiedene Zwecke (z. B. Biosynthese anderer Substanzen als Kohlenhydrate) verwenden; aber für alle nichtgrünen Zellen der Pflanze sind die in der Photosynthese entstandenen Monosaccharide Grundlage des gesamten Stoffwechselgeschehens. Sie sind nicht nur Ausgangsmaterial für den Aufbau der meisten anderen organischen Zellbestandteile, sondern stellen auch das oxydierbare Material dar, aus dem in der Dissimilation die Energie für die Lebensvorgänge gewonnen wird.

Unter günstigen Bedingungen wird tagsüber in einer photosynthetisierenden Zelle so viel Zucker gebildet, daß er nicht vollständig weiter verarbeitet oder abtransportiert werden kann. Eine zu hohe Zuckerkonzentration würde aber den osmotischen Wert in der Zelle zu stark erhöhen und das Plasma schädigen. So wird ein Teil des löslichen Zuckers vorübergehend durch Umwandlung zu unlöslicher Stärke aus dem Stoffwechsel ausgeschieden. Diese Assimilationsstärke lagert sich in Form kleinster Körnchen in den Chloroplasten ab (Abb. 21/1). Nachts wird sie wieder zu Zucker

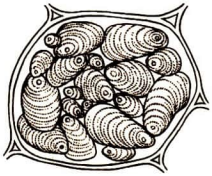


Abb. 21/1 Stärke, links Assimilationsstärke in den Chloroplasten einer Moosblattzelle (500fach vergr.), rechts Speicherstärke in der Zelle einer Kartoffelknolle (200fach vergr.)

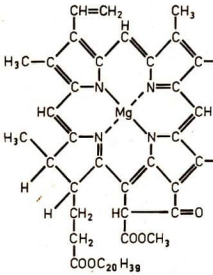
abgebaut, in dieser löslichen Form transportiert und an die Orte des Verbrauchs (chlorophyllfreie Zellen) und der Speicherung geleitet. In den Speicherorganen werden Kohlenhydrate als Speicherstärke abgelagert. Aus Monosaccharidien entstehen in der Pflanze außer der Stärke noch andere Polysaccharide, beispielsweise Zellulose (aus Glukose) und andere Bestandteile der pflanzlichen Zellwand.

* Stärke und stärkeähnliche Produkte stellen für die Pflanze in der Regel eine Zuckerreserve dar, die nach Bedarf wieder in den Stoffwechsel einbezogen wird. Manche Pflanzen (Zuckerrohr, Zuckerrübe) speichern Saccharose (Rohrzucker), die aus Glukose und Fruktose gebildet wird. *

Komplizierter ist die Synthese der übrigen organischen Stoffe, wie beispielsweise der Aminosäuren und Fettsäuren (Bausteine von Proteinen und Fetten). In photosynthetisierenden Zellen werden diese teilweise aus Zwischenprodukten der Dunkelreaktion gebildet. In den übrigen Zellen müssen zu diesem Zweck Zuckermoleküle wieder teilweise zerlegt und chemisch umgebaut werden. Für die Synthese vieler organischer Stoffe sind noch andere chemische Grundstoffe (vor allem Stickstoff) notwendig, die aus den Mineralsalzen des Bodens gewonnen werden (↗ S. 47 ff.).

11 12 13 14 15 16 17 18 19 2 ▼

Der Einfluß innerer und äußerer Faktoren auf die Photosynthese



Pigmente. Das photosynthetisch aktive Pigment ist das Chlorophyll (Abb. 21/2). Das Chlorophyllmolekül absorbiert jedoch nur einen geringen Teil der eingestrahlten Lichtenergie (etwa 3 bis 5 %), und es wird nicht das gesamte Spektrum des Sonnenlichts absorbiert. Je ein Absorptionsmaximum liegt im kurzwelligen blauen und im langwelligen roten Spektralbereich (Abb. 22/1).

Wenn ein Chlorophyllmolekül durch Licht in den angeregten Zustand (↗ S. 16 f.) übergeht, kann 1 Lichtquant nur jeweils 1 Elektron auf ein höheres Energieniveau bringen, unabhängig von

Abb. 21/2 Strukturformel von Chlorophyll a

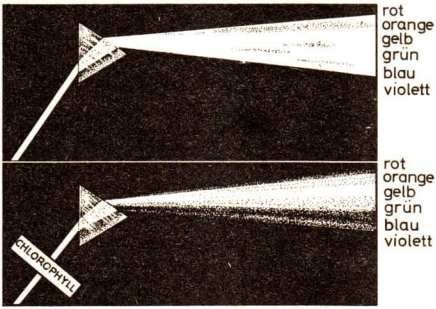


Abb. 22/1 Ausnutzung der verschiedenen Anteile des Lichtspektrums durch das Chlorophyll.
Der obere Teil der Abbildung zeigt die spektrale Zerlegung eines Lichtstrahls durch ein Prisma.
Schaltet man vor das Prisma eine Küvette mit einer Lösung von Chlorophyll, dann werden besonders rote und blaue Anteile des weißen Lichts absorbiert

der Energie des Lichtquants. Die photosynthetische Wirkung hängt also von der Anzahl absorbierter Quanten ab, nicht von deren Energie. Demnach ist Rotlicht mit seinen energieärmeren Quanten wirtschaftlicher als Blaulicht, wenn man photosynthetisierende Zellen mit rotem oder blauem Licht gleicher Intensität künstlich bestrahlt.

Für die Reduktion von 1 Molekül Kohlendioxid werden etwa 8 Lichtquanten benötigt.

Chloroplasten enthalten neben Chlorophyll verschiedene Karotinoide. Auch das von einigen Karotinoiden (z. B. vom ß-Karotin) absorbierte Licht ist photosynthetisch aktiv. Dadurch wird das Lichtspektrum vollständiger ausgenutzt (s. Abb. 22/2). Allerdings kann ein „angeregtes" Karotinmolekül (Car*) nicht selbst die Lichtreaktion der Photosynthese betreiben, sondern nur die von ihm absorbierte Energie auf ein Chlorophyllmolekül weitergeben, das dadurch seinerseits „angeregt" wird, als hätte es selbst ein Lichtquant absorbiert. Bei Belichtung von Chloroplasten findet eine Energieübertragung zwischen den Pigmenten statt.

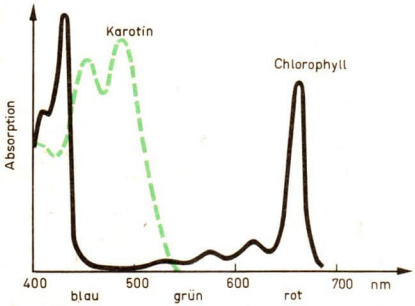


Abb. 22/2
Absorptionsspektren des Chlorophylls und des Karotins

Energieübertragung zwischen Karotinoiden und Chlorophyll

$$\text{Car} \xrightarrow{\text{Licht}} \text{Car}^*$$
$$\text{Car}^* + \text{Chl} \longrightarrow \text{Car} + \text{Chl}^*$$

Kohlendioxid. Die Luft enthält Kohlendioxid nur zu 0,03 %, das entspricht 0,13 bis 0,16 g Kohlenstoff je m^3 Luft. Diese Konzentration ist für die Pflanze nicht optimal. Bei ausreichender Belichtung verstärkt eine künstliche Erhöhung des Kohlendioxidgehalts der Luft die Photosyntheseleistung, indem sie die Dunkelreaktion beschleunigt. Am günstigsten ist ein Gehalt von 0,1 % Kohlendioxid; Konzentrationen über 1 % wirken giftig.

Bei den Landpflanzen dringt Kohlendioxid durch die Spaltöffnungen in das Blattinnere ein; auf dem gleichen Wege werden Sauerstoff und auch Wasserdampf abgegeben. Untergetauchte Wasserpflanzen nehmen das im Wasser gelöste Kohlendioxid durch die gesamte Blattoberfläche auf; sie können Kohlendioxid auch aus im Wasser gelösten Hydrogenkarbonaten entnehmen:

$$Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow Ca(OH)_2 + 2\,CO_2$$

Wasser. Als Rohmaterial der Kohlenhydratbildung steht Wasser in chlorophyllhaltigen Zellen stets in ausreichender Menge zur Verfügung. Selbst bei großer Trockenheit sinkt der Wassergehalt kaum so weit ab, daß er zum begrenzenden Faktor der Photosynthese wird.

Trockenheit beeinträchtigt aber indirekt die Photosynthese. Bei Wassermangel schließen sich die Spaltöffnungen (↗ S. 46, 72). Auf diese Weise wird zwar weiterer Wasserverlust eingeschränkt, aber gleichzeitig auch die Zufuhr von Kohlendioxid. Das kann zur Verminderung der Photosyntheseleistung führen; bei lang anhaltender großer Trockenheit können Pflanzen auf diese Weise „verhungern".

Licht. Ebenso wie die verfügbare Kohlendioxidkonzentration die Dunkelreaktion begrenzen kann, kann die Lichtintensität die Lichtreaktion steuern. Licht-Photosynthese-Kurven (Abb. 23/1) geben die quantitative Beziehung zwischen Licht- und

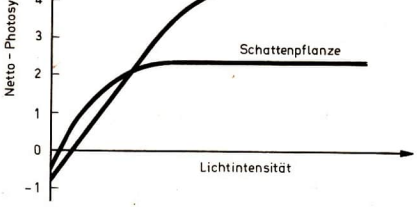


Abb. 23/1
Lichtphotosynthesekurven einer Licht- und einer Schattenpflanze

Photosyntheseintensität an. Bei geringen Lichtintensitäten bestimmt die Geschwindigkeit der Lichtreaktion den Gesamtprozeß der Photosynthese; dann nimmt die Photosyntheseintensität proportional der Lichtintensität zu. Sobald aber die Geschwindigkeit der Lichtreaktion diejenige der Dunkelreaktion zu überschreiten beginnt, bestimmt die Dunkelreaktion als der nunmehr langsamere Teilvorgang den Gesamtprozeß, die Kohlendioxidkonzentration wirkt begrenzend, und eine weitere Steigerung der Lichtintensität ist ohne Wirkung.

* Hier wird das zu verallgemeinernde Prinzip der begrenzenden Faktoren deutlich, das von Justus von LIEBIG im Zusammenhang mit Fragen der Düngung formuliert wurde:

Kann ein Prozeß (Photosynthese, Wachstum) durch mehrere Faktoren (Licht- und Kohlendioxid, Stickstoff-, Kalium-, Phosphordüngung) beeinflußt werden, so läßt sich seine Intensität nur durch Steigerung desjenigen Faktors erhöhen, der gerade im Minimum vorliegt, also begrenzend wirkt. *

Die Netto-Photosynthese. Das Maß des photosynthetischen Substanzgewinns bietet die Netto-Photosynthese. Da die Pflanze ständig, Tag und Nacht, atmet, findet ein ständiger Substanzverlust statt (Dissimilation).

Netto-Photosynthese	= Photosynthese minus Atmung
Stoffbilanz	= Substanzgewinn minus Substanzverlust

Die Netto-Photosynthese läßt sich durch Messung des Gaswechsels leicht quantitativ verfolgen. Bei positiver Stoffbilanz wird Kohlendioxid verbraucht und Sauerstoff ausgeschieden, bei negativer Stoffbilanz verläuft der Gaswechsel umgekehrt.

Pflanzen sonniger Standorte (Wiesen, Äcker), Lichtpflanzen, und Pflanzen schattiger Standorte (Wälder), Schattenpflanzen, unterscheiden sich durch die Licht-Photosynthese-Kurven (Abb. 23/1). Bei niedrigen Lichtintensitäten haben Schattenpflanzen, bei hohen Lichtintensitäten Lichtpflanzen eine höhere Netto-Photosynthese. Das ist eine stammesgeschichtlich entstandene Anpassung an den Standort. Licht- und Schattenblätter findet man an besonnten oder beschatteten Stellen an einer Baumkrone. Bei Lichtblättern liegen die photosynthetisierenden Zellen in mehreren Schichten übereinander, erst bei höheren Intensitäten erreicht genügend Licht alle Zellen. Die geringere Oberfläche der Lichtblätter schützt diese gegen die Verdunstungsgefahr, die am sonnigen Standort groß ist. Bei Schattenblättern sind die photosynthetisierenden Zellen, unter Vergrößerung der Blattfläche, flach ausgebreitet.

Temperatur. Die Dunkelreaktion der Photosynthese ist ein chemischer Prozeß und wie alle enzymatischen Reaktionen (Abb. 10/1) temperaturabhängig. Die Lichtreaktion gehört zu den photochemischen Prozessen. Diese sind nicht temperaturabhängig. Je nach Lichtintensität ist der Temperatureinfluß auf die Photosyntheseintensität deshalb verschieden stark. Die Temperaturabhängigkeit der Photosynthese läßt sich in Gestalt einer Optimumkurve (ähnlich Abb. 10/1) darstellen. Die Assimilationstätigkeit beginnt mit einer gewissen Mindesttemperatur, dem Minimum, sie nimmt bei steigender Temperatur zu und erreicht schließlich das Optimum. Wird die optimale Temperatur überschritten, so fällt die Photosyntheseintensität wieder ab, um bei Erreichung des Temperatur-Maximums aufzuhören. Die Temperaturgrenzen schwanken von Art zu Art.

* Bei der Mehrzahl der heimischen Pflanzen liegt das Minimum etwa bei 0 °C. Polar- und Hochgebirgspflanzen, aber auch heimische Nadelhölzer, photosynthetisieren noch unter dem Gefrierpunkt. Das Optimum liegt meist zwischen 20 °C und 30 °C, das Maximum zwischen 35 °C und 50 °C. Im allgemeinen wird die Photosynthese bei Temperaturen über 30 °C schon merklich vermindert. *

Das Zusammenwirken der Außenfaktoren. Der Kohlendioxidgehalt der Luft beeinflußt die Gestalt der Licht-Photosynthese-Kurve, weil er die Dunkelreaktion begrenzt. Eine Änderung der Kohlendioxidkonzentration in der Luft muß also eine Veränderung der Licht-Photosynthese-Kurve verursachen. Dasselbe gilt für die Temperatur, da diese die Geschwindigkeit der Dunkelreaktion beeinflußt; bei unterschiedlichen Temperaturen ergeben sich verschiedene Licht-Photosynthese-Kurven. Bei Trockenheit schließen sich die Spaltöffnungen, es tritt Kohlendioxidmangel ein, und wieder ändert sich die Licht-Photosynthese-Kurve. Schließlich ist diese Kurve auch noch von der Nährsalzversorgung der Pflanze abhängig.

Dieses Beispiel zeigt, daß die Außenfaktoren nicht unabhängig voneinander auf die Photosynthese wirken, sondern sich in enger Wechselwirkung befinden.

Der Tagesgang der Photosynthese ist von allen genannten Außenfaktoren abhängig. Bei Beginn der Sonneneinstrahlung am Morgen ist die Lichtintensität noch so gering, daß die Stoffbilanz negativ bleibt. Mit zunehmender Lichtintensität und steigender Temperatur steigt die Netto-Photosynthese bald in den Bereich positiver Stoffbilanz, um kurz nach Mittag ein Maximum zu erreichen. In den heißesten Stunden sinkt die Photosynthese oft vorübergehend ab, weil sich infolge starker Verdunstung die Spaltöffnungen schließen. In den Abendstunden nimmt die Photosynthese stetig ab. Der geschilderte „Normal"verlauf wird stark durch die Witterung beeinflußt (z. B. Bewölkung, Luftfeuchtigkeit). Die Leistung der Photosynthese im Verlauf des Tages reicht aus, um den Bedarf der Pflanze an organischen Verbindungen für die Atmung, die ständige Substanzerneuerung, die Substanzzunahme beim Wachstum und die Reservestoffspeicherung zu decken.

Die Steigerung der Stoffproduktion durch Schaffung optimaler Photosynthesebedingungen ist ein wichtiges ackerbauliches und gärtnerisches Ziel. Eine optimale Pflanzdichte verschafft den Pflanzen ausreichendes Licht. In den Gewächshäusern kann künstliches Zusatzlicht geboten werden. Dort ist auch durch Beheizung die Einhaltung optimaler Temperaturen möglich. In der Nähe von Industriebetrieben werden große Gemüsebauanlagen errichtet; das als Verbrennungsprodukt anfallende Kohlendioxid wird durch Rohre in die Gewächshäuser geleitet; bei einer Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration auf 0,1 % konnten zum Beispiel bis zu dreifache Erträge an Tomaten und Gurken erzielt werden. In Mistbeeten kommt es zu einer Kohlendioxidanreicherung; die im stark gedüngten Boden der verglasten Frühbeete vorhandenen Bakterienmassen atmen sehr viel Kohlendioxid aus, und die Pflanzen gedeihen dadurch besonders gut. Da Kohlendioxid schwerer als Luft ist, kann es bei Windstille auch im Freiland zu erhöhter Kohlendioxidkonzentration in Bodennähe kommen. Hierin liegt ein Vorteil der Stallmistdüngung, da die organischen Bestandteile des Mistes die Entwicklung der Bodenmikroben sehr fördern.

(20) (21) (22) (23) (24) (25) 3 ▼ 4 ▼ 5 ▼

Photosynthese ist die wichtigste Form der autotrophen Assimilation.

Photosynthese ist die Umwandlung der Strahlungsenergie des Lichtes in die chemische Energie des Assimilats: Aus energiearmen anorganischen Stoffen ($CO_2 + H_2O$) und Energie (Licht) wird energiereiches organisches Assimilat (vor allem Kohlenhydrat) produziert.

In der Lichtreaktion der Photosynthese werden mit Hilfe der vom Chlorophyll absorbierten Lichtquanten Wassermoleküle gespalten und gebundener Wasserstoff in Form von $NADPH_2$ sowie chemische Energie in Form von ATP gewonnen.

In der Dunkelreaktion der Photosynthese wird mit Hilfe der Produkte aus der Lichtreaktion Kohlendioxid in einem zyklischen Prozeß gebunden, reduziert und zu Kohlenhydrat verarbeitet.

Lichtintensität, Kohlendioxidgehalt der Luft, Temperatur und andere Faktoren beeinflussen die Photosyntheseintensität.

Die Chemosynthese

Chemosynthese ist die Kohlenstoffassimilation bei einer Reihe autotropher, farbloser (also chlorophyllfreier) Bakterien, die offensichtlich erdgeschichtlich uralt sind. Wie bei der Photosynthese ist das Ausgangsmaterial für die Synthese organischer Substanz das Kohlendioxid, das reduziert werden muß, die zur Reduktion benötigte Energie stammt allerdings aus anderen Quellen (↗ S. 13).

Die Photosynthese verläuft in zwei Stufen: der energieliefernden Reaktion und der Kohlendioxidumsetzung. Ebenso gibt es bei der Chemosynthese die voneinander weitgehend unabhängigen Stufen der energieliefernden Reaktion (Oxydationsreaktion) und der Kohlendioxidumsetzung. Die zweite Stufe der Synthese, die Kohlendioxidumsetzung, stimmt bei Photo- und Chemosynthese im Prinzip überein.

Die für die Energiegewinnung aufgenommenen oxydierbaren Substanzen können bei verschiedenen Organismengruppen unterschiedlich sein, in vielen Fällen liefern sie auch den zur Reduktion des gebundenen Kohlendioxids notwendigen Wasserstoff (Elektronen + Protonen). Manchmal aber wird Wasser als Protonenquelle benutzt.

Oxydiert werden Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Methan, Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Eisen(II)-Ionen, Mangan(II)-Ionen. Die Oxydationsprodukte werden wieder abgegeben. Der Nutzeffekt der Oxydation ist gering; es können etwa nur 5% der Oxydationsenergie zur Kohlendioxidumsetzung ausgenutzt werden. Deshalb müssen große Substanzmengen oxydiert werden.

Die farblosen Schwefelbakterien oxydieren H_2S (Schwefelwasserstoff). Sie kommen auf dem Grund von Tümpeln mit viel organischem Material, auch auf Rieselfeldern und in Gewässern vor. Der Schwefelwasserstoff entsteht größtenteils durch Fäulnis aus Eiweißen. Er wird in zwei Oxydationsschritten zu Sulfaten oxydiert.

Schwefelbakterien

$$2\,H_2S + O_2 \longrightarrow 2\,H_2O + 2\,S \quad \Big\| \quad \Delta H = -100\ \text{kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$2\,S + 3\,O_2 + 2\,H_2O \longrightarrow 2\,H_2SO_4 \quad \Big\| \quad \Delta H = -238\ \text{kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Dieser Vorgang spielt bei der „Selbstreinigung der Gewässer" eine bedeutende Rolle; er hat große wirtschaftliche Bedeutung. Stadt- und Industrieabwässer werden auf diese Weise – auf Rieselfeldern oder in Klärbecken – biologisch gereinigt, denn Schwefelbakterien können nicht nur Schwefelwasserstoff, sondern auch Thiosulfate, Sulfide und Sulfite oxydieren.

Wirtschaftliche Bedeutung haben auch die nitrifizierenden Bakterien, die das flüchtige, aus der Eiweiß-Fäulnis stammende Ammoniak zu Nitrit und weiter zu Nitrat oxydieren, es somit im Boden festhalten und der Pflanze verfügbar machen (Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit). Nitritbakterien, Nitratbakterien und die heterotrophen Fäulnisbakterien sind miteinander vergesellschaftet.

Nitrifizierende Bakterien

Nitritbakterien: $2\,NH_3 + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,HNO_2 + 2\,H_2O$ $\quad \Delta H = -130\ \text{kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$

Nitratbakterien: $2\,HNO_2 + O_2 \longrightarrow 2\,HNO_3$ $\quad \Delta H = -36\ \text{kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$

Eisenbakterien gewinnen ihre Energie zur Kohlendioxidreduktion durch Oxydation von zweiwertigem zu dreiwertigem Eisen. Dieser Vorgang führt zur Bildung des Raseneisenerzes.

26 27

Chemosynthese ist eine Form der autotrophen Assimilation.
Sie unterscheidet sich von der Photosynthese durch die abweichende Energiequelle: Oxydationsenergie statt Lichtenergie.

Bedeutung der autotrophen Kohlenstoffassimilation für das Leben auf der Erde

Die autotrophe Kohlenstoffassimilation ist ein Vorgang des Substanzgewinns. Quantitativ überwiegt bei weitem die Photosynthese; die Chemosynthese spielt nur eine untergeordnete Rolle. Die Photosynthese deckt den Bedarf an organischen Baustoffen für die Pflanze. Da ein Teil der Assimilate in der Dissimilation unter Energiefreisetzung wieder abgebaut wird, speist sie indirekt auch den gesamten Energiebedarf der Pflanze. Da die Pflanze unmittelbar oder mittelbar die Ernährungsbasis für alle heterotrophen Organismen darstellt, deckt die Photosynthese zusammen mit der Chemosynthese den gesamten Baustoff- und Energiebedarf aller Organismen einschließlich des Menschen.

Man schätzt, daß die gesamte Masse der Landpflanzen der Erde jährlich 20 Milliarden Tonnen Kohlenstoff aus der Atmosphäre entzieht (1300 kg je Hektar); die Leistungen der Meeresalgen betragen ein Vielfaches davon, so daß insgesamt durch die Pflanzenwelt jährlich 150 bis 200 Milliarden Tonnen Kohlenstoff in Kohlenhydrate umgewandelt werden. Das ist mehr als das Zwanzigfache dessen, was von Industrie und Haushalten an Kohlenstoff in Form von Kohle oder Erdöl benötigt wird. Dabei

Photosynthese				
Grundlage für **Landwirtschaft** z. B. Kulturpflanzenbau Viehhaltung Gründüngung	Grundlage für **Forstwirtschaft** z. B. Holzgewinnung Klimaverbesserung	Grundlage für **Fischereiwirtschaft** z. B. Fischfleisch Tran	**Energie-** lieferant z. B. Holz Kohle Erdöl*)	**Rohstoff-** lieferant z. B. Zellulose Kohle Erdöl*)

*) Die Herkunft des Erdöls ist noch nicht endgültig geklärt. Mögliche Entstehungsweisen sind: Photosynthese, Chemosynthese, nichtbiologische Entstehung

werden aber jährlich nur etwa 3 % des Kohlendioxids der Atmosphäre und 0,3 % des im Ozean gelösten Kohlendioxids umgesetzt. In der Photosynthese wird mit der Strahlungsenergie der Sonne kosmische Energie nutzbar gemacht, die allen Lebewesen zufließt. Der auf diese Weise erzielte jährliche Energiegewinn wird allein für die Landpflanzen auf über 10^{17} kcal geschätzt. Dabei wird durch die Photosynthese nur ein verschwindend geringer Anteil der eingestrahlten Energiemenge verbraucht, nämlich jährlich im Durchschnitt 33 cal je Quadratmeter der Erdoberfläche, während etwa 100000 cal/cm² eingestrahlt werden. Mit Hilfe der photosynthetischen Sauerstoffproduktion kann der bei der Atmung verbrauchte Sauerstoff der Luft ersetzt werden; in geschlossenen Räumen (Raumschiff) kann man mit Hilfe von Pflanzen (in der Praxis Algen) den durch die Atmung heterotropher Lebewesen (Mensch) verbrauchten Sauerstoff der Luft wieder zuführen.

Die zunehmende Bevölkerungsdichte der Erde stellt die Menschheit der Zukunft vor das Problem, ausreichende Nahrungsquellen zu schaffen. Deshalb ist es ein wichtiges Fernziel, die photosynthetische Leistung der Pflanze in großem Maßstabe nachzumachen, organische Nahrungsstoffe im Reagenzglas statt in der lebenden Zelle zu erzeugen. Davon sind wir noch weit entfernt. Näherliegende Aufgaben sind detaillierte Forschungen über Teilprobleme der Photosynthese mit dem Ziel, die Photosynthese und damit die Ertragspotenzen der Kulturpflanzen erstens durch optimale Gestaltung der pflanzenbaulichen Bedingungen besser zu nutzen und zweitens durch gezielte Züchtungsmaßnahmen zu verbessern. Durch die vollständige Erkenntnis über die Stoffwechselvorgänge in der grünen Pflanze, die den Wissenschaftlern eines Tages gelingen wird, kann die Ertragspotenz der Kulturpflanzen voll ausgenutzt werden.

Diese Aufgaben sind wichtige Ziele in der biologischen Forschung; ihre Ergebnisse werden in der sozialistischen Gesellschaft zum Wohle des Menschen genutzt werden.

28 29 30

Heterotrophe Ernährungsweise

Alle Tiere, der Mensch und die Mehrzahl der Mikroorganismen müssen organische, vorwiegend hochmolekulare Verbindungen aufnehmen – sie ernähren sich heterotroph. Somit sind sie im Kohlenstoffkreislauf der Natur von den Pflanzen, die in der Photosynthese energiereiche Kohlenstoffverbindungen aufbauen, abhängig. Viele

Verdauungsweg beim Menschen

Organ	Wichtigste Enzyme	Wirkung
Speicheldrüsen	Ptyalin	Stärke → Disaccharide
Lippen, Zähne, Zunge	—	Nahrungsvorwahl, mechanische Zerkleinerung
Speiseröhre	—	Transport der Nahrung
Magen	Pepsin	Durchmischung, Eiweiß → Polypeptide
Leber		
Galle	(Abgabe in Zwölffingerdarm)	Fettemulgierung
Zwölffingerdarm	Enterokinase	
Bauchspeicheldrüse	Trypsin, Erepsin Amylase, Maltase Lipase (Abgabe in Zwölffingerdarm)	Eiweiß → Polypeptide → Aminosäuren Stärke → Disaccharid → Monosaccharid Fett → Fettsäure und Glyzerin
Dünndarm	—	Resorption der verdauten Nahrung
Dickdarm	—	Flüssigkeitsentzug
Mastdarm	—	Flüssigkeitsentzug
After	—	Kotausscheidung

organische Verbindungen (z. B. Eiweiße, Fette und zahlreiche Kohlenhydrate) werden nahezu allgemein von den Tieren als Nahrungsstoffe verwendet; andere (z. B. Zellulose, Wachse und Kohlenwasserstoffe) können nur von einzelnen Tierarten genutzt werden.

Als Nahrungsstoffe werden alle die Stoffe bezeichnet, die von den heterotrophen Organismen aufgenommen werden müssen. Dabei dienen Eiweißverbindungen, Salze und Wasser hauptsächlich als Baustoffe, während Kohlenhydrate und Fette, aber auch ein Teil der Eiweiße, vorwiegend als Energiespender für die Lebensvorgänge fungieren. Außerdem benötigen die Heterotrophen noch Vitamine für den geregelten Ablauf der Stoffwechselvorgänge (↗ S. 9).

* Die meisten großen Tiergruppen enthalten Arten, die als Allesfresser bezeichnet werden können. Viele Tierarten haben sich jedoch auf eine bestimmte Nahrung, teils pflanzlicher, teils tierischer Herkunft spezialisiert, sie sind Nahrungsspezialisten. Eine besonders starke Spezialisierung auf bestimmte Nährstoffe zeigt sich bei den Insekten. So frißt zum Beispiel die Raupe des Wolfsmilchschwärmers nur die Blätter bestimmter Wolfsmilcharten, vor allem der Zypressenwolfsmilch. Schlupfwespen legen ihre Eier immer nur an Larven ganz bestimmter Insektenarten, beispielsweise der Weißlingstöter an die Raupe des Kohlweißlings.

Alle Tiere, auch die Allesfresser, bevorzugen bestimmte Nahrungsstoffe. Eine derartige Nahrungswahl läßt sich bereits bei Einzellern feststellen, sie erfolgt offensichtlich auf Grund chemischer und physikalischer Faktoren (z. B. Grad der Dissoziation, Farbe).

Bietet man zum Beispiel einem Pantoffeltierchen Stärkekörner an, so werden sie aufgenommen. Hat man die Stärkekörner aber vorher mit Thionin oder Jod getränkt, so strudelt das Pantoffeltierchen diese Teilchen von sich weg. *

31 32 33

Die Nahrung muß zur Aufnahme durch den Organismus umgewandelt werden. Dabei spielt auch die mechanische Zerkleinerung eine Rolle. Die Makromoleküle werden enzymatisch zerlegt. Dieser Prozeß der Zerkleinerung und Aufspaltung zu Verbindungen, die vom Organismus aufgenommen werden können, ist die Verdauung.

Die Verdauung der Kohlenhydrate. Die autotrophen Organismen sind in der Lage, eine große Anzahl verschiedener Kohlenhydrate zu synthetisieren. Einige davon, zum Beispiel einfache Zucker, können von den Tieren direkt verwertet und in der aufgenommenen Form in ihren Stoff- und Energiewechsel einbezogen werden. Andere Kohlenhydrate müssen sie mit Hilfe hydrolytisch wirkender Enzyme (Carbohydrasen) erst in ihre Bausteine zerlegen. In einigen Tiergruppen erfolgt dieser Abbau mit Hilfe von symbiontischen Mikroorganismen, vorwiegend Bakterien. Die Grundbausteine, in welche die hochmolekularen Kohlenhydrate zerlegt werden, sind Monosaccharide. Dabei sind am häufigsten die Hexosen, seltener die Pentosen und sehr selten Tetrosen und Triosen.

Unter den Polysacchariden haben für die Ernährung der Tiere nur Stärke, Glykogen und Zellulose Bedeutung.

Bei der Aufspaltung dieser Stoffe spielen die Amylasen – stärkeabbauende Enzyme – die größte Rolle (z. B. die Amylase im Speichel, Pankreasamylase). Die Amylasen aller Tiere sind einander sehr ähnlich. Zellulosespaltende Enzyme, Zellulasen, werden nur von wenigen Tierarten gebildet. Symbiontische Mikroorganismen, die eine Zersetzung der Zellulose bewirken, kommen bei Tieren dagegen relativ häufig vor. Bei einigen Säugetieren sind besondere Organabschnitte zu einer Art „Gärkammer" umgebildet, in der die Pflanzenfasern unter Mitwirkung von Mikroorganismen abgebaut werden. Hierzu gehören zum Beispiel der Wiederkäuermagen, der Dickdarm des Pferdes und der Blinddarm einiger Nagetiere. Die Mikroorganismen entwickeln sich, außer bei den Wiederkäuern, in einem Abschnitt des Darms, der hinter dem Wirkungsort der eiweißspaltenden Enzyme des Wirtes liegt. Infolgedessen kann der Wirt die Mikroorganismen nicht als Nährstoffe verwerten. Lediglich die durch ihre Tätigkeit freigesetzten oder produzierten Substanzen werden vom Wirt absorbiert. Die Ver-

dauung der Oligosaccharide erfolgt durch Oligosaccharasen. Diese kommen bei Tieren in relativ geringer Anzahl vor. Unter den Disaccharasen ist das malzzuckerspaltende Enzym Maltase besonders weit verbreitet. Es tritt oft gemeinsam mit Amylase auf, zum Beispiel im Speichel des Menschen.

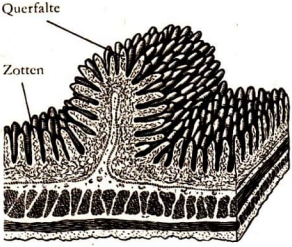
Eiweiße werden bei der Verdauung in ihre Grundbausteine, die Aminosäuren, zerlegt. Diese werden danach absorbiert und können zum Aufbau der artspezifischen Proteine dienen. Die Eiweißverdauung ist eine in Etappen erfolgende Hydrolyse der Peptidbindungen.

Die eiweißspaltenden Enzyme, Proteasen, sind recht vielgestaltig. Sie unterscheiden sich beispielsweise im *p*H-Optimum, in ihrer Wirkung und dem Angriffsort sowie im Fehlen oder Vorhandensein eines Metall-Atoms.

Zu den Proteasen gehören vor allem die Enzyme Pepsin und Trypsin. Pepsin kommt ausschließlich bei Wirbeltieren vor. Es ist das charakteristische eiweißspaltende Enzym des Wirbeltiermagens. Seine Aktivierung erfolgt im sauren Medium autokatalytisch. Die von den Belegzellen des Magens abgeschiedene Salzsäure ist für die Aktivierung des Pepsins von Bedeutung. Gleichzeitig stellt sie auch das erforderliche *p*H-Optimum, welches zwischen 1,0 und 3,0 liegt, ein.

Proteasen, die im schwach basischen Bereich ihr Wirkungsoptimum haben, kommen besonders häufig vor. Zu ihnen gehört das Trypsin der Bauchspeicheldrüse. Es wird in Form einer unwirksamen Vorstufe, dem Trypsinogen, abgeschieden und durch ein Enzym der Darmschleimhaut (die Enterokinase) in Trypsin übergeführt.

Die Fette sind Ester aus höheren Fettsäuren und Propantriol (Glyzerin). Sie können zum Teil in Form kleiner Tröpfchen emulgiert von Zellen aufgenommen und intrazellulär abgebaut werden. Meist erfolgt aber eine Hydrolyse der Fette im Darmkanal unter Mitwirkung besonderer Enzyme, der Lipasen. Die wichtigste Lipase der Wirbeltiere entstammt der Bauchspeicheldrüse. Ihre Aktivierung erfolgt durch Gallensalze, die gleichzeitig die Emulgierung der Fette erleichtern. Hierdurch wird die Oberfläche des Fettes vergrößert und dadurch die Angriffsfläche für die Lipase erhöht. Anderer-



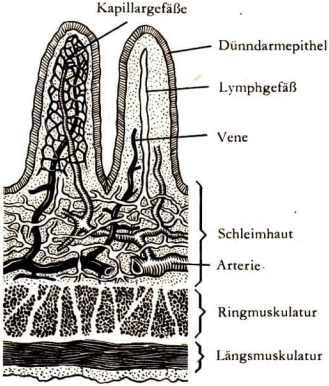


Abb. 31/1 Dünndarm des Menschen: Dünndarmfalte (links) und Schnitt durch zwei Dünndarmzotten (rechts)

seits wird durch die Emulgierung die Fettabsorption in Tröpfchenform erleichtert. Diese Tröpfchen haben einen Durchmesser von weniger als 0,5 µm. Man kann sie vielfach innerhalb der Darmepithelzellen nachweisen. Später werden sie, ebenso wie das aus den aufgenommenen Bausteinen in den Zellen aufgebaute Fett, über die Lymphe in das Pfortadersystem transportiert.

Bei den Säugern, also auch beim Menschen, werden die verdauten Nahrungsstoffe vorwiegend im Dünndarm resorbiert. Hier ist durch die Ausbildung von Darmzotten eine sehr große, physiologisch aktive Oberfläche entstanden. Der Mensch besitzt je cm^2 Dünndarmfläche annähernd 3000 Zotten, was einer Oberflächenvergrößerung auf das Dreiundzwanzigfache entspricht (Abb. 31/1). Die Darmzotten befinden sich in ständiger aktiver Bewegung, so daß immer neue Bereiche des Nährstoffbreies mit dem Epithel in Kontakt kommen. Gleichzeitig wird durch pumpende Bewegungen der Resorptionsvorgang unterstützt. Das zentrale Lymphgefäß der Zotte gibt seinen Inhalt an größere Lymphstämme weiter. Die aus dem Dünndarm resorbierten Verbindungen werden über die Lymphgefäße oder die Blutbahn abtransportiert. Von Bedeutung ist, daß die in den Blutgefäßen transportierten Stoffe über die Pfortader in die Leber gelangen. Hier können sie sofort umgebaut oder deponiert werden. Außerdem erfolgt hier auch eine Entgiftung zahlreicher Verbindungen.

34 35 36 37 38 39 40 6 7 8

Auch außerhalb des Tierreichs kommt die heterotrophe Ernährungsweise vor. Die betreffenden Organismen haben weder die Fähigkeit zur Photo- noch zur Chemosynthese; sie sind frei von Chlorophyll oder besitzen nur Spuren davon. Zu ihnen gehören alle Pilze, die Mehrzahl der Bakterien, einige Algen und einige höhere Pflanzen.

Auch bei einer autotrophen Pflanze sind nicht alle Zellen autotroph. Alle chlorophyllfreien Zellen müssen mit organischem Kohlenstoff versorgt werden.

Heterotrophe Pflanzen brauchen außer organischen auch anorganische Nährstoffe. Die meisten gedeihen auf einem anorganischen Nährboden mit einer organischen Kohlenstoffquelle; beispielsweise wachsen Schimmelpilze auf künstlichen mineralischen Nährböden mit Glukosezusatz.

Von den heterotrophen Pflanzen können auch hochmolekulare Substanzen, zum Beispiel Proteine, als Kohlenstoffquelle benutzt werden. Exoenzyme (↗ S. 9), die von

Typen der Kohlenstoffassimilation im Pflanzenreich			
Autotrophie		Heterotrophie	
Photosynthese	Chemosynthese	Saprophytismus	Parasitismus
alle grünen Sproßpflanzen Moose Algen Blaualgen grüne Bakterien Purpurbakterien	einige farblose Bakterien (z. B. Schwefelbakterien, Eisenbakterien)	viele Pilze (z. B. Penicillium, Aspergillus) Fäulnisbakterien Darmbakterien	krankheitserregende Pilze (z. B. Rostpilze, Brandpilze) und Bakterien (z. B. Erreger der Diphtherie) einige chlorophyllfreie Blütenpflanzen (z. B. Sommerwurz, Kleeseide)

der lebenden Zelle abgeschieden werden, wirken außerhalb der Zelle auf das Substrat ein und schließen es auf; die entstehenden Spaltprodukte (z. B. Aminosäuren) werden dann von der Zelle aufgenommen. Auf diese Weise werden auch sehr schwer zersetzbare Verbindungen angegriffen und verwertet (z. B. Zellulose, Lignin, Humusstoffe). Je nachdem, ob die heterotrophen Pflanzen ihren Kohlenstoff aus abgestorbenem oder lebendem organischem Material gewinnen, unterscheidet man zwischen Saprophyten (Fäulnisbewohnern) und Parasiten (Schmarotzern).

* Die meisten parasitischen niederen Pflanzen sind ursprünglich heterotroph, dagegen entstanden die heterotrophen Samenpflanzen im Verlaufe der Erdgeschichte unter Chlorophyllverlust aus autotrophen Pflanzen.

Bei den Samenpflanzen unterscheidet man von den oben erwähnten sogenannten „Vollparasiten" die „Halbparasiten". Diese enthalten Chlorophyll, besitzen dadurch die Fähigkeit zur autotrophen Kohlenstoffassimilation, beziehen aber Wasser und Mineralstoffe von einer Wirtspflanze. Ein bekanntes Beispiel ist die Mistel. Auch die insektenverdauenden Pflanzen (z. B. Sonnentau, Kannenpflanze) führen eine autotrophe Kohlenstoffassimilation durch, können bei Düngung auch ohne Insektenfang leben, gewinnen aber am natürlichen Standort (meist stickstoffarme Hochmoore) den nötigen Stickstoff dadurch, daß sie mit Hilfe von Exoenzymen die Beutetiere verdauen. *

41

Heterotroph lebende Organismen nehmen energiereiche hochmolekulare organische Verbindungen auf, sie können sie nicht selbst aus anorganischen Verbindungen synthetisieren. Die aufgenommenen Stoffe werden in der Regel mit Hilfe von Enzymen in ihre Grundbausteine zerlegt, ehe sie im Bau- oder Energiestoffwechsel des betreffenden Organismus verbraucht werden.

Zu den heterotrophen Lebewesen gehören außer dem Menschen und den Tieren auch Vertreter saprophytisch oder parasitisch lebender Bakterien, Pilze und Sproßpflanzen.

Dissimilation bei Pflanzen und Tieren

Die Dissimilation ist der Prozeß des Abbaus organischer Substanzen unter Freisetzung der in diesen Substanzen gespeicherten chemischen Energie. Sie deckt den gesamten Energiebedarf der Zelle. Die Dissimilation verläuft bei allen Organismen in prinzipiell gleicher Weise, unabhängig davon, ob die abzubauenden organischen Substanzen auf autotrophe oder auf heterotrophe Weise gewonnen wurden.

Die Energiegewinnung durch Dissimilation erfolgt durch Atmung oder Gärung. Bei der Atmung wird das organische Material restlos zu energiearmen Endprodukten abgebaut (Kohlendioxid, Wasser); dementsprechend ist der Energiegewinn hoch. Bei den Gärungen bleiben dagegen energiereiche Endprodukte übrig (z. B. Äthanol), der Energiegewinn ist wesentlich geringer.

Die Atmung

Die Atmung ist die wichtigste und häufigste Form der Dissimilation. Sie ist ein Oxydationsprozeß, bei dem Sauerstoff verbraucht und Kohlendioxid abgegeben wird.

Man unterscheidet allgemein die äußere Atmung von der inneren Atmung oder Zellatmung.

Atmung		
Äußere Atmung		Innere Atmung
(Diffusionsvorgänge)		(biochemische Prozesse)
Gasaustausch zwischen Organismus und Umwelt	Gasaustausch innerhalb des Organismus von Zelle zu Zelle von Blut zu Zelle	Energiefreisetzende Oxydation innerhalb der Zellen

Austausch der Atemgase. Da die in den Zellen ablaufenden energieliefernden Prozesse in der Regel mit dem Verbrauch von Sauerstoff einhergehen, ist die Aufnahme von Sauerstoff für die meisten Organismen zumindest zeitweilig lebensnotwendig. Eine Ausnahme hiervon stellen nur anaerobe Mikroorganismen und einige Eingeweideparasiten dar. Für die Möglichkeit der Sauerstoffaufnahme ist in erster Linie das Sauerstoffangebot, das heißt der Partialdruck des Sauerstoffs im umgebenden Medium von Bedeutung. Die günstigsten Verhältnisse besitzen in dieser Hinsicht die luftatmenden Tiere, da ihnen etwa 21 % Sauerstoff in der Luft zur Verfügung stehen, was einem Partialdruck von 159 mm Quecksilber in Meereshöhe entspricht. Wesentlich weniger Sauerstoff ist dagegen im Wasser enthalten. Selbst bei Luftsättigung enthält Süßwasser bei 5 °C nur 9,2 ml/l, bei 20 °C sogar nur 6,5 ml/l Sauerstoff. Noch geringer ist der Sauerstoffgehalt des Meerwassers. Er beträgt bei Luftsättigung bei einer Temperatur von 5 °C 6,9 ml/l, bei 20 °C 5,1 ml/l. Dabei ist zu bedenken, daß eine Luftsättigung in natürlichen Gewässern meist nur nahe der Oberfläche erreicht wird. Mit zunehmender Wassertiefe nimmt der Sauerstoffgehalt ab. Am Boden von Teichen und Seen kann freier Sauerstoff sogar völlig fehlen; es bilden sich infolge reduzierender Vorgänge, die mit der Zersetzung organischer Substanz verbunden sind, Faulschlamm, Schwefelwasserstoff und Methan.

Im gleichen Maße wie Sauerstoff aus der Umgebung aufgenommen wird, erfolgt die Abscheidung von Kohlendioxid. Dabei sind im Wasser die Bedingungen für die Abgabe besonders günstig, da Kohlendioxid sich in Wasser 28mal leichter löst als Sauerstoff. So treten Schwierigkeiten bei der Abgabe von Kohlendioxid als begrenzender physiologischer Faktor sehr selten und nur unter extremen Bedingungen auf.

Die einfachste Form der Sauerstoffaufnahme ist die direkte Diffusion aus der Umgebung in den Organismus, wie sie bei Mikroorganismen, niederen Tieren und Wasserpflanzen vorkommt. Hier erfolgt der Gasaustausch durch die gesamte Körperoberfläche. Besondere Transportsysteme sind nicht vorhanden. Da die Diffusion von gelöstem Sauerstoff nur über Strecken unter 1 mm den Sauerstoffbedarf der Zellen zu decken vermag, sind die Organismen entweder sehr klein, oder sie zeigen ein flächenförmiges Wachstum (z. B. Tange).

Bei allen anderen Organismen wird der aufgenommene Sauerstoff in gelöster oder bei Pflanzen zum Teil in gasförmiger Form durch Interzellularen oder durch besondere Kreislaufsysteme zu allen Zellen des Organismus geleitet.

Die direkte Diffusion spielt auch bei vielzelligen Tieren als Hautatmung eine Rolle. Dieser Gasaustausch durch die Haut ist meist beträchtlich, so deckt beispielsweise beim Aal die Hautatmung 60 % des Sauerstoffbedarfs. Selbst bei Eidechsen, also bei Arten mit verhornter Haut, ist der Gasaustausch in Form der Kohlendioxidabgabe durch die Haut hoch und entspricht fast der durch die Lunge abgeschiedenen Kohlendioxidmenge. Einen besonders intensiven Gasaustausch durch die Körperoberfläche besitzen Tiere mit feuchter Haut (z. B. Regenwürmer, Lurche). So gibt es unter den Salamandern eine sehr artenreiche, in Amerika weitverbreitete Familie mit völlig rückgebildeten Lungen. Der Gasaustausch erfolgt hier ausschließlich durch die Haut.

Auch die Landpflanzen besitzen keine eigentlichen Atmungsorgane, der Gasaustausch vollzieht sich an ihrer Oberfläche durch die Spaltöffnungen. Sie verbinden die Außenluft mit dem Kanalsystem der Zwischenzellräume im Inneren.

Die Ausbildung besonderer Atmungsorgane bei den höher entwickelten Tieren (Tracheen, Lungen oder Kiemen) ist meist mit der Entwicklung eines Kreislaufsystems verbunden, das dem Transport der Atemgase dient. So befördert es den im Bereich der Atmungsorgane aufgenommenen Sauerstoff zu den Zellen und transportiert das Kohlendioxid zu den Stellen der Abgabe.

Da die sich physikalisch in der Körperflüssigkeit lösende Sauerstoffmenge verhältnismäßig gering ist, reicht sie für stoffwechselaktive Tiere nicht aus. Im Verlaufe der Stammesgeschichte haben sich besondere, sauerstoffbindende Substanzen herausgebildet, die die Aufnahmefähigkeit für Sauerstoff heraufsetzen. Von ihnen ist das auch beim Menschen vorkommende Hämoglobin am bekanntesten. Typisch für diese Stoffe ist ihre Fähigkeit, den Sauerstoff bei einem bestimmten Partialdruck zu binden und ihn bei einem niedrigeren Partialdruck wieder abzugeben. So sättigt sich Hämoglobin bei einem Sauerstoffpartialdruck von 110 mm Quecksilber, wie er in den Lungenbläschen vorliegt, nahezu vollständig. Bei einem Partialdruck unter 40 mm Quecksilber, der den Verhältnissen in den Geweben entspricht, gibt das Hämoglobin Sauerstoff wieder ab.

42 43 44

Biochemie der Atmung. Der bei den einzelnen Organismen unterschiedliche Transport der Atemgase ist kein wesentliches Merkmal der Atmung. Das Kernstück der Atmung, die energiefreisetzende Oxydation, geschieht in jeder lebenden Zelle, sofern diese nicht die Energie durch Gärung gewinnt, in gleicher Weise. Das weist deutlich auf deren gemeinsame Abstammung hin.

Die Ausgangsstoffe der Atmung, die zu oxydierenden organischen Substanzen, heißen Substrate. Sie können mannigfaltig sein, werden aber in jedem Fall in einfachere Bausteine zerlegt oder umgewandelt, die dann erst in das Atmungsgeschehen einfließen. So werden hochmolekulare Eiweiße, Fette oder Kohlenhydrate, die oft als Reservestoffe in Speicherorganen (z. B. Stärke, Glykogen) für die Atmung zur Verfügung stehen, durch die Tätigkeit hydrolytisch wirkender Enzyme in Aminosäuren, in Monokarbonsäuren und Propantriol oder in Monosaccharide zerlegt (↗ S. 30 bis 31). Vor dem Eintritt in das Atmungsgeschehen werden viele dieser Bausteine (z. B. Monosaccharide und Propantriol) phosphoryliert und dadurch reaktionsbereit gemacht. Dabei dient ATP als Phosphatgruppenspender, und Phosphotransferasen

übernehmen die Übertragung der Phosphatgruppe; beides ist schon aus der Dunkelreaktion der Photosynthese bekannt (↗ S. 19 f.).

Am häufigsten werden Kohlenhydrate als (phosphoryliertes) Monosaccharid für die Atmung verbraucht.

Der Gesamtprozeß der Atmung läßt sich, wenn Kohlenhydrat als Substrat dient, in folgender Gleichung ausdrücken:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,H_2O + 6\,O_2 \longrightarrow 6\,CO_2 + 12\,H_2O \;\|\; \Delta H = -686\ \text{kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Diese Bruttogleichung sagt nichts über die zahlreichen Teilreaktionen des Prozesses aus; sie vernachlässigt auch die Phosphorylierung der Kohlenhydrate. Die Bruttoformel kann zu der Annahme verleiten, die Atmung sei eine Umkehrung der Photosynthese. Das trifft aber nur für einzelne Teilreaktionen zu.

Die Atmung besteht aus zwei Teilprozessen:

1. schrittweise Zerlegung des Substrats unter Abspaltung von Wasserstoff;
2. Oxydation dieses Wasserstoffs durch Sauerstoff.

Substratzerlegung:	$C_6H_{12}O_6 + 6\,H_2O \longrightarrow 6\,CO_2 + 12\,\langle H_2\rangle$
Wasserstoffoxydation:	$12\,\langle H_2\rangle + 6\,O_2 \longrightarrow 12\,H_2O$
Summe:	$C_6H_{12}O_6 + 6\,H_2O + 6\,O_2 \longrightarrow 6\,CO_2 + 12\,H_2O$

Der zweite Teilprozeß liefert die Hauptmenge der bei der Atmung frei werdenden Energie. Wasserstoff tritt (wie bei der Photosynthese) nicht als Wasserstoffgas H_2 auf, sondern gebunden an wasserstoffübertragende Oxydoreduktasen (↗ S. 15 f.). Die Schreibweise $\langle H_2\rangle$ wurde gewählt, weil stets zwei Wasserstoffatome gleichzeitig von den Oxydoreduktasen übernommen werden.

Während der Substanzzerlegung werden Kohlenstoffatome des Substrats nacheinander in Karboxylgruppen (-COOH) übergeführt, aus denen durch Dekarboxylierung CO_2 abgespalten wird: $R\text{-}COOH \longrightarrow RH + CO_2$. Die Substratzerlegung verläuft in 2 Teilschritten: der Glykolyse und dem Säurezyklus (Säurekreislauf).

In der Glykolyse wird das Monosaccharidmolekül (Fruktosediphosphat) zerlegt und in eine für die Dekarboxylierung geeignete Form übergeführt, nämlich in Brenztraubensäure (2-Oxopropansäure, ↗ S. 11). Die Glykolyse enthält viele Teilreaktionen, deren jede von einem Enzym gesteuert wird (Abb. 36/1).

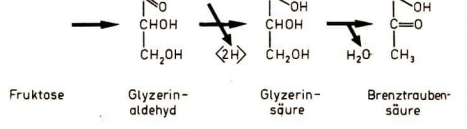


Abb. 36/1 Stark verkürztes und vereinfachtes Schema der Glykolyse. (Fruktose, Glyzerinaldehyd und Glyzerinsäure kommen in phosphorylierter Form vor)

* Der erste Schritt, Spaltung von Hexose(-diphosphat) in Triose(-phosphat), kommt in gegenläufiger Richtung in der Photosynthese vor. Die Oxydation der Triose (Phosphoglyzerinaldehyd) zur Säure (Phosphoglyzerinsäure) ist die Umkehrung der in Abbildung 20/1 dargestellten Teilreaktion der Photosynthese, die auch in beiden Fällen durch dasselbe Enzym katalysiert wird. Bei der Photosynthese erfolgt die Reduktion mit (gebundenem) Wasserstoff und ATP, in der Glykolyse erfolgt die Oxydation unter Freiwerden von (gebundenem) Wasserstoff und Bildung von ATP. Diese Teilreaktion ist der einzige Oxydationsschritt bei der Glykolyse. *

Die im Ergebnis der Glykolyse gebildete Brenztraubensäure wird nun dekarboxyliert und oxydiert. Bei der Dekarboxylierung der Brenztraubensäure ($CH_3 - CO - COOH$) müßte Azetaldehyd (Äthanal, $CH_3 - CHO$) entstehen, bei dessen Oxydation Essigsäure (Äthansäure, $CH_3 - COOH$). Beide treten aber nicht frei auf, sondern das Produkt der gekoppelten Dekarboxylierung und Oxydation wird als Azetylrest (Äthansäurerest, $CH_3 - CO$-) in den Säurezyklus übertragen. Der Azetylrest ist dabei durch Bindung an ein Koenzym reaktionsfähig. Der gebundene Azetylrest ist, ebenso wie die Brenztraubensäure, ein sehr wichtiger Zwischenstoff im Zellstoffwechsel, den die Zelle zu verschiedenen Zwecken benutzen kann. Im Säurezyklus wird der Azetylrest restlos zu Kohlendioxid und H_2 abgebaut.

* Die wichtigsten Teilvorgänge im Säurezyklus sind:
- Verknüpfung des Azetylrestes (C_2) mit Oxalessigsäure (C_4) zu Zitronensäure (C_6);
- in mehreren Teilreaktionen zweimalige Dekarboxylierung, es entsteht Bernsteinsäure (C_4);
- in mehreren Teilreaktionen zweimalige Dehydrierung, es entsteht wieder Oxalessigsäure, mit der der Kreislauf von neuem beginnt (Abb. 38/1). *

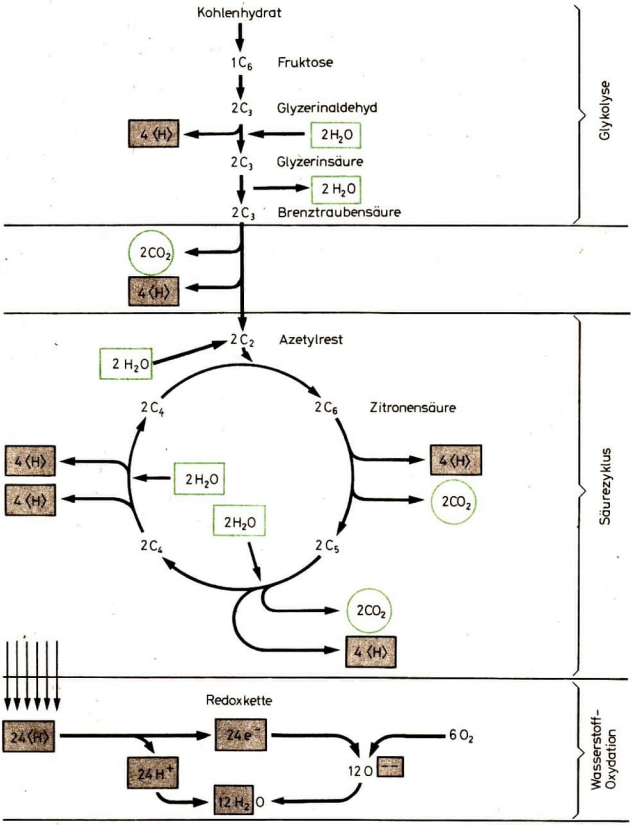
Bei der Atmung wird also aus den Atmungssubstraten über eine Reihe von Zwischenprodukten wiederholt Wasserstoff entzogen, der mit dem aufgenommenen Sauerstoff zu Wasser oxydiert, während der Kohlenstoff als Kohlendioxid an die Umwelt abgegeben wird. Den gesamten Ablauf steuern zahlreiche Enzyme. Bei der Abspaltung von Wasserstoff spielt neben dem NADP (↗ S. 15) das ähnliche NAD als Koenzym von Oxydoreduktasen eine große Rolle.

Die Atmung ist keine Umkehrung der Photosynthese: in der Atmung gibt es mehrere verschiedene Oxydationsschritte, in der Photosynthese nur einen Reduktionsschritt, in der Atmung gibt es mehrere verschiedene Dekarboxylierungen, in der Photosynthese nur eine Karboxylierung.

Biologische Oxydation des Wasserstoffs. Der Wasserstoff verbindet sich nicht unmittelbar mit dem Sauerstoff. Das gäbe eine plötzliche Oxydation mit starker Wärmeentwicklung (Knallgasreaktion). Vielmehr wird der Wasserstoff (= Elektronen + Protonen) über eine lange Redoxkette (kettenförmig hintereinander geschaltete Oxydoreduktasen, ↗ S. 17 f.) zum Sauerstoff transportiert, wobei die Energie stufenweise als ATP-Energie freigesetzt wird. Diese Redoxkette heißt Atmungskette.

Zur Atmungskette gehören neben NAD-haltigen auch eisenhaltige Oxydoreduktasen, die Zytochrome. Durch Valenzwechsel des Eisens zwischen dem 2- und dem 3wertigen Zustand können sie Elektronen übertragen ($Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+}$, ↗ S. 16).

Die Atmungskette transportiert Elektronen von einem hohen Energieniveau (Substrat, negatives Redoxpotential) zu einem niedrigen Energieniveau (Sauerstoff, positives Redoxpotential). Bei jedem Weitergabeschritt, von einer Oxyreduktase zur nächsten, geraten die Elektronen auf ein etwas niedrigeres Energieniveau. Die dabei freigesetzte Energie wird als ATP-Energie aufgefangen (↗ S. 16).



Bilanz: $C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 + 6\,H_2O \longrightarrow 6\,CO_2 + 12\,H_2O$

Abb. 38/1 Bilanziertes Schema der wichtigsten biochemischen Vorgänge bei der Atmung (stark vereinfacht)

Biologische Oxydation des Wasserstoffs

$$24\ \langle H \rangle \longrightarrow 24\ H^+ + 24\ e^-$$
$$6\ O_2 + 24\ e^- \longrightarrow 12\ O^{2-}$$
$$24\ H^+ + 12\ O^{2-} \longrightarrow 12\ H_2O$$

ATP ist dasjenige Endprodukt der Atmung, das die durch Oxydation freigesetzte Energie aus dem Atmungsprozeß heraus und zu den verschiedenen energiebedürftigen Lebensprozessen hinführt. Es ist die universelle energietransformierende Verbindung der Lebewesen.

Die Energieumwandlung (chemische Energie des Substrats ⟶ ATP-Energie) verläuft nicht verlustlos, ein beträchtlicher Teil der Energie geht als Wärme verloren. Im Organismus ist jedoch der Wärmeverlust weit geringer als beispielsweise in Wärmekraftmaschinen. Bei Warmblütern dient ein Teil der produzierten Wärme zur Erhaltung der Körpertemperatur. Bei Pflanzen mit ihrer großen Oberfläche geht sie als diffuse Wärme verloren oder wird bei der Verdunstung des Wassers verbraucht („Verdunstungskälte"). Meßbare Temperaturerhöhungen gibt es nur in Ausnahmefällen, beispielsweise in bestimmten Blütenständen (Aronstab). Die besonders intensive Atmung von Bakterien und Pilzen führt dagegen oft zu deutlicher Temperaturerhöhung in der Umgebung (Mistbeet!) und kann bis zur Selbsterhitzung und -entzündung von Heu führen.

Der energieliefernde Teil der Atmung, also die Atmungskette, sowie auch der Säurezyklus sind in den Mitochondrien lokalisiert. Die Oxydoreduktasen der Atmungskette sind in die innere Membranstruktur der Mitochondrien eingebaut. Überwiegend in ihnen wird die Energie für die Lebensprozesse der Zelle freigesetzt. Wie die Chloroplasten sind sie Orte der Energietransformation.

(45) (46) 9 10

Einfluß äußerer Faktoren auf die Atmung. Bezogen auf das Körpervolumen ist die Atmungsintensität bei Tier und Pflanze etwa gleich. In 24 Stunden wird etwa das 5- bis 10fache des eigenen Volumens an Kohlendioxid abgegeben.

* Zur Messung der Atmungsintensität wird vorteilhafterweise der Sauerstoffverbrauch herangezogen. Dieser wird, sofern es sich um kleine Untersuchungsobjekte handelt (z. B. Mikroorganismen, Samenkörner, Gewebe, Kleintiere), am besten manometrisch bestimmt. Wird die Temperatur in einem verschlossenen Gefäß, in dem das Untersuchungsmaterial sich befindet, konstant gehalten, dann kann man Änderungen des Partialdrucks eines verbrauchten oder entwickelten Gases mit einem Manometer messen, welches an das Gefäß gasdicht angeschlossen ist. Bei Atmungsmessungen besitzt das Gefäß einen kleinen Einsatz, der mit konzentrierter Kaliumhydroxidlösung gefüllt wird, damit das entwickelte Kohlendioxid abgefangen wird. Die zu beobachtenden Änderungen im Manometerwert können dann unter Anwendung der Gaszustandsgleichung allein auf Sauerstoffverbrauch zurückgeführt werden. Die Gefäße werden in ein temperaturkonstantes Wasserbad getaucht und darin geschüttelt.

Die Bruttogleichung der Atmung ($C_6H_{12}O_6 + 6\ H_2O + 6\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 12\ H_2O$) belegt, daß bei der Veratmung von Glukose die Anzahl der entwickelten Kohlendioxidmoleküle gleich groß der Anzahl der verbrauchten Sauerstoffmoleküle ist. Da sich bei

gleichem Druck und gleicher Temperatur in gleichen Raumteilen aller Gase die gleiche Anzahl Moleküle befindet (Avogadroscher Satz), ist bei der Veratmung von Kohlenhydrat das produzierte Kohlendioxidvolumen gleich dem verbrauchten Sauerstoffvolumen. Das Verhältnis dieser Gasvolumina zueinander ist der Atmungsquotient oder Respiratorische Quotient, RQ (Respiration = Atmung). Bei der Veratmung von Kohlenhydrat ist RQ = 1.

Respiratorischer Quotient: $RQ = \frac{CO_2}{O_2}$

Die Menge des abgegebenen Kohlendioxids wird bestimmt durch die Anzahl der Kohlenstoffatome im Atmungssubstrat. Die Menge des verbrauchten Sauerstoffs dagegen ist abhängig von der Anzahl der zu oxydierenden Wasserstoffatome, sie steigt mit der Anzahl der Wasserstoffatome und sinkt mit der Anzahl der Sauerstoffatome im Atmungssubstrat. Bei der Veratmung von Stearinsäure, einer in Fetten reichlich vorkommenden Fettsäure, gilt $RQ = \frac{18}{26} = 0{,}69$, entsprechend der Bruttogleichung $C_{18}H_{36}O_2 + 26\ O_2 \longrightarrow 18\ CO_2 + 18\ H_2O$. Bei der Veratmung von Fetten und Proteinen ist $RQ < 1$.

Atmungssubstrat	RQ
Kohlenhydrat	1,0
Protein	0,8
Fett	0,7

Eine Messung von RQ gestattet den Rückschluß auf die Art des Atmungssubstrats. Keimpflanzen aus fettreichen Samen, beispielsweise von Sonnenblumen, atmen mit einem RQ von etwa 0,7. Bei heterotrophen Lebewesen ist der RQ von der Art der aufgenommenen Nährstoffe abhängig. Fäulnisbakterien veratmen sehr viel Protein, man kann den Fäulnisprozeß geradezu als eine intensive bakterielle Eiweißveratmung und -vergärung bezeichnen.

Die Atmungsintensität ist viel stärker von der Temperatur abhängig als die Intensität der Photosynthese, die ja eine temperaturunabhängige photochemische Reaktion enthält (↗ S. 24). Temperaturen von — 10 °C stellen im allgemeinen die untere Grenze des Atmungsprozesses dar, jedoch können beispielsweise überwinternde Pflanzenteile (wie z. B. Kiefernnadeln) noch bei — 20 °C und tieferen Temperaturen atmen. Bei einer Temperatursteigerung um 10 °C wird jeweils die Atmungsintensität etwa verdoppelt, entsprechend der Van't Hoffschen, für chemische Reaktionen gültigen Regel. Oberhalb von 40 °C steigt bei weiterer Temperaturerhöhung der Sauerstoffverbrauch sprunghaft an, man kann das als eine Art Enzymfreilauf bezeichnen; die Oxydationen verlaufen ungeordnet und ohne Energiegewinn. Bei noch höheren, oberhalb 50 °C liegenden Temperaturen zeigt ein rasches Absinken des Sauerstoffverbrauchs den Tod der Zelle an. Bei Warmblütern hängt die Atmungsintensität nicht direkt von der Außentemperatur ab, sondern von der Körpertemperatur.

Wie jeder andere Stoffwechselvorgang ist die Atmung sehr vom Wassergehalt des

Protoplasmas abhängig, denn das Wasser ist das Lösungsmittel, in dem sich alle biochemischen Reaktionen abspielen; würde es ganz fehlen, so müßte der Stoffwechsel aufhören. Trockene Gerstenkörner enthalten 10 bis 12% Wasser, diese geringe Menge ist fest an die Zellbestandteile adsorbiert. 1 kg dieser trockenen Körner produziert durch Atmung 0,3 mg Kohlendioxid in 24 Stunden. Läßt man die Körner bis zu einem Wassergehalt von 33% quellen, so steigt die Kohlendioxidproduktion auf 2000 mg in 24 Stunden je 1 kg Körner. Im Ruhezustand befindliche Zellen (Samenruhe; Dauersporen, Dauerzysten) zeichnen sich meist durch einen sehr niedrigen Wassergehalt aus.

Die Zusammensetzung der Atmosphäre beeinflußt die Atmungsintensität sehr; die ausschlaggebenden Faktoren sind dabei der Partialdruck des Sauerstoffs und der des Kohlendioxids. Bei verminderter Sauerstoffkonzentration sinkt die Atmung, während sie bei erhöhter Sauerstoffkonzentration ansteigen kann. Die Kohlendioxidkonzentration wirkt gerade entgegengesetzt; das ist teilweise darauf zurückzuführen, daß Dekarboxylierungen durch hohe Kohlendioxidkonzentrationen gehemmt und durch niedrige gefördert werden. Die Samen vieler Pflanzen haben schwer gasdurchlässige Samenschalen, dadurch reichert sich infolge der Atmung Kohlendioxid im Innern an und schränkt so die Atmung immer stärker ein.

Diejenigen Faktoren, die die Atmung vermindern, schränken nicht nur den Substanzverlust ein, sondern verzögern beziehungsweise unterbinden auch energiebedürftige Wachstums- und Entwicklungsprozesse, wie beispielsweise die Keimung. Bei der Lagerung von Ernteprodukten (z. B. Getreide, Kartoffeln) wird man also aus beiden Gründen möglichst für niedrige Temperatur, niedrigen Wassergehalt, niedrige Sauerstoffkonzentration, hohe Kohlendioxidkonzentration sorgen.

Nicht immer kann man durch rentable Maßnahmen den Substanzverlust durch Atmung in den gewünschten niedrigen Grenzen halten. Aus diesem Grunde werden zum Beispiel Zuckerrüben im Herbst so schnell wie möglich in den Zuckerfabriken verarbeitet.

47 48 49

Alle Organismen gewinnen durch Dissimilation Energie in Form von ATP, indem sie energiereiche organische Substanz abbauen. Die Atmung ist ein enzymatisch gesteuerter oxydativer Dissimilationsprozeß, bei dem das organische Substrat restlos zu energiearmen Endprodukten (CO_2, H_2O) abgebaut wird.

Bei dieser biologischen Oxydation wird dem Substrat in den Phasen der Glykolyse und des Säurezyklus schrittweise Wasserstoff entzogen. Der Wasserstoff wird in den Reaktionen der Atmungskette unter ATP-Gewinn mit Luftsauerstoff vereinigt.

Temperatur, Kohlendioxid- und Sauerstoffgehalt der Luft, Wassergehalt der Zellen und andere Faktoren beeinflussen die Atmungsintensität.

Gärungen

Die Gärungen sind Dissimilationsprozesse, bei denen das Substrat unvollständig abgebaut wird. Es entsteht ein noch energiereiches Endprodukt, das normalerweise ausgeschieden wird. Die chemische Energie des Substrats wird also nur teilweise in ATP-Energie umgewandelt und dem Organismus nutzbar gemacht. Da die Energieausbeute relativ gering ist, müssen bei Gärungen wesentlich größere Substratmengen verbraucht werden als bei der Atmung. Nach dem Endprodukt erhält der jeweilige Gärungstyp seinen Namen (z. B. alkoholische Gärung, Milchsäuregärung).

Die meisten Gärungstypen verlaufen im Gegensatz zur Atmung ohne Beteiligung von Luftsauerstoff. Eine wichtige Ausnahme ist die Essigsäuregärung.

Gärungen sind vor allem bei niederen heterotrophen Organismen zu finden, zum Beispiel bei den Bakterien und Hefepilzen. Das zu vergärende Substrat wird in diesem Falle als Nahrungsstoff aufgenommen. Aber auch Gewebe höherer Pflanzen und Tiere können gären.

* Es gibt obligate und fakultative Gärer. Die obligaten Gärer können Sauerstoff überhaupt nicht verwenden. Den meisten von ihnen fehlen die Enzyme der Atmungskette, die den Wasserstoff zum Sauerstoff transportieren. Sie haben diese Enzyme nicht im Verlaufe der Stammesgeschichte verloren, sondern sie nie besessen. Die Gärungsvorgänge sind offenbar viel älter als die der Atmung; sie dürften zu einer Zeit entstanden sein, als die Erdatmosphäre noch frei von Sauerstoff war, und somit die ältesten Dissimilationsprozesse darstellen, mit denen die Urorganismen ihren Energiebedarf deckten. Besonders unter den obligaten Gärern scheinen sich noch solche urtümlichen Stoffwechselprozesse erhalten zu haben. Die fakultativen Gärer (Hefepilze beispielsweise) können auch atmen, sie gehen in der Regel erst bei Sauerstoffmangel zur Gärung über. *

Oft kommen Gärer in sauerstofffreien Lebensräumen vor, etwa im Faulschlamm der Gewässer oder im Darm von Mensch und Tier. Gärungen haben für die Wirtschaft erhebliche Bedeutung. Das gilt vor allem für die alkoholische Gärung und die Milchsäuregärung. Gärungsprozesse sind auch an den Fäulnisvorgängen beteiligt, die einen intensiven bakteriellen Abbau von Eiweiß (und anderen Substanzen) darstellen.

* Für den Menschen ist oft das Gärprodukt wichtig, für die gärenden Mikroorganismen nur der Gärvorgang, das heißt der Energiegewinn. Die Gärprodukte sind für die sie erzeugenden Organismen Abfall, in höheren Konzentrationen sogar schädlich; die Hefepilze gehen beispielsweise in dem von ihnen produzierten Äthanol zugrunde, wenn dessen Konzentration 15 % übersteigt. *

Alkoholische Gärung. Bei der alkoholischen Gärung wird Zucker zu Äthanol und Kohlendioxid vergoren. Dieser Gärungstyp ist vor allem bei Hefepilzen zu finden. Kleine Mengen von Hefe können große Bottiche voll Bierwürze oder Most in wenigen Tagen oder Wochen vergären. Das dabei entstehende Kohlendioxid bringt die Gärflüssigkeit zum Brodeln. Die Zerlegung des Zuckermoleküls verläuft zunächst, wie bei der Atmung, auf dem Wege der Glykolyse, also bis zur Brenztraubensäure. Diese Säure wird durch eine Dekarboxylase dekarboxyliert (Abspaltung von Kohlendioxid aus der Karboxylgruppe, ↗ S. 36 f.), dabei entsteht Äthanal (Azetaldehyd, Abb. 43/1).

Die Glykolyse enthält aber einen Oxydationsschritt, bei dem Wasserstoff abgespalten wird (↗ S. 36). Der Wasserstoff wird von einer Oxydoreduktase mit dem Koenzym NAD übernommen, wobei $NADH_2$ entsteht. Andererseits verläuft die alkoholische

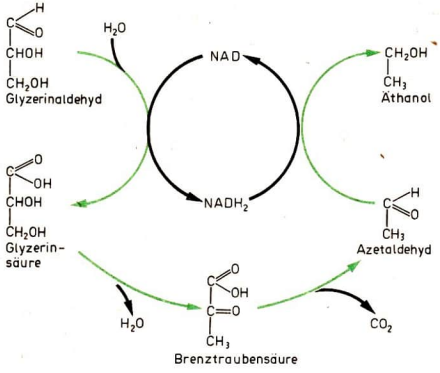


Abb. 43/1 Oxydation und Reduktion bei der alkoholischen Gärung. Oxydoreduktase-Koenzym: NAD (Nikotinsäureamid-Adenin-Dinukleotid; ↗ Abb. 36/1)

Gärung ohne Sauerstoff (Luftabschluß durch Gärverschluß bei der Weinbereitung), so daß der Wasserstoff nicht über die Atmungskette auf Sauerstoff übertragen werden kann. Folglich überträgt $NADH_2$ den Wasserstoff auf eine andere Substanz, bei der alkoholischen Gärung auf das Äthanal, das dadurch zum Äthanol reduziert wird (Abb. 43/1).

Die alkoholische Gärung enthält also einen Oxydationsschritt (Glyzerinaldehyd ⟶ Glyzerinsäure) und einen Reduktionsschritt (Äthanal ⟶ Äthanol) und stellt somit, als Ganzes gesehen, weder einen Oxydations- noch einen Reduktionsvorgang dar.

Alkoholische Gärung (Bruttogleichung)

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\,C_2H_5OH + 2\,CO_2 \quad || \quad \Delta H = -56\ \text{kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Bei der Weinkellerei wird der Zucker der Weinbeeren durch Hefen, die die Beeren besiedeln, vergoren. Bei der Bierbrauerei wird beim Ankeimen die Reservestärke der Gerstenkörner durch die in den Körnern enthaltene Amylase gespalten. Der dadurch in der gekeimten Gerste, dem Malz, entstandene Zucker wird durch zugefügte Hefe vergoren. Stärke kann nicht direkt vergoren werden; sie muß erst enzymatisch in Zucker umgewandelt werden. Bei der Herstellung von Sprit und Spirituosen dienen verschiedene Stärkequellen (Korn, Kartoffeln) als Ausgangsmaterial.

In der Bäckerei vergären sowohl im Hefe- wie auch im Sauerteig Hefepilze einen Teil des Zuckers, dadurch entsteht Kohlendioxid, das in zahlreichen Gasbläschen den Teig auftreibt. Der bei dieser Gärung entstehende Alkohol verdampft in der Hitze. Hefepilze sind als Bäckerhefe im Handel.

Der mit Genußmitteln vom Menschen aufgenommene Alkohol wird im Körper sofort veratmet. Häufiger übermäßiger Alkoholgenuß verursacht dauernde organische und psychische Schäden, die sogar zum Tode führen können.

Milchsäuregärung. Dieser Gärungstyp ist bei verschiedenen Bakterien zu finden. Auch im tierischen Muskel findet eine Milchsäuregärung statt. Das Zuckermolekül wird dabei auf dem Glykolysewege bis zur Brenztraubensäure zerlegt. Es fehlt bei der Milchsäuregärung aber diejenige Dekarboxylase, die Brenztraubensäure in Äthanal und Kohlendioxid spaltet. Statt des Äthanals ist nun die Brenztraubensäure selbst die Substanz, auf die $NADH_2$ den Wasserstoff überträgt. Brenztraubensäure wird dabei zur Milchsäure reduziert.

$$CH_3 - CO - COOH \xrightarrow{2\,\langle H\rangle} CH_3 - CHOH - COOH$$

Damit enthält auch die Milchsäuregärung einen Oxydations- und einen Reduktionsschritt, die einander ausgleichen.

Milchsäuregärung (Bruttogleichung)

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\,CH_3 - CHOH - COOH \quad \| \quad \Delta H = -47\ \text{kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Milchsäure wirkt auf viele Mikroorganismen hemmend; vor allem werden Fäulnisbakterien abgetötet. Man kann daher Milchprodukte, Gemüse und Grünfutter durch Milchsäuregärung konservieren (z. B. Sauermilch, saure Gurken, Sauerkohl, Silofutter). Die Milchsäuregärung verläuft nur in Abwesenheit von Sauerstoff, es ist deshalb auf Luftabschluß zu achten. Anderenfalls entwickeln sich sauerstoffliebende Bakterien, das Substrat geht in Fäulnis über.

* Essigsäuregärung. Bei der alkoholischen Gärung (Weinbereitung) kommt es bei ungenügendem Luftabschluß unter Sauerstoffzufuhr zur Oxydation des Äthanols zu Essigsäure (Äthansäure) durch Essigsäurebakterien. Diesen Vorgang nutzt man wirtschaftlich zur Herstellung von Speiseessig aus Äthanol („Weinessig"). Es handelt sich hier um eine oxydative Gärung, die sich außerdem durch ihr abweichendes Substrat (Äthanol) von den bisher besprochenen Gärungen unterscheidet. *

Essigsäuregärung

$$CH_3 - CH_2OH \xrightarrow[-2\,\langle H\rangle]{} CH_3 - CHO \xrightarrow[-2\,H]{+\,H_2O} CH_3 - COOH$$

$$C_2H_5OH + O_2 \longrightarrow CH_3 - COOH + H_2O \quad \| \quad \Delta H = -180\ \text{kcal} \cdot \text{mol}^{-1}$$

50 51 52 53 11

Gärungen sind Dissimilationsprozesse, bei denen der Abbau des organischen Substrats zu einem noch energiereichen, organischen Endprodukt führt (z. B. Äthanol, Milchsäure, Essigsäure).

Der Energiegewinn bei Gärungen ist deshalb gering. Bis auf die oxydative Essigsäuregärung erfolgen die einzelnen Gärungen unter Sauerstoffabschluß; sie enthalten ebenso viele Oxydations- wie Reduktionsschritte.

Zusammenwirken der Stoffwechselvorgänge

Assimilation und Dissimilation verlaufen nicht unabhängig voneinander, sondern sind miteinander vielfach verknüpft und greifen ineinander über. End- und Zwischenprodukte der Assimilation dienen oft als Ausgangsmaterial für die Dissimilation, und Zwischenprodukte der Dissimilation können für Assimilationsprozesse verwendet werden. Darüber hinaus sind viele der zahlreichen Zwischenprodukte der Photosynthese und der Atmung Ausgangspunkte für alle weiteren Stoffwechselprozesse im Organismus, wie zum Beispiel für die Synthese und den Abbau von Proteinen und Fetten.

Einige wichtige Beispiele sollen den engen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Stoffwechselvorgängen im Organismus zeigen. Grundlegende Zusammenhänge sind im Schema der Abbildung 51/1 zusammengefaßt.

Zusammenhänge zwischen Assimilation und Dissimilation

Bei den Pflanzen sind Zucker die Hauptprodukte der autotrophen Assimilation und Hauptsubstrate der Dissimilation. Zucker werden damit zum wichtigsten Bindeglied zwischen diesen beiden wichtigen Prozesse. Ein Zuckerstrom durchzieht, durch Photosynthese in den Blättern gebildet, von dort her die ganze Pflanze und versorgt alle dissimilierenden Zellen. Als wichtigste Transportform dient dabei das Disaccharid Saccharose (Rohrzucker), als wichtigste Speicherform das Polysaccharid Stärke.

Sofern dabei keine Zellgrenzen überschritten werden müssen, können aber auch Zwischenprodukte aus der Photosynthese entnommen und in dissimilatorische Prozesse übergeführt werden (C_3 im Schema der Abb. 51/1). Unfertige Photosyntheseprodukte können also die Chloroplasten verlassen und in den Mitochondrien zur Energiegewinnung verwendet werden.

Der Zusammenhang zwischen Assimilation und Dissimilation ist aber auch beim heterotrophen Organismus deutlich. Die Zerlegung von Stärke führt als Dissimilationsprozeß im Endeffekt zu Kohlendioxid und Wasser; aber dieser Prozeß kann (etwa auf der Stufe der Glukose) unterbrochen werden und in die Synthese von Glykogen (Leberstärke) einmünden.

Der Übertritt von Zwischenprodukten der Photosynthese in das Atmungsgeschehen wird dadurch erleichtert, daß beide Prozesse eine Anzahl gemeinsamer Zwischenstoffe besitzen. Dazu gehören beispielsweise Phosphoglyzerinaldehyd und Phosphoglyzerinsäure. Darüber hinaus sind eine ganze Reihe anderer Zwischenprodukte aus dem Kreisprozeß der Dunkelreaktion der Photosynthese auf Wegen des Kohlenhydratabbaus wiederzufinden, die hier nicht besprochen wurden.

Selbst die Enzyme, die an der Dunkelreaktion der Photosynthese beteiligt sind, kommen, von Ausnahmen abgesehen, auch in der Dissimilation vor; nur wirken sie in beiden Prozessen in entgegengesetzter Richtung (Glyzerinaldehyd $\longleftrightarrow$ Glyzerinsäure; Reduktion $\longleftrightarrow$ Oxydation). Da aber Photosynthese und Dissimilation in der Zelle räumlich durch die Membran der Chloroplasten getrennt sind, ist nicht ein und dasselbe Molekül eines Enzyms in beiden gegenläufigen Prozessen eingesetzt.

Auch das Kohlendioxid verknüpft die Photosynthese mit der Atmung. Es kann sofort nach seiner Entstehung als Endprodukt der Atmung wieder assimiliert werden. Besonders wichtig ist das für eine Reihe dickfleischiger Pflanzen extrem trockener

Standorte, die aus Gründen des Wassermangels ihre Spaltöffnungen überwiegend geschlossen halten müssen und deshalb unter chronischem Kohlendioxidmangel leiden (↗ S. 23, 72). Die Atmung wird bei diesen Pflanzen nachts unterbrochen, sie bleibt auf der Stufe organischer Säuren stehen. Erst tagsüber, wenn das Sonnenlicht die Photosynthese ermöglicht, wird aus diesen Säuren durch Dekarboxylierung Kohlendioxid freigesetzt und gleich wieder assimiliert. So wird nächtlicher Kohlendioxidverlust vermindert.

Da Assimilationsprozesse energiebedürftig sind, wird bei den heterotrophen Lebewesen aus der Dissimilation stammendes ATP zu einem hochwichtigen Bindeglied zwischen Assimilation und Dissimilation.

In jedem Organismus gibt es ein Gleichgewicht zwischen assimilatorischen und dissimilatorischen Prozessen. Beim Wachstum überwiegt die Assimilation, beim Altern die Dissimilation. Das gilt für den ganzen Organismus, aber auch für einzelne Organe, wie zum Beispiel ein Laubblatt. Dieses beginnt schon längere Zeit vor dem herbstlichen Laubfall zu altern und durch Überwiegen dissimilatorischer Prozesse an Substanz zu verlieren.

Kreislauf des Kohlenstoffs in der Natur

Nicht nur in jedem einzelnen Lebewesen stehen die aufbauenden und abbauenden Prozesse in enger Verbindung miteinander; in der gesamten Natur befinden sich Produktion und Verbrauch im Gleichgewicht. Das läßt sich gut am Beispiel des Kohlenstoffs verfolgen.

Durch Photosynthese werden jährlich etwa 3% des Kohlendioxidgehalts der Erdatmosphäre verbraucht. In wenigen Jahrzehnten wäre der Kohlendioxidvorrat er-

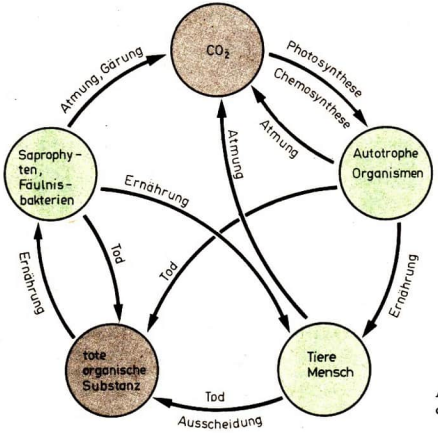


Abb. 46/1 Kreislauf des Kohlenstoffs in der Natur

schöpft, wenn nicht Kohlendioxid wieder in die Atmosphäre zurückflösse. Die Atmung der höheren Tiere und Pflanzen schafft bei weitem nicht das Äquivalent für den photosynthetischen Kohlendioxidverbrauch, sondern zu etwa 90 % ist das riesige Heer der Bodenmikroben am gesamten Kohlendioxidausstoß der Lebewesen der Erde beteiligt. Im Verlaufe der Erdgeschichte hat sich ein solches Gleichgewicht zwischen Assimilation (Photosynthese und Chemosynthese) und Dissimilation (Atmung und Gärung) eingespielt, daß Kohlendioxidproduktion und -verbrauch einander aufwiegen und der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre konstant bleibt. Dieses Gleichgewicht ist allerdings in Gefahr, durch die vom Menschen verursachten Veränderungen erheblich gestört zu werden (↗ S. 177 f.). Der Kohlenstoff ist einem ständigen Kreislauf unterworfen, der in Abbildung 46/1 dargestellt ist. Die drei Gruppen von Lebewesen, die an diesem Kreislauf beteiligt sind, werden im Hinblick auf die organische Substanz auch als Produzenten, Konsumenten und Reduzenten bezeichnet. Produzenten sind die autotrophen Pflanzen und autotrophen Mikroorganismen. Zu den Konsumenten gehören außer den Tieren auch die Parasiten aus dem Pflanzen- und Mikrobenreich. Reduzenten sind vor allem Bakterien, daneben Pilze und schließlich eine Reihe von Bodentieren, die die Reste abgestorbener Organismen verwerten und mineralisieren.

Wenn auch der Kohlenstoff während seines Kreislaufs in den verschiedensten Verbindungen auftritt, so geht doch dabei nichts von seiner Masse verloren. Das ist eine deutliche Demonstration für die Gültigkeit des Gesetzes von der Erhaltung der Masse in der Biosphäre.

54 55 56 57

Kreislauf des Stickstoffs in der Natur

Stickstoff ist ein wichtiger Bestandteil der Eiweiße und Nukleinsäuren; er hat für den Organismus besondere Bedeutung. Die Eiweiße sind aus 20 verschiedenen Aminosäuren aufgebaut, deren jede viele Male in einem Eiweißmolekül enthalten sein kann. Jede Aminosäure enthält wenigstens eine Aminogruppe (— NH_2). Besonderes Interesse findet der Stickstoff auch deshalb, weil er bei intensiver Bodenbebauung zum Mangelfaktor für die Pflanze werden kann, obgleich die Erdatmosphäre 80 % Stickstoff enthält. Tier und höhere Pflanze sind auf dem Festland praktisch von einem Meer aus Stickstoff umgeben; aber sie können diesen Stickstoff nicht verwerten.

Der Kreislauf des Stickstoffes ist in Abbildung 48/1 dargestellt. Pflanzen sowie viele Mikroorganismen nehmen den Stickstoff in anorganischer Form aus dem Boden auf, wo er in gelöster Form im Bodenwasser vorliegt. Die bevorzugt aufgenommene Form sind die Nitrat-Ionen (NO_3^-). Das Nitrat kann aber nicht unmittelbar verwertet werden; nach seiner Aufnahme in die Zelle wird es zunächst zu Ammoniak (NH_3) reduziert. Das dabei verwendete Reduktionsmittel ist (gebundener) Wasserstoff. In den Zellen der Pflanzen und Mikroorganismen wird Ammoniak dann an eine organische Säure gebunden (↗ S. 52). Dabei entsteht eine Aminosäure, die den Stickstoff als Aminogruppe (— NH_2) enthält. Man nennt diesen Vorgang der Überführung anorganischen Stickstoffs in organischen Stickstoff Aminierung.

Liegt der Stickstoff erst einmal in organischer Form vor, so kann er leicht von einer organischen Substanz an eine andere weitergegeben werden. So entstehen alle anderen Aminosäuren sowie eine Vielzahl anderer stickstoffhaltiger organischer Substanzen durch Aminogruppenübertragung.

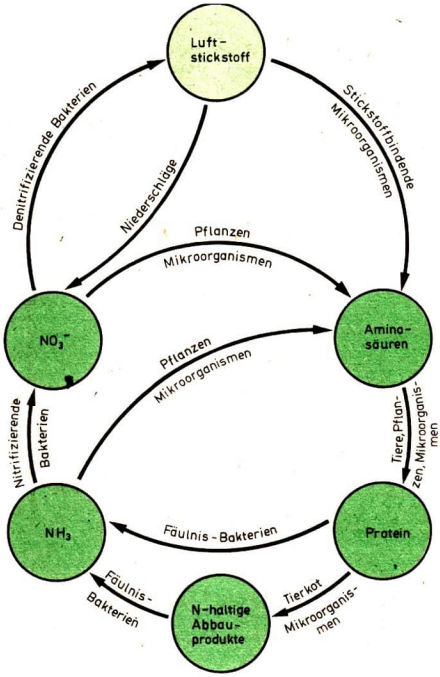


Abb. 48/1 Kreisläufe des Stickstoffs in der Natur: kleiner Kreislauf (ohne Luftstickstoff), großer Kreislauf (Luftstickstoff einbezogen)

Tiere sind nicht zur Herstellung aller Aminosäuren mit Hilfe anorganischer Stickstoffverbindungen in der Lage; sie sind darauf angewiesen, Aminosäuren mit der Nahrung aufzunehmen.

Alle Lebewesen können aus den relativ kleinen Aminosäuremolekülen die Riesenmoleküle (Makromoleküle) der Proteine aufbauen. Durch schrittweise Verknüpfung der Aminosäuren über die Peptidbindung entstehen zunächst Dipeptide (aus 2 Aminosäuren), dann Tripeptide (aus 3 Aminosäuren), später Polypeptide (aus bis zu 100 Aminosäuren) und schließlich Proteine (Eiweiße; Abb. 49/1 und 49/2).

Ein Eiweißmolekül enthält wenigstens 100, meist aber Tausende von Aminosäurebausteinen. Bei der Biosynthese der Proteine kommt es darauf an, die Moleküle der 20 verschiedenen zur Verfügung stehenden Aminosäuren nicht in wahlloser, zufälliger Reihenfolge aneinanderzuknüpfen, sondern in einer ganz bestimmten Folge (Sequenz), die für jedes der zahllosen voneinander verschiedenen Eiweiße einer Zelle

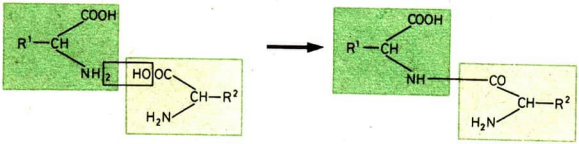


Abb. 49/1 Verknüpfung von 2 Aminosäuremolekülen durch eine Peptidbindung zu einem Molekül Dipeptid

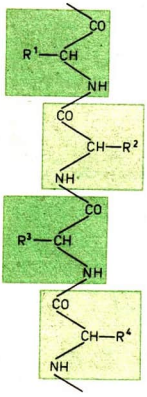


Abb. 49/2 Ausschnitt aus einem Eiweißmolekül (4 Aminosäurereste)

ganz genau feststeht. Jedes der vielen Enzyme einer Zelle enthält einen anderen Proteinanteil, der durch seine spezifische Aminosäurefolge gekennzeichnet ist. Ein einziges „falsch" eingebautes Aminosäuremolekül kann das ganze Enzym außer Funktion setzen. Die Information für die Aminosäurefolge jedes einzelnen Proteinmoleküls der Zelle ist im Zellkern erblich festgelegt, sie ist dort in der DNS gespeichert.

In jeder lebenden Zelle werden die Eiweiße wieder abgebaut. Der gesamte Eiweißbestand (mit Ausnahme von Reserveeiweißen bei Pflanzen) unterliegt einer ständigen Erneuerung; besonders die Enzymproteine werden recht schnell wieder verbraucht. Bei diesem Eiweißabbau, der mit der hydrolytischen Spaltung in Aminosäuren beginnt, wird der Stickstoff zunächst in Form von Aminogruppen frei. Die Pflanze scheidet diesen frei werdenden Stickstoff nicht aus, sondern verbraucht ihn bei der erneuten Synthese von Aminosäuren und Proteinen; zu einer Rückführung des organischen Stickstoffs aus der Pflanze in den Erdboden kommt es im wesentlichen nur über abgestorbene Pflanzen oder Pflanzenteile (Fallaub) oder auf dem Umweg über pflanzenfressende Tiere. Beim Tier hingegen, das als heterotrophes Lebewesen ständig große Eiweißmengen zu sich nimmt, hat der Proteinabbau das Übergewicht über die Proteinsynthese; daher findet eine intensive Ausscheidung stickstoffhaltiger Abbauprodukte statt. Diese Ausscheidung erfolgt vor allem im Harn, und zwar in Form von Harnstoff und Harnsäure. Die Mikroorganismen, vor allem die heterotrophen, scheiden verschiedene stickstoffhaltige Abbauprodukte aus.

* Beim Menschen wird fast der gesamte aus dem Eiweißabbau stammende Stickstoff in der Leber in Harnstoff umgewandelt und in dieser Form durch die Nieren in den Harn ausgeschieden; nur geringe Mengen gelangen als Ammoniak in den Harn. Die im Harn des Menschen enthaltene Harnsäuremenge stammt aus dem Abbau der Nukleinsäuren und ist dementsprechend gering. Andere Tiere (z. B. Vögel) scheiden den gesamten, auch den aus dem Eiweißabbau stammenden, Stickstoff als Harnsäure aus. Wieder andere (die meisten Säuger) scheiden gar keine Harnsäure aus, sondern oxydieren und dekarboxylieren diese vorher zu Allantoin. *

Schließlich gelangt der gesamte organische Stickstoff, ob durch Ausscheidung oder durch den Tod des Organismus, wieder in den Boden zurück. Jetzt setzt die Tätig-

keit der Saprophyten, vor allem der Fäulnisbakterien, ein. Sie veratmen oder vergären die in den Boden kommenden stickstoffhaltigen Verbindungen, besonders die Proteine, und setzen dabei den Stickstoff in anorganischer Form, als Ammoniak, frei.

Das Ammoniak ist das Substrat der nitrifizierenden Bakterien (↗ S. 27, Chemosynthese). Diese setzen die im Ammoniak enthaltene Energie durch Oxydation frei, betreiben damit ihre Chemosynthese und scheiden das Oxydationsprodukt als Nitrat-Ion wieder aus. Damit ist der Kreislauf des Stickstoffs geschlossen (Abb. 48/1).

Die Pflanzen können auch Ammoniak aufnehmen, und zwar als Ammonium-Ion, sie können ihren Stickstoffbedarf sogar durch Harnstoffaufnahme decken, aber ihre wichtigste und vorzugsweise genutzte Stickstoffquelle ist das Nitrat-Ion.

Den beschriebenen Kreislauf kann man auch als den „kleinen" Stickstoffkreislauf bezeichnen. Dieser schließt den Luftstickstoff nicht ein. Daneben läuft in geringem Umfang ein „großer" Stickstoffkreislauf ab, der auch über den Luftstickstoff führt (Abb. 48/1). Der Luftstickstoff kann auf zwei Wegen in den Kreislauf eingeführt werden. Erstens entstehen in der Atmosphäre durch elektrische Entladungen (Gewitter) Stickoxide, die im Regenwasser gelöst die Erde erreichen und schließlich als Nitrat im Boden auftauchen. Zweitens gibt es unter den Bakterien und den Blaualgen stickstoffbindende Arten, welche die den meisten Lebewesen fehlende Fähigkeit besitzen, den Luftstickstoff in ihre organische Substanz einzubauen.

Bekannte Vertreter der stickstoffbindenden Arten sind die symbiontischen Knöllchenbakterien in den Wurzelknöllchen der Leguminosen. Die meisten Stickstoffbinder leben aber frei im Boden. Die großen für die Stickstoffbindung notwendigen Energiemengen gewinnen sie, soweit sie heterotroph sind (Bakterien), durch intensive Atmung oder Gärung. Soweit sie dagegen autotroph sind (Blaualgen), ist die Stickstoffbindung eine besondere photosynthetische Leistung, deren Energiebedarf durch das Licht gedeckt wird. Die wirtschaftliche Bedeutung der Stickstoffbinder ist beachtlich. Freilebende Stickstoffbinder können dem Boden jährlich 20 bis 40 kg Stickstoff je Hektar zuführen; die Leistung der symbiontischen Stickstoffbinder ist noch größer.

Die Rückführung von Stickstoff in die Luft geschieht durch denitrifizierende Bakterien. Das sind verschiedene Organismen, die auch bei Sauerstoffmangel weiter atmen oder auch Chemosynthese betreiben können: Dann benutzen sie statt Luftsauerstoff den Sauerstoff aus Nitraten. Nitrat wird dabei zu Stickstoff reduziert, der in die Luft entweicht. Denitrifizierende Bakterien kommen in Sümpfen und in feuchten Böden vor; denn diese sind schlecht durchlüftet und deshalb sauerstoffarm. Bei Staunässe werden denitrifizierende Bakterien eine Gefahr für den Ackerboden, weil sie ihm den für die Pflanze wichtigen Stickstoff entziehen.

58 59 60 61

Übersicht über die Zusammenhänge im Grundstoffwechsel

In der lebenden Zelle kommen außerordentlich viele verschiedene organische Substanzen vor, die alle im Stoffwechsel produziert werden müssen. Eine Reihe der wichtigsten Stoffwechselprozesse, die allen Organismen eigen sind, werden zum Grundstoffwechsel zusammengefaßt. Zum Grundstoffwechsel gehören: Wasser- und Mineralstoffhaushalt, Stoffwechsel der Kohlenhydrate, der Fette und Eiweiße. Kohlenhydrat-, Fett- und Eiweißstoffwechsel sind eng miteinander verknüpft (Abb. 51/1).

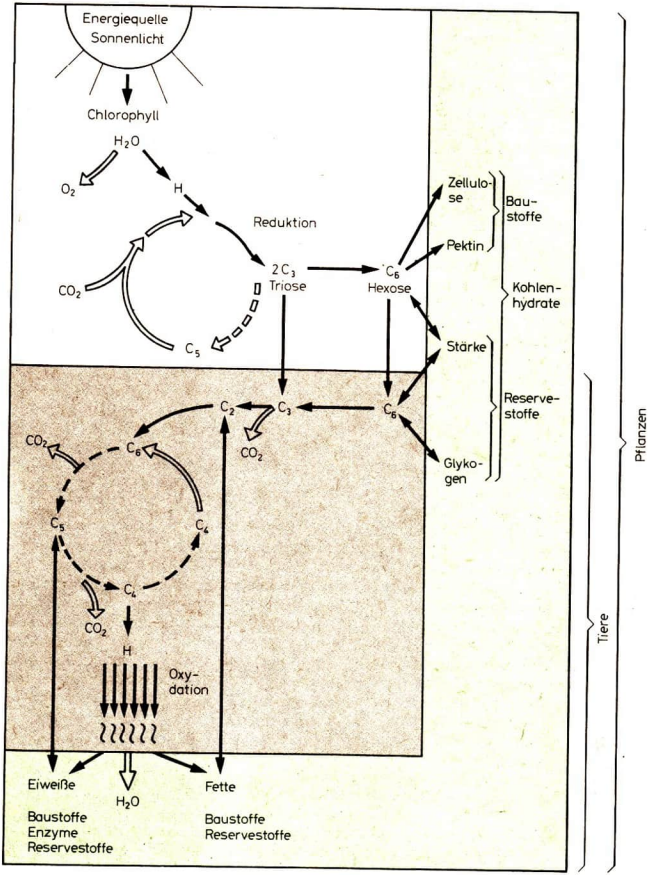


Abb. 51/1 Zusammenhänge im Grundstoffwechsel. Die schwarzen Pfeile zeigen den Weg der Energie. Weiß Photosynthese, grau Atmung, grün Eiweiß-, Fett- und Polysaccharidstoffwechsel

Zusammenhänge zwischen Kohlenhydrat- und Eiweißstoffwechsel. Voraussetzung für die Biosynthese von Eiweißen ist die Reduktion des Nitrat-Ions zur Ammoniakstufe mit Hilfe von Wasserstoff. Dieser wird der Atmungskette entnommen. Ein Teil des aus dem Atmungssubstrat kommenden Wasserstoffs wird dann von Oxydoreduktasen nicht (wie bei der Atmung) zum Sauerstoff transportiert, sondern zum Nitrat-Ion. So liefert der Abbau des Kohlenhydrats, ein Dissimilationsprozeß, die Voraussetzung für die Synthese der Proteine, einen Assimilationsprozeß.

Eine weitere Voraussetzung für die Biosynthese von Eiweißen ist das Vorhandensein organischer Säuren, an die das Ammoniak gebunden wird, wobei Aminosäuren entstehen. Solche organischen Säuren werden dem Atmungsstoffwechsel entnommen.

Die Hauptrolle spielt dabei ein Zwischenstoff aus dem Säurezyklus, die α-Ketoglutarsäure (2-Oxopentandisäure; C_5 in Abb. 51/1). Durch Reaktion mit Ammoniak wird sie in die wichtige Glutaminsäure (2-Aminopentandisäure) umgewandelt (Abb. 52/1).

Glutaminsäure ist das erste Produkt der Aminierung (Überführung anorganischen Stickstoffs in organischen) und, durch Übertragung ihrer NH_2-Gruppe auf andere organische Säuren (Oxosäuren), das Ausgangsmaterial für die Synthese der übrigen Aminosäuren.

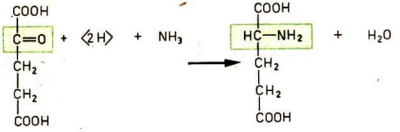


Abb. 52/1
Bildung von Glutaminsäure aus α-Ketoglutarsäure durch Aminierung

Die Aminierung ist ein Reduktionsprozeß (Abb. 52/1). Auch dabei stammt der Wasserstoff aus der Atmungskette (Pfeil im Schema der Abb. 51/1). Damit besteht eine weitere Verbindung zwischen dem Kohlenhydrat- und dem Proteinstoffwechsel.

Der Vorgang der Aminierung der α-Ketoglutarsäure macht zwei wichtige Zusammenhänge deutlich. Erstens weist er auf die Zentralstellung des Atmungsstoffwechsels im gesamten Stoffwechselgeschehen hin; nicht nur die α-Ketoglutarsäure, sondern auch viele andere Atmungszwischenstoffe (z. B. der Azetylrest oder die Brenztraubensäure) werden aus dem Atmungsprozeß abgezweigt und dienen als Material für ganz andere, zum Teil sehr wichtige Stoffwechselprozesse. Zweitens ist die Aminierung der α-Ketoglutarsäure ein weiteres Beispiel für das Ineinandergreifen von Dissimilation und Assimilation; aus einem Dissimilationsprozeß (Säurezyklus) wird ein Zwischenstoff entnommen, der dann als Ausgangspunkt für einen Assimilationsprozeß (Proteinsynthese) dient.

In grünen Pflanzenzellen nimmt außer dem Atmungsstoffwechsel auch der Photosynthesestoffwechsel eine solche Zentralstellung ein. Sowohl der Wasserstoff (z. B. für die Reduktion von Nitrat) als auch organische Zwischenstoffe (z. B. für die Synthese von Aminosäuren) können aus der Photosynthese abgezweigt werden.

Zusammenhänge zwischen Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel. Fette und Kohlenhydrate können einander bei der Ernährung zumindest teilweise ersetzen. Kohlenhydratreiche Nahrung fördert die Fettbildung, umgekehrt liefern Fette ein äußerst energiereiches Atmungsmaterial. Etwa 80 % aller Pflanzen enthalten in ihren Samen

Fette als Reservestoffe, diese stellen das energiereichste Speichermaterial dar. Das ist leicht zu verstehen, wenn man bedenkt, daß in einer Fettsäure (Monokarbonsäure) nur die Karboxylgruppe Sauerstoff enthält, während ein Kohlenhydrat je C-Atom etwa ein Sauerstoffatom besitzt. Deshalb enthält die vollständige Oxydation von Fettsäuren weit mehr Oxydationsschritte als die Oxydation von Kohlenhydraten. 1 g Fett liefert etwa 9,2 kcal, 1 g Kohlenhydrat etwa 4,0 kcal, 1 g Eiweiß etwa 5,7 kcal.

Fette sind Ester aus 1 Molekül Propantriol (Glyzerin) und 3 Molekülen Monokarbonsäure (Fettsäure). Das zur Biosynthese von Fetten benötigte Propantriol stammt aus der Glykolyse. Dabei wird ein Triosemolekül zum Glyzerinmolekül (Propantriolmolekül) reduziert. Umgekehrt wird beim Abbau von Fetten, der mit der hydrolytischen Spaltung (Verseifung) des Esters beginnt, das Propantriol zu Triose oxydiert und dann in die Glykolyse eingeführt.

Im Stoffwechsel der Fettsäuren spielt der Azetylrest, der als Bindeglied zwischen Glykolyse und Säurezyklus bekannt ist, die zentrale Rolle (C_2 in der Abb. 51/1). Aus solchen Azetylresten werden die langen Kohlenwasserstoffketten der Fettsäuremoleküle aufgebaut (Pfeil in Abb. 51/1). Dabei muß der Sauerstoff der Azetylreste durch Reduktionen entfernt werden: der dazu nötige Wasserstoff stammt wieder aus der Atmungskette (Pfeil in Abb. 51/1). Umgekehrt werden bei Abbau der Fettsäuremoleküle die Kohlenstoffketten durch schrittweise Oxydation (Wasserstoffabspaltung!) in Azetylreste gespalten; der dabei frei werdende Wasserstoff wird in die Atmungskette eingeführt. Die Azetylreste können dann im Säurezyklus veratmet oder aber bei einer Reihe von Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren (auf Umwegen) zur Herstellung von Kohlenhydraten verwendet werden (Abb. 53/1). Dieses Beispiel verdeutlicht noch einmal die zentrale Bedeutung des Atmungsstoffwechsels sowie das Ineinandergreifen von Dissimilation und Assimilation bei Tier und Pflanze.

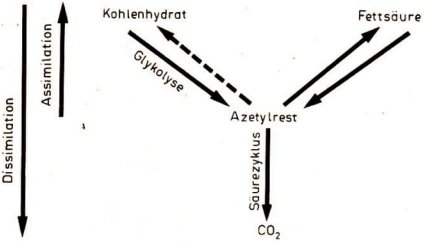


Abb. 53/1
Zusammenhänge zwischen Kohlenhydrat- und Fettsäurestoffwechsel

Der Nebenstoffwechsel

* Zwischenprodukte des Grundstoffwechsels liefern auch das Material für alle übrigen Stoffwechselprozesse, die als Nebenstoffwechsel zusammengefaßt werden. Manche Produkte des Nebenstoffwechsels kommen in riesigen Mengen vor, beispielsweise das Lignin, der Holzstoff der Pflanzen. Pflanzen haben einen besonders üppigen Nebenstoffwechsel. Viele Produkte des pflanzlichen Nebenstoffwechsels sind für den

Menschen von wirtschaftlicher Bedeutung. Pflanzen mit ätherischen Ölen werden als Duft- und Aromaspender, als Gewürze und Heilmittel benutzt (z. B. Lavendel, Rose, Wermut, Wacholder, Lorbeer, Zimt, Muskat, Kümmel, Dill, Fenchel, Petersilie, Kamille, Pfefferminze, Tee); Alkaloide werden vielfach in der Medizin angewandt (z. B. Koffein, Atropin, Morphin, Kodein, Kurare), sie sind aber auch Bestandteile gefährlicher Genußmittel und Rauschgifte (z. B. Nikotin, Opium, Haschisch); andere Produkte des pflanzlichen Nebenstoffwechsels finden industrielle Verwendung (z. B. Harze, Kautschuk, Gerbstoffe). *

62 63 64 65 66 67

Der Stoffwechsel einer Zelle (bzw. eines Lebewesens) ist ein räumlich und zeitlich geordnetes Ganzes, dessen verschiedene Teilprozesse mannigfach verknüpft sind.

Assimilation und Dissimilation sind durch Austausch von Endprodukten, Zwischenstoffen, gebundenem Wasserstoff, ATP und Gasen verbunden.

Die Photosynthese und besonders der Atmungsstoffwechsel nehmen als Erzeuger der genannten Stoffe eine zentrale Stellung im gesamten Stoffwechselgeschehen ein.

Kohlenstoff und Stickstoff unterliegen in der Natur zyklischen Umwandlungen, die von anorganischen Stoffen (Kohlendioxid, Nitrat) über organische Stoffe zurück zu anorganischen Stoffen führen.

Kohlenhydrat-, Eiweiß- und Fettstoffwechsel sind in vielfacher Weise miteinander verbunden.

Reiz- und Bewegungsphysiologie

Da die Umwelt der Lebewesen einem ständigen Wechsel unterliegt, kann jeder Organismus nur existieren, wenn er sich diesen Bedingungen anzupassen und mit ihnen aktiv auseinanderzusetzen vermag. Diese Eigenschaft, auf Einflüsse der Umwelt mit einer Reaktion zu antworten, wird in der Regel als Reizbarkeit bezeichnet; sie ist eine allgemeine Eigenschaft des Protoplasmas.

Die Reizbarkeit

Alle Reize entsprechen Veränderungen des Energiegleichgewichts in der Umwelt der beeinflußten Zelle. Sie können auf sehr unterschiedliche Weise ausgelöst werden, so beispielsweise durch mechanische, thermische, optische, chemische oder auch osmotische Einwirkungen. Die dabei der Zelle zugeführte oder auch der Zelle entzogene Energiemenge ist in der Regel äußerst gering und reicht für die Erregung der Zelle nicht aus. Die Reizenergie aktiviert aber den Stoffwechsel der Zelle so, daß er die für die Erregung nötige Energie liefert.

Die Reizbarkeit umfaßt im wesentlichen folgende Vorgänge: den Reiz, die Reizaufnahme in der Sinneszelle und die dort ausgelöste Erregung, das heißt die Transformation des Reizes in eine für den Organismus spezifische Information über den „Reiz", die Weiterleitung der Erregung und die sich anschließende Reaktion.

Die Sinneszellen sind, wie alle erregbaren Elemente, für die verschiedensten Reize ansprechbar. Zumindest bei den höheren Tieren haben sie sich aber auf eine bestimmte Reizart spezialisiert, die als ihr adäquater Reiz bezeichnet wird. Bei adäquaten Reizen ist die Energiemenge, die zur Erregung der Sinneszellen führt, außerordentlich gering. Reize anderer Qualität müssen wesentlich energiereicher sein, um eine Erregung der Sinneszellen auszulösen.

Die erforderliche Energiemenge ist bei ihnen meist beträchtlich höher, als sie unter normalen physiologischen Bedingungen, das heißt im normalen Lebensraum des Tieres, vorkommt. Damit besteht die Gewähr dafür, daß eine Sinneszelle und auch das Sinnesorgan praktisch nur auf eine bestimmte Reizart anspricht.

Es gilt stets, daß bestimmte Sinnesorgane immer mit der gleichen Reizempfindung auf äußere Einwirkungen reagieren. So lösen zum Beispiel am Auge schon sehr geringe Lichtenergiemengen (adäquater Reiz) eine Helligkeitsempfindung aus; während Durckenergiemengen (nicht adäquater Reiz) wesentlich höher sein müssen, um eine Erregung auszulösen, die sich dann aber auch als Helligkeitsempfindung äußert.

Wie weit die Spezialisierung der Sinneszellen gegangen ist, zeigt sich deutlich, wenn man die Energiemenge des adäquaten Reizes bestimmt, die gerade noch eine Erregung

der Zelle herbeiführt. Dieser Grenzwert wird als Schwellenwert bezeichnet. Reize, deren Energie niedriger ist, lösen keine Erregung aus, sie erreichen die Reizschwelle nicht, sie sind unterschwellig. Reize mit höherer Energie bezeichnet man als überschwellig. Man spricht vom Alles-oder-Nichts-Gesetz, da die Erregung entweder in voller Höhe oder gar nicht ausgelöst wird.

Niedrigste Schwellenwerte bei adäquaten Reizen für verschiedene Sinnesorgane beim Menschen		
Berührung	0,1	erg
Schmerz	$4{,}8 \cdot 10^{-9}$	$\frac{\text{erg}}{\text{s cm}^2}$ (bei Reizung mit Wärme)
Auge	$2 \cdot 10^{-10}$	erg
Ohr	$5 \cdot 10^{-11}$	erg
Geruch	$4{,}4 \cdot 10^{-14}$	g/cm³ Luft (für Merkaptan)
Geschmack	$1 \cdot 10^{-6}$	g/cm³ Wasser (für Saccharin)

Für die Energiemenge des Schwellenwertes ist das Produkt aus Reizintensität und Reizdauer entscheidend (Abb. 56/1). Ein kurzer, aber starker Reiz kann die Sinneszellen ebenso erregen wie ein lange andauernder schwacher Reiz. Andererseits können auch zwei aufeinanderfolgende unterschwellige Reize summiert werden und damit das Überschreiten der Reizschwelle bewirken. Eine derartige Reizsummation fehlt allerdings, wenn die Reize in sehr kurzem zeitlichem Abstand aufeinanderfolgen, da die Sinneszellen unmittelbar nach der Aufnahme eines Reizes kurzzeitig unerregbar sind.

Von besonderer Bedeutung ist das Verhalten der Sinneselemente bei Dauerreizen. In der Regel ist die Wirkung des Reizes zu Beginn besonders stark, läßt dann aber mit zunehmender Reizdauer nach. Diese Erscheinung wird als Adaption bezeichnet. Sie ist bei den verschiedenen Sinnesapparaten unterschiedlich ausgeprägt. Prinzipiell sind

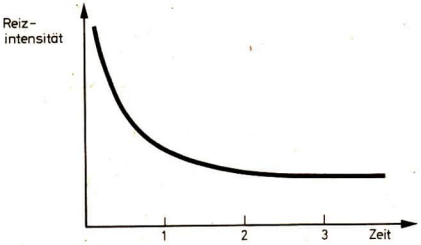


Abb. 56/1
Reizzeitspannungskurve

alle Zellen erregbar. Einige Zell- und Gewebetypen der Tiere stellen besonders „erregbare Strukturen" dar: das Nervensystem einschließlich der Sinneszellen sowie die Muskel- und Drüsenzellen. Alle diese Elemente wurden im Verlaufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung so spezialisiert, daß sie bereits auf sehr energiearme Reize reagieren.

Die Erregung

Als Erregung wird die typische Antwort eines erregbaren Systems auf einen äußeren oder inneren Reiz bezeichnet. Sie ist die Widerspiegelung des „Reizes" im Organismus. Die Fähigkeit zur Widerspiegelung nimmt mit aufsteigender Entwicklung der Tiere zu und erreicht beim Menschen mit der Bewußtheit die höchste Stufe (vgl.: „Einführung in den dialektischen und historischen Materialismus", S. 150 ff.). Die bei der Erregung frei werdende Energie wird aus Stoffwechselprozessen der erregten Zelle gewonnen. An der Zellmembran lassen sich charakteristische unterschiedliche Ionenverteilungen feststellen, die zu meßbaren elektrischen Spannungen zwischen Zellinnerem und Zelläußerem führen.

* Die roten Blutkörperchen des menschlichen Blutes enthalten die Ionen in einer anderen Konzentration, als sie im Blutplasma vorliegt. Sie besitzen beispielsweise eine geringere Konzentration an Natrium-Ionen, aber eine höhere Konzentration an Kalium-Ionen als das Blutplasma. Ein ähnliches Verhältnis zwischen Kalium- und Natrium-Ionen im Vergleich zur extrazellulären Flüssigkeit ist auch bei den meisten anderen Zellen, zum Beispiel bei den Nervenzellen, festzustellen. *

Das Ruhepotential

Das mit der ungleichen Verteilung der Ionen im Zusammenhang stehende elektrisch meßbare Potential wird bei der nichterregten Zelle als Ruhepotential oder Membranpotential bezeichnet. Es bleibt durch die sogenannte Polarisation der Membran etwa konstant.

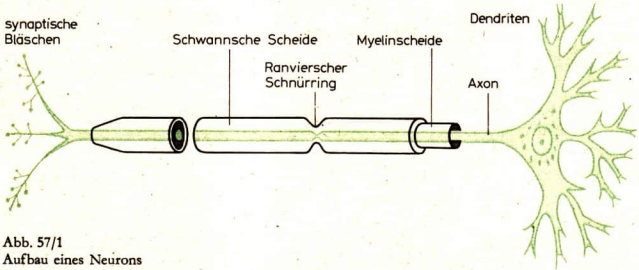


Abb. 57/1
Aufbau eines Neurons

* Als Beispiel für die Polarisation einer Membran und das sich hieraus ergebende Potential seien die Verhältnisse an der Nervenfaser (Abb. 57/1) geschildert. Im Inneren der Faser, im Axoplasma, befindet sich etwa $\frac{1}{10}$ der Natrium-, das 20fache der Kalium- und $\frac{1}{14}$ der Chlorid-Ionen im Vergleich zum Außenmilieu (Abb. 58/1). An der derartig polarisierten Membran läßt sich ein Ruhepotential von 70 bis 80 mV messen. Wie Untersuchungen mit radioaktivem Natrium und Kalium gezeigt haben, treten ständig recht erhebliche Mengen beider Ionensorten durch die Membran hindurch. Da kein Ausgleich des vorhandenen Gefälles eintritt, muß ein aktiver „Pumpmechanismus" existieren, der die im Übermaß einwandernden Natrium-Ionen wieder hinausbefördert. Eine derartige „Natriumpumpe" kommt vermutlich – in Form von chemischen Substanzen – bei der Mehrzahl der biologischen Membranen vor, die eine Abgrenzung von Zellen darstellen. Ob darüber hinaus auch andere Ionen, beispielsweise Kalium-Ionen, in der Ruhephase der Zelle aktiv durch die Membran transportiert werden, ist noch nicht geklärt. *

Die Polarisation biologischer Membranen stellt eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Erregbarkeit der Zellen dar. Das sich im Ruhepotential äußernde Ionengefälle kann nur durch ständig wirksame aktive Transportvorgänge aufrechterhalten werden, deshalb benötigt die Zelle hierfür eine beträchtliche Energiemenge. Da diese Energie aus dem Zellstoffwechsel stammt, muß mit einer unmittelbaren Abhängigkeit des Ruhepotentials vom Stoffwechsel gerechnet werden. Das wird durch zahlreiche Beobachtungen bestätigt. So sinkt das Ruhepotential einer Nervenfaser bis auf Null ab, wenn der Nerv in eine Stickstoffatmosphäre gebracht wird. Hier fehlt der Sauerstoff für die wichtigsten energieliefernden, in den Mitochondrien vor sich gehenden Stoffwechselprozesse. Bringt man einen derartig behandelten Nerv wieder in sauerstoffhaltige Umgebung, so kommt es wieder zur Repolarisation der Membran, und das Ruhepotential stellt sich wieder ein. Alle Ruhepotentiale sind dadurch gekennzeichnet, daß das Zellinnere eine negative, das Zelläußere eine positive Ladung zeigt (Abb. 58/1).

Abb. 58/1
Vergleich der Ionenverteilung zwischen dem Innern einer Nervenfaser und dem Außenmilieu. Angabe in mol/l

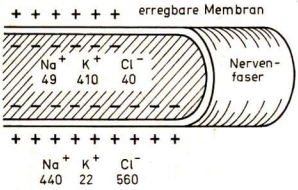
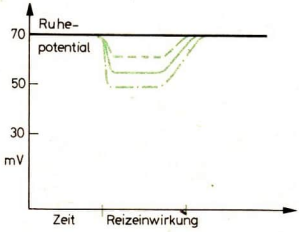


Abb. 58/2
Schematische Darstellung des Reizfolgepotentials eines Spannungsrezeptors bei gleichlangen, aber unterschiedlich starken Reizen



Grundformen elektrischer Erscheinungen bei der Erregung

Im Zusammenhang mit der Erregung von Sinnes-, Nerven- oder Muskelzellen lassen sich zwei Grundtypen elektrischer Erscheinungen beobachten: Die abgestuften örtlichen Erregungen und die explosiven fortgeleiteten Erregungen.

Die abgestuften örtlichen Erregungen sind beispielsweise für die meisten Sinneselemente charakteristisch. Sie bleiben auf den Ort ihrer Entstehung beschränkt. Je nach der Intensität des Reizes kommt es zu einer mehr oder weniger starken Änderung des Ruhe- (Membran-) Potentials. Dabei verringert sich in den meisten Fällen die positive Ladung an der Außenseite der Membran (Depolarisation); die positive Ladung kann sich aber auch erhöhen (Hyperpolarisation).

Die je nach Reizstärke mehr oder weniger stark veränderte Spannung wird als Reizfolgepotential bezeichnet (Abb. 58/2).

Ein ganz anderes Bild zeigt sich bei der explosiven fortgeleiteten Erregung, die in typischer Form bei der Nervenfaser zu beobachten ist. Eine derartige Erregung tritt ein, sobald die Reizeinwirkung einen kritischen Wert (Schwellenwert) übersteigt. Eine weitere Reizzunahme führt dann nicht zu einer weiteren Erhöhung der Erregung.

Die explosive Erregung induziert in der benachbarten Membranregion einen völlig gleichartigen Prozeß und pflanzt sich dadurch entlang der Membran fort. Im Unterschied zur abgestuften örtlichen Erregung wird die explosive Erregung auch als „Impuls" bezeichnet, der sich im Aktionspotential zeigt.

1 2 3 4 5 6

Das Aktionspotential

* Jeder Nervenimpuls ist die Summe physikalischer und chemischer Vorgänge, die mit der Weiterleitung eines Signals entlang der Nervenfaser verbunden sind. Dabei entspricht die Faser hinsichtlich ihres Aufbaus annähernd einem Kabel, dessen Kern einen geringen, dessen Hülle aber einen hohen Widerstand besitzt und das sich in einem Medium von niedrigem Widerstand befindet. Der Nervenimpuls und seine Leitung in der Faser entsprechen aber keineswegs dem Stromfluß in einem elektrischen Leiter.

Das zeigt sich schon an der Geschwindigkeit der Leitung, die viel geringer ist als die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes (300000 km/s). Außerdem pflanzt sich der Nervenimpuls selbständig fort und zeigt keine Verringerung mit zunehmendem Abstand von seinem Ursprungsort. Weiterhin spricht die erregte Membran kurze Zeit nicht auf einen neuen Reiz an. Der Nervenimpuls entspricht einer Alles-oder-Nichts-Reaktion, was ihn gleichfalls von den Verhältnissen in einem passiven elektrischen Leiter unterscheidet. *

Das Aktionspotential ist eine elektrische Potentialveränderung, die bei der Leitung von Erregungen auftritt. Wie Messungen mit radioaktiven Substanzen ergeben haben, ist die Bildung des Aktionspotentials mit einem schnellen Transport bestimmter Ionen durch die Membran hindurch verbunden. Offensichtlich wird die Membran, wenn ein überschwelliger Reiz auf sie einwirkt, schlagartig für diese Ionen durchlässig, während sie anderen Ionen gegenüber kaum Veränderungen in der Durchlässigkeit zeigt. Bei der Entstehung des Aktionspotentials ist nach einer kurzen Latenzphase

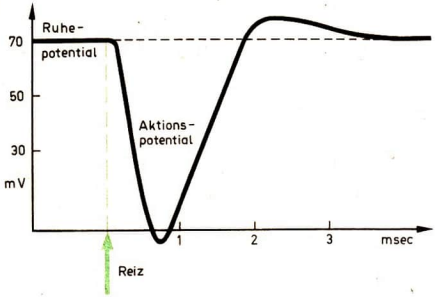


Abb. 60/1 Verlauf eines Aktionspotentials

ein sehr schneller Einstrom von Natrium-Ionen von außen durch die Membran hindurch ins Innere zu beobachten. Da ja das Ruhepotential sehr entscheidend durch die ungleiche Verteilung der Natrium-Ionen – außen etwa zehnmal mehr als innen – bestimmt wird, geht mit dem Natriumeinstrom eine Depolarisierung der Membran einher; es kommt annähernd zu Ladungsgleichheit zwischen Zellinnerem und Membranaußenseite. Die plötzliche Ionenwanderung ist ein energieliefernder Prozeß, der sich im Aktionspotential äußert.

Wie schnell alle diese Prozesse ablaufen müssen, geht daraus hervor, daß die Bildung des Aktionspotentials bei der Nervenfaser weniger als 1 ms benötigt. Die Repolarisierung der Membran bis zur Herstellung des Ruhepotentials erfordert ungefähr 3 ms (Abb. 60/1). Der Natriumeinstrom erfolgt mit einer so hohen Geschwindigkeit, daß er nicht nur mit einer erhöhten Durchlässigkeit der Membran und dem sich hierbei ergebenden Ausgleich des Konzentrationsgefälles erklärt werden kann. Vielmehr existiert ein besonderes Natriumtransportsystem, welches offenbar bei der Reizung der Membran aktiviert wird. Dieses Trägersystem arbeitet aber nur sehr kurze Zeit, nicht einmal 1 ms, dann wird es wieder inaktiviert. Nunmehr beginnt die im Zusammenhang mit dem Ruhepotential bereits genannte „Natriumpumpe", die ins Innere eingedrungenen Natrium-Ionen wieder durch die Membran hindurch hinauszuschaffen. Ungefähr zu dem Zeitpunkt, in dem die Inaktivierung des Natriumtransportsystems wirksam wird, läßt sich ein Ausstrom von Kalium-Ionen aus dem Inneren der Faser nach außen feststellen. Er erfolgt wesentlich langsamer als der vorausgehende Natriumeinstrom und überdauert die Transportprozesse der Natrium-Ionen erheblich. Schließlich setzt auch hier wieder ein Rücktransport der Kalium-Ionen ins Innere ein, so daß das ursprüngliche Ruhepotential wieder erreicht wird. Da die Verschiebung der Kalium-Ionen beträchtlich geringer ist als die der Natrium-Ionen, wird das Aktionspotential in erster Linie durch den Transport der Natrium-Ionen bestimmt. Bekanntlich ist beim Ruhepotential das Zelläußere gegenüber dem Inneren positiv.

Wird nun die Membran in Zusammenhang mit dem Entstehen des Aktionspotentials stark depolarisiert, so gleichen sich die Ladungsverhältnisse zwischen außen und innen annähernd aus. Gleichzeitig wird aber der erregte Membranbereich an seiner Außenseite negativ gegenüber den Nachbarbezirken. Man kann also durch das Anlegen von Elektroden auf die Membran einer Nervenfaser die Bildung des Aktionspotentials sowie die Repolarisierung der Membran ohne Schwierigkeiten verfolgen.

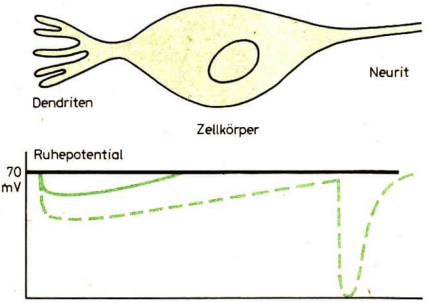


Abb. 61/1
Zuordnung elektrischer Vorgänge zu bestimmten Teilen der Sinnes- oder Nervenzelle. Reizfolgepotential bei unterschwelligem (grüne Kurve) und bei überschwelligem Reiz (grüngestrichelte Kurve)

Hierzu werden vorwiegend Katodenstrahloszillographen mit geeigneten regelbaren Verstärkern verwendet. Der Nervenimpuls ist die Summe verschiedener physikalischer und chemischer Vorgänge. Hierzu gehören in erster Linie die spezifische Änderung der Membrandurchlässigkeit, der schnelle Einstrom von Natrium-Ionen und ihr Rücktransport durch die „Natriumpumpe". Diese sowie zahlreiche weitere Prozesse laufen nur unter Zufuhr von Energie ab. Die Energie entstammt dem Stoffwechsel der Zelle, insbesondere dem ATP.

Die Erregungsleitung

Tritt an einem beliebigen Punkt einer Nervenfaser eine explosive Erregung der Membran auf, so pflanzt sich der Impuls von seinem Entstehungsort in beiden Richtungen fort. Unter normalen physiologischen Bedingungen leitet die Faser allerdings nur in einer Richtung, da die Erregungen stets von einem Ende der Faser, der Übergangsstelle vom Zellkörper in den Neuriten (Abb. 61/1), kommen. Die über die Fasermembran verlaufende Erregungswelle kann nicht umkehren, da auf jede Erregung eine Phase folgt, in der die Membran kurzzeitig nicht erregbar ist. Die explosive Erregung unterscheidet sich von der örtlich abgestuften Erregung unter anderem darin, daß sie aktiv fortgeleitet wird. Bereits seit langem herrscht die Vorstellung, daß diese Erregungsleitung eng mit dem Auftreten örtlicher Ausgleichsströmchen zwischen erregtem und unerregtem Bereich verknüpft sei. Tatsächlich kommt es zu einem elektrischen Ausgleich zwischen der erregten depolarisierten Stelle der Membran und dem Nachbarbereich. Hierbei wirken die Ausgleichsströmchen auf die benachbarte Membran als elektrischer, depolarisierender Reiz. Sie lösen in dieser Membranstelle eine starke Depolarisierung mit der Bildung des Aktionspotentials aus. Das führt seinerseits erneut zum Auftreten von Ausgleichsströmchen mit dem nachfolgenden Membranbereich. Dieser wird damit elektrisch gereizt, es folgt die Depolarisierung mit dem Aktionspotential. Es handelt sich also um eine Kette von gleichartigen Prozessen, von denen jeder zugleich Anstoß für die Bildung des nachfolgenden ist. Daraus ergibt sich die aktive Leitung der explosiven Erregung entlang der Membran.

Dieser Prozeß der Erregungsleitung vollzieht sich nur, wenn die Membran entlang der Faser einen einheitlichen Aufbau besitzt, wie das bei den marklosen oder mark-

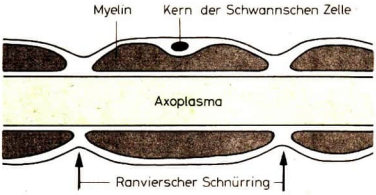


Abb. 62/1
Schema der Bauverhältnisse einer markhaltigen Nervenfaser

armen Fasern der Fall ist. Die markhaltigen Nervenfasern der Wirbeltiere haben eine Myelinscheide, die durch die Ranvierschen Schnürringe unterbrochen ist (Abb. 62/1). Die Myelinscheide wirkt wie ein hochwertiger Isolator. Damit ist die Membran nur am Schnürring, wo dieser Isolator fehlt, elektrisch reizbar. Nur hier können eine Depolarisierung der Membran, eine explosive Erregung und das Aktionspotential auftreten. Es kommt so zu einer sprunghaften Erregungsleitung.

* Die Erregungsleitung geht in folgender Weise vor sich: Kommt es an einem Schnürring zur explosiven Erregung, so sucht sich der mit dem Aktionspotential zusammenhängende Ionenstrom einen Ausgleich. Er kann aber die benachbarten Membranbereiche, die von der Markscheide (Myelinscheide) umgeben sind, nicht durchqueren. Daher muß er als Längsstrom das Axon durchlaufen, bis er am nächsten Schnürring eine Austrittsstelle findet. Erst dann kann er über den Außenleiter den Ausgleich zur Ursprungsstelle herbeiführen. Gleichzeitig wird die Membran des Schnürrings, an dem der Strom nach außen gelangt ist, durch diesen depolarisiert, was zum Entstehen einer explosiven Erregung führt. Nun vollzieht sich hier der gleiche Prozeß wie am vorausgehenden Schnürring. Der mit dem Aktionspotential verbundene Ionenstrom breitet sich längs des Axons bis zum nächsten Schnürring aus, tritt durch die Membran ins Außenmedium hindurch und reizt dabei gleichzeitig die Membran. Diese ihrerseits wird depolarisiert und kommt in explosive Erregung. So springt die Erregung von Schnürring zu Schnürring fort. Da die zwischen den Schnürringen liegenden Abschnitte mit einer einfachen elektrischen Leitung überwunden werden, ist die sprunghafte Erregungsleitung schneller als die Erregungsleitung bei marklosen Fasern. Hinzu kommt eine nicht unerhebliche Energieeinsparung, da nur die Membranbereiche am Schnürring erregt werden. Eine Übersicht über verschiedene Geschwindigkeiten der Erregungsleitung gibt die Tabelle auf Seite 63. *

Die außerordentlich geringe Geschwindigkeit der Erregungsleitung bei Pflanzen erklärt sich daraus, daß bei diesen keine besonderen Strukturen hierfür entwickelt sind. In der Regel handelt es sich nur um eine Weitergabe von Wuchsstoffen von Zelle zu Zelle. Nur in Fällen, in denen Leitungsbahnen für den Transport derartiger Stoffe genutzt werden, wird eine etwas höhere Geschwindigkeit erreicht. Die Unterschiedlichkeit der Mechanismen der Erregungsleitung bei Pflanzen und Tieren zeigt sich auch darin, daß die Leitungsgeschwindigkeit bei Pflanzen von der Reizintensität abhängt. So kann man beispielsweise bei der Mimose durch eine Verstärkung des Reizes die Geschwindigkeit der Erregungsleitung auf etwa das Zwanzigfache erhöhen. Demgegenüber bleibt bei Tieren die Leitungsgeschwindigkeit einer bestimmten Nervenbahn immer gleich, unabhängig von der Stärke des Reizes, der zur Ausbildung der Erregung geführt hat.

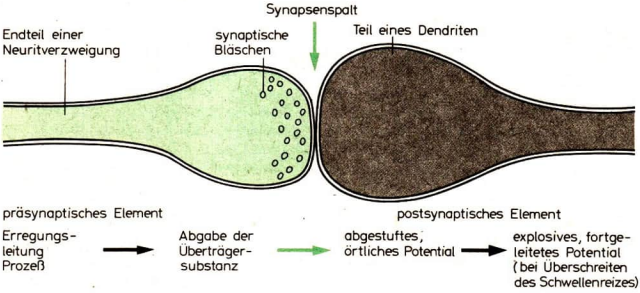
Geschwindigkeit der Erregungsleitung		
Art	Gewebe bzw. Organ	Mittlere Geschwindigkeit
Teichmuschel	Nerv	0,05 m s^{-1}
Regenwurm	Bauchmark	0,4 m s^{-1}
Hummer	Sehnerv	9 m s^{-1}
Frosch	Skelettmuskel	3 m s^{-1}
Frosch	Ischiasnerv	25 m s^{-1}
Pferd	marklose Fasern	8 m s^{-1}
Pferd	markhaltige Fasern	30 m s^{-1}
Mensch	Skelettmuskel	10 m s^{-1}
Mensch	markhaltige Nerven	80 bis 100 m s^{-1}
Hafer	Keimscheide (Lichtreiz)	sehr klein
Hafer	Wurzeln (Schwerkraftreiz)	etwa 0,005 mm s^{-1}
Zaunrübe	Ranken	0,07 mm s^{-1}
Sonnentau	Randtentakel	0,14 mm s^{-1}
Mimose	Blätter	10 bis 100 mm s^{-1}

Die Erregungsübertragung

Die Stellen, an denen Erregungen von einem Neuron auf ein anderes Neuron – beziehungsweise auf eine Muskelfaser oder ein anderes Erfolgsorgan – übertragen werden, sind die Synapsen. Der erregungsabgebende Teil wird von knopfartigen Anschwellungen an den Endverzweigungen der Neuriten gebildet; er heißt präsynaptisches Element. Der erregungsaufnehmende Teil – beispielsweise der Dendrit eines Neurons oder die Endplatte einer Muskelfaser – ist das postsynaptische Element. Beide Elemente sind durch den Synapsenspalt getrennt (Abb. 63/1).

Die Erregung wird in der Regel chemisch übertragen. Trifft im Verlaufe der Erregungsleitung ein Aktionspotential im präsynaptischen Element ein, setzt es dort

Abb. 63/1 Schema der Erregungsübertragung an einer Synapse



aus den synaptischen Bläschen eine Übertragungssubstanz (z. B. Noradrenalin, Azetylcholin) frei. Die Übertragungssubstanz gelangt in den Synapsenspalt und diffundiert zur Membran des postsynaptischen Elements.

Diese Membran reagiert je nach der Stoffmenge, also je nach der Intensität des Reizes, mit einer mehr oder weniger stark abgestuften örtlichen Erregung. Diese wiederum führt beim Überschreiten eines Schwellenwertes zur Ausbildung einer explosiven, fortgeleiteten Erregung, also dem Impuls mit dem Aktionspotential.

Die Weitergabe der Erregung, vor allem bei den Synapsen im Zentralnervensystem, ist keinesfalls die Regel; eine Erregung des nachfolgenden Neurons kommt vielmehr nur zustande, wenn mehrere Erregungen gleichzeitig am selben Neuron eintreffen. Man kann die Synapsen als die für die Regelung wichtigsten Punkte des Nervensystems bezeichnen.

* Man vermutet, daß durch häufige Beanspruchung bestimmter Synapsen Veränderungen in der Membran eintreten können, die den Schwellenwert senken; schon geringe Energien können das Aktionspotential ausbilden, die Erregung wird schneller übertragen. Die auf diese Weise entstehende Bevorzugung bestimmter Erregungswege hat vermutlich Einfluß auf die Lernvorgänge. Andererseits kann durch Überbeanspruchung der Vorrat an Übertragungssubstanzen erschöpft und ihre Neubildung verzögert werden. Die weitere Übertragung von Erregungen wird dadurch gehemmt, es kommt zu zeitweisem Funktionsausfall. So sind zentrale Ermüdungserscheinungen bei lang andauernder Arbeit (oder Sport) zu erklären. Ebenso wirkt auch die Reizüberflutung, der die Bevölkerung besonders der Großstädte häufig ausgesetzt ist, auf die Dauer schädigend auf das Nervensystem ein. *

7 8 9 10 11

Die Reaktion

Am Ende der Reizkette, die sich aus Reiz, Erregungsbildung und Erregungsleitung zusammensetzt, steht die Beantwortung des Reizes, die Reaktion. Je nach der Entwicklungshöhe des jeweiligen Organismus verfügt dieser nur über eine geringe oder aber über eine Vielzahl von Reaktionsmöglichkeiten. So zeigen beispielsweise Amöben unabhängig von der Art des Reizes meist eine gleichartige Reaktion. Sie ziehen ihre Scheinfüßchen ein, gleichgültig, ob sie mechanisch, chemisch oder durch Strahlung gereizt werden. Im Verlaufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung und der zunehmenden Differenzierung der Zellen und Gewebe hat die Anzahl der Reaktionsmöglichkeiten außerordentlich zugenommen. Hochentwickelte Tiere zeigen je nach der Reizart völlig unterschiedliche Reaktionen. Diese äußern sich vielfach in Änderungen des Stoffwechsels, Formveränderungen oder Bewegungen.

Auch bei Pflanzen sind Abweichungen von der normalen Gestalt als Antwort auf Reize zu beobachten. Im Keller austreibende Kartoffeln bilden beispielsweise lange, blattlose Sprosse. Diese Formveränderungen bei Pflanzen sind stets mit Wachstumsvorgängen verbunden und erfolgen daher sehr langsam.

Die Reizbeantwortung bei Tieren

Die auffälligste Form der Reizbeantwortung bei Tieren ist die Bewegung. Es kommt zu einer aktiven Fortbewegung oder zu Körperbewegungen am Ort. Bei all diesen Bewegungen treten besondere kontraktile Elemente in Aktion. Sie sind vor allem bei der Muskelbewegung deutlich zu erkennen.

Plasmabewegungen. Eine Strömung des Plasmas wurde in nahezu allen Zelltypen nachgewiesen. Sie vollzieht sich in vielen tierischen Zellen so langsam, daß sie nur mit Hilfe der Zeitraffung erkennbar wird. In einigen Zellen ist sie dagegen unmittelbar unter dem Mikroskop zu beobachten und vielfach auch mit einer Ortsbewegung der Zellen verbunden. Zu diesem Zelltyp gehören beispielsweise die weißen Blutkörperchen der Wirbeltiere sowie die verschiedensten, meist als Amöbozyten oder auch Wanderzellen bezeichneten Zellformen unterschiedlicher Tierstämme. Sie sind besonders dort, wo kein eigenes Kreislaufsystem vorhanden ist, für den Stofftransport im Körper von Bedeutung. Dagegen dient die Plasmabewegung der Amöben vorwiegend der Ortsveränderung und der Nahrungsaufnahme, sie läßt sich hier auch besonders gut beobachten (Abb. 65/1).

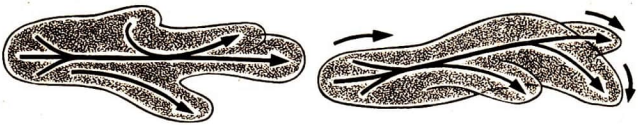


Abb. 65/1 Plasmabewegung bei einer nackten Amöbe

Die Flimmerbewegung. Bewegungen, die auf die Tätigkeit von Zellfortsätzen (Flimmern) zurückzuführen sind, treten bei den verschiedensten Organismengruppen auf. Zahlreiche Bakterien und Flagellaten bewegen sich mit ihren Geißeln, die Wimpertierchen und kleinen Bachstrudelwürmer mit Hilfe ihrer Wimpern fort. Eine Bewimperung tritt vielfach auch als Auskleidung von Körperhohlräumen oder Kanälen auf, da hierdurch der Transport der Inhaltsstoffe ermöglicht wird (Kiemenkorb, Darm, Luftröhre, Ausscheidungsorgane, Abb. 65/2, 65/3 und 66/1).

Abb. 65/2 Flimmerzellen aus dem Lebergang einer Schnecke

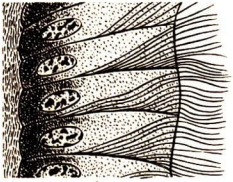


Abb. 65/3 Flimmerzellen aus dem Nierenkanal eines Schwanzlurchs

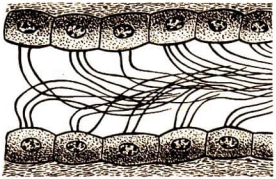


Abb. 66/1 Wimperschlag eines Pantoffeltierchens

* Untersuchungen mit dem Elektronenmikroskop haben in den letzten Jahren erkennen lassen, daß alle Geißeln und Wimpern sowie die Schwanzfäden der männlichen Samenzellen (Spermatozoen) einen einheitlichen Aufbau besitzen. Immer wird ein Paar zentral gelegener Fibrillen von neun Paaren randständig in Form eines Zylinders angeordneter Fibrillen umgeben. Diese Einheitlichkeit des Aufbaues von den Bakterien bis zum Menschen kann als eine erneute Bestätigung der gemeinsamen Entwicklung aller Lebewesen unseres Planeten angesehen werden. *

Die Bewegungen der Flimmern sind mannigfaltig. Man unterscheidet Ruder-, Schlängel- und Rotationsbewegungen. Besonders Geißeln sind zu mehreren Bewegungstypen befähigt. Wimpern vollführen dagegen meist Ruderbewegungen in einer Ebene. Auf einen raschen Schlag folgt hierbei ein langsames Aufrichten der Flimmern (Abb. 66/1). Die Effektivität der Flimmerbewegung läßt sich beispielsweise an der Bewegungsgeschwindigkeit eines Pantoffeltierchens ermessen. Es bewegt sich in der Minute etwa 6 cm vorwärts, in jeder Sekunde etwa das Fünffache seiner eigenen Länge.

Während die Wimpertierchen sowohl die Schlagintensität als auch die Schlagrichtung ihrer Wimpern abändern können, trifft das für die Wimperepithelien der vielzelligen Tiere meist nicht zu. Bei ihnen schlagen die Wimpern ständig mit gleichbleibender Stärke und in gleicher Richtung. Sie werden durch das Nervensystem nicht beeinflußt.

Der Schlag einer Wimper wirkt als Reiz für die benachbarte, so daß ein wellenartiger Wimperschlag zustande kommt.

Die Muskelbewegung. Muskelzellen sind bei nahezu allen mehrzelligen Tieren ausgebildet.

Werden Muskeln erregt, so kontrahieren sie sich. Unter normalen Bedingungen erfolgt die Reizung des Muskels von besonderen motorischen Nervenfasern aus. Durch Abgabe von chemischen Überträgersubstanzen wird die Erregung auf den Muskel übertragen (↗ S. 63 f.).

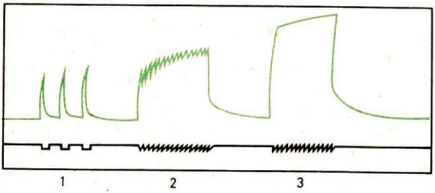


Abb. 66/2 Aufzeichnung verschiedener Kontraktionsformen eines Muskels. Links bei drei einzelnen Reizen mit großem zeitlichem Abstand, Mitte bei einer Reizserie von 20 Reizen in der Sekunde, rechts bei 50 Reizen in der Sekunde (die untere Linie zeigt die Reizmarkierung)

Im Experiment wird der Muskel in der Regel elektrisch gereizt, da sich dabei die Grundvorgänge besonders klar übersehen lassen. Vom Reiz bis zum Beginn der Kontraktion vergeht eine kurze Zeitspanne, die Latenzzeit. Beim quergestreiften Muskel beträgt sie 0,001 bis 0,01 s. Die darauf einsetzende Kontraktion hat eine je nach dem Muskel sehr unterschiedliche Zeitdauer zwischen 0,01 und etwa 1 s. Dann erschlafft der Muskel wieder und erreicht seine Ausgangsspannung. In der Kontraktionsphase ist der Muskel meist gegenüber einer weiteren Reizung unempfindlich. Folgen Einzelreize in größerem zeitlichem Abstand aufeinander, so wird jeder von ihnen mit einer Einzelzuckung des Muskels beantwortet. Verkürzt man den Abstand zwischen den Reizen, so erreicht man schließlich einen Zeitpunkt, in dem der Muskel sich erneut kontrahiert, ehe er nach dem vorausgehenden Reiz erschlafft ist. Hierbei kommt es zu einer Überlagerung der verschiedenen Kontraktionen (Abb. 66/1). Verringert man die Abstände zwischen den Reizen weiter, so verschmelzen die Einzelzuckungen zur Dauerkontraktion. Eine derartige, lang anhaltende Kontraktion, die durch die Summierung vieler Einzelreize zustande kommt, wird als Tetanus bezeichnet. Die meisten Muskelkontraktionen der Skelettmuskulatur sind solche tetanischen Kontraktionen. Echte Einzelzuckungen sind selten (z. B. einige Reflexzuckungen).

Unter Tonus versteht man einen anhaltenden Spannungszustand der Muskulatur. Es sind zwei Typen des Tonus zu unterscheiden, der tetanische Tonus und der Dauertonus. Der tetanische Tonus entsteht beispielsweise in der Skelettmuskulatur durch kontinuierlich vom Nervensystem eintreffende Erregungen. Dadurch sind bei vielen Muskeln zu jedem Zeitpunkt einige wenige Fasern erregt. Sie werden sofort danach durch andere Fasern abgelöst. So setzt sich der äußerlich gleichmäßige Spannungszustand in Wirklichkeit aus einer Vielzahl von Einzelzuckungen stets nur weniger Elemente des Muskels zusammen. Dieser Muskeltonus ist beim gesunden und kräftigen Menschen höher als beim kranken und schwachen, was sich in der Körperhaltung deutlich äußert. Auch der Unterkiefer wird zum Beispiel durch den Tonus der Kaumuskeln gehalten; läßt der Tonus nach, so sinkt der Unterkiefer herab (Schlaf).

Der Dauertonus äußert sich als eine stetige, gleichbleibende Verkürzung, die vorwiegend bei der glatten Muskulatur vorkommt. Für den Dauertonus sind keine ständig vom Nerven kommenden Erregungen erforderlich. Die Spannung stellt sich vielmehr automatisch gegen einen Innendruck (z. B. bei Hohlmuskeln) ein. Die Magenmuskulatur zeigt eine annähernd gleichbleibende Spannung, unabhängig vom Füllungszustand des Magens. Ähnliche Verhältnisse gelten auch für die übrige Darmmuskulatur, aber auch für die Muskeln zahlreicher „hohlorganiger" Tiere (z. B. Ringelwürmer, Seegurken). Ein Vorteil des Dauertonus gegenüber dem tetanischen Tonus liegt darin, daß für die Erhaltung eines gleichbleibenden Spannungszustandes wesentlich weniger Energie benötigt wird.

Die Kontraktion im Muskel ist in erster Linie mit Veränderungen bestimmter Muskeleiweiße (Aktin, Myosin) unter gleichzeitiger Zuführung von Energie verbunden. Im quergestreiften Skelettmuskel liegt das Myosin in Form stärkerer, das Aktin in Form schwächerer Fadenstrukturen vor.

Die Anordnung dieser Fadenstrukturen bewirkt die charakteristische Querstreifung der Muskelfasern (Abb. 68/1). Im Verlaufe der Kontraktion schieben sich diese Strukturen unter Energieverbrauch ineinander. Die Verkürzung der Fasern kommt demnach durch ein gleitendes Ineinanderschieben der Muskeleiweiße zustande (Abb. 68/2).

Die für die Tätigkeit des Muskels erforderliche Energie stammt aus dem Abbau von Kohlenhydraten, vorwiegend dem Polysaccharid Glykogen. Allerdings kann der

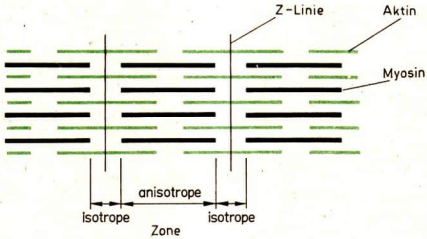


Abb. 68/1
Schema der Feinstruktur des quergestreiften Muskels im schwach kontrahierten Zustand

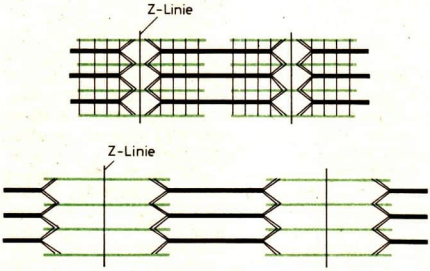


Abb. 68/2
Schema der Feinstruktur im kontrahierten (oben) und gedehnten (unten) Muskel

Muskel diese Energie nicht unmittelbar für die Kontraktion verwenden, sie muß umgesetzt sein in ATP-Energie (↗ S. 39). Das ATP wird bei der Muskelkontraktion direkt verbraucht; nur solange ATP zur Verfügung steht, kann sich der Muskel kontrahieren. Daher ist ein schneller Aufbau von ATP aus ADP erforderlich. Die hierfür notwendige Energie entnimmt die Muskelfaser vorwiegend einem anderen Energiespeicher, gleichfalls einer phosphorhaltigen Verbindung, dem Kreatinphosphat. Außerdem kann die Muskelfaser auch auf das ATP zurückgreifen, welches in dieser Zeit innerhalb der Atmungskette aufgebaut ist. Stets erfolgt die Auffüllung der Energiespeicher mit Hilfe der Energie, die beim Abbau der Kohlenhydrate frei wird (Abb. 69/1). Wenn diese Abbauprozesse besonders intensiv ablaufen, so reicht vielfach der zugeführte Sauerstoff nicht mehr zu einer vollständigen Oxydation der Spaltprodukte aus. Damit treten anaerobe Prozesse (z. B. die Glykolyse) in den Vordergrund. Eine Folge dieses Zustands ist das vermehrte Auftreten von Milchsäure (2-Hydroxypropansäure), die durch das Blut zur Leber transportiert wird. Hier wird sie wieder zu Glykogen beziehungsweise Glukose umgebaut. Ein geringerer Teil der Milchsäure wird im Muskel selbst während der Erholungsphase wieder zu Glykogen umgebaut.

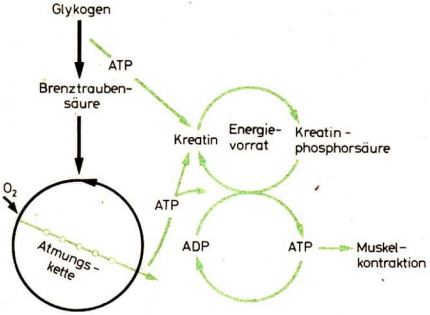


Abb. 69/1
Schematische Übersicht über die energieliefernden Prozesse im Muskel

Die Muskelermüdung. Bei ständiger starker Belastung eines Muskels treten in ihm in stärkerem Maße Abbauprodukte auf, vor allem Milchsäure, Kohlendioxid und Phosphorsäure. Da bei der Muskelermüdung sich meist auch die Muskeldurchblutung verschlechtert, können die Abbauprodukte nur unzureichend abtransportiert werden. Unter normalen physiologischen Bedingungen tritt eine Muskelermüdung nur selten ein. Die zahlreichen Fasern innerhalb eines Muskels wechseln sich in ihrer Tätigkeit ab, so daß zu einem bestimmten Zeitpunkt immer nur eine begrenzte Anzahl wirklich Arbeit leistet. Die übrigen können sich in dieser Phase erholen und ihre Energiereserven auffüllen. Bei den meisten Arbeiten wechseln sich außerdem die beteiligten Muskeln in ihrer Tätigkeit ab und ermüden deshalb nicht so schnell. Nur eine einseitige Muskelbelastung führt zur Ermüdung, beispielsweise längeres Stehen, obwohl hierbei der gesamte Energieverbrauch gering ist. Es ist daher sowohl bei der Arbeit als auch beim Sport notwendig, die Belastung der Muskeln so zu regeln, daß sich die Muskelarbeit auf möglichst viele Muskeln verteilt und dadurch die größte Leistung bei geringster Ermüdung erreicht wird. Auch durch Training läßt sich die Ermüdung eines Muskels stark verzögern. So tritt auch der „Muskelkater", ein schmerzhaftes Anzeichen von Muskelübermüdung, bei Sportlern erst nach einer wesentlich intensiveren Beanspruchung auf als bei nichttrainierten Personen.

12 13 14 15

Reizbeantwortung bei Pflanzen

Pflanzen besitzen keine spezialisierten Bahnen für die Erregungsleitung, wie die tierischen Nerven sie darstellen.

Die Pflanze hat auch kein Bewegungsgewebe von der Leistungsfähigkeit eines Muskels und führt die meisten Bewegungen ohne spezialisiertes Gewebe aus. Die Bewegungsmechanismen bestehen entweder aus Wachstumsvorgängen („Wachstumsbewegungen") oder aus Turgordruckänderungen („Turgorbewegungen").

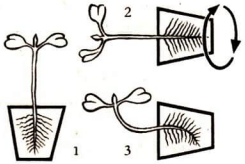


Abb. 70/1 Positiver Geotropismus der Wurzel und negativer Geotropismus des Sprosses (negativ: vom Reiz weg). Bringt man einen Keimling in horizontale Lage und läßt ihn langsam rotieren (2), tritt keine Reaktion ein, weil der Reiz allseitig wirkt. Ohne Rotation treten Krümmungen auf (3)

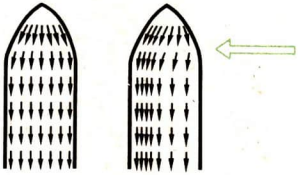


Abb. 70/2
Auxintransport in einem ungereizten (links) und einem einseitig belichteten Sproß (rechts).
Pfeil: Lichtrichtung

Wachstumsbewegungen. Beispiele für Wachstumsbewegungen sind die Tropismen. Das sind Krümmungsbewegungen, deren Richtung durch den auslösenden Reiz bestimmt wird. Phototropismus: Der Sproß der Pflanze krümmt sich zum Licht hin (Zimmerpflanzen am Fenster, Kartoffelkeime im Keller); Geotropismus: Die Wurzel krümmt sich zum Schwerkraftreiz hin, der Sproß vom Schwerkraftreiz weg (Abb. 70/1; das Aufrichten liegender Getreidehalme).

Nur junge, wachsende Pflanzenteile können Wachstumsbewegungen ausführen. Eine Wachstumsbewegung dauert meist mehrere bis viele Stunden.

Das ungereizte Organ wächst in der Regel gerade, weil alle seine Zellen gleich schnell wachsen. Das Wachstum der Zellen wird durch Pflanzenhormone (Phytohormone) gesteuert, unter denen der Wuchsstoff Auxin eine besondere Rolle spielt. Im ungereizten Sproß wird das Auxin, von der Spitze kommend, zur Basis transportiert. Jede Zelle gibt das Auxin an ihrer der Wurzel zugekehrten Seite ab, nicht aufwärts und nicht seitwärts; die Zelle besitzt eine Polarität. Dadurch wird das Auxin gleichmäßig verteilt, und alle Gewebe wachsen gleich schnell.

Beim Phototropismus ändert ein einseitiger Lichtreiz die Polarität der Zellen der Sproßspitze. Das Auxin wird in diesen Zellen vom Licht weg transportiert (Abb. 70/2). Dadurch erhält die Schattenflanke mehr Auxin und wächst stärker. Ungleiches Wachstum zweier gegenüberliegender Flanken muß zu einer Krümmung führen, im gegebenen Falle zu einer Krümmung zum Lichtreiz hin.

Den Beginn der Reizkette stellt die Absorption des Lichts durch bestimmte Farbstoffe dar, die in den lichtempfindlichen Zellen enthalten sind. Weitere Glieder der Reizkette sind die Änderung der Zellpolarität, des Auxintransports, das ungleiche Wachstum und schließlich die Krümmung.

Wird nur die Sproßspitze von einem einseitigen Lichtreiz getroffen, so krümmen sich nach einiger Zeit auch tiefere, unbelichtete Sproßpartien. Das kommt daher, daß das einmal an die Schattenflanke gelangte Auxin durch die Polarität der Zellen an der Schattenseite bleibt und dort abwärts transportiert wird (Abb. 70/2).

Beim Geotropismus wirkt die Schwerkraft auf die Zellpolarität, und bei waagerecht oder schräg liegenden Pflanzen reichert sich das Auxin an der unten liegenden Seite an. Das führt beim Sproß zum verstärkten Wachstum dieser Seite, zur Aufkrümmung.

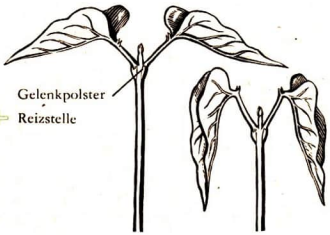
Die hohe Auxinkonzentration wirkt aber in der Wurzel wachstumshemmend, so daß es dort zur Abwärtskrümmung kommt. Als Rezeptoren des Schwerkraftreizes kommen winzige Stärkekörner in Frage, die in bestimmten Zellen vorkommen und unter Schwerkrafteinwirkung zur jeweils unteren Seite der Zelle verlagert werden.

Turgorbewegungen. Turgorbewegungen erfolgen viel schneller als Wachstumsbewegungen, manchmal in Sekundenbruchteilen. Als Beispiele dienen die Blattbewegungen der Mimose (Sinnpflanze), die wie die meisten Turgorbewegungen auf Veränderungen der Gewebespannung beruhen, sowie die Bewegungen der Schließzellen der Spaltöffnungen.

Durch die Saugspannung ihrer Zellen nehmen pflanzliche Gewebe Wasser auf und dehnen sich dabei aus. Sind Gewebe miteinander vereinigt, von denen das eine (das Schwellgewebe) eine hohe Saugspannung besitzt, während das andere (das Widerstandsgewebe) infolge größerer Festigkeit der angestrebten Dehnung nicht folgen kann, entsteht zwischen den Geweben eine Spannung, die Gewebespannung. Spaltet man Stengel mancher Pflanzen durch Längsschnitte auf und stellt die Schnittstelle ins Wasser, so krümmen sich die Spaltstücke nach außen; das Schwellgewebe (innen) kann sich seiner Saugspannung entsprechend unter Wasseraufnahme ausdehnen, weil es durch das Widerstandsgewebe (außen) nicht mehr daran gehindert wird.
Kneift man ein Blättchen der Mimose mit einer Pinzette, so klappen die Blättchen der ganzen Fieder der Reihe nach zusammen. Dann beginnen die benachbarten Fiedern mit der Klappbewegung, zuletzt senkt sich der Blattstiel nach unten (Abb. 71/1).
* Der Blattstiel, die Fiedern und jedes einzelne Blättchen haben an ihrer Basis ein typisches Bewegungsgewebe, ein Gelenk. Im ungereizten Gelenk herrscht starke Gewebespannung; zentral bilden die verfestigten Leitungsbahnen einen nicht dehnbaren Strang (Widerstandsgewebe). Ober- und unterhalb davon liegen Schwellgewebe aus großen, dünnwandigen Zellen. Bei einer Reizung im Blattstielgelenk verlieren die

Abb. 71/1
Zweig einer Sinnpflanze *(Mimosa pudica)*
a Blatt ungereizt,
b Blatt während der Bewegung,
c Blatt nach Ablauf der Bewegung,
Pfeil: Ablaufrichtung der Bewegung

Abb. 71/2
„Schlafbewegung" bei der Bohnenpflanze



Plasmagrenzschichten der Zellen im unteren Schwellgewebe weitgehend ihre Semipermeabilität, der Zellsaft tritt in die Interzellularen (Zwischenzellräume) ein, und die Zellen des oberen Schwellgewebes können sich entsprechend ihrer Saugspannung ausdehnen. Dabei drücken sie den Blattstiel innerhalb einer Sekunde nach unten.

Nach der Reaktion wird unter verstärkter Stoffwechseltätigkeit (meßbar als erhöhte Atmung) die Semipermeabilität allmählich wiederhergestellt, die erschlafften Zellen nehmen wieder Wasser auf und drücken das Blatt in seine Ausgangsstellung zurück. *

Die Mimose reagiert auf Erschütterungs-, elektrische und Hitzereize (Anbrennen eines Blättchens).

In der gereizten Zelle (z. B. in einem Blättchen) tritt eine Erregung auf, verbunden mit einem meßbaren Aktionspotential. Dadurch wird die Nachbarzelle erregt, erhält also ein Aktionspotential, das wiederum Reizursache für die nächste Zelle ist, und so fort. An der Erregungsleitung nimmt aber auch eine „Erregungssubstanz" teil, die bei der Reizung frei wird und die von ihr erreichten Zellen erregt.

* Der Transport der Erregungssubstanz ist nachweisbar. Durchschneidet man einen Seitenzweig der Mimose, verbindet die Stücke durch ein wassergefülltes Glasrohr und reizt dann die Blätter am abgeschnittenen Zweigteil, so reagieren auch die Gelenke am Haupttrieb, sobald die Erregungssubstanz durch das Glasröhrchen diffundiert ist. *

Die Erregungsleitung ist direkt zu beobachten, da jedes erreichte Gelenk sichtbar reagiert. Ihre Geschwindigkeit beträgt bis zu 10 cm/s, sie ist damit höher als im Nerv der Flußmuschel.

Ähnlich verläuft der Bewegungsmechanismus bei den Klappfallenblättern insektenverdauender Pflanzen: Hier dient die sehr schnelle Bewegung dem Tierfang. – Auch die „Schlafbewegungen" vieler Pflanzen, die bei Nacht ihre Blattstiele senken (Abb. 71/2), sind Turgorbewegungen, die allerdings langsam ablaufen.

Durch die Pflanze zieht ein ständiger Wasserstrom: Die Wasseraufnahme durch die Wurzel ersetzt das Wasser, das die Pflanze durch Verdunstung zwangsläufig verliert. Durch die Spaltöffnungen verläßt der größte Teil des Wasserdampfes die Pflanze. Ein Sonnenblumenblatt besitzt etwa 10 Millionen Spaltöffnungen. Jede Spaltöffnung besteht aus zwei Schließzellen, die einen Spalt zwischen sich frei lassen. Durch Bewegungen der Schließzellen und Veränderung der Spaltweite wird die Wasserdampfabgabe der Pflanze reguliert. Die Schließzellen sind so gebaut, daß sie bei hohem Turgordruck (wenn sie mit Wasser gesättigt sind, also ein großes Volumen haben) den Spalt öffnen und bei niedrigem Turgordruck den Spalt schließen. Dadurch schränkt die Pflanze bei Trockenheit (niedrigem Turgordruck) den Wasserverlust ein.

Vergleichende Betrachtung der Reizvorgänge bei Pflanzen und Tieren

Die Reizvorgänge unterscheiden sich bei Pflanzen und Tieren in mehrfacher Hinsicht voneinander.

Tiere besitzen spezielle differenzierte Zellen oder Zellteile, die durch bestimmte Reizarten besonders leicht erregt werden (Sinneszellen oder Rezeptoren). Sie sprechen bereits auf eine sehr geringe Energiemenge des adäquaten Reizes an, werden

aber nur durch eine wesentlich höhere Energiemenge eines nicht adäquaten Reizes erregt. Vielfach sind Sinneszellen, die auf die gleiche Reizart ansprechen, als Sinnesepithel mit Hilfs- und Schutzeinrichtungen zu einer qualitativ höheren Einheit, einem Sinnesorgan, zusammengefaßt. Pflanzen besitzen keine Sinnesorgane. Allerdings gibt es auch am Pflanzenkörper Bereiche, die auf bestimmte Reize leichter ansprechen, beispielsweise die Spitze der Keimscheide durch Licht, die Wurzelspitze durch die Schwerkraft. Die Tiere haben spezialisierte Zellen ausgebildet, Nervenzellen, deren Neuriten in Nervenbahnen gebündelt sind, die eine schnelle Erregungsleitung über große Strecken garantieren. Demgegenüber besitzen Pflanzen keine besonderen Bahnen für die Erregungsleitung. Bei ihnen wird die Erregung in der Regel von Zelle zu Zelle weitergegeben. Beim Transport von Erregungssubstanzen können auch Leitgewebe mit einbezogen werden. Die Erregungsleitung geht bei Pflanzen in der Regel wesentlich langsamer vor sich als bei Tieren.

Bei den Tieren bilden die Sinnesorgane zusammen mit dem Nervensystem einen komplizierten Regel- und Steuerungsmechanismus, der zugleich mit dem Hormonsystem verknüpft ist. Besonders bei den hochentwickelten Tieren ergibt sich hieraus eine große Vielfalt von Reaktionsmöglichkeiten sowie eine zunehmende Unabhängigkeit von einzelnen Umweltfaktoren. Diese Entwicklungstendenz hat ihre höchste Stufe beim Menschen erreicht.

Pflanzen sind in ihren Reaktionsmöglichkeiten sehr eingeschränkt. Dies hängt sowohl mit dem Fehlen echter Sinnesorgane und besonderer erregungsleitender Strukturen als auch dem Fehlen hochentwickelter Bewegungsorgane zusammen.

16 17 18 12 13

Reizbarkeit ist die Eigenschaft der lebenden Materie, auf Veränderungen in der Umwelt zu reagieren. Jeder Reiz muß eine bestimmte Energiemenge (Schwellenwert) überschreiten, um eine Erregung auszulösen.

Durch die Erregung werden bestimmte Veränderungen in der Umwelt der gereizten Zelle eines Organismus widergespiegelt.

Unterschiedliche Ionenkonzentrationen bewirken zwischen der Außen- bzw. Innenfläche der Zellmembran ein elektrisches Potential, das Ruhepotential. Beim Einwirken von überschwelligen Reizen wird die Membran depolarisiert, eine sehr rasche Ionenwanderung setzt ein und erzeugt das Aktionspotential (Impuls), das sich auf der Nervenfaser fortpflanzt.

An den Synapsen geht die Erregung mittels besonderer chemischer Übertragungssubstanzen auf eine andere Nervenzelle oder auf ein Erfolgsorgan über.

Als Reizbeantwortung treten unterschiedliche Reaktionen auf, je nach der Entwicklungshöhe eines Organismus sind die Reaktionsmöglichkeiten mehr oder weniger vielfältig. Die auffälligste Reaktionsform ist die Bewegung.

Alle Vorgänge der Reizkette verbrauchen Energie, die aus dem Stoffwechsel der Zelle stammt.

Bei Pflanzen gibt es Wachstums- und Turgorbewegungen. Sie werden meist durch Reize ausgelöst, wobei bestimmte Pflanzenteile besonders reizempfindlich sind.

Am Bewegungsablauf ist oft das Auxin, ein Pflanzenhormon, beteiligt.

Entwicklungsphysiologie

Übersicht über die Ontogenese bei Vielzellern

Die Ontogenese vielzelliger Tiere vollzieht sich in mehreren aufeinanderfolgenden Entwicklungsphasen. Sie beginnt nach der Bildung der Keimzellen und reicht über die Embryonalentwicklung (Befruchtung, Zygotenfurchung, Keimblatt- und Organbildung) und über die Jugendentwicklung (Ausbildung der Geschlechtsreife) bis zur Reifephase, zum Altern und zum Tod.

Die Bildung der Keimzellen

Bei den vielzelligen Tieren sind die Gameten (Keimzellen) äußerlich deutlich geschlechtlich differenziert. Der eine Gamet ist durch eine Speicherung von Nährstoffen gekennzeichnet und in der Regel groß und unbeweglich. Er wird allgemein als weiblicher Gamet oder Eizelle bezeichnet. Die männlichen Gameten (Samenzellen) dagegen besitzen fast kein Zellplasma, sie sind meist klein und durch Geißeln frei beweglich.

Die Bildung der Gameten erfolgt in niederen Organismen aus undifferenzierten Zellen in den verschiedensten Bereichen des Körpers. Alle höheren Organismen, Pflanzen und Tiere, besitzen aber besondere Fortpflanzungsorgane, wobei meist männliche und weibliche Fortpflanzungsorgane räumlich voneinander getrennt sind. Zwittrige Organismen bilden männliche und weibliche Gameten in jedem Individuum aus.

Die Reduktionsteilungen. Bei allen vielzelligen Organismen enthalten die Gameten nur einen einfachen Chromosomensatz, sie sind haploid. Demgegenüber besitzen die befruchteten Eizellen (Zygoten) und die sich daraus entwickelnden Körperzellen einen doppelten Chromosomensatz, sie sind diploid. So enthalten die Gameten des Menschen 23, seine Körperzellen 46 Chromosomen. Aus den genannten Zahlenverhältnissen ist ersichtlich, daß bei der Bildung der Gameten eine Verringerung des Chromosomensatzes auf die Hälfte – von diploid zu haploid – erfolgen muß.

Samen- und Eizellen entstehen aus diploiden Mutterzellen meist im Inneren entsprechender Fortpflanzungsorgane. Jede Mutterzelle macht kurz nacheinander zwei Teilungen durch. Zwischen den beiden Teilungen kommt es nicht zur Ausbildung einer Kernstruktur, wie sie bei der arbeitenden Zelle, die sich nicht in Teilung befindet, vorliegt. Die beiden Teilungen, in deren Verlauf aus einer diploiden Mutterzelle 4 haploide Tochterzellen gebildet werden, sind die Reduktionsteilungen (↗ S. 93 ff.).

Bei den vielzelligen Tieren und den höher entwickelten Pflanzen unterscheidet sich die Ausbildung der weiblichen Gameten von der der männlichen Gameten. Während bei der Bildung der männlichen Gameten aus jeder diploiden Mutterzelle 4 lebens-

fähige Gameten hervorgehen, kommt es bei den Teilungen der weiblichen Gametenmutterzelle zur Ausbildung von Polkörpern, das sind kernhaltige, aber plasmaarme Zellen, die bei den Tieren zugrunde gehen, bei den Samenpflanzen andere Funktionen übernehmen. So werden bei der ersten Reifeteilung im weiblichen Geschlecht eine plasmareiche Zelle und ein Polkörper gebildet. Die darauf folgende zweite Reifeteilung führt wiederum zu einer ungleichen Teilung der plasmareichen Zelle in die große Eizelle und einen weiteren Polkörper. Im Ergebnis der Reifeteilungen entstehen also aus einer diploiden Mutterzelle ein weiblicher Gamet – die Eizelle – und zwei, vielleicht auch drei Polkörper.

Die Embryonalentwicklung

Die Befruchtung. Die Befruchtung ist die Vereinigung von zwei haploiden geschlechtlich differenzierten Gameten. Die befruchtete Eizelle und die durch Teilung aus ihr entstehenden Körperzellen besitzen damit Chromosomenpaare, von denen jeweils ein Anteil vom Vater und ein Anteil von der Mutter stammt. Hieraus ergibt sich eine Kombination der Erbanlagen beider Elternteile.

Der Befruchtung geht meist eine aktive Bewegung der männlichen Gameten zu den weiblichen Gameten voraus. So wandern die bei vielen Wassertieren ins Wasser abgegebenen Spermatozoen zu den Eizellen hin, von denen sie durch besondere Stoffe angelockt werden. Auch bei Tieren mit innerer Befruchtung bewegen sich die männlichen Gameten, die in den weiblichen Organismus übertragen wurden, aktiv zu den Eizellen hin. Das entspricht im Prinzip dem Wachstum des Pollenschlauches durch den Griffel bis zur Samenanlage bei den Samenpflanzen.

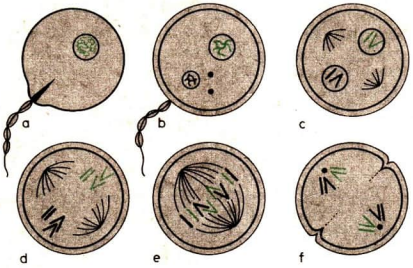


Abb. 75/1
Schema der Befruchtung beim Seeigelei (schwarz: Chromosomen des Spermiums, grün: Chromosomen der Eizelle)

Der Befruchtungsvorgang wurde erstmalig beim Seeigelei beobachtet (Abb. 75/1). Da er sich hier gut verfolgen läßt, ist dieses Objekt auch später oft zum Studium der Befruchtungsvorgänge verwendet worden. Die männlichen Gameten, die ebenso wie die weiblichen Gameten ins Wasser entleert worden sind, schwimmen auf die Eizellen zu. Sie werden dabei von besonderen Stoffen angelockt. Sobald die erste Samenzelle die Eizelle erreicht hat, bildet die Eizelle einen Befruchtungshügel aus. In diese Vorwölbung dringt der männliche Gamet ein. Die Eizelle scheidet unmittelbar nach dem Eindringen der Samenzelle eine Befruchtungsmembran ab. Diese und andere Verände-

rungen an der Eioberfläche verhindern das Eindringen weiterer Spermatozoen. Der Kern des eingedrungenen männlichen Gameten quillt auf. Nach einem mehr oder weniger langen Zeitraum kommt es zur Vereinigung des männlichen mit dem weiblichen Vorkern zum Zygotenkern, der nunmehr diploid ist.

Vom Zentralkörperchen, das vom männlichen Gameten mitgebracht wurde und das sich vorher geteilt hat, wird die Bildung einer Plasmaspindel angeregt, in deren Äquatorialplatte sich die Chromosomen anordnen. Damit setzt die erste Furchungsteilung der Zygote ein.

1 2 3 4 5

Die Furchung der Zygote. Unter Furchung wird eine Folge mitotischer Zellteilungen verstanden, die äußerlich durch Einschnitte (Furchen und Vorwölbungen) an der Oberfläche der Eizelle erkennbar sind. Während dieser Vorgänge vermehrt sich die Größe und Masse der Zygote nur unwesentlich, das eigentliche Zellwachstum setzt erst später ein. Die Art und Weise, in der die Furchungsteilungen vor sich gehen, ist in starkem Maße von der Menge des vorhandenen Dotters abhängig. Die Dottersubstanzen bilden eine Nährstoffreserve. Sie gehören zu den passiven Bestandteilen der Zelle, die bei Gestaltungsbewegungen oder Strömungen innerhalb der Zelle vom Plasma transportiert werden. Daraus ergibt sich, daß sich bei befruchteten Eizellen mit hohem Dottergehalt mechanische Probleme bei der Teilung ergeben, da die Dottermasse den mit der Teilung verbundenen Plasmabewegungen einen großen Widerstand entgegensetzt. Enthält die Zygote keinen oder nur wenig und gleichmäßig verteilten Dotter, so kommt es zu einer vollständigen und gleichmäßigen Furchung. Der aus der Furchung hervorgehende Zellhaufen, die Morula, besteht aus annähernd gleichgroßen Zellen (Abb. 76/1).

Besitzt eine Zygote eine größere Dottermenge, die am unteren Pol konzentriert ist, so erfolgt eine vollständige ungleichmäßige Furchung, zum Beispiel bei Amphibieneiern (Abb. 77/1). Hier hemmt die Dottermasse die Teilungen, wird aber letzten Endes doch mit in die Furchungszellen einbezogen. Dadurch sind die Furchungszellen des unteren Pols wesentlich größer als die des oberen.

Abb. 76/1
Furchung eines dotterarmen Eies

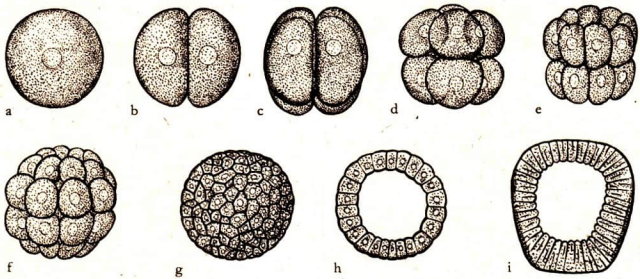


Abb. 77/1 Furchung eines Molcheies

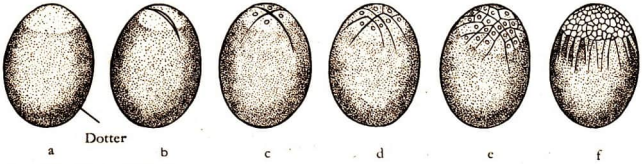


Abb. 77/2 Keimscheibenfurchung

Ist eine sehr große Dottermenge vorhanden, die weit mehr als die untere Hälfte der befruchteten Eizelle einnimmt, tritt die Keimscheibenfurchung auf, beispielsweise bei Fischen, Reptilien, Vögeln und Kopffüßern. Hier beschränkt sich der in die Furchungsteilungen einbezogene Bereich auf den oberen (animalen) Pol (Abb. 77/2).

Besonders bei den Eiern der Insekten ist eine große Dottermasse im Zentrum angesammelt. Die bei den Furchungsteilungen entstehenden Kerne wandern daher an die Oberfläche und bilden mit dem hier vorhandenen Plasma Zellen. Diese umschließen den Dotter dann als einfache Zellschicht. Dieser Furchungstyp wird als Oberflächenfurchung bezeichnet.

Die Keimblattbildung. Bereits im Verlaufe der Furchungsteilungen ordnen sich die Zellen epithelartig an. Aus der Morula entwickelt sich der Blasenkeim, die Blastula. Im typischen Fall ist sie ein Bläschen mit einer einschichtigen Wandung. Im weiteren Verlaufe entsteht aus der einschichtigen Blastula die zweischichtige Gastrula (Becherkeim). Auch ihre Ausbildung wird noch sehr stark von der vorhandenen Dottermenge, also vom Furchungstyp, bestimmt.

Im Anschluß an eine vollständige und gleichmäßige Furchung ist in der Regel eine Gastrulation durch Einstülpung zu beobachten. Die Zellen des unteren (vegetativen) Pols dringen als geschlossene Zellschicht in die Furchungshöhle vor (Abb. 78/1). Auf die vollständige ungleiche Furchung folgt vielfach eine Gastrulation durch Umwachsung. Die am unteren (vegetativen) Pol liegenden Furchungszellen sind zu massiv, um ins Innere der Blastula hineintransportiert zu werden. Außerdem tritt in vielen Fällen eine typische Blastula mit innerem Hohlraum gar nicht auf. Daher breiten sich die kleinen Zellen des oberen Pols seitlich immer weiter aus, bis sie schließlich die großen Zellen umwachsen und damit ins Innere aufgenommen haben (Abb. 78/2).

* Einige andere Gastrulationstypen sind durch die Wanderung von Einzelzellen und ihre Zusammenlagerung zum inneren Keimblatt gekennzeichnet. Hierzu gehören die Gastrulation durch polare und durch multipolare Einwanderung. Im ersten Fall wandern die durch Teilung an einem Pol der Blastula entstehenden Zellen in deren Inneres

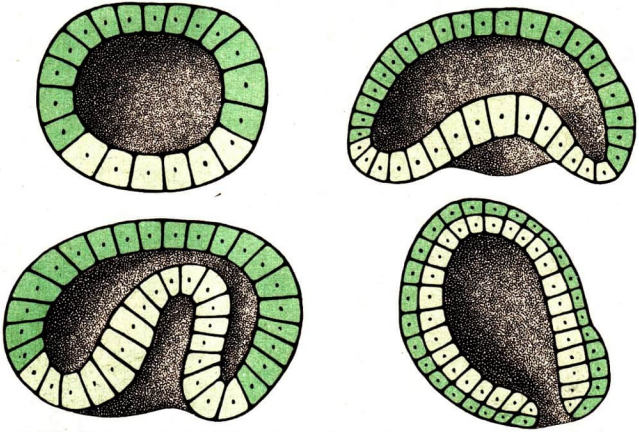


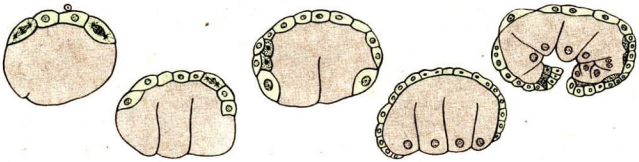
Abb. 78/1 Gastrulation durch Einstülpung (Lanzettfischchen)

ein. Bei der multipolaren Einwanderung entstammen die einwandernden Zellen verschiedenen Bereichen der Blastula. *

Auf dem Stadium der Gastrula setzt die Differenzierung und, soweit vorhanden, die Organbildung bei den Hohltieren und den niederen „Würmern" ein. Die höher entwickelten Tiere bilden dagegen noch ein drittes Keimblatt, das mittlere Keimblatt (Mesoderm), aus, das die sekundäre Leibeshöhle umschließt.

Die Ausbildung des Mesoderms vollzieht sich auf drei verschiedenen Wegen. Bei einigen Tiergruppen, zum Beispiel den Ringelwürmern, sondern sich bereits bei der Furchung zwei Zellen ab, die zu den Urmesodermzellen werden. Aus ihnen gehen durch Teilung alle Zellen des mittleren Keimblattes hervor. Das Mesoderm kann sich auch vom Entoderm ableiten. Dabei bilden sich durch Einstülpung vom Urdarm Taschen, die sich schließlich ablösen und das Material für das Mesoderm darstellen. Bei den Wirbeltieren liegt das Mesodermmaterial bereits bei der Blastula fest und wird als kompakte Zellenmasse während der Gastrulation eingestülpt (Abb. 79/1).

Abb. 78/2 Gastrulation durch Umwachsung

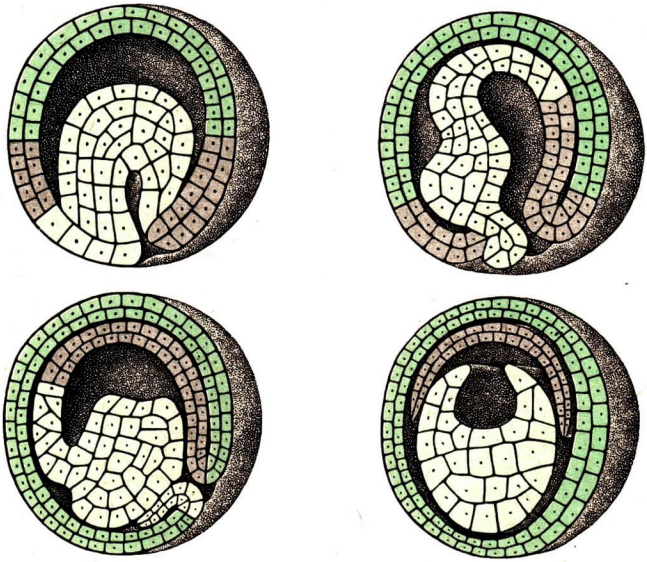


Die Organbildung. Aus den Keimblättern gehen durch Faltung und Zellvermehrung Organanlagen hervor, die einer Differenzierung zu Geweben unterliegen. Diese Prozesse verlaufen bei den einzelnen Tiergruppen sehr unterschiedlich, lediglich in der Verwendung des Materials der Keimblätter sind Übereinstimmungen feststellbar. So geht aus dem Ektoderm die Oberhaut (Epidermis) mit ihren Drüsen und Anhangsgebilden hervor. Außerdem stülpt sich das Ektoderm vielfach an Mund und After ein und liefert ein Stück des Darmkanals. Weiterhin entwickelt sich aus dem Ektoderm das Nervensystem mit den Sinneszellen.

Aus dem Entoderm geht das Darmepithel mit den Darmanhangsdrüsen hervor. Aus dem Mesoderm bilden sich das Bindegewebe, die Innenskelette sowie die Muskeln und Ausscheidungsorgane. Bei den hochentwickelten Tieren ist der größte Teil der Gewebemassen mesodermalen Ursprungs.

6 7 8 9

Abb. 79/1 Gastrulation bei Amphibien



Die Jugendentwicklung

Direkte und indirekte Entwicklung. Der zweite Abschnitt in der ontogenetischen Entwicklung, die Jugendentwicklung, umfaßt die Zeit von der Geburt (Schlupf) bis zur Erreichung der Geschlechtsreife. Er ist in seinem Ablauf bei den verschiedenen Tiergruppen sehr unterschiedlich. Prinzipiell unterscheidet man dabei zwischen direkter und indirekter Entwicklung. Die direkte Entwicklung zeichnet sich durch Wachstum und fortschreitende Organausbildung (besonders Ausbildung der Fortpflanzungsorgane) aus, wobei das Jungtier in seinem Bau im wesentlichen mit dem erwachsenen Tier übereinstimmt. Bei der indirekten Entwicklung treten Larvenformen auf, die sich vom geschlechtsreifen Tier in der Gestalt und im Stoffwechsel deutlich unterscheiden. Die Umwandlung von der Larve in das geschlechtsreife Tier erfolgt bei vielen Insekten während eines Puppenstadiums. Man bezeichnet diese Entwicklung deshalb auch als Metamorphose (Verwandlung; Abb. 80/1 und 80/2).

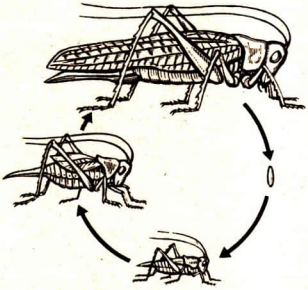


Abb. 80/1
Direkte Entwicklung am Beispiel einer Heuschrecke (Ei, Larve, Larve, Imago)

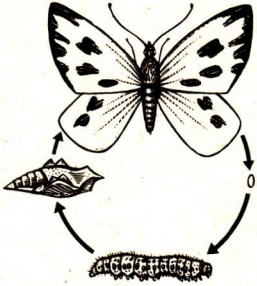


Abb. 80/2
Indirekte Entwicklung am Beispiel eines Falters (Ei, Larve, Puppe, Imago)

Beispiele für die Dauer der Jugendentwicklung (bis zum Eintritt der Geschlechtsreife)

Blattlaus	10 Tage	Forelle	2 bis 4 Jahre
Biene: Königin	15 Tage	Greifvögel	3 Jahre
Drohne	21 Tage	Hausmaus	6 Monate
Maikäfer	(3) bis 4 Jahre	Elefant	20 bis 24 Jahre
Hering	3 bis 7 Monate	Menschenaffe	8 bis 12 Jahre

Reifephase, Altern und Tod

Die ontogenetische Entwicklung der Vielzeller geht in die Reifephase über, in der die Keimzellen reifen; es kommt zur geschlechtlichen Fortpflanzung. Bei einigen Tieren ist die Reifephase sehr kurz, sie sterben unmittelbar im Anschluß an die Fortpflanzung (z. B. verschiedene „Würmer", zahlreiche Insekten und einige Fische). Meist aber, besonders bei Tieren, die sich wiederholt fortpflanzen können, geht dem natürlichen Tod ein mehr oder weniger langes Altern voraus. Dieser Vorgang ist nur in den seltensten Fällen auf äußere Faktoren, dagegen in der Regel auf innere Ursachen zurückzuführen.

Die Körperzellen der Vielzeller sind nicht von vornherein als sterblich anzusehen. In der Gewebekultur lassen sich beispielsweise Bindegewebszellen über Jahrzehnte hinweg, möglicherweise unbegrenzt, fortzüchten. Die Zellen wachsen und teilen sich ständig. Je weniger ein Gewebe differenziert ist, desto leichter läßt es sich züchten. Auch innerhalb des Körpers der vielzelligen Tiere gibt es solche Gewebe, die teilungsfähig bleiben. Andere Gewebe, die aus teilungsunfähigen Zellen bestehen, altern aber und gehen nach einer bestimmten Zeit zugrunde. So nimmt zum Beispiel bei alten Säugetieren die Anzahl der Nervenzellen im Kleinhirn deutlich ab.

Ein Kennzeichen alternder Zellen ist die Abnahme der Fähigkeit zur Regeneration und Verarbeitung von Stoffen im Zellstoffwechsel. Weitere Veränderungen betreffen beispielsweise die Plasmastruktur. Außerdem enthalten alte Zellen weniger Wasser.

Die Zeitspanne des Alterns ist bei den einzelnen Arten sehr verschieden. Offenbar entspricht die gesamte Organisation einer Art einer bestimmten Lebensdauer. So sind zum Beispiel bei Insekten, die unmittelbar nach der Fortpflanzung sterben, die Mundwerkzeuge vielfach völlig rückgebildet.

(10) (11) (12) (13)

▶ Die Entwicklung eines Organismus von der befruchteten Eizelle bis zum natürlichen Tod ist eine Aufeinanderfolge von Entwicklungsphasen. Dabei sind die einzelnen Phasen durch qualitative Veränderungen der Organisation und der Funktionen gekennzeichnet. Die hierbei ablaufenden Prozesse sind irreversibel.

Regulationsvorgänge bei der Ontogenese

Die Ontogenese ist eine Folge von Vorgängen, die von inneren und äußeren Faktoren mehr oder weniger stark beeinflußt werden. Dabei entspricht die Vielfalt der Prozesse durchaus der Mannigfaltigkeit der Tierarten.

Innere Entwicklungsbedingungen

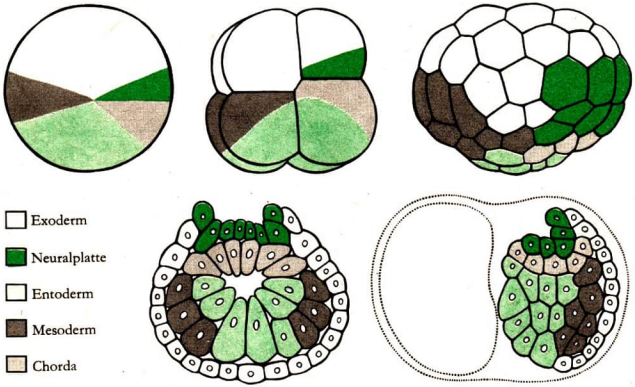
Die wichtigsten inneren Entwicklungsbedingungen liegen als Information in den Erbanlagen. Sie bestimmen den grundsätzlichen Entwicklungsverlauf. Durch weitere innere und äußere Faktoren wird dieser allerdings variiert. Die Erbanlagen bestimmen somit die Entwicklungsmöglichkeiten innerhalb einer bestimmten Variationsbreite. Sie determinieren die arttypische Gestalt und die arttypische physiologische Organisation. Im Verlaufe der Ontogenese entsteht aus der morphologisch einfachen Zygote der stark gegliederte Organismus. Bei dieser Entwicklung spielt die unterschiedliche Reaktion einzelner Zellen während der Keimesentwicklung eine wesentliche Rolle.

Da bei der Kernteilung den Tochterzellen stets die gesamten Erbanlagen zugeteilt werden, muß das unterschiedliche Verhalten der Einzelzellen darauf beruhen, daß während bestimmter Entwicklungsstadien in verschiedenen Teilen des Keimes unterschiedliche Erbanlagen wirksam werden (↗ S. 122).

Wenn sich aus der Zygote der vielzellige Keimling entwickelt, gelangen die einzelnen Zellen in unterschiedliche Beziehungen zur Außenwelt. Einige Zellen liegen an der Oberfläche des Keimes, andere im Inneren. Bestimmte Zellen nehmen Nahrungsstoffe unmittelbar auf, den anderen werden diese nur mittelbar zugeführt. Derartig unterschiedliche Bedingungen können auf die Entwicklung der embryonalen Zellen wesentlichen Einfluß haben und sie in verschiedener Weise determinieren.

Bei den meisten Tieren sind schon vor Beginn der Furchung die verschiedenen Stoffe oder Strukturen aus dem Zytoplasma der Eizelle auf bestimmte Bereiche des Zellinneren oder der Randbereiche verteilt. Im Verlaufe der Furchungsteilung gelangen diese besonderen Plasmabezirke in unterschiedliche Furchungszellen. Somit erhalten die Zellen unterschiedliches plasmatisches Material und damit verschiedene innere Entwicklungsbedingungen.

Abb. 82/1 Determination bei Ascidienkeimen



Mosaikkeime. Das Ausmaß der Frühdetermination, der frühzeitigen Festlegung der Entwicklungsrichtung bestimmter Keimteile durch frühe Differenzierung der einzelnen Bereiche des Eiplasmas, ist bei den verschiedenen Tiergruppen unterschiedlich groß. Im äußersten Falle ist durch Frühdetermination die Ausbildung bestimmter Organanlagen und Gewebetypen bereits vorbestimmt. Das Ei enthält dann organdeterminierende Stoffe, die den Furchungszellen während der Furchung zugeteilt werden. In diesen Mosaikkeimen entwickeln sich die Teile des Keimes weitgehend unabhängig von ihrer Umgebung. Sie besitzen ein hohes Maß an Selbstdifferenzierung. Als ein typisches Beispiel einer Mosaikentwicklung kann die frühe Embryonalentwicklung der Ascidien (Seescheiden), einer Gruppe der Manteltiere (Tunikaten), gelten (Abb. 82/1). Bereits im Ascidienei ordnen sich während der Eireifung fünf verschiedene Plasmasorten in bestimmter Weise innerhalb der Zelle an. Sie lassen sich durch unterschiedlich gefärbte Plasmaeinschlüsse gut voneinander unterscheiden. Diese Plasmasorten sind polar geschichtet und bilateral verteilt. Im Verlaufe der Furchungsteilungen werden sie bestimmten Bezirken des Keimes zugeteilt. Infolge ihrer Färbung kann man sie bis in die Organe der Larven verfolgen. Sie kennzeichnen spezifische, durch das besondere Zellplasma bedingte innere Entwicklungsbedingungen der einzelnen Keimbezirke. Damit geht einher, daß die einzelnen Bereiche des Keimes bei Verlust bestimmter Teile einander nicht ersetzen können. Isoliert man einzelne Furchungszellen oder Zellgruppen, so entwickeln sie sich lediglich zu den Keimteilen, die sie auch im Zusammenhang mit den anderen Bereichen bilden würden. So liefert bereits eine Zelle des Zweizellenstadiums nach ihrer Isolierung nur einen Halbkeim. Ebenso entwickeln die zwei vorderen oder die zwei hinteren Furchungszellen des Vierzellenstadiums nur vordere beziehungsweise hintere Teilembryonen. Daß die besonderen plasmatischen Einflüsse tatsächlich für die Frühdetermination von Bedeutung sind, läßt sich durch ein geeignetes Experiment nachweisen. Zentrifugiert man die Eier während der ersten Furchungsteilung, so werden die Plasmasubstanzen in ungewöhnlicher Weise verteilt. Trotzdem geht die Furchung der Eier weiter. Aus den Furchungszellen entwickeln sich auch Ektoderm, Entoderm und Mesoderm sowie typische Chorda- und Neuralzellen. Die Lage dieser Zellen innerhalb des Keimlings ist aber völlig unnormal. Hier haben also die „falsch" verteilten Eisubstanzen eine „falsche" Anordnung der Gewebetypen determiniert.

Charakteristisch für die Mosaikkeime ist die beschränkte Entwicklungsmöglichkeit (Entwicklungspotenz) der Embryonalzellen. Sie ist im extremen Fall nicht größer als der Umfang ihrer Verwendung unter normalen Entwicklungsbedingungen. Die Embryonalzellen sind also sehr frühzeitig auf eine bestimmte Entwicklungslinie festgelegt, für einen bestimmten Zellentyp determiniert.

Regulationskeime. Bei den meisten Tierformen weisen die Keimlinge ein deutliches Regulationsvermögen auf. Störungen der Entwicklung, etwa durch Entfernung von Teilen des Keimes, können dadurch ausgeglichen werden, daß Embryonalzellen in anderer Weise als bei der Normalentwicklung verwendet werden. So können auch aus abgetrennten Teilen eines Keimes vollständige und normal proportionierte Individuen hervorgehen, allerdings sind sie wesentlich kleiner. Bei den Regulationskeimen ist demnach die Entwicklungspotenz der Embryonalzellen deutlich größer als das Ausmaß ihrer Verwendung im normalen Entwicklungsgang.

Typische Beispiele für die Regulationskeime finden wir bei den Amphibien, sowohl bei den Fröschen als auch bei den Molchen. Werden hier die beiden ersten Furchungszellen voneinander getrennt, so entwickelt sich aus jeder Zelle ein vollständiges Indi-

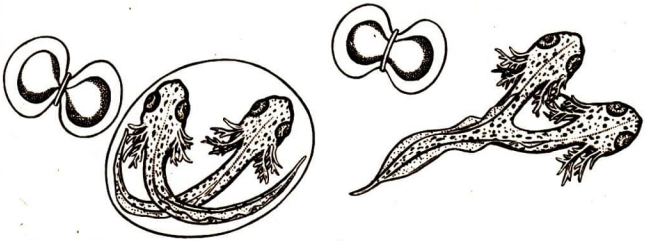


Abb. 84/1 Vollständige Schnürung eines Amphibieneies ergibt wohlausgebildete Zwillinge. Unvollständige Schnürung eines Amphibieneies ergibt miteinander verwachsene Zwillinge

viduum (Abb. 84/1, links). Auch wenn man ein späteres Furchungsstadium oder eine Blastula in ihrer Längsrichtung durchschnürt, so daß die jeweiligen Anlagen für Vorderende und Hinterende getrennt werden, kommt es zur Ausbildung völlig normaler Zwillinge. Wird die Trennung der Hälften des Keimes aber nicht vollständig vorgenommen, sondern der Keim in der Längsrichtung nur eingeschnürt, so entstehen zwei unvollständig getrennte Larven (Abb. 84/1, rechts).

In ähnlicher Weise erfolgt auch die Entwicklung eineiiger Zwillinge beim Menschen. Die ersten Furchungszellen werden durch meist nicht näher bekannte Faktoren voneinander getrennt und entwickeln sich selbständig weiter. Selten auftretende teilweise Verwachsungen von Zwillingen oder Doppelmißbildungen lassen sich zweifellos auf eine unvollständige Trennung der Hälften des Keimes zurückführen.

Furchungszellen, die isoliert worden sind, können sich zu selbständigen Keimen entwikkeln; Furchungszellen, die im Zellverband bleiben, bilden nur Teile eines Keimlings aus.

Aus dem Dargestellten ergibt sich, daß die Differenzierung eines Keimteils bei den Regulationskeimen nicht durch Faktoren bestimmt wird, die im jeweiligen Teil selbst liegen. Vielmehr wird seine Entwicklung durch das Wechselspiel zwischen den Keimteilen, durch Nachbarschaftseinwirkungen bestimmt. Daher wird diese Form der Entwicklung auch als abhängige oder korrelative Differenzierung bezeichnet.

Explantation und Transplantation. In welchem Maße ein Keimbereich in einem bestimmten Entwicklungsstadium bereits determiniert ist, inwieweit er zur Selbstdifferenzierung befähigt ist, läßt sich am besten durch seine Entfernung aus dem Keim und die Übertragung in ein physiologisches Medium, meist eine Lösung verschiedener Salze, bestimmen. Man bezeichnet dieses Vorgehen als Explantation und den isolierten Keimteil als Explantat.

Explantiert man aus der Blastula eines Molches künftiges Ektodermmaterial, so zeigt das Explantat eine starke Flächenausbreitung. Sie entspricht den Bewegungen des Ektoderms bei der Gastrulation (Überwachsungsgastrula, Abb. 78/2), durch die das entodermale und das mesodermale Material ins Innere verlagert werden. Somit enthält das künftige Ektodermmaterial der Blastula bereits die Festlegung für die Gestaltungsbewegungen in sich. Das Explantat macht aber keine geweblichen Differenzierungen durch. Es kommt nicht zur Ausbildung von Zellen der Epidermis oder des Neuralgewebes, die normalerweise aus dem Material hervorgehen. Hinsichtlich der geweblichen Differenzierung ist das spätere Ektodermmaterial der Blastula des Molchkeimes demnach nicht determiniert.

Andere Verhältnisse zeigen sich im Explantat von zukünftigem Entoderm. Zu den auch hier vorhandenen Gestaltungsbewegungen kommen Gewebedifferenzierungen hinzu. So bilden sich Epithelien bestimmter Darmabschnitte und Darmanhangsdrüsen aus. Demnach besitzt das Material des künftigen Entoderms bereits eine Determination bestimmter Gewebedifferenzierungen.

Ein anderes Verfahren zur Analyse der Entwicklungsprozesse ist die Transplantation. Hier wird einem Keim ein bestimmtes Stück entnommen und in einen anderen Keim eingepflanzt. Je nach den Lageverhältnissen kommt es nun zwischen dem überpflanzten Stück – dem Transplantat – und seinem Wirt zu unterschiedlichen Wechselbeziehungen, die sich in einer verschiedenartigen Entwicklung der beiden Partner zeigen.

* Ein charakteristisches Beispiel hierfür bildet die Transplantation von Material aus der dorsalen Urmundlippe einer Amphibiengastrula in die Furchungshöhle einer gleichartigen Blastula (siehe Abb. 79/1).

Das Transplantat wird im Verlaufe der Gastrulation des Wirtskeimes zwischen Entoderm und Ektoderm verlagert. Es gliedert sich dann selbst in Chorda und Mesoderm und übt eine intensive Wirkung auf die angrenzenden Bereiche des Wirtes aus. Dies bezeichnet man als Induktion. Mesodermales Material des Wirtes ist an der Bildung von Ursegmenten des Transplantats beteiligt. Außerdem löst das Transplantat im darüber liegenden Ektoderm des Wirtes die Bildung eines zusätzlichen Neuralrohres aus. Daneben kann es im Entoderm zur Bildung einer überzähligen Urdarmhöhle kommen. Daraus ist zu erkennen, daß ein Transplantat aus dem Bereich der Urmundlippe durch Selbstdifferenzierung und Induktion auf den Wirt die Anlage eines überzähligen, allerdings nicht vollständigen Embryos herbeiführt (Abb. 85/1). In manchen Fällen geht seine Differenzierung unter Einbeziehung von Material des Wirtskeimes so weit, daß eine echte Doppelbildung entsteht. *

Einen Keimbereich, der im Transplantat eine derartig stark induzierende Wirkung auf den Keim ausübt, bezeichnet man als einen Organisator. Er zeigt auch unter normalen Bedingungen eine ähnliche Induktionswirkung auf das benachbarte Material.

Die Wirkung eines Organisators darf nicht einseitig gesehen werden. Das Entwicklungsergebnis hängt keinesfalls nur vom Einfluß des Organisators auf die anderen Keimbereiche ab. Vielmehr handelt es sich dabei um eine echte Wechselwirkung zwischen den Keimteilen. Nur wenn der Organisator im Verlauf der Gestaltungsbewegungen während der Gastrulation an die richtige Stelle im Keim gelangt, kommt es im Zusammenwirken mit seiner Umgebung zu einer starken Induktionswirkung und einer ortsgerechten Differenzierung. Hinzu kommt, daß die Induktionswirkung des Organisators nur einsetzt, wenn das zu beeinflussende Material selbst einen bestimm-

Abb. 85/1 Schematischer Schnitt durch einen Keim mit primärem Achsengewebe und Darmlumen (links) und durch Induktion gebildeten sekundären Anlagen dieser Organe (rechts)

ten Entwicklungsgrad besitzt. Nur in einer begrenzten Entwicklungsphase kann der Organisator seine Wirkung entfalten; vorher und hinterher ist er wirkungslos.

Im Verlauf der ontogenetischen Entwicklungsvorgänge rufen auch selbst in der Entwicklung begriffene Organe durch die Abgabe von Stoffen neue, örtlich begrenzte Bildungen hervor. Man bezeichnet sie deshalb als sekundäre Induktoren, im Gegensatz zum Organisator, der die Ausbildung ganzer Körperteile induziert. Ein solcher sekundärer Induktor ist zum Beispiel der Augenbecher der Wirbeltiere. Sobald er, vom Gehirn nach vorn wachsend, unter die Epidermis gelangt, ruft er die Bildung der Augenlinse hervor. Entfernt man bei einem Keimling den Augenbecher, so bleibt auch die Linsenbildung aus.

Andererseits induziert ein bei einem Molchkeim unter die Bauchhaut verpflanzter Augenbecher selbst an diesem ungewöhnlichen Ort die Bildung der Linse. Epidermiszellen sind generell zur Bildung der Linse in der Lage, der entsprechende Teil ihrer Erbinformation wird aber erst nach Induktion durch Substanzen aus dem Augenbecher realisiert.

Wenn man auch begrifflich die Selbstdifferenzierung von der abhängigen oder korrelativen Differenzierung trennt, so wirken in Wirklichkeit beide Entwicklungsweisen zusammen. Je nach dem Entwicklungsstadium und dem Keim überwiegt einmal das eine, einmal das andere Prinzip. Insgesamt vollzieht sich die Ontogenese als ein enges Zusammenspiel der Teile unter der Wechselwirkung zahlreicher Faktoren.

Die hormonale Regulation. Vorwiegend in den späteren Phasen der Ontogenese sind auch Hormone als Regulatoren wirksam. So spielt das aus der Hypophyse stammende Wachstumshormon in der Jugendentwicklung der Wirbeltiere eine wichtige Rolle. Besonders auffällig ist auch der Einfluß des Schilddrüsenhormons auf die Larvenentwicklung der Lurche. Entfernt man bei Froschlarven die Schilddrüse, so unterbleibt die Metamorphose von der Kaulquappe zum Frosch. Es bilden sich vielmehr Riesenkaulquappen. Füttert man diese dann mit Schilddrüse (z. B. vom Schwein), so verwandeln auch sie sich in Frösche. Andererseits läßt sich durch die Einpflanzung von Schilddrüsenstückchen in Kaulquappen eine verfrühte Metamorphose und die Bildung von Zwergfröschen herbeiführen. Hormone wirken nicht eng artspezifisch.

14 15 16 17 18 19 20 21

Die Wirkung äußerer Entwicklungsbedingungen

Auf die Entwicklung aller Organismen wirken äußere Faktoren, wie zum Beispiel Wasser, Sauerstoff, Nahrung und Temperaturverhältnisse, ein. Sie müssen für jede Organismenart in ganz bestimmter Weise vorliegen, damit deren Lebensvorgänge ablaufen können. Sie ermöglichen die Entwicklung, ohne die Richtung dieser Entwicklung entscheidend zu beeinflussen. Allerdings können die Faktoren zum Beispiel die Entwicklungsgeschwindigkeit verändern, das gilt besonders für die Temperatur. Da die Ontogenese mit einer Vielzahl chemischer Prozesse verbunden ist, beschleunigt eine Temperaturerhöhung innerhalb des physiologischen Bereiches die Entwicklung. Das wirkt sich zum Beispiel bei der Massenvermehrung verschiedener Schädlinge aus. Hohe Temperatur kann die Ontogenese und damit auch die Generationsdauer verkürzen: die Generationen folgen in kürzerem Abstand aufeinander, so daß durch die

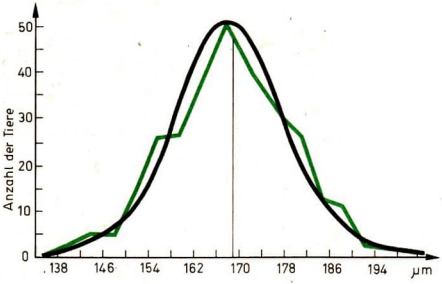


Abb. 87/1 Modifikationskurve der Länge von Pantoffeltierchen. Die gestrichelte Linie gibt die ideale Zufallskurve an

erhöhte Vermehrungsrate massenhafter Schädlingsbefall (Kalamität) ausgelöst werden kann.

Da die Ontogenese durch die Aufeinanderfolge unterschiedlicher Entwicklungsphasen gekennzeichnet ist, wird verständlich, daß äußere Faktoren auf diese einzelnen Phasen einen durchaus verschiedenen Einfluß haben können. So sprechen einzelne Phasen – sensible Phasen – auf bestimmte äußere Faktoren leicht an. Diese Faktoren können damit zu Entwicklungsreizen werden. Sie beeinflussen die Entwicklung innerhalb der von den Erbanlagen festgelegten Variationsbreite. Entwicklungsreize führen zu in der Regel nicht vererbbaren Abänderungen der Erscheinungsform, zu Modifikationen. Je nach der Tierart sind alle Bau- und Leistungsmerkmale innerhalb gewisser Grenzen modifizierbar. In der Mehrzahl der Fälle zeigt dabei die Erscheinungsform der Individuen ein Variieren um einen Mittelwert. Viele Individuen entsprechen nahezu dem Mittelwert, die Anzahl der modifizierten Formen nimmt mit zunehmender Größe der Modifikation ab. Dies läßt sich in einer Modifikationskurve darstellen (Abb. 87/1). Die Erklärung für diese Erscheinung liegt darin, daß die Entwicklung des Individuums durch zahlreiche Außenbedingungen beeinflußt wird. Diese wirken auf die verschiedenen Entwicklungsprozesse teils fördernd, teils hemmend ein. Es entspricht dabei der Wahrscheinlichkeit, daß das Zusammentreffen von hauptsächlich fördernden Faktoren oder aber von zahlreichen hemmenden Faktoren jeweils sehr selten ist. Am häufigsten ist eine Mischung sowohl hemmender als auch fördernder Einflüsse. Sie führt zu einer Entwicklung, die annähernd dem Mittelwert der Variationsbreite entspricht.

* In einigen Fällen wird das Erscheinungsbild einer Tierart in besonders starkem Maße durch einen bestimmten Umweltfaktor geprägt. So hängt die Färbung einer Schlupfwespe *(Habrobracon juglandis)* vorwiegend von der Temperatur ab. Züchtet man die Tiere bei der hohen Temperatur von 35 °C, so sind sie ganz hell. Bei einer Senkung der Temperatur zeigt sich in bestimmten Bereichen des Körpers, vorwiegend am Thorax und Abdomen, aber auch an einigen Stellen des Kopfes, schwarzes Pigment. Je niedriger die Zuchttemperatur ist, desto dunkler sind die ausschlüpfenden Tiere. Bei einer Zuchttemperatur von 16 °C sind sie fast völlig schwarz. Bei dieser Schlupfwespe ändert sich der Mittelwert der Pigmentierungsstärke direkt proportional zur Zuchttemperatur. *

Nicht immer ergibt die Modifikabilität eine Gruppe von Formen, die durch fließende Übergänge miteinander verbunden sind und sich um einen Mittelwert gruppieren.

Bei einigen Tierarten führt der Einfluß bestimmter Umweltfaktoren in einer sensiblen Phase zum Einschlagen unterschiedlicher Entwicklungswege. Je nach der Intensität des jeweiligen Faktors wird der eine oder andere Entwicklungsweg durchlaufen Ein typisches Beispiel hierfür bildet die Entwicklung der weiblichen Tiere bei den Bienen und Ameisen. Bekanntlich sind die Eier, aus denen sich die Bienenkönigin oder die Arbeitsbiene entwickeln, völlig gleich. Das Königinnenei liegt aber in einer wesentlich größeren Zelle, der Weiselzelle. Die aus dem Ei schlüpfende Larve wird nun, je nachdem in welcher Zelle sie liegt, von den Arbeitsbienen unterschiedlich gefüttert. So bekommt die Larve in der Weiselzelle vor allem den eiweißhaltigen, dickflüssigen „Königinnenfuttersaft", der eine Abscheidung von Kopfdrüsen der Arbeitsbienen darstellt. Die unterschiedliche Fütterung der Larven bestimmt die Entwicklungsrichtung. Einmal entsteht die Bienenkönigin, im anderen Fall eine Arbeitsbiene. Die beiden Formen sind durch zahlreiche Merkmale unterscheidbar. So ist die Königin wesentlich größer, hat infolge der voll ausgebildeten Geschlechtsorgane einen langen Hinterleib, besitzt gezahnte Oberkiefer und einen kurzen Rüssel. Bei den Arbeitsbienen sind die Geschlechtsorgane verkümmert. Sie haben aber andere Merkmale ausgebildet, die ihnen das Futtersammeln, Bauen und Brutpflegen ermöglichen. Diese Merkmale fehlen wiederum der Königin. Hierzu gehören die an den Beinen befindlichen Sammelapparate, die Wachsdrüsen, die Futtersaftdrüsen, die spatelförmigen Oberkiefer sowie verschiedene Verhaltensweisen (z. B. der Orientierungstanz). Es wäre also falsch, die Arbeitsbienen einfach als verkümmerte Weibchen zu bezeichnen.

Die gesamte Ontogenese vollzieht sich als Einheit von quantitativen und qualitativen Veränderungen. Jedes qualitativ neue Entwicklungsstadium (z. B. Keimesentwicklung, Jugendentwicklung) wird durch jeweils quantitative Anreicherung bestimmter Komponenten im vorhergehenden Stadium vorbereitet. Die Triebkräfte dieses Prozesses sind innere Widersprüche, zum Beispiel bei der Keimesentwicklung zwischen den Teilen der Erbinformation und vorhandenen biochemischen Substanzen, oder zwischen den sich differenzierenden Teilen des Keimes. Diese Widersprüche lassen keinen Ruhezustand zu, sondern führen zu bestimmten Reaktionen und Vorgängen. Indem so die jeweiligen Widersprüche gelöst werden, entstehen zugleich neue, die weitere Vorgänge in Gang setzen. In solcher Form der Wechselwirkung zwischen Erbanlagen und primären und sekundären Stoffwechselprodukten zwischen den Teilen des Keimes werden die einzelnen Erbanlagen schrittweise realisiert. Der Aufbau bestimmter Teile wirkt zugleich als Impuls für die Realisierung weiterer Erbanlagen.

22 23 24

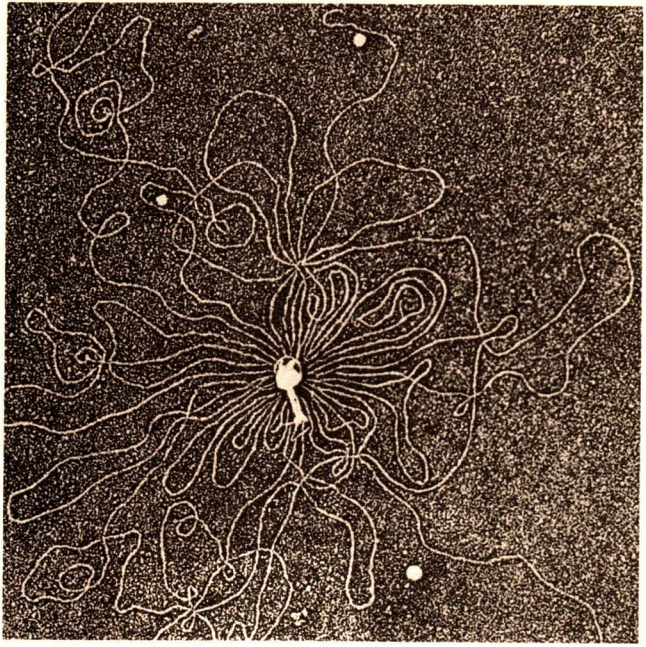
Der Verlauf der Ontogenese wird durch die Wechselwirkung von inneren und äußeren Faktoren beeinflußt, wobei den Erbanlagen für die Bestimmung der Reaktionsnorm eine besondere Bedeutung zukommt.

Nach dem Grad der Frühdetermination wird zwischen Mosaikkeimen und Regulationskeimen unterschieden.

Die Entwicklungspotenzen der Embryonalzellen sind je nach Organismenart und Entwicklungsphase unterschiedlich.

Der Determinationszustand eines Keimbereichs während einer bestimmten Phase kann durch Explantation oder Transplantation nachgewiesen werden.

Aus der Genetik



Die Zelle als Träger und Überträger der Erbanlagen

Gregor MENDEL zog aus seinen berühmten Kreuzungsexperimenten die später vielfach bestätigte Schlußfolgerung: Nicht die Merkmale, sondern Anlagen zur Ausbildung bestimmter Merkmale werden vererbt. Diese Anlagen, die Gene, äußern sich als genetische Informationen, nach denen entsprechend den vorhandenen Umweltbedingungen eine Ausbildung der (Erb)merkmale erfolgt.

Die genetischen Informationen müssen durch bestimmte Eigenschaften ausgezeichnet sein.

1. Sie müssen in körper- beziehungsweise zelleigenen Substanzen „verschlüsselt" sein;
2. sie müssen so verschlüsselt sein, daß sie nicht ständig – zum Beispiel durch den Zellstoffwechsel – verändert werden;
3. sie müssen originalgetreu verdoppelt („repliziert") und auf Nachkommenzellen verteilt (also vererbt) werden können;
4. sie müssen auch ausgeführt, realisiert werden können.

Zur Entwicklung eines Organismus und zur Steuerung seiner Funktion ist eine große Anzahl genetischer Informationen notwendig. Schon Bakterien haben 1000 Gene, und man schätzt, daß der Mensch mindestens 50000 Gene besitzt. Um eine gleichmäßige Behandlung und vor allem eine exakte Weitergabe dieses großen Informationsschatzes zu gewährleisten, sind die genetischen Informationen in speziellen „Containern" gespeichert. Dazu dienen solche Zellbestandteile, die die Fähigkeit zur Autoreplikation besitzen und nicht neu (de novo) entstehen und die das zur Verschlüsselung genetischer Informationen geeignete Material enthalten.

Das elektronenmikroskopische Bild der Zelle

Zellen können in Größe und Form sehr unterschiedlich sein, in ihrem Aufbau sind sie weitgehend gleich. Sie besitzen einen Zellkern (Nukleus), der von einer Kernmembran begrenzt ist und eine fädiggranuläre Substanz, das Chromatingerüst, sowie ein oder mehrere Kernkörperchen enthält. In das Chromatin eingelagert sind unter anderem besonders DNS und RNS.

Bakterien besitzen anstelle des Nukleus ein Kernäquivalent (Nukleoid), dem eine Kernmembran fehlt, das aber DNS enthält und die Rolle des Zellkerns übernimmt.

Zellen besitzen in jedem Falle ein den Zellkern umgebendes Zytoplasma, in das verschiedene Strukturen eingebettet sind (↗ S. 6 f., Abb. 6/1).

Alle diese plasmatischen Strukturen werden bei jeder Zellteilung mehr oder weniger gleichmäßig auf die Tochterzellen verteilt, lediglich das genetische Material des Zell-

kerns, das Chromatin, wird mit sehr großer Präzision zu gleichen Teilen an die Tochterzellen weitergegeben. Dabei wird das Chromatin in fädige Strukturen, die Chromosomen, überführt. Die Kernteilung verläuft in einem beziehungsweise in zwei Prozessen, der Mitose und der Meiose.

Die Struktur der Chromosomen

Am Beginn jeder Kernteilung steht eine auffällige Veränderung der Kernstruktur. Dabei bildet sich das diffuse Chromatingerüst durch zunehmende schraubenförmige Aufwindung und Entquellung zu faden- oder stäbchenförmigen Chromosomen um, deren Anzahl für jeden Organismus festliegt. Diese Anzahl ist gewöhnlich in allen Zellen eines Organismus gleich; bei höheren Organismen (höhere Pflanzen und Tiere, Mensch) ist die Chromosomenzahl in den Körperzellen in der Regel jeweils durch zwei teilbar (diploid = zweifach) und stets doppelt so groß wie die Chromosomenzahl der Keimzellen (haploid = einfach). Im diploiden Chromosomensatz sind jeweils zwei Chromosomen einander gleich, sie sind „homologe Chromosomen".

Jedes Chromosom hat eine charakteristische Gestalt, die durch seine Länge und durch die Lage des Zentromers (primäre Einschnürung) bestimmt wird (Abb. 91/2 und 91/1). Das Zentromer ist die Ansatzstelle der Spindelfasern und damit die Region des Chromosoms, die für die geordnete Bewegung der Chromosomen während der Kernteilung von entscheidender Bedeutung ist. Bestimmte Chromosomen besitzen außerdem noch eine oder mehrere sekundäre Einschnürungen; an einigen von diesen werden die Kernkörperchen (Nukleoli; Singular: Nukleolus) gebildet.

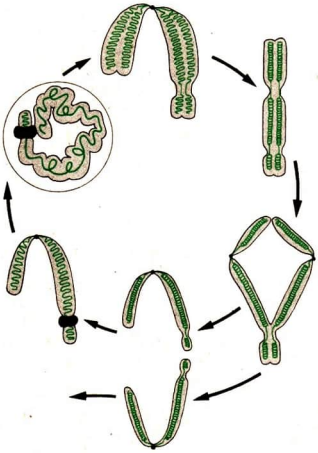
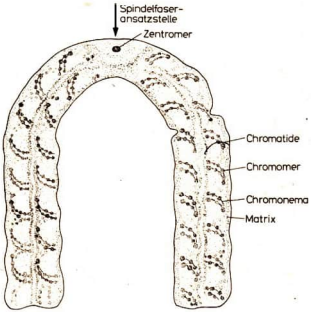


Abb. 91/1 Schematische Darstellung des Chromosomformwechsels während der Teilung

Abb. 91/2
Schematische Darstellung eines Chromosoms



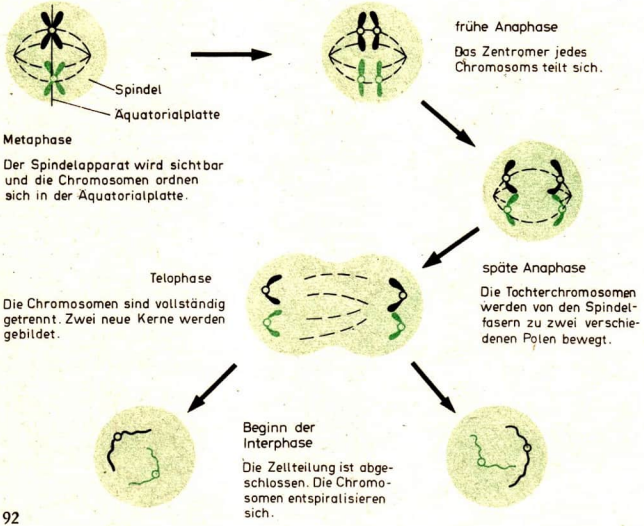
Die Chromosomen sind zu Beginn einer Kernteilung in je zwei Längseinheiten, die Chromatiden, gespalten, die nur am Zentromer zusammenhaften. Jede Chromatide besteht aus einer in ihren einzelnen Teilen unterschiedlich stark schraubigen Grundstruktur, dem Chromonema. In ihm kann man stärker geschraubte und intensiver färbbare Abschnitte, die Chromomeren, erkennen. Zur Strukturaufklärung der Chromosomen eignen sich vor allem die sogenannten Riesenchromosomen in den Speicheldrüsen von Insekten, die auf Chromosomenverdoppelungen ohne anschließende Teilung zurückgehen und die Größe normaler Chromosomen um ein Vielfaches überschreiten. Sie sind trotz maximaler Aufdrehung auch zwischen den Kernteilungen sichtbar, während die Aufdrehung normalerweise zur Ausbildung des Chromatingerüstes führt.

Die Chromosomen bestehen aus DNS, RNS sowie Proteinen; der molekulare Aufbau der Chromosomen und die Beteiligung dieser Substanzen daran konnte trotz intensiver Bemühungen bisher noch nicht aufgeklärt werden.

Verdoppelung und Verteilung der Chromosomen

Zwischen den Kern- und Zellteilungen, während der Interphase, werden das chromosomale Material und auch die plasmatischen Zellorganellen verdoppelt. Die Interphase ist die Periode der physiologischen Kernaktivität.

Abb. 92/1 Schematische Darstellung des Verlaufes der Mitose



Die Verteilung der Chromosomen im Zusammenhang mit der Zellteilung erfolgt während der Mitose. Durch die Mitose entstehen aus einer Zelle zwei Tochterzellen mit der gleichen Chromosomenzahl, wie sie die Ausgangszelle besaß. Sie vollzieht sich in vier Phasen (Abb. 92/1 und 94/1):

* Während der Prophase nehmen die einzelnen Chromosomen Gestalt an. Sie sind deutlich in jeweils zwei Chromatiden gespalten. Im Verlaufe der Prophase erfolgt durch zunehmende Schraubung eine Verkürzung und Verdickung der Chromosomen. Es verschwinden die Nukleoli. In tierischen Zellen teilen sich die Zentrosomen; zwischen ihnen bildet sich der Spindelapparat aus. Schließlich wird die Kernmembran aufgelöst. Während der Metaphase ordnen sich die Chromosomen in einer Ebene an, der angenommenen Äquatorialplatte. Diese steht senkrecht zu den beiden Spindelpolen. Die Zentromere kommen in Kontakt mit den Spindelfasern.

In der anschließenden Anaphase teilen sich die Zentromere, so daß die Chromatiden als zwei vollständig getrennte Tochterchromosomen vorliegen. An deren Zentromer ziehen die Spindelfasern die Chromatiden zu den Polen, und zwar so, daß von jedem Chromosom jeweils eine Chromatide zu dem einen und die andere Chromatide zu dem anderen Pol gelangt.

In der Telophase haben die Chromatiden die Pole erreicht. Sie beginnen sich aufzudrehen. Die Spindel wird aufgelöst; es entsteht eine neue Kernmembran. Damit ist die Mitose beendet. Es beginnt die Interphase. Die Tochterchromosomen bilden allmählich wieder das für den Interphasekern typische Chromatingerüst aus. *

Nach Erreichen der Telophase vollzieht sich normalerweise auch die Durchschnürung des Zellplasmas: Auf die Kernteilung folgt die Zellteilung.

Reduktion der Anzahl der Chromosomen

Alle mehrzelligen Organismen bilden geschlechtlich verschieden differenzierte Keimzellen (Gameten) aus, die bei der Befruchtung paarweise verschmelzen (↗ S. 74 f.). Um zu vermeiden, daß bei der Befruchtung jeweils die Chromosomenzahl verdoppelt wird, erfolgt – bei verschiedenen Organismengruppen zu unterschiedlichen Zeiten, beim Menschen und bei allen höheren Tieren beispielsweise vor der Bildung der Gameten – eine Reduktion der Anzahl der Chromosomen. Durch diese Reduktionsteilung (Meiose) werden haploide Gameten gebildet, die nur einen Chromosomensatz besitzen (n), während durch die Befruchtung eine diploide Zygote gebildet wird, die je einen väterlichen und einen mütterlichen Chromosomensatz besitzt (2 n). Beim Menschen und bei den höheren Tieren sind auch alle aus der Zygote hervorgehenden Zellen in der Regel diploid.

Die Meiose (Abb. 95/1 und 96/1) besteht aus zwei aufeinanderfolgenden Teilungsprozessen: 1. und 2. meiotische Teilung (1. und 2. Reduktionsteilung); jede von ihnen besteht aus Pro-, Meta-, Ana- und Telophase. Während der Prophase I treten die jeweils homologen Chromosomen paarweise zusammen. In der Metaphase I ordnen sich diese Chromosomenpaare in der Äquatorialplatte an. In der sich anschließenden Anaphase I werden die gepaarten homologen Chromosomen wieder getrennt und auf die beiden Pole verteilt; in Anaphase I der Meiose werden also – im Gegensatz zur Mitose – ganze Chromosomen, die aus zwei Chromatiden bestehen, auf die Pole verteilt. In der Telophase I haben die Chromosomen die Pole erreicht. Nach einem kurzen Ruhestadium (Interkinese) beginnt die 2. meiotische Teilung. Dabei verlaufen in beiden Chromosomengruppen Pro- und Metaphase II ähnlich wie in einer mitotischen

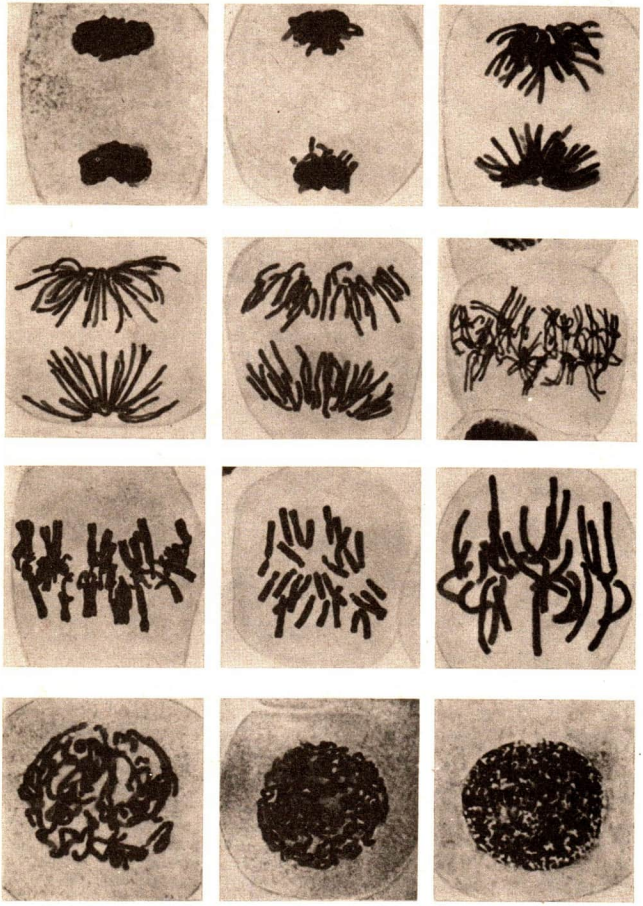


Abb. 94/1 Mitose in den Wurzelspitzen der Königslilie (*Lilium regale*)

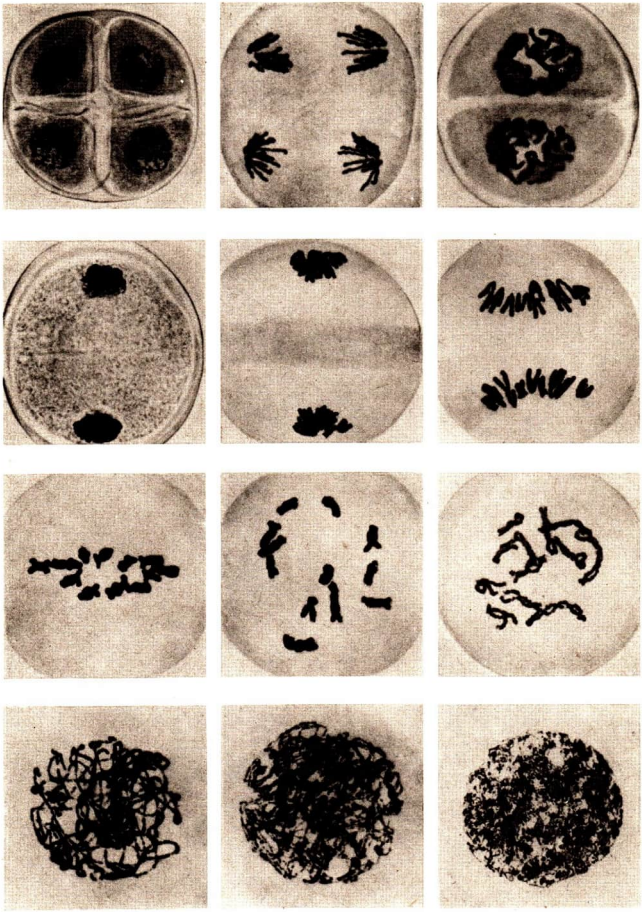


Abb. 95/1 Meiose in den Pollenmutterzellen der Königslilie (*Lilium regale*)

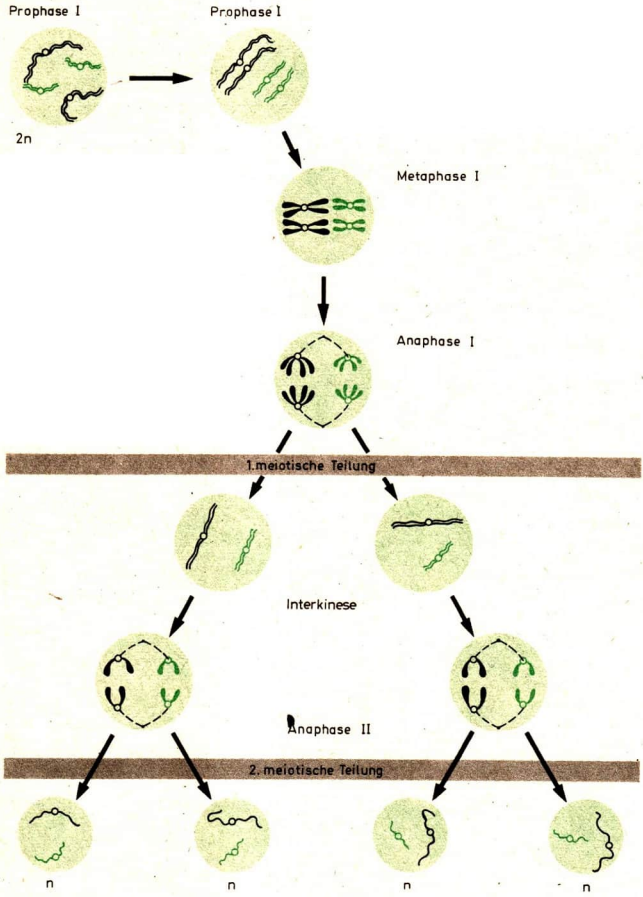


Abb. 96/1 Schematische Darstellung des Ablaufes einer Meiose bei einem Organismus mit zwei homologen Chromosomenpaaren

Teilung, die Chromosomen werden in Anaphase II durch Teilung der Zentromeren in ihre Chromatiden getrennt, und es wird jeweils eine Chromatide zu je einem Pol gebracht. Als Ergebnis einer Meiose entstehen somit aus einem diploiden Kern vier haploide Kerne, aus einer diploiden Zelle vier haploide Zellen.

Die Ausbildung solcher Mechanismen zur präzisen Verteilung der Chromosomen und Chromatiden bei Mitose und Meiose machen deutlich, daß das Konstanthalten der Chromosomenzahl beziehungsweise die exakte Verteilung der Chromosomen für das Leben der Zelle und des gesamten Organismus eine große Rolle spielt.

Die Chromosomen sind die wichtigsten Träger von Erbanlagen. Von den übrigen Zellorganellen sind – nach dem heutigen Stand unseres Wissens – noch die Plastiden und die Mitochondrien Träger von Erbanlagen; diese beiden Zellorganellen haben wie die Chromosomen die Fähigkeit zur Autoreplikation, sie vermehren sich nur durch Teilung und enthalten neben anderen Substanzen DNS, welche auch für diese Organellen als genetisches Material erkannt worden ist. Ob weitere Zellbestandteile als mögliche Erbträger fungieren, ist gegenwärtig unsicher.

1 2 3 4 5

In den Zellen sind die Träger der Erbanlagen lokalisiert. Der Aufbau der Zellen ist bei allen Lebewesen etwa gleich; Zellen enthalten Zytoplasma mit verschiedenen Zellorganellen und einen Zellkern beziehungsweise ein Kernäquivalent. Wichtiger Bestandteil des Zellkerns sind DNS und RNS. Zellen entstehen nicht neu, sie vermehren sich durch Teilung. Jeder Zellteilung kernhaltiger Zellen geht eine Kernteilung voraus, bei der die Chromosomen zu gleichen Teilen auf die Tochterzellen verteilt werden. Die Anzahl der Chromosomen (Chromosomensatz) ist artspezifisch; in den Körperzellen höherentwickelter Pflanzen und Tiere sind in der Regel jeweils zwei Chromosomen homolog, der Chromosomensatz ist diploid (2fach); in den Keimzellen tritt jedes Chromosom nur einmal auf, der Chromosomensatz ist haploid (1fach).

Die stoffliche Natur des genetischen Materials

Die Desoxyribonukleinsäure als Träger der genetischen Information

Die Existenz der Gene und ihre Anordnung auf den Chromosomen war bereits durch Mendels Beobachtungen wahrscheinlich gemacht; sie wurde durch umfangreiche Untersuchungen in den zwanziger und dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts, vor allem an der Taufliege *Drosophila melanogaster*, bewiesen.

In den folgenden Jahren wurden an höheren Organismen Fakten gewonnen, welche dafür sprachen, daß die Nukleinsäuren, insbesondere die DNS, das genetische Material darstellen.

DNS findet sich vorwiegend im Zellkern und dort ausschließlich in den Chromosomen, die durch die Art und Weise ihrer Aufteilung bei Zellteilungen und bei der Gametenbildung (↗ S. 74 ff.) als Träger der Gene in Frage kommen. Auch die Zellorganellen, die Träger extranuklearer Erbanlagen (Plasmagene) sind, die Plastiden und die Mitochondrien, enthalten spezifische DNS.

Der DNS-Gehalt der Kerne verschiedener Gewebe einer Art ist annähernd gleich und doppelt so hoch wie der der Gameten. Kerne gleicher Gewebe verschiedener Tierarten haben dagegen einen unterschiedlichen DNS-Gehalt.

DNS-Gehalt diploider und haploider Zellkerne (10^{-12} g je Kern)

	Mensch	Rind	Hahn	Kröte	Forelle	Alse
Leber		64	25			20
Niere		64	24			
Pankreas		66	26			
Milz		68	26			
Erythrozyten			26	73	58	20
Granulozyten[1]	62					
Lymphozyten	58					
Spermien	27	33	13	37	27	9

[1] DNS-Gehalt je Zelle

Mutationsauslösende Strahlen und Chemikalien haben sämtlich gemein, daß sie – zumindest auch – mit DNS reagieren (↗ S. 133 f.).

Vom genetischen Material muß eine besonders hohe Stabilität erwartet werden, da sonst die „Vererbung", die genaue Übertragung der Erbanlagen von Eltern auf Nachkommen, nicht gewährleistet ist. Im Gegensatz zu allen anderen am Zellaufbau beteiligten Substanzen einschließlich der RNS unterliegt die DNS kaum einem Umbau: In die DNS eingebaute markierte Bestandteile werden normalerweise unverändert auf unmittelbare und entfernte Nachkommen verteilt.

DNS-Nukleotid-Paare je Genom			
Bakteriophage ΦX 174[1]	$5{,}5 \times 10^3$	*Drosophila melanogaster*	8×10^7
Bakteriophage T 4	2×10^5	Mensch	3×10^9
Escherichia coli	1×10^7	*Amphiuma* (Aalmolch)	9×10^{10}
Neurospora crassa (Brotschimmel)	4×10^7		

[1] ΦX 174 besitzt keine Nukleotidpaare, da seine DNS einsträngig ist.

Während die Untersuchungen an höheren Organismen indirekte Beweise für die genetische Rolle der Nukleinsäuren erbracht hatten, führten Arbeiten an Mikroorganismen (seit 1944) zu direkten Aussagen über die chemische Natur des genetischen Materials. Die Einführung von Mikroorganismen als genetische Versuchsobjekte hat sich als außerordentlich fruchtbar erwiesen. Verwendet werden vorwiegend bestimmte Pilze, besonders der Brotschimmel *Neurospora crassa*, verschiedene Bakterienarten, wie das Darmbakterium *Escherichia coli*, der Erreger des Mäusetyphus *Salmonella typhimurium* und der Heubazillus *Bacillus subtilis* sowie bestimmte Viren, vor allem Bakteriophagen (Bakterien-Viren).

* Mikroorganismen haben für genetische Experimente entscheidende Vorteile:

1. man kann von ihnen auf kleinstem Raum außerordentlich große Individuenzahlen züchten (in einem ml Fleischbrühe etwa so viel *Coli*-Bakterien, wie Menschen auf der Erde leben: 3×10^9),
2. sie haben außerordentlich kurze Generationszeiten (z. T. nur 30 min),
3. sie sind gewöhnlich haploid, besitzen also nur einen Satz genetischer Informationen,
4. auch bei ihnen treten Erbänderungen (Mutationen) auf und führen zu genetisch stabil veränderten Formen (Mutanten), die dann zum Beispiel besondere Nährstoffbedürfnisse aufweisen (Mangelmutanten), resistent sind gegenüber antibakteriellen Antibiotika oder die sich durch die Wuchs- oder Kolonieform von den normalen Bakterien unterscheiden,
5. man kann sie, wie seit Mitte der vierziger Jahre bekannt ist, auch „kreuzen", also mit ihnen genetische Austauschexperimente durchführen. *

Voraussetzung für die Aufklärung des genetischen Materials war weiter die in den letzten beiden Jahrzehnten erfolgte außerordentliche Verfeinerung der biochemischen und physikalisch-chemischen Techniken, wie die Entwicklung der Röntgenstrukturanalyse, mit deren Hilfe die Strukturaufklärung natürlicher Makromoleküle möglich ist, die Entwicklung von Methoden zur Trennung von Zellen, Zellbestandteilen, Viren, Molekülen (Ultrazentrifuge, Chromatographie, Elektrophorese), der Einsatz von Radionukliden (wie ^3H, ^{14}C und ^{32}P), von stabilen Isotopen (wie ^{15}N) und von Basenanalogen (wie 5-Bromurazil) in Untersuchungen über die Synthese und die Verteilung natürlicher Makromoleküle, die Entdeckung von Antibiotika und ihr Einsatz zur Analyse von Synthesemechanismen.

Auf Grund dieser seit der Mitte unseres Jahrhunderts gegebenen Voraussetzungen entwickelte sich die Molekulargenetik, die Erforschung der Vererbungserscheinungen auf molekularer Grundlage, im Vergleich zu anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen seit etwa 1950 besonders intensiv, was sich unter anderem auch in der häufigen Verleihung von Nobelpreisen an Molekulargenetiker ausdrückt. In den Jahren von 1941 bis 1970 wurden 16 Nobelpreise für molekulargenetische Arbeiten verliehen.

Die Struktur der DNS

Die DNS besitzt eine – 1953 von WATSON und CRICK aufgeklärte – Struktur, die es ermöglicht, weitgehend stabil Informationen zu verschlüsseln und diese originalgetreu weiter- und abgeben zu können.

Bestandteile der DNS sind Zucker (Desoxyribose), Purin- und Pyrimidinbasen (Adenin, Guanin, Thymin, Zytosin) und Phosphorsäurereste.

Dabei bildet der Zucker mit einer der Basen ein Nukleosid, aus dem durch Verbindung mit dem Phosphorsäurerest ein Nukleotid entsteht.

Die (Desoxyribo-) Nukleotide bilden die Grundbausteine der Makromoleküle der DNS. Sie sind untereinander durch 3′-5′-Phosphodiesterbrücken verbunden, die zwischen den Zucker- und Phosphatgruppen gebildet werden (Abb. 102/1). Einige Tausend ($5{,}5 \cdot 10^3$ beim Phagen ΦX 174) bis zu mindestens einige Millionen (10^7 bei *Escherichia coli*) dieser Nukleotide bilden auf diese Weise lange Ketten. In der Regel sind zwei solcher Ketten schraubenförmig umeinander gewunden (Doppelstrang, Doppel-Helix, Abb. 100/1) und bilden so ein Doppel-Makromolekül der DNS. Eine Ausnahme bilden die DNS-Moleküle einiger Viren (z. B. des Phagen ΦX 174), die keinen Doppelstrang bilden, sondern aus einzelnen DNS-Ketten bestehen.

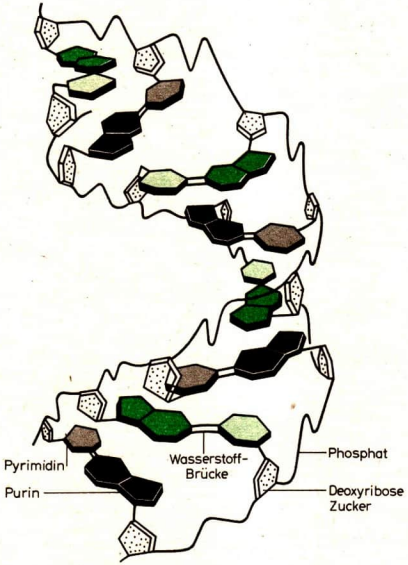


Abb. 100/1 Doppelhelix der DNS nach WATSON und CRICK

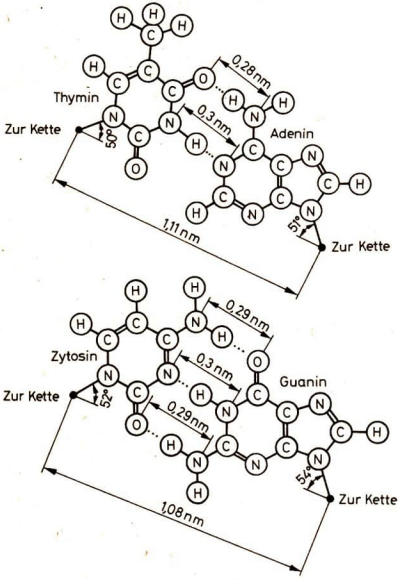


Abb. 101/1
In der DNS-Doppelhelix vorliegende Basenpaare

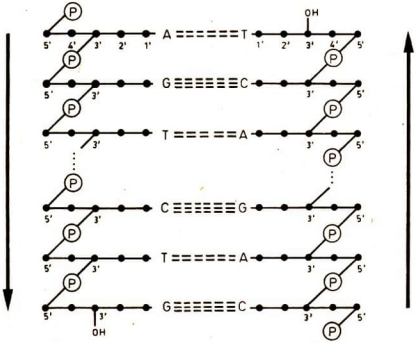


Abb. 101/2 Die beiden Polydesoxyribonukleotidketten einer DNS-Doppelhelix sind mit entgegengesetzter Polarität angeordnet

Die derartig umeinander gewundenen Polydesoxyribonukleotidketten sind durch Wasserstoffbrücken miteinander verbunden, die zwischen den einander zugewandten, im rechten Winkel zur Molekülachse angeordneten Stickstoffbasen ausgebildet werden. Diese Wasserstoffbrücken werden aus verschiedenen Gründen jeweils nur zwischen Adenin (A) und Thymin (T) sowie nur zwischen Guanin (G) und Zytosin (C) ausgebildet (Abb. 101/1). Damit legt die Reihenfolge der Basen – die Basensequenz – in einer Polynukleotidkette zwangsläufig die Sequenz in der anderen Kette fest. Dabei sind beide Ketten im Hinblick auf die Orientierung ihrer 3′-5′-Phosphodiesterbindungen in entgegengesetzter Polarität angeordnet (Abb. 101/2).

Abb. 102/1
Tetranukleotid-Fragment der DNS

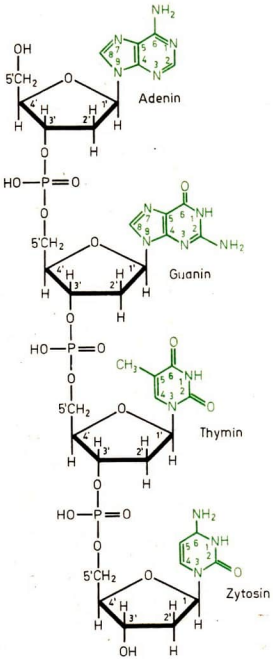
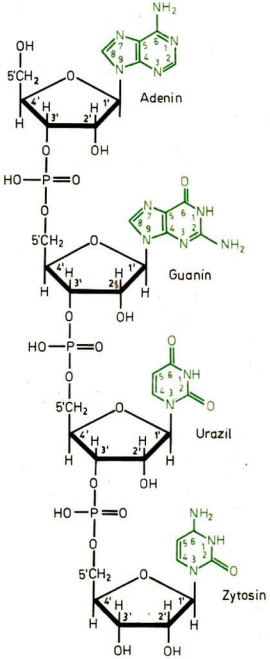


Abb. 102/2
Tetranukleotid-Fragment der RNS



* Die Aufeinanderfolge der Basenpaare ist nicht periodisch. DNS-Moleküle verschiedener Organismen unterscheiden sich sowohl in der Größe, also in der Anzahl der Nukleotid(paar)e, als auch in deren Reihenfolge. Bei Mikroorganismen schwankt der relative Anteil der einzelnen Nukleotid(paar)e sehr stark. Verwandte (Bakterien-) Arten haben DNS-Moleküle mit ähnlicher Basenzusammensetzung; die Darmbakterien *Escherichia coli* und *Salmonella typhimurium* besitzen je 50 % AT- und GC-Paare. Der Mensch und andere Säuger haben etwa 44 % GC- und 56 % AT-Paare. *

Der Bau der Ribonukleinsäure (RNS) ist dem der DNS sehr ähnlich. Die Unterschiede bestehen darin, daß normalerweise nur einkettige RNS-Moleküle vorkommen, die in der Regel aus weniger Nukleotiden bestehen (Transport-RNS 70 bis 80, Influenza-Virus-RNS $2{,}3 \cdot 10^4$ Nukleotide), daß sie anstelle des Thymins (5-Methyl-Urazil) das sehr ähnliche Urazil besitzen (das sich ebenfalls spezifisch mit Adenin paart, Abb. 117/1), und daß sie als Zuckerkomponente Ribose enthalten (Abb. 102/2).

Der Bau der Nukleinsäure ermöglicht es damit, durch Variation der Nukleotid-Sequenz und, da Zucker- und Phosphatgruppen bei allen Nukleotiden identisch sind, praktisch durch Variation der Basensequenz Informationen zu verschlüsseln. Außerdem schafft das Prinzip der Paarung komplementärer Basen die Voraussetzung für die originalgetreue Vermehrung der Nukleinsäure-Moleküle.

Die identische Replikation der DNS

Der Bauplan der DNS-Moleküle legt einen einfachen Replikationsmechanismus nahe: Wegen der spezifischen Basenpaarung zwischen Adenin und Thymin sowie zwischen Guanin und Zytosin sind beide DNS-Einzelstränge einander komplementär, verhalten sich also wie Positiv und Negativ (z. B. einer Fotografie). Wenn beide Stränge voneinander getrennt werden, kann jeder als Matrize (Muster) für die schrittweise Anlagerung eines komplementären neuen Stranges dienen (Abb. 104/1), auf diese Weise entstehen aus der elterlichen Doppelschraube zwei neue, untereinander und mit dem elterlichen Molekül völlig identische Tochter-DNS-Moleküle.

* Tatsächlich gelang es 1958 den Nachweis zu erbringen, daß die DNS von *Escherichia coli* auf diese Weise vermehrt wird: Die DNS der Bakterien wurde mit ^{15}N markiert, wodurch sie schwerer wird und in der Ultrazentrifuge von nicht-markierter DNS abgetrennt werden kann. Werden die ^{15}N-markierten Bakterien anschließend in einem ^{14}N-haltigen Medium gezüchtet, müssen sie zur DNS-Neusynthese ^{14}N-Material verwenden, und man kann „elterliche" und „neu synthetisierte" DNS voneinander unterscheiden. Nach einer Generation, das heißt nach einer Replikationsrunde, besteht die DNS der so behandelten Bakterien zur Hälfte aus ^{15}N-, zur anderen aus nicht-markierter, ^{14}N-haltiger, das heißt neu synthetisierter, DNS. Nach einer weiteren Generation können aus der Bakterien-Population zwei Sorten DNS isoliert werden: DNS, die zur Hälfte aus ^{15}N- und aus ^{14}N-markiertem Material besteht und DNS, die nur mit ^{14}N markiert ist. Diese Befunde weisen tatsächlich darauf hin, daß die DNS nach dem eben beschriebenen Modus vermehrt wird, zumal anschließend mit den verschiedensten biologischen Objekten (z. B. mit viraler, pflanzlicher und auch menschlicher DNS) ganz ähnliche Ergebnisse erhalten werden konnten. *

Bei der Analyse der Vermehrung individueller DNS-Moleküle zeigte sich, daß die Replikation kein vorheriges vollständiges Auseinanderweichen der Einzelstränge vor-

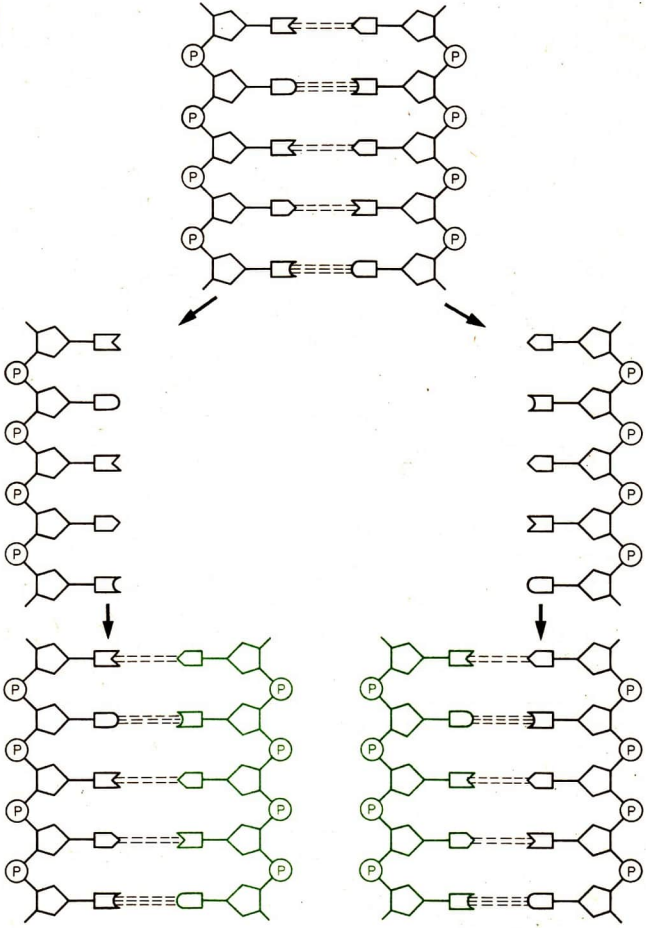


Abb. 104/1 DNS-Replikation: Den elterlichen Strängen (schwarz) werden Tochterstränge (grün) angelagert

aussetzt, sondern daß sie „Y-förmig" verläuft. Das ist zum Beispiel gut in autoradiographischen Darstellungen sich replizierender *Escherichia-coli*-DNS-Moleküle zu erkennen.

Dieser Replikationsmodus erklärt auch, worauf die zum Beispiel in Versuchen mit Radioisotopen nachweisbare „Stabilität" der DNS zurückzuführen ist: Markierte Nukleotide, die einmal in die DNS eingebaut wurden, werden normalerweise mit der entsprechenden Polynukleotidkette von Generation zu Generation weitergegeben, sofern die entsprechenden Moleküle nicht genetischen Austauschprozessen oder Reparaturvorgängen unterliegen.

* Gleichzeitig mit der Aufklärung der DNS-Replikation in vivo erfolgte eine Analyse der DNS-Vermehrung. Die durch das Enzym DNS-Polymerase katalysierte DNS-Synthese erfolgt so (Abb. 105/1), daß jeweils ein Desoxyribonukleotid-5′-Triphosphat an das 3′-Ende der wachsenden Kette anpolymerisiert wird. Dies erfolgt unter Abspaltung von Pyrophosphat. Auf diese Weise werden Polynukleotidketten synthetisiert, die der Muster-DNS völlig komplementär sind. Bei Verwendung geeigneter Muster-DNS (einsträngiger Virus-DNS) gelang es Ende 1967 sogar erstmals, auch in vitro biologisch aktive DNS zu synthetisieren. *

Versuche mit markierten DNS-Bausteinen lassen es sehr wahrscheinlich erscheinen, daß nach dem gleichen Mechanismus auch die chromosomale DNS der Eukaryonten repliziert wird, besonders da ein Teil des chromosomalen Proteins als Polymerase identifiziert werden konnte. Genauere Angaben über die molekularen Mechanismen der Verdoppelung der Chromosomen beziehungsweise Chromatiden liegen aber noch nicht vor, zumal bis heute die Anordnung der DNS in den Chromosomen der Eukaryonten unbekannt ist.

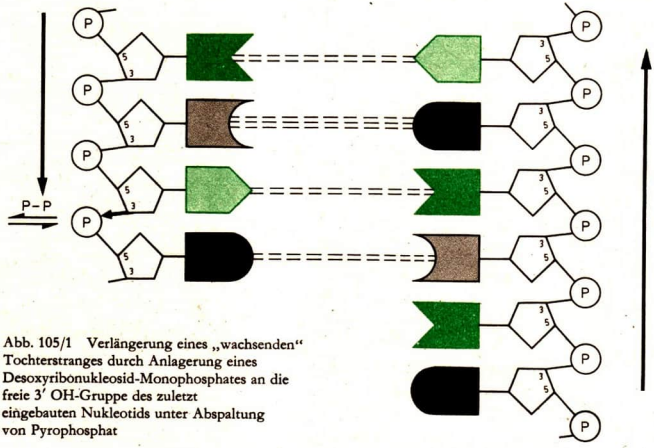


Abb. 105/1 Verlängerung eines „wachsenden" Tochterstranges durch Anlagerung eines Desoxyribonukleosid-Monophosphates an die freie 3′ OH-Gruppe des zuletzt eingebauten Nukleotids unter Abspaltung von Pyrophosphat

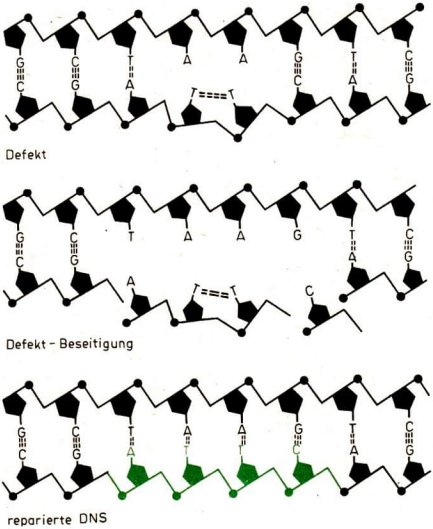


Abb. 106/1 Reparatur von DNS-Schäden. Durch UV-Strahlen miteinander verklebte Thymin-Basen (T = T) werden zusammen mit einigen benachbarten Nukleotiden ausgeschnitten und anschließend durch Reparatur-Synthese ersetzt

Die DNS-Polymerase ist möglicherweise bei Reparaturvorgängen beteiligt, mit deren Hilfe – zumindest in Bakterien, vermutlich aber auch in kernhaltigen Zellen – DNS-Schäden ausgebessert werden (Abb. 106/1). Dabei werden aus den DNS-Molekülen schadhafte Nukleotid-Sequenzen enzymatisch herausgeschnitten und gleichzeitig in einem Reparatur-Synthese-Prozeß wieder ersetzt, wobei der gegenüberliegende unversehrte DNS-Strang als Matrize dient. Unter günstigen Bedingungen können damit in *Escherichia coli* mehr als 99,99 % aller UV-Schäden repariert werden! Dies erklärt vielleicht, warum sich im Verlauf der Evolution die doppelkettige, derartige Reparaturvorgänge erlaubende DNS gegenüber einsträngiger DNS und RNS als stabiler genetischer Informationsträger durchgesetzt hat.

Auch die Synthese der RNS erfolgt nach den Regeln der komplementären Basenpaarung und unter Verwendung von Ribonukleotid-5′-Triphosphaten, aber unter Beteiligung anderer Enzyme. In Normalzellen, die nicht mit RNS-haltigen Viren infiziert sind, erfolgt die Synthese aller zellulären RNS vermittels der RNS-Polymerase („Transkriptase“) an einer DNS-Matrize (Abb. 117/1). Dieser Prozeß dient zur Abgabe der in der DNS verschlüsselten Informationen (↗ S. 116 f.).

Die Rolle der DNS bei der Merkmalsausbildung

Transformation. Der erste direkte Beweis für die Rolle der DNS als genetischer Informationsüberträger wurde 1944 mit der Aufklärung des Mechanismus der Transformation erbracht.

Die Erscheinung der Transformation war schon 1928 entdeckt worden. Mäusen waren lebende kapsellose (und deshalb nicht krankmachende) Pneumokokken zusam-

Abb. 107/1 Schematische Darstellung des Versuches, durch den die Transformation entdeckt wurde

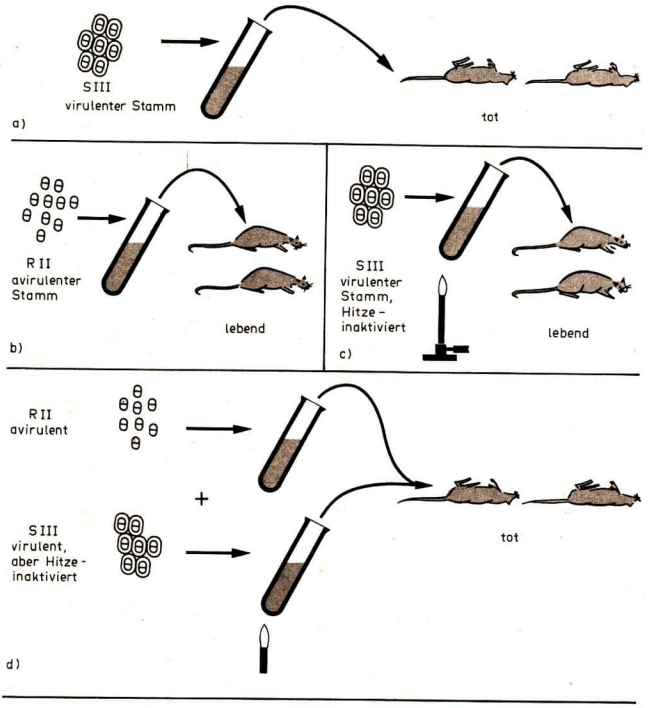
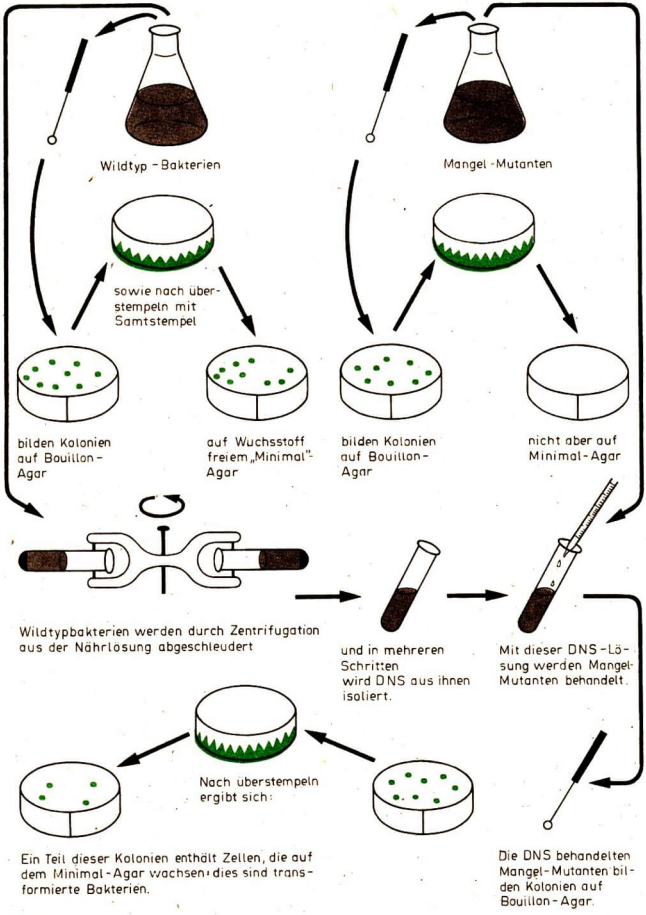


Abb. 108/1 Identifizierung des transformatorischen Prinzips als DNS



men mit hitze-getöteten bekapselten (krankmachenden) Pneumokokken injiziert worden (Abb. 107/1). Die Folge war eine Erkrankung der Tiere, aus denen dann lebende bekapselte Pneumokokken isoliert werden konnten.

Durch die Entwicklung geeigneter Systeme konnte dieses Phänomen geklärt werden: Man kann „Empfänger"bakterien, die „genetisch markiert" sind, die also beispielsweise Mangelmutanten darstellen, mit Extrakten aus „Spender"bakterien der gleichen Art behandeln und ihnen dadurch genetische Eigenschaften der Spenderbakterien übertragen. Diese Eigenschaften werden dann sowohl von den transformierten Zellen der Empfängerbakterien als auch von deren Nachkommen ausgebildet. Bei der Transformation handelt es sich also um die Übertragung von Erbanlagen durch Zellextrakte und um den Einbau dieser übertragenen genetischen Informationen in das Erbmaterial der Empfängerbakterien (Abb. 108/1).

Eine Fraktionierung der zur Transformation geeigneten Bakterienextrakte und eine biochemische Analyse der einzelnen Fraktionen ergibt eindeutig, daß die in den Extrakten vorhandene DNS wirklich die entscheidende Komponente für die Übertragung der genetischen Informationen sein muß: Behandlung der Extrakte mit dem DNS-spaltenden Enzym Desoxyribonuklease (DNase) oder mit anderen DNS-schädigenden Verfahren zerstört ihre Transformationsaktivität, während eine Einwirkung des RNS-spaltenden Enzyms Ribonuklease (RNase) oder Proteine abbauender Enzyme ohne Einfluß bleibt. Zudem gelingt es, erfolgreich transformierte Zellen selbst wieder als Spender zu verwenden und mit der aus ihnen isolierten DNS weitere Empfängerbakterien zu transformieren. Versuche mit radioaktiv markiertem Material, zum Beispiel mit ^{3}H- (Tritium-) markierter DNS, ergaben eindeutig, daß die Spender-DNS von den Empfängerbakterien aufgenommen und in ihre eigene DNS, das heißt in ihr Kernäquivalent, eingebaut wird.

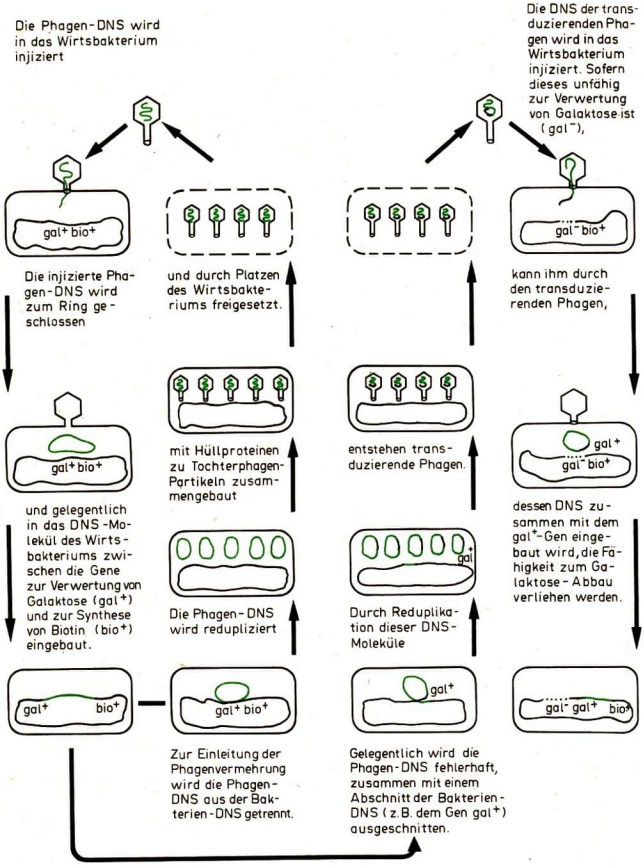
Die Transformation ist nicht nur ein Laborphänomen, sondern erfolgt auch unter natürlichen Bedingungen, mittels von Spenderbakterien ausgeschiedener DNS. Offenbar ist die Transformation der primitivste Mechanismus zur Übertragung genetischen Materials.

Die Transformation kann zur Übertragung aller nachweisbaren genetischen Informationen der Bakterien verwendet werden. Allerdings konnten bisher nur einige Bakterienarten erfolgreich transformiert werden: *Bacillus subtilis* (Heubazillus), Pneumokokken, Streptokokken, Influenzabakterien und einige wenige mehr. Bei anderen Bakterienarten gelingen Transformationsversuche nicht, weil deren Zellwand für DNS undurchlässig ist.

Bis heute ist unklar, ob auch kernhaltige Zellen transformiert werden können. Offensichtlich ist dies zumindest bei bestimmten Pilzen möglich. Eine Transformation menschlicher Zellen könnte große praktische Bedeutung für die Therapie von Erbkrankheiten gewinnen (↗ S. 113 ff.).

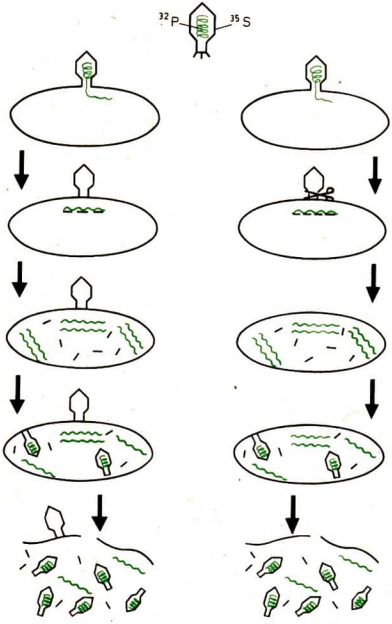
* Neben der Transformation gibt es weitere Mechanismen, vermittels derer Bakterien genetisches Material austauschen können. Dies geschieht bei der bakteriellen Konjugation durch direkten Kontakt von Spenderbakterien mit Empfängerzellen, bei der Transduktion (Abb. 110/1) durch Übertragung bakterieller Gene mit Hilfe geeigneter Bakteriophagen oder zytoplasmatischer „Faktoren". Durch eine spezifische radioaktive Markierung der Spenderzellen kann der Nachweis geführt werden, daß es sich dabei in jedem Falle um die Übertragung von DNS der Spenderbakterien handelt. *

Abb. 110/1 Entstehung und Wirkungsweise transduzierender Bakteriophagen



Vermehrung von DNS-Viren. Ein weiterer direkter Beweis für die Rolle der DNS als genetisches Material wurde 1952 durch die Analyse der Vermehrung von *Coli*-Phagen des Typs T 2 erbracht. Diese Bakteriophagen besitzen wie alle anderen Viren eine mehr oder weniger kompliziert zusammengesetzte Proteinhülle (Abb. 112/1), die ein DNS-Molekül einschließt. Durch unterschiedliche Markierung der DNS (mit ^{32}P) und des Proteins (mit ^{35}S) dieser Phagen gelang der Nachweis, daß bei der Phagen-Infektion allein die ^{32}P-markierte DNS in das Wirtsbakterium gelangt und dort die Produktion mehrerer hundert Phagen-Nachkommen steuert (Abb. 111/1). Demnach sind allein in der Phagen-DNS die genetischen Informationen verschlüsselt, nach denen das Wirtsbakterium die komplizierten Proteinhüllen für Hunderte Tochter-Phagen synthetisiert (Abb. 115/1) und jeweils wieder mit je einem DNS-Molekül ausstattet.

Abb. 111/1 Schema der Vermehrung des Bakteriophagen T 2 unter Kontrolle der Phagen-DNS



DNS und Proteinhülle des Phagen T 2 werden mit ^{32}P bzw. ^{35}S markiert

Nach der Adsorption an Wirtsbakterien injizieren die Phagen ihre ^{32}P-markierte DNS

Im Wirtsbakterium veranlaßt die Phagen-DNS (grün) die Synthese phagenspezifischer Proteine (schwarz), auch wenn die Phagen-Proteinhülle abgetrennt wurde

Unter Beteiligung bestimmter phagenspezifischer Proteine erfolgt eine Replikation der Phagen-DNS

Einzelne Phagen-DNS-Moleküle werden zusammen mit neugebildeten Hülleiweißen zu fertigen Tochterphagen zusammengebaut

Schließlich platzen die Wirtsbakterien und setzen – neben unfertigen Phagenbestandteilen – Hunderte von Tochterphagen frei

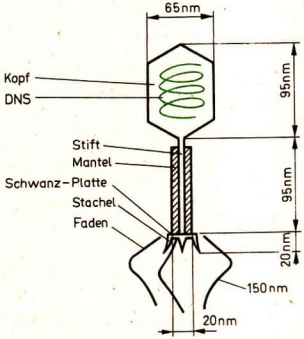


Abb. 112/1 Struktur des Bakteriophagen T 2

Inzwischen weiß man, daß gerade diese Phagen zu den Viren gehören, die am kompliziertesten gebaut sind, und daß für ihre Vermehrung etwa hundert Gene notwendig sind. Alle diese Gene sind in dem einen DNS-Molekül jeder T2-Partikel verschlüsselt!

Zum gleichen Ergebnis kam man später bei entsprechenden Untersuchungen an anderen DNS-haltigen Phagen sowie an DNS-haltigen tierischen Viren, zum Beispiel an *Polyoma*-Viren und anderen.

6 7 8 9 10 11 12 13

Mit Hilfe verschiedener Methoden wurden die Nukleinsäuren DNS und RNS als stoffliche Grundlagen der genetischen Information erkannt. Direkte Beweise entstammen Versuchen mit Mikroorganismen, die für genetische Experimente besonders geeignet sind.

Am Aufbau der DNS sind Zucker, Stickstoffbasen und Phosphat(phosphorsäure)gruppen beteiligt. Sie bilden Polynukleotide, von denen jeweils 2 schraubenförmig umeinander gewunden ein DNS-Molekül bilden (Doppel-Helix-Struktur). Die beiden Polynukleotidketten werden durch Wasserstoffbrücken zwischen jeweils 2 bestimmten (komplementären) Basen verbunden. Das Prinzip der Paarung komplementärer Basen ermöglicht die identische Replikation. Durch Variation der Basensequenz ist die Möglichkeit zur Verschlüsselung von Informationen gegeben.

Die Rolle der DNS bei der Merkmalsausbildung wurde durch die Übertragung von Erbanlagen (Transformation) von Spenderbakterien auf Empfängerbakterien mittels DNS sowie die Vermehrung von mit DNS-Viren infizierten Bakterien nachgewiesen.

Die Funktion des genetischen Materials

Enzyme als Genprodukte

Schon seit der Jahrhundertwende ist bei Menschen eine klinisch harmlose erbliche Stoffwechselstörung bekannt, die Alkaptonurie. Der vom Betroffenen ausgeschiedene Urin färbt sich an der Luft dunkel, da in ihm die Substanz Homogentisinsäure („Alkapton") enthalten ist, deren Oxydation für die Färbung des Harns verantwortlich ist. Menschen mit Alkaptonurie fehlt das Enzym „Homogentisinsäure-Oxydase", das im normalen Organismus den Abbau der Homogentisinsäure zu Kohlendioxid und Wasser steuert (Abb. 114/1). Hier hängt also die Ausprägung eines Erbmerkmals (Nichtfärbung oder Färbung des Urins) von der Gegenwart oder Abwesenheit eines Enzyms ab.

Das gleiche gilt für eine andere erbliche Stoffwechselstörung, die auch den Abbau von Aminosäuren und ihrer Derivate betrifft, die aber klinisch ungleich wichtiger ist als die Alkaptonurie. Homogentisinsäure wird aus Tyrosin gebildet und dieses, soweit es nicht mit der Nahrung zugeführt wird oder aus dem Protein-Abbau herrührt, aus Phenylalanin. Bei Personen, die an der sogenannten Phenylketonurie erkrankt sind, fehlt die für die normale Umwandlung von Phenylalanin in Tyrosin notwendige Phenylalanin-Hydroxylase, und das führt dazu, daß das Phenylalanin statt dessen zur entsprechenden α-Ketosäure (Phenylbrenztraubensäure) abgebaut wird (Abb. 114/1). Phenylbrenztraubensäure und ihre weiteren Abbauprodukte sind giftig, vor allem für das sich entwickelnde Gehirn, und verursachen deshalb den auch von körperlichen Schäden begleiteten „Phenylbrenztraubensäure-Schwachsinn", die „Phenylketonurie".

Da auch Phenylbrenztraubensäure und deren Abbauprodukte vom Erkrankten im Urin ausgeschieden werden, ist es möglich, den Defekt schon bei Neugeborenen festzustellen. Diese Untersuchungen werden seit 1967 in der DDR routinemäßig durchgeführt. Im Mittel kann je 10000 Geburten ein phenylketonurisches Kind erkannt werden; bei einer Geburtenziffer von etwa 300000 jährlich ist in der DDR demnach mit etwa 30 neugeborenen phenylketonuriekranken Kindern je Jahr zu rechnen. Diese Kinder werden mit einer phenylalaninarmen Diät aufgezogen, wodurch das Auftreten der Symptome der Phenylketonurie weitgehend verhindert werden kann.

Ein weiteres Abbauprodukt des Tyrosins ist das für die Pigmentierung verantwortliche Melanin. Fehlt eines der Enzyme, welche die Melanin-Synthese katalysieren, so führt das zu Albinismus.

* Auf ähnliche Weise entstehen die Farbvarietäten einiger Blütenpflanzen: Genetisch bedingte Ausfälle in der Synthesekette der Farbstoffe verursachen eine vom Normaltyp abweichende Färbung der Kronblätter. Durch biochemische Untersuchungen solcher Farbmutanten werden gegenwärtig die Reaktionsketten analysiert, die zur Ausbildung der Blütenfarbstoffe führen. *

Es wird somit deutlich, daß die Merkmale nicht direkt von den Erbanlagen gebildet werden, sondern daß in der Regel enzymgesteuerte Syntheseketten zur Ausbildung der Merkmale führen. Dabei ergaben vor allem an Mikroorganismen durchgeführte gene-

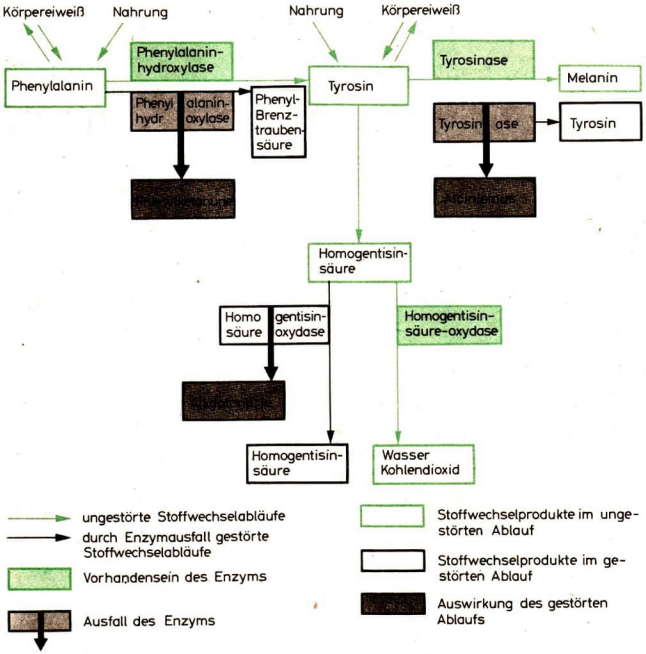


Abb. 114/1 Ist der normale Abbau von Phenylalanin und Tyrosin durch genetisch bedingten Ausfall der verantwortlichen Enzyme gestört, so kommt es zu „angeborenen Stoffwechselstörungen"

tische Versuche, daß ganz offenbar jeweils ein Enzym unter Kontrolle eines Gens gebildet wird.

Auf Grund der vor allem an Mikroorganismen aufgeklärten Beziehungen war es schon Anfang der vierziger Jahre möglich, die seitdem vielfach bestätigte Ein-Gen/Ein-Enzym-Hypothese oder – wie sie jetzt vielfach bezeichnet wird – Ein-Gen/Ein-Polypeptid-Hypothese aufzustellen.

Besonders gut läßt sich diese Hypothese bei der Analyse der Virusvermehrung demonstrieren: So veranlaßt die in die Bakterienzelle eingedrungene DNS des Phagen T4 die Synthese einer ganzen Reihe von Enzymen, welche teils für die Replikation der Phagen-DNS, teils für eine gleichzeitige Stillegung des Stoffwechsels der Wirtszelle benötigt werden. Außerdem steuert die Phagen-DNS die Synthese von ver-

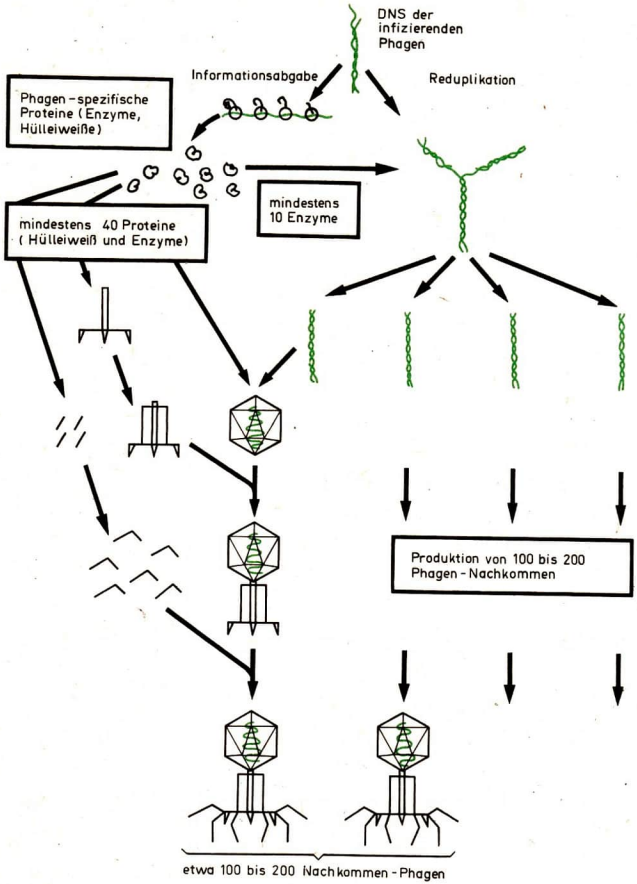


Abb. 115/1 Vermehrung eines Bakteriophagen vom Typ T 2. Die injizierte Phagen-DNS veranlaßt zunächst die Produktion phagen-spezifischer Proteine (Enzyme und Hülleiweiße). Die Enzyme veranlassen die Replikation der Phagen-DNS und den Zusammenbau von Phagen-DNS und Hüllproteinen

schiedenartigen Hülleiweißen, die für den Aufbau der – in diesem Fall höchst komplex zusammengesetzten – Viren notwendig sind (Abb. 115/1).

Trotz der Verschiedenartigkeit der Merkmale eines Organismus erscheinen also die unmittelbaren Genprodukte ziemlich gleichförmig; sie sind sämtlich zu Polypeptidketten verknüpfte Folgen von Aminosäuren. Wenn diese Genprodukte trotzdem unterschiedliche Funktionen haben, wenn sie entweder als Strukturprotein formbestimmend wirken oder als Enzym biochemische Reaktionen katalysieren, und wenn die einzelnen Enzyme höchst unterschiedliche Stoffumsetzungen katalysieren, dann ist das darauf zurückzuführen, daß die Aminosäuren in den einzelnen Genprodukten in jeweils unterschiedlicher Anzahl und in unterschiedlicher Reihenfolge verknüpft sind. So kann man ja auch mit einer verschiedenen Anordnung der 26 Lettern unserer Sprache Schulbuchtexte oder Abenteuerromane drucken. Beispielsweise lassen sich bereits mit den fünf Buchstaben E, E, G, N und R vier Worte mit sehr verschiedener Bedeutung, „GERNE", „NEGER", „ENGER" und „REGEN" bilden.

Die Gen-gesteuerte Protein-Synthese

Zur Synthese der Genprodukte ist ein hochkomplizierter Apparat erforderlich, der gewährleistet,

1. daß die genetischen Informationen bei der Informationsabgabe nicht verbraucht werden,
2. daß die erforderliche Spezifität bei der Informationsabgabe erhalten bleibt (da schon die Veränderung einer einzigen Aminosäure in einem Genprodukt dessen biologische Wirksamkeit völlig aufheben kann) und
3. daß die Informationsabgabe auch kontrolliert und reguliert werden kann.

Untersuchungen (vor allem an Phagen und Bakterien) haben zu dem Ergebnis geführt, daß die Gene nicht direkt in die Synthese der von ihnen festgelegten Proteine eingreifen, sondern daß dies in einem Zwei-Stufen-Prozeß erfolgt. In der ersten Stufe – Transkription oder Umschreibung genannt – werden an der DNS, die als Matrize dient, RNS-Moleküle synthetisiert, die eine Basensequenz haben, die der Sequenz eines der beiden DNS-Stränge komplementär ist (Abb. 117/1). Diese von der DNS bestimmte RNS-Synthese wird von dem Enzym RNS-Polymerase katalysiert.

Bei der Transkription wird die in der DNS verankerte genetische Information ohne eine Änderung des Informationsgehaltes in RNS umgeschrieben (denn die Basensequenz bleibt dieselbe, wobei lediglich Thymin durch Urazil ersetzt ist). Diese Umschreibung wäre im Alltagsleben etwa der Übertragung eines handgeschriebenen Textes in einen maschinengeschriebenen Text vergleichbar.

Die im Transkriptionsprozeß synthetisierte RNS dient dann als eigentliche Matrize für die Synthese der Genprodukte und als Überträger der genetischen Informationen von der DNS zu den Protein-Synthese-Zentren der Zelle an den Ribosomen. Sie wird deshalb Boten- beziehungsweise Botschafter-RNS („Messenger-RNS") genannt. An diese lagern sich nun die Ribosomen an. Die Ribosomen verknüpfen automatisch vorgefertigte Bauteile, die Aminosäuren, in spezifischer Reihenfolge, die bestimmt wird von den in den Boten-RNS verschlüsselten Informationen.

Bei diesem Prozeß, an dem eine ganze Reihe von Proteinen beteiligt ist, wandern die Ribosomen die Boten-RNS entlang und übersetzen die in der Boten-RNS ver-

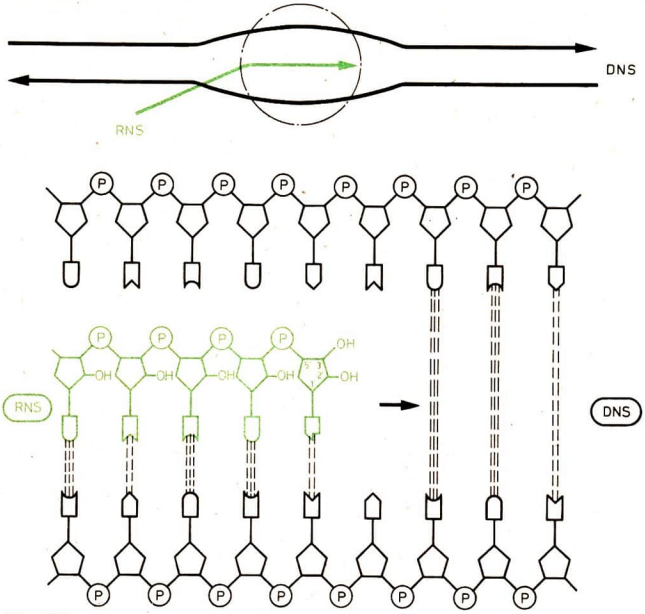


Abb. 117/1
RNS-Synthese an einem Strang einer DNS-Matrize: Transkription

schlüsselten Informationen in Aminosäuresequenzen. Deshalb bezeichnet man diese zweite Etappe der Protein-Synthese auch als Translation (Übersetzung). Die Effektivität der Translation wird dadurch erhöht, daß die Boten-RNS von mehreren Ribosomen nacheinander abgelesen wird, so daß sich sogenannte Poly(ribo)somen bilden, Komplexe aus mehreren Ribosomen, die jeweils durch ein Boten-RNS-Molekül zusammengehalten werden. Allerdings besitzen die Ribosomen selbst keine Vorrichtungen zum Erkennen der in der Boten-RNS enthaltenen Informationen. Vielmehr bedienen sie sich beim Übersetzungsprozeß einzelner Moleküle einer weiteren RNS-Sorte, der Transport-RNS (Abb. 118/1). Diese verdankt ihren Namen der Tatsache, daß durch sie die einzelnen (zuvor durch enzymatische Reaktionen mit dem energiereichen ATP aktivierten) Aminosäuren zu dem Boten-RNS-Ribosomen-Komplex transportiert werden. Dabei besteht eine sehr strenge Spezifität: jede Aminosäure hat ihren zugehörigen Träger, leuzinspezifische Transport-RNS überträgt nur Leuzin, Serin wird nur von serinspezifischer Transport-RNS übertragen und so weiter.

Die Transport-RNS vermag nun gleichzeitig spezifische Zeichen in der Boten-RNS zu erkennen. Dies beruht einfach wieder auf dem Prinzip der komplementären

Basenpaarung: Ein Abschnitt der Boten-RNS, und zwar eine Folge von drei aufeinanderfolgenden Nukleotiden beziehungsweise Basen, stellt das verschlüsselte Signal (↗ S. 120) für den Einbau einer Aminosäure dar. Da damit der Einbau einer Aminosäure, eines Eiweißbausteins, kodiert wird, bezeichnet man einen derartigen Abschnitt als ein Kodon (Plural: die Kodons). Beispielsweise veranlaßt ein aus drei Urazil-Basen bestehendes Kodon den Einbau der Aminosäure Phenylalanin. Diese Aminosäure wird nun deshalb tatsächlich am richtigen Ort in die wachsende Polypeptidkette eingebaut, weil die phenylalaninspezifische Transport-RNS das dem Kodon entsprechende, das heißt komplementäre, „Antikodon" enthält, das aus drei Adeninbasen besteht. So wird nun unter Kontrolle der einzelnen Kodons der Boten-RNS eine beladene Transport-RNS nach der anderen an die einzelnen Ribosomen des Poly-(ribo)soms geführt und dort wieder entladen, während gleichzeitig die Aminosäuren durch Peptidbindung verknüpft werden. Dadurch wird die wachsende Polypeptidkette entsprechend den in der Boten-RNS verschlüsselten genetischen Informationen Glied um Glied verlängert (Abb. 118/1), bis ein spezifisches Genprodukt, das heißt, eine in bestimmter Weise zusammengesetzte Polypeptidkette entstanden ist.

* Diese Polypeptidkette (Primärstruktur) wird – beginnend schon während der Synthese – in spezifischer Weise gefaltet. Dazu wird die Kette streckenweise schraubig aufgewunden (Sekundärstruktur) und dann zu einer „Tertiärstruktur" gefaltet. Das geschieht ohne zusätzliche genetische Informationen. Dabei sind „strukturbestimmende" Aminosäuren oder bestimmte Aminosäuresequenzen von Bedeutung. Viele globuläre Proteine sind sogar aus mehreren Polypeptidketten zusammengesetzt („Quartärstruktur"). So besteht das Hämoglobin aus je zwei α- und β-Polypeptidketten (Abb. 119/1). *

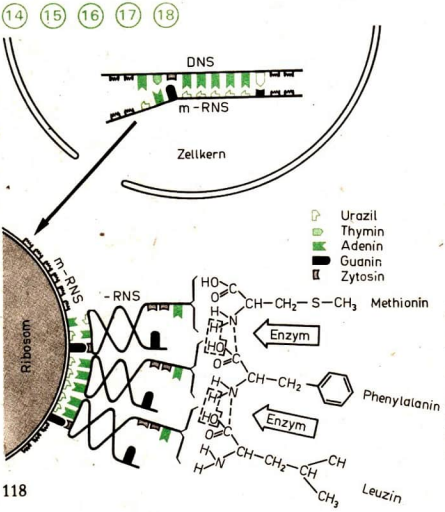


Abb. 118/1
Schematische Darstellung des Mechanismus der Proteinsynthese: Die in die Boten-RNS (m-RNS) transkribierte genetische Information wird an den Ribosomen vermittels der t-RNS in Aminosäure-Sequenzen übersetzt

Abb. 119/1
Quartärstruktur des Hämoglobins

Der Aminosäure-Kode. Eine der großartigsten Leistungen menschlichen Forschergeistes war die in dem verhältnismäßig kurzen Zeitraum von 1961 bis 1966 erfolgende vollständige Aufklärung des genetischen Kodes, die genaue Analyse sämtlicher zur Verschlüsselung genetischer Informationen verwendeter Kodons.

* Tatsächlich war dieses Ergebnis ursprünglich erst sehr viel später erwartet worden, hatte man doch angenommen, die Aufklärung des genetischen Kodes nur durch vergleichende Analysen der Aminosäuresequenzen von Genprodukten und der Basensequenz der entsprechenden Gene vornehmen zu können. Das ist bei Proteinen heute prinzipiell möglich, erfordert allerdings so hohen Aufwand, daß bisher erst die Primärstruktur von einigen Proteinen aufgeklärt werden konnte. Eine Sequenzanalyse der Nukleinsäuren ist dagegen ungleich schwieriger, vor allem deshalb, weil im Gegensatz zu den aus 20 verschiedenen Aminosäuren aufgebauten Polypeptidketten zum Aufbau der Polynukleotide nur vier verschiedene Bausteine verwendet werden. Deshalb war es bisher nur möglich, die Struktur einiger Transport-RNS-Moleküle aufzuklären, die nur aus 70 bis 80 Nukleotiden bestehen und die zudem eine große Anzahl chemisch geringfügig modifizierter Basen („Seltene Basen") besitzen, was die Sequenzanalyse sehr erleichtert. Trotzdem war für die Aufklärung der Primärstruktur der alanin-spezifischen Transport-RNS die siebenjährige Arbeit einer Gruppe von mehreren Forschern notwendig. *

Der entscheidende Schritt für die relativ rasche Aufklärung des Aminosäure-Kodes war der 1961 erhaltene Befund, daß man mit geeigneten zellfreien Extrakten aus Bakterien, pflanzlichen oder tierischen Zellen eine in vitro-Translation durchführen kann: Nach Zusatz von Boten-RNS werden in diesen zellfreien Extrakten entsprechend zusammengesetzte Polypeptide synthetisiert. Dabei kann man entweder aus Zellen isolierte „natürliche" Boten-RNS oder Virus-RNS oder auch synthetische Polynukleotide (die aus Nukleotiden einer oder mehrerer Sorten bestehen, die zufällig oder willkürlich angeordnet sind) verwenden. Polypeptide, die unter Kontrolle natürlicher Boten-RNS synthetisiert werden, können den in vivo hergestellten Proteinen völlig identisch sein: eine in vitro-Synthese biologisch aktiver Proteine ist also prinzipiell möglich (nicht zu verwechseln mit der chemischen Protein-Synthese, etwa des Insulins, die nicht unter Verwendung von Boten-RNS oder analogen Matrizen erfolgt).

Gleichzeitig gelang die experimentelle Bestätigung der zunächst rein rechnerisch aufgestellten Hypothese, daß die Kodons aus drei Basen beziehungsweise Nukleotiden bestehen dürfen: Mit Zweiergruppen der vier zur Verfügung stehenden Basen gibt es

nur $4^2 = 16$ mögliche Variationen, während mindestens 20 Kodons dafür notwendig sind, um jeder der 20 bei der Protein-Synthese verwendeten Aminosäuren ein Kodon zuzuordnen. Tatsächlich existiert ein Triplett-Kode: Jedes Kodon besteht aus drei Basen (↗ Tabelle).

Die zwanzig Aminosäuren

Ala	Alanin	GlN	Glutamin	Leu	Leuzin	Ser	Serin
Arg	Arginin	Glu	Glutaminsäure	Lys	Lysin	Thr	Threonin
AsN	Asparagin	Gly	Glyzin	Met	Methionin	Try	Tryptophan
Asp	Asparagin-säure	His	Histidin	Phe	Phenylalanin	Tyr	Tyrosin
Cys	Zystein	Ile	Isoleuzin	Pro	Prolin	Val	Valin

Der Aminosäure-Kode

		Zweites Nukleotid				
		Urazil	Zytosin	Adenin	Guanin	
Erstes Nukleotid	U	UUU Phe	UCU Ser	UAU Tyr	UGU Cys	U
		UUC Phe	UCC Ser	UAC Tyr	UGC Cys	C
		UUA Leu	UCA Ser	UAA Punkt	UGA Punkt	A
		UUG Leu	UCG Ser	UAG Punkt	UGG Try	G
	C	CUU Leu	CCU Pro	CAU His	CGU Arg	U
		CUC Leu	CCC Pro	CAC His	CGC Arg	C
		CUA Leu	CCA Pro	CAA GlN	CGA Arg	A
		CUG Leu	CCG Pro	CAG GlN	CGG Arg	G
	A	AUU Ile	ACU Thr	AAU AsN	AGU Ser	U
		AUC Ile	ACC Thr	AAC AsN	AGC Ser	C
		AUA Ile	ACA Thr	AAA Lys	AGA Arg	A
		AUG Met	ACG Thr	AAG Lys	AGG Arg	G
	G	GUU Val	GCU Ala	GAU Asp	GGU Gly	U
		GUC Val	GCC Ala	GAC Asp	GGC Gly	C
		GUA Val	GCA Ala	GAA Glu	GGA Gly	A
		GUG Val	GCG Ala	GAG Glu	GGG Gly	G

Drittes Nukleotid

Die Angaben beziehen sich auf die in der Boten-RNS enthaltenen Kodons. In der DNS enthalten die entsprechenden Kodons Thymin anstelle von Urazil.

Bei Verwendung von je drei von vier möglichen Basen gibt es $4^3 = 64$ Tripletts. Davon sind 61 für die Kodierung jeweils einer Aminosäure festgelegt, so daß die meisten Aminosäuren durch mehrere verschiedene Kodons determiniert werden. Diese sind dann aber immer eng verwandt, das heißt recht ähnlich zusammengesetzt: Der genetische Kode ist, in der Sprache der Informationstheoretiker, hochgradig degeneriert. (Wäre der Kode „nicht degeneriert", dann dürfte jede Aminosäure nur durch ein Triplett kodiert werden.) Die drei „sinnlosen" Tripletts UAG, UAA und UGA

sind „Stopp-Kodons" (= Polypeptidketten-Abbruchs-Kodons), sie stehen am Ende eines Gens und signalisieren: „Stopp der Translation". Das voranstehende Kodon determiniert dann die letzte in das entsprechende Polypeptid eingebaute Aminosäure. Dabei ist das Triplett UAA das „natürliche" Stopp-Kodon, während die beiden anderen nur durch Mutationen (↗ S. 124) entstehen.

Analog den Stopp-Kodons gibt es auch bestimmte „Start-Tripletts", durch die signalsiert wird: „Beginn der Translation". Eines dieser Start-Kodons ist das Methionin-Kodon AUG.

Die zwischen einem Start- und einem Stopp-Kodon gelegene genetische, in Boten-RNS übersetzte Information wird völlig kommafrei Kodon für Kodon „gelesen", das heißt durch Paarung mit dem jeweils komplementären Antikodon einer bestimmten Transport-RNS abgetastet, wobei keine Überlappungen auftreten: Jede Base ist an jeweils nur einem Kodon beteiligt (Abb. 121/1).

Vergleichende Untersuchungen mit zellfreien Extrakten, Protein-Sequenz-Analysen sowie weitere Experimente ergaben, daß der Aminosäure-Kode mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit „universell" ist, daß also seine Regeln für Bakterien und Viren genau so gelten wie für Blütenpflanzen und Menschen. Das ist ein eindrucksvoller Beweis für die materielle Einheit der Lebewesen. So lassen sich alle in abnormen menschlichen Hämoglobinen beobachteten Aminosäureaustausche mit entsprechenden Kodon-Veränderungen erklären.

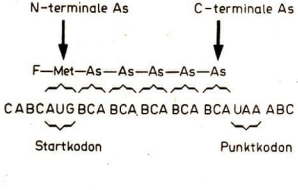


Abb. 121/1
Schema einer genetischen Information (m-RNS) und ihres Translationsproduktes

Regulation der Synthese von Genprodukten

* Zusätzlich sind im genetischen Material Informationen verschlüsselt, mit deren Hilfe die Abgabe der genetischen Informationen entsprechend den Bedürfnissen der Zelle beziehungsweise des Organismus reguliert wird: Ein *Escherichia coli*-Bakterium besitzt etwa 1000 Gene, von denen ein Großteil die Synthese von Aminosäuren, Vitaminen, Nukleinsäurebausteinen und anderen „Wuchsstoffen" kontrolliert. So sind allein für die Synthese der Aminosäure Histidin neun Gene notwendig. Histidin und andere Wuchsstoffe findet *Escherichia coli* in seinem natürlichen Lebensraum in der Regel in ausreichender Menge, so daß es in unseren Augen höchst unökonomisch wäre, mit Hilfe von neun Genprodukten Histidin zusätzlich selbst zu produzieren. Andererseits sollten die Bakterien „störfrei" und in der Lage sein, bei Stopp der Histidinzufuhr von außen sofort selbst wieder diese Aminosäure zu produzieren.

Tatsächlich laufen die genetischen Informationen in einem höchst ökonomisch regulierten System ab. Bei Bakterien konnten einige der dafür verantwortlichen Mecha-

nismen bereits aufgeklärt werden: Histidin und andere Wuchsstoffe werden nur dann synthetisiert, wenn sie nicht im Nährmedium angeboten werden. Nach Zusatz dieser Substanzen zum Medium wird die Synthese der für ihre Produktion notwendigen Enzyme sofort eingestellt. Andererseits werden Enzyme, die zum Abbau von Zukkern und anderen Kohlenstoff- und Energiequellen notwendig sind, nur dann gebildet, wenn der betreffende Nährstoff tatsächlich im Medium vorhanden ist: Die Gegenwart bestimmter Substanzen im Nährmedium entscheidet also darüber, ob bestimmte Enzyme synthetisiert werden (die man deshalb als induzierbare Enzyme bezeichnet) oder ob die Synthese anderer, reprimierbarer Enzyme eingestellt wird.

Ähnliche und andere – zum Beispiel auf die Translation einwirkende – Regulationen erfolgen auch in kernhaltigen Zellen. Diese Regulationsmechanismen spielen auch bei der Individualentwicklung von der befruchteten Eizelle zum ausdifferenzierten Organismus eine hervorragende Rolle, indem jeweils zu den entsprechenden Entwicklungsstadien bestimmte genetische Informationen abgegeben und andere blockiert werden (↗ S. 82).

19 20 21 22

An der Ausprägung der Merkmale eines Organismus sind in der Regel zahlreiche Enzyme und andere Proteine beteiligt, wobei jedes einzelne Polypeptid jeweils von einem bestimmten Gen festgelegt wird: Ein Gen – ein Polypeptid – Hypothese.

Gene sind Abschnitte von DNS-Molekülen, die die Synthese spezifischer Polypeptide steuern.

Die Synthese der Genprodukte verläuft in 2 Stufen, der Transkription, in der komplementäre Boten-RNS gebildet wird, und der Translation, in der die von der Boten-RNS gesteuerte Proteinsynthese mit Hilfe von Transport-RNS an den Ribosomen vollzogen wird.

Genprodukte sind aus Aminosäuren zusammengesetzte Polypeptidketten. Die unterschiedliche Anzahl und Reihenfolge der Aminosäuren wird dabei durch sogenannte Kodons festgelegt; wobei jeder Kodon aus drei aufeinanderfolgenden Nukleotiden beziehungsweise Basen besteht: Triplett-Kode. Der genetische Kode ist nicht überlappend und wird ohne Komma gelesen. Start- und Stopp-Kodons bezeichnen Anfang und Ende jeder Aminosäurefolge.

Die Gültigkeit der Mendelschen Gesetze auf molekularer Ebene

Auf der Grundlage der Mendelschen Gesetze konnte erstmalig auf die Existenz von Genen geschlossen werden.

Die Mendelschen Gesetze sind statistische Gesetze; sie ermöglichen Aussagen über die Verteilung der Erbanlagen bei der Kreuzung diploider Pflanzen und Tiere.

Sie besagen,

1. daß bei Kreuzung reinerbiger (homozygoter) Individuen die Bastarde in der F_1-Generation untereinander gleich sind;
2. daß bei Kreuzung von F_1-Bastarden, die in einem Merkmalspaar mischerbig (heterozygot) sind, die Bastarde in der F_1-Generation genotypisch im Verhältnis 1:2:1 aufspalten;
3. daß einzelne Merkmalspaare unabhängig von einander vererbt werden. (Allerdings gilt dieses „Unabhängigkeitsgesetz" nur für Merkmalsanlagen, die auf unterschiedlichen Chromosomen lokalisiert sind.)

Die beispielsweise in der Züchtung vielfach angewandten und bestätigten Mendelschen Gesetze finden ihre Bestätigung auch durch eine Reihe von Ergebnissen molekularbiologischer Forschung.

Eine molekularbiologische Definition der Gene – als Träger der Merkmalsanlagen – macht deutlich, daß Gene Abschnitte von DNS-Molekülen sind, die die Synthese spezifischer Proteine steuern. Dabei werden die Ursachen für die nach mathematischer Gesetzmäßigkeit auftretende Merkmalsverteilung deutlich. Manche, vor allem durch Mutation entstandene Genzustände (Allele) beziehungsweise die entsprechenden Merkmale (wie z. B. die Phenylketonurie, ↗ S. 113) sind rezessiv und werden nicht ausgeprägt, wenn sie in der F_1 gemeinsam mit der Wildtyp-Form (dem „Normal"-Allel) des entsprechenden Gens auftreten: Der rezessive Phänotyp resultiert daraus, daß das veränderte Gen kein aktives Genprodukt, also beispielsweise kein funktionstüchtiges Enzym bilden kann, während die Genprodukte des Wildtyp-Allels gebildet werden und die Merkmalsausbildung veranlassen können. Der Defekt wirkt sich dann erst im homozygoten Zustand der F_2 phänotypisch aus. Deshalb sei an dieser Stelle an die möglichen schwerwiegenden Folgen von Verwandtschaftsehen erinnert: Bei Verwandten besteht die sehr erhöhte Wahrscheinlichkeit, daß sie von einem gemeinsamen Vorfahren dasselbe rezessive Allel geerbt haben. Nach dem zweiten Mendelschen Gesetz würde dieses Allel mit einer Wahrscheinlichkeit von 25 % bei ihren Kindern homozygot vorliegen, und es könnte sich dann phänotypisch ausprägen (Abb. 123/1).

23 24 25 26

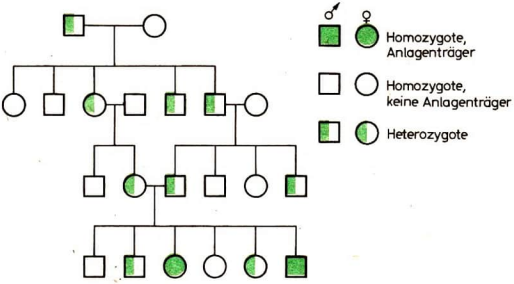


Abb. 123/1 Stammbaum einer Familie, in der aus einer Verbindung zwischen Cousin und Cousine zwei Sichelzellkranke, das heißt homozygote Träger der Sichelzell-Allele, hervorgingen

Mutationen als Veränderungen der genetischen Informationen

Mutationstypen und ihre Bedeutung

Eine Reihe von Umwelteinflüssen – Strahlen und bestimmte Chemikalien – oder Störungen des Stoffwechsels sowie Fehler bei der Replikation der DNS führen zu mehr oder minder drastischen Veränderungen der genetischen Information. Diese werden als Mutation bezeichnet und führen zur Entstehung von Mutanten, mutierten Organismen, die sich in einem oder mehreren Merkmalen von den normalen „Wildtyp"-Organismen unterscheiden. Die meisten durch Mutation verursachten Merkmalsänderungen sind allerdings rezessiv und werden häufig nicht ausgeprägt, doch stellen die Mutanten für die evolutionären Prozesse ein immer wieder neues Ausgangsmaterial dar; sie spielen eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung der Organismen. Die Mutabilität ist ein Wesensmerkmal des Lebens.

Je nach Umfang der Veränderung des Erbgutes unterscheidet man verschiedene Typen von Mutationen: Genmutationen, Chromosomenmutationen und Genommutationen. Mutationen, die nicht im Zellkern lokalisierte Erbanlagen verändern, bezeichnet man als plasmatische oder extranukleäre Mutationen.

Genmutationen sind Veränderungen in der genetischen Information eines einzelnen Gens. Je nach der Art des mutationsauslösenden Agens betreffen verschiedene Mutationen kleine oder größere Bereiche eines Gens.

Die kleinste unteilbare Einheit eines jeden Gens ist das Nukleotid(paar). Tatsächlich kann schon die Veränderung eines einzigen Nukleotid(paar)es die genetische Information entscheidend stören, denn dadurch entsteht ein neues Kodon, das zwar gelegentlich – wegen der Degeneration des genetischen Kodes – wieder die gleiche Aminosäure determiniert, aber in der Mehrzahl der Fälle eine andere Aminosäure kodiert. So können aus dem Methionin-Kodon AUG durch Ersatz jeweils einer Base durch eine der drei anderen neue Kodons entstehen, die die Aminosäuren Leuzin, Valin, Lysin, Arginin, Isoleuzin oder Threonin kodieren (Abb. 124/1).

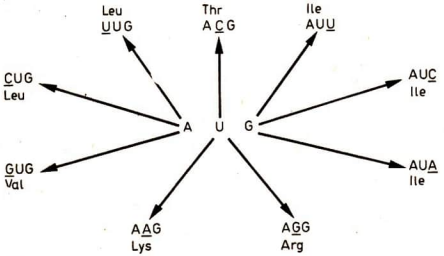


Abb. 124/1
Durch Basenaustausch entstehen andere Kodons

Abb. 125/1 Sichelförmige Erythrozyten eines an Sichelzellanämie erkrankten Patienten

Position der Aminosäuren	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	145	146
Normales Hämoglobin β-Polypeptidkette	Val	His	Leu	Thr	Pro	Glu	Glu	Lys	Ser	Ala–...	Tyr	His
Sichelzell-Hämoglobin β-Polypeptidkette	Val	His	Leu	Thr	Pro	**Val**	Glu	Lys	Ser	Ala–...	Tyr	His

Abb. 125/2 Teil der Aminosäuresequenz der β-Kette vom Normal- und Sichelzell-Hämoglobin

Vor allem in Afrika und in den Ländern des Mittelmeerraumes ist eine erbliche, folgenschwere Blutarmut verbreitet, die wegen der sichelförmigen Verformung der roten Blutkörperchen Sichelzellanämie genannt wird (Abb. 125/1 und 125/2). Die Sichelzellanämie ließ sich als erste Erkrankung als sogenannte „Molekularkrankheit" charakterisieren: Sichelzellpatienten unterscheiden sich von Normalpersonen primär durch den Besitz eines abnormen Hämoglobins. Normales und Sichelzellhämoglobin unterscheiden sich nur dadurch, daß an einer bestimmten Stelle im Molekül anstelle von Glutaminsäure Valin eingebaut ist (Abb. 125/2).

Dieser Aminosäureaustausch dürfte auf den Ersatz der zweiten Base im Glutaminsäure-Kodon GAA (oder GAG) durch U zurückzuführen sein, wodurch das Valin-Kodon GUA (oder entsprechend GUG) entsteht. Auf entsprechende Basenaustausche lassen sich ganz ähnliche Aminosäuresubstitutionen zurückführen, die in zunehmender Zahl zum Beispiel in den Polypeptidketten des menschlichen Hämoglobins beobachtet werden.

Derartige Aminosäureaustausche sind eine der möglichen Folgen von Basenaustauschmutationen, die man auch Punktmutationen nennt, da sie punktförmig erscheinen, indem sie die kleinsten DNS-Einheiten betreffen.

* Die zweite mögliche Folge einer Basenaustauschmutation ist die Entstehung eines Stopp-Kodons. Beispielsweise resultiert das Stopp-Kodon UAG durch Veränderung der ersten Base des Glutamin-Kodons GAG. Die Entstehung eines Stopp-Kodons führt dazu, daß die Translation der entsprechenden Boten-RNS an dieser Stelle, das heißt beim vorangehenden Kodon, abgebrochen wird. Die Folge davon ist, daß nur noch Fragmente des betreffenden Genproduktes gebildet werden.

Wildtyp - Gen

A T G A T G A T G A T G A T G A T G A T G

(wird gelesen atg atg atg atg atg atg atg)

Beispiel: D I E R N S I S T A U F D E M W E G V O M G E N Z U R T A T

(wird gelesen Die RNS ist auf dem Weg vom Gen zur Tat)

Nach Basenzusatz

A T G A T G G A T G A T G A T G A T G A T G

(wird gelesen atg atg gat gat gat gat gat....)

Beispiel: D I E R N S E I S T A U F D E M W E G V O M G E N Z U R T A T

(würde gelesen Die RNS eis tau fde mwe gvo mge nzu rta ....)

Nach Basenverlust

A T G A T G A T G T G A T G A T G A T G

(wird gelesen atg atg atg tga tga tga tg)

Beispiel D I E R N S I S A U F D E M W E G V O M G E N Z U R T A T

(würde gelesen Die RNS isa ufg emw egv omg enz urt at.)

Nach Basenzusatz und -verlust

A T G A T G G A T G T G A T G A T G A T G

(wird gelesen atg atg gat gtg atg atg atg)

Der Leseraster ist wieder hergestellt

Beispiel: D I E R N S E I S A U F D E M W E G V O M G E N Z U R T A T

(wird gelesen Die RNS eis auf dem Weg vom Gen zur Tat)

Abb. 126/1 Durch Basenzusatz oder -verlust wird der Leserahmen verschoben, aber durch Kombination beider Defekte wieder hergestellt

Zu den Punktmutationen werden auch die Rastermutationen gezählt. Diese sind auf den Ausfall oder auf die zusätzliche Einlagerung einzelner Nukleotid(paar)e in eine DNS-Sequenz zurückzuführen. Da bei der Translation vom Start-Kodon an jeweils drei-für-drei Basen abgelesen werden und die einzelnen Tripletts nicht durch Interpunktionszeichen voneinander abgegrenzt sind, führt eine solche Veränderung natür-

lich zu einer Verschiebung des Leserasters: Vom Ort der Veränderung an resultiert eine sinnlose Triplett-Sequenz (Abb. 126/1). *

Mit Hilfe von Rastermutanten konnte übrigens der erste direkte Beweis für die Triplett-Natur des Kodes erbracht werden. Man kann nämlich den Effekt derartiger Rastermutationen mehr oder weniger vollständig aufheben, wenn man in der Nähe des ursprünglichen Mutationsereignisses eine zweite Rastermutation entgegengesetzter Auswirkung stattfinden läßt, beziehungsweise eine entsprechende Basenfolge in einem genetischen Rekombinationsakt einkreuzt: Durch die entgegengesetzte Mutation wird der Leserahmen wieder hergestellt (Abb. 126/1). Ist dagegen das zweite Rastermutationsereignis vom gleichen Typ wie das erste, so resultiert wieder Unsinn. Hingegen kann ein funktionell aktives Genprodukt entstehen, wenn im entsprechenden Gen benachbart drei Rastermutationen gleichen Typs stattgefunden haben, das heißt, wenn drei Basen eingeführt oder entfernt wurden: Die genetische Sequenz erhält dadurch ein Triplett mehr oder weniger – und das kann eben nur beim Vorliegen eines Dreier-Kodes toleriert werden. Tatsächlich läßt sich nachweisen, daß die Genprodukte dann eine Aminosäure mehr oder weniger besitzen.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß Rastermutationen wahrscheinlich einen sehr wichtigen Evolutionsfaktor darstellen, indem sie die Schaffung völlig neuer Aminosäuresequenzen erlauben. Diese könnten – natürlich nur in außerordentlich seltenen Fällen und zudem nur dann, wenn das durch die Rastermutation entstellte Gen selbst entbehrlich ist – für den betreffenden Organismus vorteilhafte Reaktionen katalysieren.

Außer den Punktmutationen gibt es unter den Genmutationen aber auch Veränderungen, die größere Bereiche eines Gens betreffen. Beispielsweise können durch Einwirkung von Röntgenstrahlen direkt oder indirekt größere DNS-Bereiche aus dem Gen herausgeschlagen werden. Von einem solchen grob mutierten Gen können bestenfalls Polypeptid-Fragmente erzeugt werden, die in der Regel wirkungslos sind.

Chromosomenmutationen sind Strukturumbauten von Chromosomen, die in ihrem Umfang über die Größe eines einzelnen Gens hinausgehen. Chromosomenmutationen können an geeigneten Chromosomen lichtmikroskopisch identifiziert werden. Es lassen sich folgende Typen unterscheiden (Abb. 128/1):

1. Verluste von Chromosomenstücken: Deletionen
2. Drehungen von Chromosomenstücken um 180°: Inversionen
3. Verdopplung von Chromosomenabschnitten: Duplikationen
4. Wechselseitige Verlagerung von Chromosomenabschnitten auf verschiedene Chromosomen: Translokationen

Die Entstehung dieser Aberrationen ist noch nicht restlos aufgeklärt. Es ist anzunehmen, daß sie auf Einzel- oder Doppelstrangbrüche zurückgehen, die in der DNS von physikalischen oder chemischen Agenzien ausgelöst und die mehr oder weniger inkorrekt repariert wurden (↗ S. 106). Andererseits könnten sie auch die Folge von genetischen Austauschprozessen innerhalb der Chromosomen sein. Ihre endgültige Aufklärung setzt natürlich eine genaue Kenntnis des Feinbaues der Chromosomen voraus.

Verluste von Chromosomenstücken haben zur Folge, daß dem betroffenen Organismus genetische Informationen und daher die entsprechenden Genprodukte fehlen. Auch die anderen Chromosomenmutationen wirken sich mehr oder weniger schädlich, oft sogar letal (tödlich) aus, können vom betroffenen Organismus gelegentlich aber auch ausgeglichen werden, sofern die Bruchstellen nicht mitten durch Gene verlaufen.

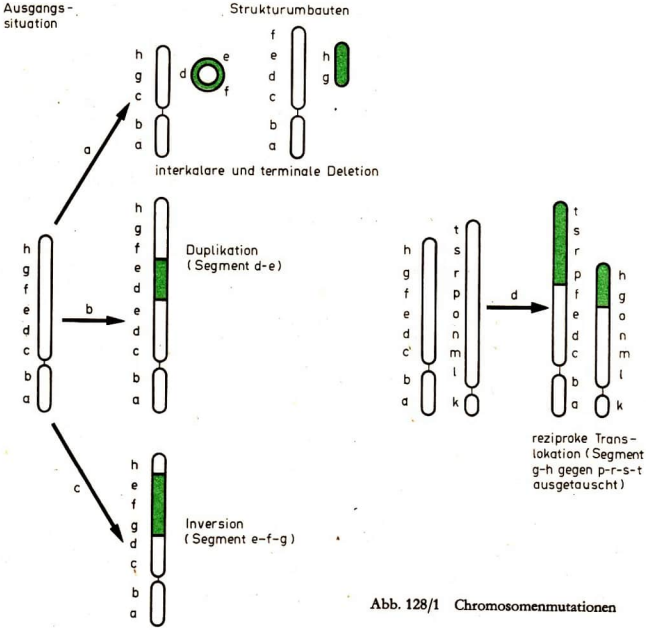


Abb. 128/1 Chromosomenmutationen

Duplikationen spielen nachgewiesenermaßen eine bedeutende Rolle für die Evolution, erlauben sie doch einen ungestörten Umbau durch schrittweisen Basenaustausch infolge von Basenaustauschmutationen oder aber durch Rastermutationen, ohne daß dabei das entsprechende Genprodukt ausfällt (Abb. 129/2).

Veränderungen der Anzahl der Chromosomen bezeichnet man als Genommutationen. Dabei ist entweder die Anzahl der ganzen Chromosomensätze verändert („Euploidie"), oder einzelne Chromosomen sind überzählig oder fehlen („Aneuploidie").

Ein veränderter Chromosomensatz geht vor allem aus Spindelstörungen während der Mitose oder Meiose hervor, die spontan auftreten oder durch sogenannte „Spindelgifte", vor allem durch das Alkaloid der Herbstzeitlose *(Colchicum autumnale)* Kolchizin, experimentell ausgelöst werden können. Kolchizin verhindert die Spindelbildung oder verursacht den Abbau bereits ausgebildeter Spindeln. Der Verlust der Spindel verhindert die Verteilung der in der Äquatorialplatte angeordneten Chromosomenhälften auf beide Pole. Statt dessen entspiralisieren sich die Chromosomen nach einiger Zeit wieder, und es wird ein typischer Interphasekern, allerdings mit nunmehr verdoppelter Chromosomenzahl, aufgebaut.

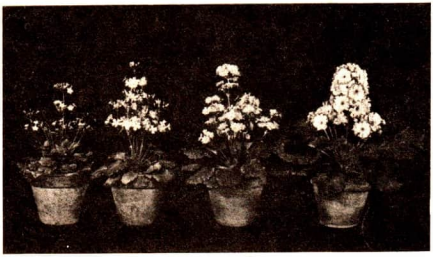


Abb. 129/1
Polyploidieeffekt bei
Primula malacoides FRANCH
FRANCHET

Bei der Veränderung des Chromosomensatzes, die hauptsächlich auf das Pflanzenreich beschränkt ist, kann es sich – wenn man von einem normalen diploiden Typ (2 n) ausgeht – entweder um eine Reduktion zur Haploidie (n) oder um eine Vervielfachung der Chromosomensätze zur „Polyploidie" (≧ 3 n) handeln. Haploide Formen normal diploider Organismen sind – vor allem wegen der bei der Meiose auftretenden Schwierigkeiten – hochgradig steril. Trotzdem spielen haploide Pflanzen für die Züchtung eine hervorragende Rolle, da sie als Ausgangsmaterial für die Gewinnung diploider, aber genetisch völlig einheitlicher (homozygoter) Nachkommenschaften

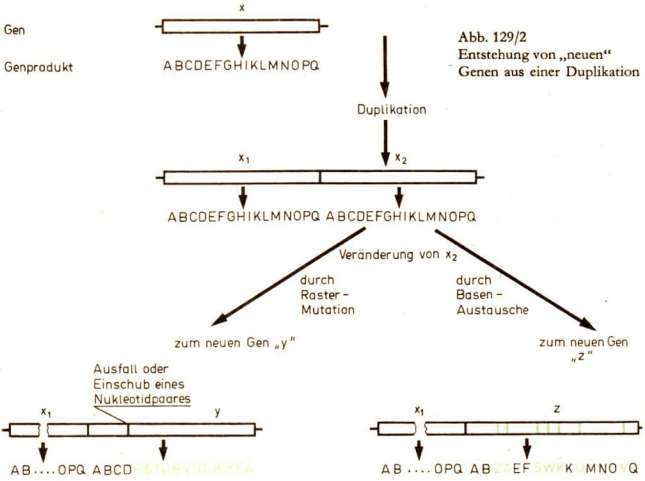


Abb. 129/2
Entstehung von „neuen" Genen aus einer Duplikation

dienen können, die sonst nur durch langwierige Inzuchtprogramme zu erhalten sind. Für die Mutationszüchtung sind haploide Pflanzen von besonderer Bedeutung. Auch polyploide Pflanzen sind züchterisch bedeutungsvoll, da sie größere Zellkerne und größere Zellen als Diplonten besitzen, so daß meist die ganzen Pflanzen und ihre Organe großwüchsiger, ertragreicher und leistungsfähiger werden (Abb. 129/1).

Unsere Weizensorten besitzen 2, 4 oder 6 Chromosomensätze; auch von Tabak und Kartoffeln werden neben diploiden Sorten (mit 24 Chromosomen) tetra- und hexaploide (mit 48 bzw. 72 Chromosomen) angebaut. Insgesamt stellen etwa 50 % aller höheren Pflanzen Polyploide dar oder sind polyploiden Ursprungs, in arktischen und subarktischen Bereichen erreicht ihr Anteil sogar mehr als 70 % (↗ Tabelle). Daraus ergibt sich, daß die Polyploidie – allerdings nur im Pflanzenbereich – ganz wesentlich zur Artbildung beigetragen hat.

Beispiele für die Häufigkeit polyploider Pflanzen

	Anzahl der Arten in der Flora	% polyploide		Anzahl der Arten in der Flora	% polyploide
Nordsahara	300	37,8	Schweden	1 526	56,9
Cykladen	1 186	37,0	Norwegen	956	57,6
Rumänien	3 365	46,8	Finnland	1 285	57,3
Ungarn	2 039	48,6	Insel Kolgujew (UdSSR)		64,0
Zentraleuropa	2 909	50,0	Faröer	252	71,0
Pardubice (ČSSR) etwa	900	52,3	Island	394	72,1
Schleswig-Holstein	1 081	54,6	Spitzbergen	145	76,2
Dänemark	1 306	53,5	Franz-Josephs-Land	36	75,0
England	1 778	53,3	SW-Grönland	222	74,0

Aneuploide Organismen gehen auf die Befruchtung mit Gameten zurück, die infolge einer unregelmäßig verlaufenden Meiose Chromosomen zuviel oder zuwenig besitzen. Durch Verschmelzung mit normalen Gameten entstehen dadurch beispielsweise trisome (mit 2 n + 1 Chromosomen) oder monosome (2 n — 1) Organismen, die ein Chromosom entweder in drei oder nur in einer Ausfertigung besitzen. Zahlreiche Erbkrankheiten des Menschen, die sowohl die körperliche als vor allem auch die geistige Entwicklung der Betroffenen mehr oder weniger stark beeinträchtigen, sind auf derartige Aneuploidien zurückzuführen.

* Beim Menschen sind bei weitem nicht alle theoretisch möglichen Fälle von Trisomie oder Monosomie zu beobachten, weil der größere Teil von ihnen letal ist, das heißt zum Tode führt (dasselbe gilt für die anderen aneuploiden Typen).

Als Beispiel für eine Trisomie beim Menschen soll hier nur das (Langdon-) Down-Syndrom, der sogenannte trisomale Schwachsinn, genannt werden, das eine Folge einer Trisomie des drittkleinsten menschlichen Chromosoms Nr. 21 ist. Das Down-Syndrom wird bei 0,15 % aller Neugeborenen festgestellt. Die Häufigkeit von Trisomien steigt mit zunehmendem Geburtsalter der Mutter: 2,7 % der Kinder 45 bis 49 Jahre alter Mütter zeigen das Down-Syndrom; etwa 40 % aller Down-Kinder wurden von Müttern über 40 Jahre geboren! Die Ursache für diese Altersbeziehung ist noch nicht restlos aufgeklärt.

Eine Monosomie des X-Chromosoms beim Menschen ist das Ullrich-Turner-Syndrom. Mädchen beziehungsweise Frauen mit diesem Syndrom haben die Geschlechtschromosomen-Konstitution XO (d. h. sie haben nicht, wie normal, zwei X-Geschlechtschromosomen, sondern nur eines). Weitere Beispiele für Anomalien, die auf Aneuploidie der Geschlechtschromosomen zurückgehen, sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. *

Polysomie der Geschlechtschromosomen des Menschen

Chromosomen	Bezeichnung	Geschlecht	Fertilität
XX	Normaltyp	♀	+
XY	Normaltyp	♂	+
XO	Ullrich-Turner-Syndrom	♀	–
XXY	Klinefelter-Syndrom	♂	–
XXYY	XXYY-Syndrom	♂	–
XXX	Tripel-X-Syndrom	♀	±
XXXY	Tripel-X-Y-Syndrom	♂	–
XXXX	Tetra-X-Syndrom	♀	?
XXXXY	Tetra-X-Y-Syndrom	♂	–
XXXXX	Penta-X-Syndrom	♀	?

Bis heute ist es noch weitgehend unbekannt, warum bei Tri- und Tetrasomien, wo es sich nur um ein Zuviel an genetischer Information handelt, so schwere Störungen auftreten. Man vermutet, daß es zu schweren Regulationsstörungen als Folge von „Überdosierungen" kommt, aber direkte schlüssige Beweise stehen noch aus.

* Eine ganz andere Klasse von Mutationen sind die extranukleären Mutationen. Die Plastiden und Mitochondrien als extranukleäre plasmatische Erbträger enthalten in ihrer spezifischen DNS Erbanlagen, die auch mutieren können. Plastidenmutationen bei höheren Pflanzen führen zum Beispiel zum Auftreten „photosynthese- und chlorophylldefekter" gelber oder weißer Zellen, wie sie zum Beispiel an vielen Sorten von Weißrand-Pelargonien zu sehen sind. Mitochondrienmutationen, die beispielsweise bei Hefen beobachtet wurden, führen vor allem zu Atmungsdefekten. *

Mutationen der verschiedenen Typen treten bei den höheren Organismen, die in Körper- und Geschlechtszellen gegliedert sind, nicht nur in den Gameten und so bei den Nachkommen auf, sondern auch in den Körperzellen. Man bezeichnet diese als „somatische Mutationen". Sie sind bei diploiden Organismen in der Regel relativ schwierig nachzuweisen und zwar nur dann, wenn die somatische Mutation in Zellen stattfindet, die sich anschließend noch teilen und wenn das entstehende Mutantenallel dominant ist oder homozygot auftritt. Weitere Teilungen solcher mutierter Zellen führen dann zur Bildung von Zellverbänden, die sich von den nichtmutierten Nachbarzellen unterscheiden und als abgegrenzte Bereiche (Flecke oder Streifen) in Erscheinung treten. Derartige Mosaike, die auf somatische Mutationen zurückgehen, sind insbesondere bei höheren Pflanzen – vor allem nach Genmutationen oder Plastidenmutationen – nachgewiesen und genetisch analysiert worden.

Häufig wird heute die Hypothese diskutiert, daß die Entstehung bösartiger Geschwülste auf somatische Mutationen zurückzuführen ist, zumal sich die Krebszellen in ihrer Fähigkeit zur schrankenlosen, nicht mehr den normalen Steuerungseinflüssen des Gesamtorganismus gehorchenden Vermehrung genetisch von den Normalzellen

unterscheiden. Wenngleich diese Hypothese bisher noch nicht bewiesen ist, wird sie doch unter anderem durch die Tatsache gestützt, daß auch bestimmte DNS- und RNS-haltige Viren geschwulstauslösend wirken können und daß dies auf die Wirkung einiger weniger Virus-Gene (d. h. auf die Wirkung von in die Zelle eingeführten genetischen Informationen) zurückgeführt werden muß.

Von großer Bedeutung ist die Frage nach dem Einfluß von neu aufgetretenen Mutationen auf die Lebensfähigkeit und Lebenstüchtigkeit ihrer Träger. Dabei sind verschiedene Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

Gene können zu Allelen mutieren, die die Ausbildung der Merkmale (z. B. Blutfarbstoff) abweichend vom „Wildtyp"-Allel steuern oder auch unterdrücken. Die mutierten Allele können gegenüber der Lebenstüchtigkeit eines Organismus neutral sein, daraus ergeben sich vielfältige „gleichwertige" Varianten innerhalb einer Art; in wenigen Fällen wirken die Mutantenallele positiv, dann liefern sie wichtiges Ausgangsmaterial für die weitere Evolution. Meist aber sind sie negativ. Die Mehrzahl der heute lebenden Organismen ist im Verlaufe ihrer phylogenetischen Entwicklung so gut an ihre Umwelt angepaßt, daß die meisten der ungerichtet auftretenden Veränderungen der genetischen Information (Mutationen) eine mehr oder weniger nachteilige Wirkung haben. Andererseits kommt es bei der Wertung einer Mutation auf die konkret vorliegende Situation an:

Eine bestimmte Mutante (z. B. eine stummelflügelige Fliege) ist unter „normalen" Umweltbedingungen der Normalform klar unterlegen, sie kann dieser aber unter stark veränderten Lebensbedingungen (z. B. auf einer Insel mit regelmäßig starkem Wind, der höher fliegende Tiere ins Meer abtreibt) auf die Dauer sogar überlegen sein. – Bakterielle Krankheitserreger können durch Mutation unempfindlich gegen Penizillin oder andere Arzneimittel werden. Bei Einsatz von solchen Antibiotika ist diese Mutation für die Bakterien lebenserhaltend, für den Menschen allerdings sehr unangenehm und gefährlich.

Die Tatsache, daß die Mehrzahl der Mutationen für ihren Träger nachteilig ist – wobei die Rezessivität oft nicht vollständig ist, so daß sich rezessive Allele auch schon bei den Heterozygoten geringfügig auswirken können – führt dazu, daß die Mutantenallele allmählich wieder aus dem Gesamtgenbestand eleminiert werden und nur dann erhalten bleiben oder sich sogar gegenüber den unveränderten Normalallelen durchsetzen, wenn natürliche oder künstliche Selektionsmechanismen wirksam werden. So ist die starke Zunahme antibiotikaresistenter krankheitserregender Bakterien nicht darauf zurückzuführen, daß die betreffenden Arzneimittel mutationsauslösend wirken und das Auftreten „gerichteter Mutationen" (↗ S. 138 f.) induzieren, sondern darauf, daß die in jeder Bakterienpopulation mit gewisser Wahrscheinlichkeit spontan auftretenden resistenten Mutanten sich nur dann vermehren können, wenn das Antibiotikum die Vermehrung aller sensiblen Keime hemmt. Unter entsprechenden Bedingungen erfolgt auch die Durchsetzung von neuen genetischen Typen im Verlaufe der Evolution, oder die relative Häufung bestimmter Allele in bestimmten Regionen. So ist das Sichelzellanämie-Allel deshalb so häufig im Mittelmeerraum und in ähnlichen Klimazonen vertreten, weil es seinen heterozygoten Trägern eine Malaria-Resistenz verleiht, so daß hier die Heterozygoten einen Selektionsvorteil gegenüber den Normalpersonen haben (wenn auch die homozygoten Träger der Sichelzellanämie klar benachteiligt sind).

Gleicher Prinzipien der Selektion bedient sich der Züchter, wenn er solche Bedingungen schafft, unter denen sich bevorzugt die ihn interessierenden Mutanten ausprägen können.

Es gibt eine Reihe von Mutationen, die züchterisch für den Menschen genutzt werden; unter anderem die in mehreren Mutationsschritten herangezüchteten Hochleistungsstämme von antibiotikaproduzierenden Pilzen (↗ Tabelle), durch spontane Mutationen entstandene Zierpflanzen- und Obstsorten und Tierrassen, wie das kurzbeinige Anconschaf oder der Platinnerz. Durch experimentell ausgelöste Mutationen konnten in den letzten Jahren zahlreiche neue Kulturpflanzensorten entwickelt werden (u. a. von Sojabohne, Reis, Pfirsich, Weizen, Gerste und Chrysantheme). Man verwendet also künstlich hervorgerufene und als geeignet erkannte Mutationen als Ausgangsmaterial. Diese Methode der zunehmend betriebenen „Mutationszüchtung" kann den oft zeitraubenden Verlauf der Kombinationszüchtung oder Auslese verkürzen. Zur Mutationszüchtung zählt auch die Erzeugung polyploider, oft leistungsstarker Formen.

Erhöhung der Penizillin-Produktion durch Selektion spontaner und induzierter Penizillin-Mutanten

Penizillium-Stamm	Herkunft	Penizillin-Ausbeute je ml Kulturflüssigkeit
Penicillium notatum	Wildform	30 E
P. chrysogenum Stamm NRRL 1951	Wildform	100 E
P. chrysogenum NRRL 1951 B 25	natürliche Mutante vom Stamm NRRL 1951	250 E
P. chrysogenum X 1612	röntgeninduzierte Mutante von NRRL 1951 B 25	500 E
P. chrysogenum Wis. Q. 176	UV-induzierte Mutante von X 1612	900 E
P. chrysogenum	dichloräthylmethylamin-induzierte Mutante von Wis. Q. 176	1 350 E
P. chrysogenum var. brevisterigma	UV-induzierte Mutante von Wis. Q. 176	3 000 E

27 28 29 30 31 32

Auslösung von Mutationen

Die Häufigkeit, mit der in den einzelnen Genen Mutationen auftreten (Genmutationsrate), schwankt zwar von Gen zu Gen, liegt aber etwa in der gleichen Größenordnung. Durchschnittlich treten je Gen in jeder Zellgeneration 10^{-5} bis 10^{-6} Mutationen auf (d. h. eine Mutation eines bestimmten Gens je 10^5 bis 10^6 Zellen). Diese Anzahl ist zwar sehr gering, da aber eine Zelle sehr viele Gene besitzt, ergibt sich doch eine ziemlich hohe Gesamtmutationsrate. Beim Menschen muß man damit rechnen, daß etwa in jeder Geschlechtszelle eine Neumutation auftritt.

Die Mutationsrate kann durch Behandlung der Organismen mit Mutagenen, das sind entsprechende physikalische oder chemische Agenzien, bedeutend erhöht werden. Mutagen wirken zum Beispiel ionisierende Strahlen (α-, β-, γ- und Röntgenstrahlen sowie Neutronen) ultraviolettes Licht (soweit es nicht vom umgebenden Gewebe

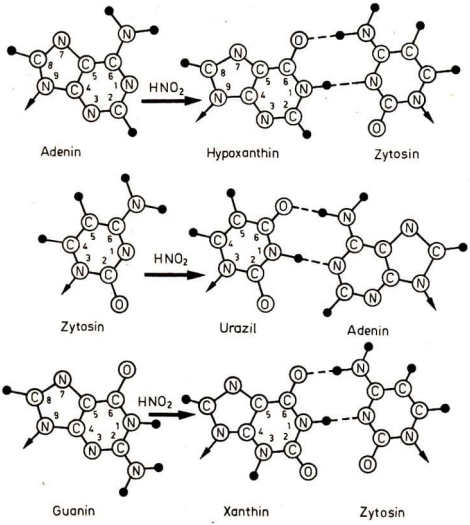


Abb. 134/1
Desaminierung der Aminobasen und Paarungsverhalten der entstandenen Oxybasen

absorbiert wird); Senfgas, Stickstoff-Lost und andere alkylierende Agenzien; Wasserstoffperoxid und organische Peroxide, Urethan; salpetrige Säure.

* Die Punktmutationen auslösende Wirkung einiger dieser Agenzien ist inzwischen gut bekannt. So ist die Wirkung der salpetrigen Säure HNO_2 unter anderem auf die Desaminierung der „Aminobasen" Adenin, Guanin und Zytosin zurückzuführen (Abb. 134/1), wobei die „Oxybasen" Hypoxanthin, Xanthin und Urazil entstehen. Wenn die behandelte DNS während der nächsten Replikationsrunde als Matrize dient, verhalten sich zwei der Oxybasen hinsichtlich ihrer Paarungseigenschaften anders als die Aminobasen: Hypoxanthin paart nicht mit Thymin, sondern mit Zytosin, und – das dem Thymin sehr ähnliche – Urazil paart mit Adenin und nicht mit Guanin (Abb. 135/1). Auf diese Weise entstehen unter dem Einfluß von salpetriger Säure Basenaustauschmutationen, indem $\frac{A}{T}$-Paare durch $\frac{G}{C}$-Paare ersetzt werden und umgekehrt, so daß Mutanten, die durch Behandlung mit salpetriger Säure erzeugt wurden, durch das gleiche Agens auch rückmutiert werden können.

Auf ganz ähnliche Weise wirken Hydroxylamin, Senfgas und andere alkylierende Substanzen, Basenanaloge sowie ultraviolettes Licht. In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, daß die seit den dreißiger Jahren bekannte mutationsauslösende Wirkung des ultravioletten Lichtes als einer der ersten indirekten Hinweise auf die Natur des genetischen Materials diente: Das UV-Wirkungsspektrum stimmt auffällig mit dem Absorptionsspektrum der Nukleinsäuren überein, das heißt, mutagen sind vor

allem die Wellenlängen um 250 nm bis 260 nm, die von den Nukleinsäuren maximal absorbiert werden.

Besonders interessant ist die mutagene Wirkung der Basenanalogen. Bei ihnen handelt es sich um geringfügig abgewandelte Derivate der normalen Basen. So unterscheidet sich das Thymin-Analogon 5-Bromurazil von Thymin (5-Methyl-Urazil) nur dadurch (Abb. 136/1), daß es anstelle der Methylgruppe ein Bromatom trägt. Dadurch sind die Paarungseigenschaften nicht beeinträchtigt, so daß Bromurazil wie Thymin mit Adenin paart. Wenn Bromurazil trotzdem mutagen wirkt, so liegt das daran, daß das Analogon anstelle von Thymin in die DNS eingebaut wird, und daß es sich gelegentlich nicht mehr mit Adenin, wohl aber mit Guanin paaren kann, da bei ihm zuweilen intramolekulare Umlagerungen auftreten (Abb. 136/1). Das hat dann die gleiche Folge wie die Wirkung der salpetrigen Säure und führt zum Ersatz von $\frac{A}{T}$-Paaren durch $\frac{G}{C}$-Paare und umgekehrt (Abb. 136/2). Interessanterweise finden derartige innermolekulare Umlagerungen gelegentlich auch beim Thymin und bei anderen Basen statt, wenn auch sehr viel seltener als bei den Basenanalogen, so daß man hierin eine der möglichen Ursachen für das „spontane" Auftreten von Basenaustauschmutationen sehen kann.

Eine weitere Ursache der spontanen Mutationsauslösung dürfte in der entscheidenden Rolle der DNS-Polymerase bei der DNS-Replikation liegen: Man vermutet, daß die DNS-Polymerase gelegentlich „Fehler" macht und die Matrizen-DNS nicht ganz exakt kopiert: Wenn die DNS-Polymerase selbst durch eine Mutation im Polymerase-Gen etwas verändert ist (z. B. empfindlich für höhere Temperaturen) und nicht mehr ganz so genau oder aber exakter als das Wildtyp-Enzym wirkt, treten in bestimmten Fällen mehr „spontane" Mutationen oder weniger auf.

Zum Teil erwiesen sich zumindest bei Mikroorganismen und *Drosophila* solche Substanzen als mutagen, die als Bestandteile von Genußmitteln (Koffein), als Arzneimittel (Krebschemotherapeutika, Beruhigungsmittel auf Hydrazin-Basis, Antimalaria-Mittel), Lebensmittelzusätze, Fungizide oder Herbizide mit Mensch oder Tier in Kontakt kommen können. Diese Substanzen müssen, sowie ihre mutagene Aktivität

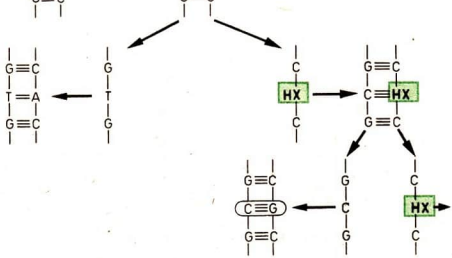


Abb. 135/1
Entstehung eines C-G-Paares aus einem T-A-Paar als Folge einer Desaminierung von Adenin

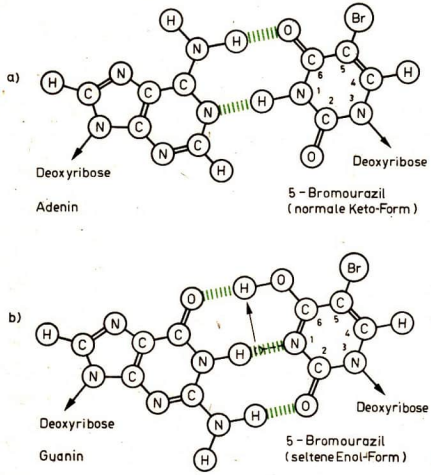


Abb. 136/1 5-Bromurazil paart sich in der Keto-Form mit Adenin, in der Enol-Form mit Guanin

bekannt wird, sofort aus dem Verkehr gezogen und entsprechend den Giftbestimmungen behandelt werden. Handelt es sich um Arzneimittel, dann sollten sie – soweit sie nicht überhaupt durch genetisch inaktive Substanzen ersetzt werden können – nur solchen Patienten verabreicht werden, die nicht mehr fortpflanzungsfähig sind.

Allerdings ist von den meisten mit dem Menschen in Kontakt kommenden Substanzen bis heute noch nichts über ihre mutagene Wirkung bekannt; entsprechende

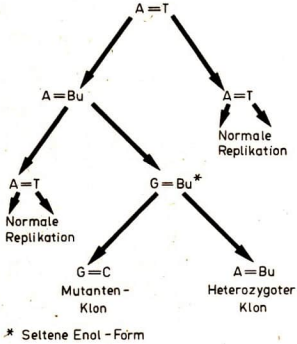


Abb. 136/2
Entstehung eines G-C-Paares aus einem A-T-Paar durch einen „Replikationsfehler" (eingebautes 5-Bromurazil)

Überprüfungen sind dringend erforderlich und laufen auch in der DDR an. Diese Untersuchungen sind sehr aufwendig; es scheint, als ob das genetische Material von Säugern empfindlicher ist als das der *Drosophila* und viel empfindlicher als das von Bakterien: Theoretisch droht die Gefahr, daß Substanzen, die bei Bakterien und bei *Drosophila* als genetisch harmlos erkannt werden, beim Säuger doch mutagen sind.

Wirklich sichere Aussagen können nur mit dem genetischem Material des Menschen oder höherer Tiere gemacht werden, also beispielsweise an Gewebekulturzellen.

* Die Genetik der Gewebekulturzellen nimmt augenblicklich einen stürmischen Aufschwung, vor allem weil es methodische Entwicklungen heute erlauben, mit in vitro kultivierten Zellen praktisch genauso zu arbeiten wie mit Mikroorganismen. Mit diesen Methoden gelingt es unter anderem, Mangel-, Resistenz- und andere Mutantenzellen zu selektionieren und biochemisch und anderweitig zu charakterisieren, die spontan entstanden oder aus Patienten mit entsprechenden Erbkrankheiten isoliert worden waren. Solche Mutanten können aber auch in vitro erzeugt werden, indem die Zellen mit physikalischen oder chemischen Mutagenen behandelt werden. Damit bieten sich Gewebekulturzellen als besonders geeignetes Material für Mutagenitätsprüfungen an!

Außerdem gelingt es, in vitro kultivierte Zellen – auch über die Art- und Gattungsgrenzen hinaus – miteinander zu verschmelzen und damit zu kreuzen. Diese Methode der „Zellfusion", die sogar eine Verschmelzung von Zellen des Menschen mit Hamster-, Mäuse- oder Moskitozellen erlaubt, ist von größter Bedeutung für eine genetische und biochemische Analyse von normalen und krankhaft veränderten Zellen. Darüber hinaus ist damit zu rechnen, daß diese Methode – vor allem, weil mit ihrer Hilfe die Artbarriere übersprungen werden kann – ganz neue Möglichkeiten für die Pflanzenzüchtung eröffnet. *

Bei der Aufklärung der 1927 zuerst durch MULLER beobachteten Mutationsauslösung durch Röntgenstrahlen ergab sich, daß die Mutationen in Abhängigkeit von der eingestrahlten Dosis und – zumindest bei manchen Strahlungen – unabhängig von der Strahlenqualität auftreten. Damit ist erwiesen, daß es bei der Auslösung von Mutationen – und das gilt nicht nur für die strahleninduzierte Mutationsauslösung – hinsichtlich der genetischen Änderungen praktisch keinen Schwellenwert gibt.

Diese Erkenntnis ist um so schwerwiegender, als geringe Strahlendosen beim betreffenden Organismus selbst keine erkennbaren physiologischen Schädigungen zur Folge haben und man deshalb geneigt ist, sogenannte „Toleranzdosen" festzulegen. Für die Gesamtheit des genetischen Materials der Menschheit (Genpool) gibt es keine Toleranzdosis.

Die Verwendung ionisierender Strahlen zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken ist trotzdem zu tolerieren, besonders da dabei Keimdrüsen und andere Körperstellen nach Möglichkeit abgeschirmt werden. Nicht zu tolerieren ist jedoch eine zusätzliche Strahlenbelastung beispielsweise durch Versuchs-Kernexplosionen, selbst wenn – wieder vor allem wegen der Rezessivität der auftretenden Defekte – derartige Explosionen bisher noch nicht nachweisbar zu einer Häufung genetischer Schäden führten.

Auch vom genetischen Standpunkt ist es deshalb zu begrüßen daß das Atom-Test-Stopp-Abkommen die Anreicherung von radioaktiven Spaltprodukten – die Quellen sind für die hoch mutagenen γ-Strahlen und Neutronen – einschränkt, wenn auch nicht aufhebt, da sich ja bedauerlicherweise immer noch nicht alle Kernwaffen produzierenden Staaten dem Übereinkommen angeschlossen haben (↗ S. 169). Zudem muß auch von unterirdischen Kernwaffenexplosionen eine gewisse Gefährdung des Genpools erwartet werden, so daß auch diese Versuche unbedingt mit in die Übereinkunft einbezogen werden müssen.

Gerade die gewaltigen Fortschritte bei der Enträtselung der Geheimnisse der Vererbung verpflichten dazu, über die Integrität des genetischen Materials auch der kommenden Generationen zu wachen! Und das gilt auch hinsichtlich der Anwendung von chemischen Verbindungen mit mutagener oder nicht eindeutig nichtmutagener Wirkung, soweit diese als Nahrungsmittelzusätze oder ähnliches mit dem Menschen in Kontakt kommen und so sein genetisches Material direkt beeinflussen können.

33 34 35

Bestimmte Umwelteinflüsse wirken verändernd auf die genetische Information ein, sie führen zu Mutationen. Es entstehen erblich veränderte Organismen, die Mutanten. Mutanten sind ein wichtiges Ausgangsmaterial im Evolutionsprozeß. Es werden verschiedene Mutationstypen unterschieden.

Genmutationen sind Veränderungen in der genetischen Information eines einzelnen Gens.

Chromosomenmutationen sind Änderungen im Chromosom, die in ihrem Umfang über die Größe eines einzelnen Gens hinausgehen.

Genommutationen sind Veränderungen in der Anzahl der Chromosomen. Euploidie bezeichnet dabei die Änderung der Anzahl ganzer Chromosomensätze. Aneuploidie bezeichnet die veränderte Anzahl einzelner Chromosomen innerhalb der Chromosomensätze.

Extranukleare Mutationen sind Veränderungen in der DNS von Plastiden und Mitochondrien.

Mutationen haben in der Regel nachteilige Wirkungen, da das angepaßte Gefüge gestört wird, sie werden meist eliminiert; unter veränderten Umweltbedingungen können Mutationen günstig sein.

Die Mutationsrate kann durch mutagene Stoffe (z. B. Strahlen, Kolchizin, salpetrige Säure) künstlich erhöht werden.

Die Verwendung von mutagenen Stoffen fordert hohes Verantwortungsbewußtsein, da es keine Toleranzdosis für den Genpool gibt. Das Atom-Test-Stopp-Abkommen ist auch von genetischer Sicht her zu fördern.

Ist eine gerichtete Veränderung des genetischen Materials möglich?

Mutationen treten völlig „ungerichtet", das heißt, ohne Berücksichtigung einer möglichen Nützlichkeit für den Organismus in einer bestimmten Umwelt auf. Besonders eindrucksvoll hat dies die Analyse der Entstehung der bakteriellen Antibiotika-Resistenz gezeigt: Das betreffende Antibiotikum wirkt lediglich als Selektionsfaktor, der die normalen, antibiotikaempfindlichen Keime beeinträchtigt und nur den spontan entstehenden Mutanten eine ungestörte Vermehrung erlaubt. Mit speziellen Techniken kann sogar eine Anreicherung sicher mutierter Bakterien in Abwesenheit des Antibio-

tikums demonstriert und damit der eindeutige Beweis für ihre spontane Entstehung erbracht werden (Abb. 139/1).

Außerdem bedingt der Bau des genetischen Materials, daß vorerst keine gerichteten Veränderungen nur bestimmter Gene möglich sind: Alle Gene enthalten die gleichen oder ähnliche Kodons, alle Gene bestehen aus den gleichen Nukleotid(paar)en – nur in unterschiedlicher Anzahl und Reihenfolge. Und selbst ein Mutagen, das unter bestimmten Umständen nur mit einer speziellen Base reagiert – wie das mit Zytosin reagierende Hydroxylamin –, wirkt doch unspezifisch auf alle Gene, da Zytosin in allen Genen vorkommt.

Zur spezifischen Therapie von Erbkrankheiten sowie für die Zwecke der Züchtung wäre es natürlich wünschenswert, wenn der Mensch doch einmal gerichtete Veränderungen des genetischen Materials vornehmen könnte. Tatsächlich kann man sich vorstellen, daß es künftiger Forschung möglich werden könnte, ganz spezifisch bestimmte Gene zu mutieren. Voraussetzung hierfür wäre das „Erkennen" dieser Gene durch das verwendete Mutagen.

Das wird von einem herkömmlichen mutationsauslösenden Agens kaum erwartet werden können. Aber da die Tatsache bekannt ist, daß in vivo solche Erkennungsprozesse eine recht große Rolle spielen, wie beispielsweise das Reagieren bestimmter Enzyme nur mit bestimmten Transport-RNS-Molekülen (↗ S. 117), wird es den Genetikern eines Tages möglich sein, sich derartiger biologischer Strukturen zu bedienen und sie mit entsprechenden mutagenen Agenzien zu beladen, die dann erst am Erkennungsort wirksam würden.

Allerdings erscheint es zunächst aussichtsreicher, von den Genübertragungsmechanismen der Mikroorganismen zu lernen und beispielsweise mit Hilfe geeigneter Viren

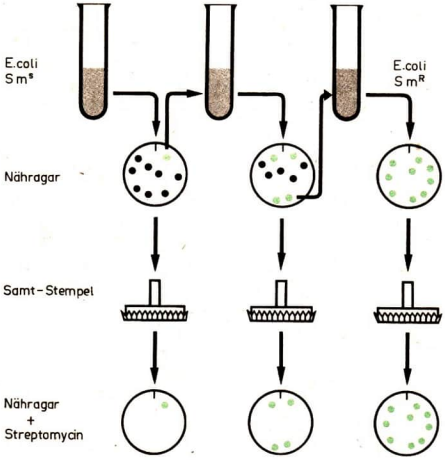


Abb. 139/1 Mit der Stempeltechnik wird das spontane Auftreten von Bakterien-Mutanten nachgewiesen, die z. B. streptomyzinresistent sind: Von einer Kulturplatte mit sensiblen Bakterien wird auf eine Platte mit Streptomyzin-Agar überstempelt. Dort wächst nur eine Kolonie, die also aus resistenten Zellen besteht. Diese können durch Kultivation, erneutes Überstempeln und erneute Kultur in Abwesenheit von Streptomyzin so angereichert werden, daß die Bakterienkultur schließlich einheitlich aus resistenten Keimen besteht.

(analog den transduzierenden Phagen, Abb. 110/1) Normalallele in das genetische Material von Erbgeschädigten einzuführen oder damit neue züchterische Erfolge zu erzielen. Bei Bakterien kann man damit heute schon einen hoch spezifischen Genaustausch durchführen: Mit Hilfe des Bakteriophagen *lambda* zum Beispiel können die zum Abbau des Zuckers Galaktose notwendigen Gene in solche Bakterien eingeführt werden, die mutierte Allele dieser Gene tragen und deshalb nicht zum Abbau der Galaktose befähigt sind. Analoge transduktionsähnliche Prozesse bei eukaryontischen Zellen wären aus mehreren Gründen aussichtsreich; einerseits setzen sie nicht unbedingt den präzisen Einbau des genetischen Spendermaterials in das Empfängerchromosom voraus, andererseits gibt es einige Viren, deren Vermehrung stets bestimmten Störungen unterworfen ist: ein gewisser Anteil dieser Virus-„Nachkommen", die rein äußerlich den elterlichen Virusteilchen ähneln, enthalten keine Virus-DNS, sondern DNS der Wirtszelle. Diese sogenannten „Pseudoviren" führen die Wirts-DNS auch in entsprechende Empfängerzellen ein und bieten damit entscheidende Voraussetzungen für eine Transduktion tierischer Zellen.

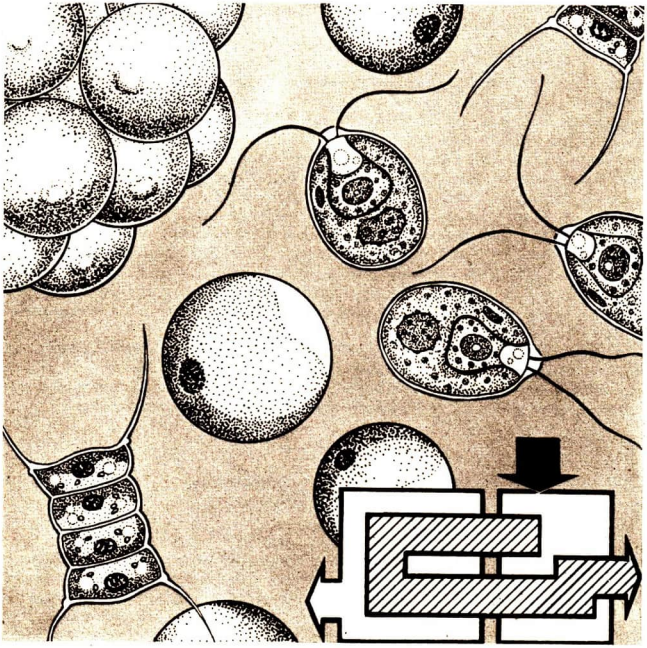
Solche Versuche sind vielleicht erfolgversprechender als die Transformation, da bei dieser – wie wir von Bakterien her wissen – der direkte Einbau der transformierenden DNS in das Empfänger-Genom notwendig ist. Zudem gibt es bis heute noch keine sicheren Beweise dafür, daß bei höheren, kernhaltigen Zellen regelmäßig Transformationen möglich sind. Das aber kann methodisch bedingt sein und daran liegen, daß die Gesamtmenge der DNS beziehungsweise der Gene im Vergleich zu dem zu übertragenden Gen sehr groß ist und etwa im Verhältnis 1:10000 bis 1:100000 steht. Vielleicht wird man künftig lernen, einzelne Gene, die entweder in vitro synthetisiert oder in vitro beziehungsweise in vivo isoliert worden sind, mittels geeigneter Enzyme in vitro in so großen Mengen in biologisch aktiver Form zu vermehren, daß Transformationen mit reinen Genpräparaten erfolgreich durchgeführt werden können.

Damit zeichnet sich jedenfalls schon heute deutlich die Vision einer „Genchirurgie" ab, die eine noch gar nicht ganz abzusehende Bedeutung für die Bekämpfung von Erbschäden bei Menschen und für die Tier- und Pflanzenzüchtung gewinnen könnte. Das wird allerdings nur in einer sozialistischen Gesellschaftsformation möglich sein. Zu bedenklich sind die Gefahren, die aus einem verbrecherischen, gewissenlosen Mißbrauch dieser potentiellen Möglichkeiten beim Eingreifen in das genetische Material erwachsen können!

Über dieser Vision einer „Genchirurgie" auch in bezug auf den Menschen sollten aber die gegenwärtig notwendigen und auch real in Angriff zu nehmenden Aufgaben nicht übersehen werden. In bezug auf den Menschen sind dies vor allem:

– Aussonderung oder doch Zurückdrängen von Umwelteinflüssen, die eine mutagene Gefährdung des Menschen darstellen (↗ S. 137).
– Weiterer Ausbau von Methoden und Verfahren zur phänotypischen Kompensation der schädlichen Effekte von Erbkrankheiten, so wie das für die Phenylketonurie (↗ S. 113) bereits getan wird.
– Ausbau des Systems der genetischen Eheberatung (Erbberatung), welche die einzelnen Menschen beziehungsweise Familien über den Grad der erblichen Bedingtheit von familiären Defekten aufklärt und ihnen konkrete Ratschläge erteilt.

Die Bedeutung der Biologie für die Gesellschaft



Die biologische Wissenschaft als gesellschaftliche Erscheinung

Die Biologie ist die Wissenschaft von der lebenden Natur, das heißt jenes Bereiches der objektiven Realität, der durch die Lebewesen (Mensch, Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen) und ihre Beziehungen untereinander gebildet wird.

Vom gesellschaftlichen Menschen, der selbst der lebenden Natur angehört und für den sie eine notwendige Existenzbedingung ist, wird die Natur genutzt und verändert und dabei erkannt. Lange bevor die Wissenschaft Biologie entstand, erwarben die Menschen im Arbeitsprozeß, beim Sammeln, Jagen und Fischen und später bei Ackerbau und Viehzucht Wissen über Tiere und Pflanzen. Seit den Anfängen der Menschheitsgeschichte sammelten sie auch Erfahrungen über ihren eigenen Organismus und entwickelten Verfahren zur Behandlung von Verletzungen und Krankheiten.

Aus dem Erwerb von Wissen über die lebende Natur und den eigenen Organismus entstand im Verlauf der gesellschaftlichen Entwicklung die Biologie; die Erforschung der lebenden Natur wurde zum besonderen Bereich wissenschaftlicher Arbeit in der Gesellschaft und für die Gesellschaft. In der biologischen Forschung wird das zur Befriedigung gesellschaftlicher Bedürfnisse benötigte Wissen über das Leben gewonnen.

Durch die Aufgabenstellung und Organisation der Forschung sowie durch den personellen, finanziellen und technischen Aufwand dafür wird sie im Rahmen der jeweiligen Gesellschaftsordnung gesteuert. Über die weltanschaulichen Konsequenzen und philosophischen Probleme, die mit dem Erkenntnisfortschritt der Biologie verbunden sind, sowie die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten biologischer Erkenntnisse, an denen verschiedene gesellschaftliche Kräfte in unterschiedlicher Weise interessiert sind, ist die Biologie mit dem ideologischen und politischen Klassenkampf verbunden (↗ S. 147 ff., 166 ff.).

Die Biologie erforscht die Gesetzmäßigkeiten der höchsten Bewegungsform der Materie in der Natur; dabei muß sie sich auf die von anderen Naturwissenschaften erkannten Gesetze – die die Erscheinungen der nicht lebenden Materie zum Inhalt haben – stützen und deren Gültigkeit im Bereich der lebenden Natur beachten.

Die revolutionäre Entwicklung der Biologie und das neue Bild von der lebenden Natur

Galt die Biologie früher als die Wissenschaft von den Lebewesen, erfaßt sie heute die lebende Natur als Ganzes und bis in die Tiefen der Wechselwirkung der Atome, Ionen und Moleküle in den Zellen. Noch im 19. Jahrhundert herrschte in der Biologie die beschreibende, vergleichende und klassifizierende Untersuchung der Lebewesen, ihres Aufbaus aus Geweben und Organen, ihrer Funktionen und ihrer Verbreitung sowie

die Rekonstruktion ihrer Stammbäume vor. Eine wissenschaftliche theoretische Grundlage für ihre Arbeiten erhielt die Biologie mit dem Darwinismus.

In zweifacher Richtung ging die Biologie des 20. Jahrhunderts bisher wesentlich über diesen Stand hinaus:

1. durch den Vorstoß durch die verschiedenen Strukturebenen innerhalb des Organismus (Organsysteme, Organe, Gewebe, Zellen) bis zur lebensspezifischen basalen Ebene der Moleküle (Molekularbiologie);
2. durch den Vorstoß zu den Systemen der überorganismischen Strukturebenen, von den Populationen und Biozönosen bis zum Gesamtsystem der Biosphäre, in der das Leben als planetare Erscheinung auftritt.

Im Ergebnis der revolutionären Entwicklung der modernen Biologie zeichnet sich ein neues Gesamtbild der lebenden Natur ab, das durch das Zusammenfließen der Ergebnisse aus allen Spezialgebieten der Biologie immer mehr vervollständigt wird. Es ist die Auffassung der lebenden Natur als enkaptische Hierarchie (ineinandergeschachtelte Stufenfolge) sich bewegender und entwickelnder materieller Systeme verschiedener Ordnung:

1. Jedes einzelne Lebewesen ist ein kompliziert aufgebautes System, bei dem sich verschiedene innerorganismische Strukturebenen unterscheiden lassen. Bei den höheren Organismen beispielsweise sind dies die Ebenen der Moleküle, der innerzellulären Strukturen (Organellen), der Zellen, der Gewebe, der Organe, der Organsysteme und des Gesamtorganismus. Bei den Einzellern fallen die Strukturebenen der Zelle und des Gesamtorganismus zusammen. In jedem Falle ist die lebensspezifische basale Strukturebene aller Lebewesen die molekulare Ebene.
2. Die Lebewesen sind thermodynamisch offene und selbstregulierende Systeme, die in ständigem Stoff- und Energieaustausch mit ihrer Umwelt existieren. Während ihrer Existenz durchlaufen sie eine individuelle Entwicklung, die im Rahmen der durch ihre Erbinformation gegebenen Möglichkeiten erfolgt. Dabei erreichen sie ein Stadium, in dem sie sich fortpflanzen und damit die Erbinformation an die Nachkommen weitergeben.
3. Durch die sexuellen Beziehungen und die Fortpflanzung existieren die Lebewesen als Glieder der Arten, die in territoriale Fortpflanzungsgemeinschaften (Populationen) differenziert sind. Jede Art hat einen bestimmten Genbestand, der in sich und auf die Umwelt abgestimmt ist und der zwischen den Populationen und den Individuen variiert. Zwischen den verschiedenen Populationen einer Art kann Genaustausch stattfinden, sie sind gegeneinander genetisch offene Systeme, während die unterschiedlichen Arten gegeneinander genetisch geschlossene Systeme darstellen.
4. Populationen und Arten befinden sich im Prozeß der Evolution, in dem neue Erbinformationen entstehen, die zu erblich bedingter individueller Verschiedenheit der Organismen führen. Darauf beruht die natürliche Auslese im Kampf ums Dasein: in einer gegebenen Umwelt haben die verschiedenen Individuen unterschiedliche Fortpflanzungschancen. Als Folge dessen verändert sich allmählich der Genbestand in den Populationen und Arten. Kommt es durch äußere Umstände zu einer lange genug andauernden Verhinderung des Genflusses zwischen den Populationen einer Art, entstehen aus diesen isolierten Teilen neue Arten.
5. Durch die stofflich-energetischen Beziehungen zwischeneinander bilden die Populationen verschiedener Arten Biozönosen (Lebensgemeinschaften), materielle Systeme, deren Elemente diese Populationen sind (Abb. 144/1). Die Evolution der Populationen vollzieht sich in wechselseitiger Abhängigkeit im System der Biozönose, das sich dabei selbst verändert. Das Beziehungsgefüge der Biozönose wird getragen von den Produ-

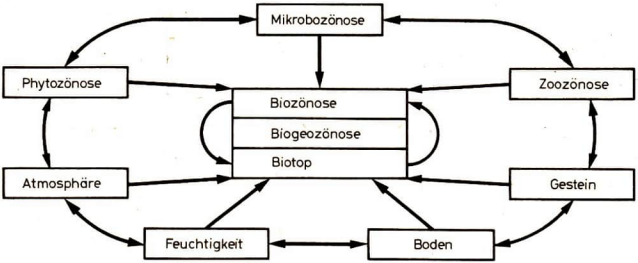


Abb. 144/1 Schema der Wechselbeziehungen zwischen den Komponenten der Biogeozönose

zenten, den grünen Pflanzen (Phytozönose), den Konsumenten, den Tieren (Zoozönose) und den Reduzenten, den Mikroorganismen (Mikrobozönose). Die wechselseitige Abhängigkeit dieser Komponenten bedingt das biologische Gleichgewicht der Biozönose.
6. Durch den Stoff- und Energieaustausch zwischen den nebeneinander befindlichen Biozönosen verschiedener Lebensstätten (Biotope) sind diese zum Biostroma verbunden (Abb. 145/1). Das Biostroma bildet den entscheidenden Bestandteil der Biosphäre, zu der auch Teile der Lithosphäre, der Hydrosphäre und der Atmosphäre der Erde gehören. Ergebnis und Vermittlung der Wechselbeziehungen zwischen den verschiedenen Bestandteilen der Biosphäre ist der Boden, die Pedosphäre.
7. Die elementare Einheit der Wechselwirkung von lebenden und nichtlebenden Bestandteilen der Biosphäre wird in der Biogeozönose realisiert. Das ist die Gesamtheit der in einem bestimmten Bereich der Erdoberfläche gleichartigen Naturerscheinungen (Atmosphäre, Gestein, Wasserhaushalt, Organismenwelt und Boden), die eine spezifische Struktur aufweisen, in bestimmter Art und Weise Stoff und Energie untereinander und mit der übrigen Natur austauschen und sich entwickeln (Abb. 145/1).

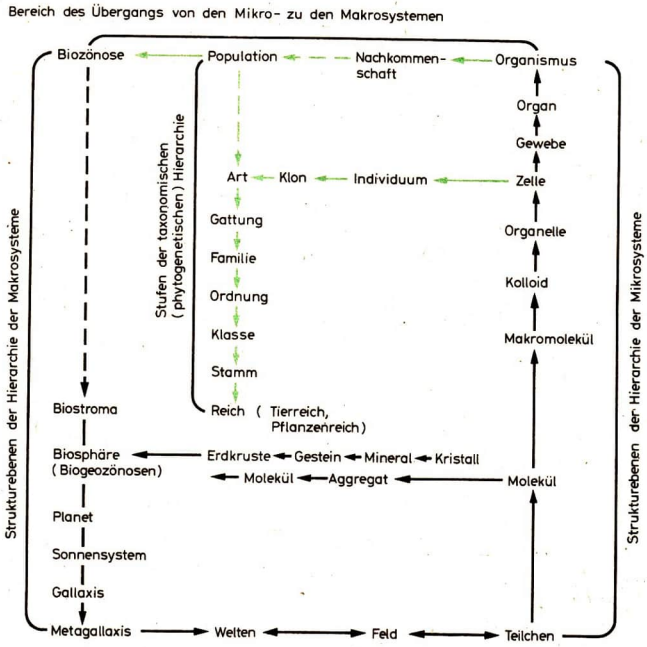
Die Evolution bestimmt die Daseinsweise der lebenden Natur. Sie findet primär auf der Ebene der Populationen und Arten statt. Von hier aus wirkt sie sich auf die über- und untergeordneten Strukturebenen des Lebendigen aus und bezieht sie in die historische Entwicklung der lebenden Natur als Ganzes ein. Andererseits wirken die Systeme der unter- und übergeordneten Strukturebenen als Bestandteil oder als Umwelt der Populationen und Arten auf die Evolution ein. Durch die Evolution verändert sich der Aufbau der Biozönosen ebenso wie die stoffliche Zusammensetzung der Organismen. Von der molekularen Ebene aufwärts durch die innerorganismischen und überorganismischen Strukturebenen der lebenden Natur hindurch läßt sich die enkaptische Hierarchie als allgemeines räumliches Ordnungsprinzip verfolgen.

Das durch eine Vielfalt von Spezialdisziplinen bearbeitete Forschungsgebiet der modernen Biologie erstreckt sich hinsichtlich der in ihm auftretenden räumlichen Dimensionen von den Atomen, Ionen und Molekülen bis zur Biosphäre. Und in zeitlicher Hinsicht hat die biologische Forschung es bei der Wechselwirkung der Moleküle mit Vorgängen zu tun, deren kürzeste in wenigen millionstel Sekunden ablaufen, und bei der Evolution des Lebens mit Ereignissen, die vor zwei bis vier Milliarden Jahren begannen. „System" und „Entwicklung" sind die beiden Schlüsselbegriffe, um die in

solchen Größenordnungen gegebenen Erscheinungen der lebenden Natur in ihren allgemeinen, wesentlichen und notwendigen Zusammenhängen gedanklich erfassen und das Wissen zur theoretischen Synthese führen zu können. Dabei sind die Erkenntnisse, die auf den bereits in der Vergangenheit entstandenen Forschungsgebieten der Biologie (z. B. Taxonomie und vergleichende Anatomie) gewonnen werden, ebenso notwendig, wie die Ergebnisse neuer Disziplinen (z. B. Molekulargenetik und Biokybernetik). Die Gesetze und Kategorien der materialistischen Dialektik stellen dafür die allgemeinen Denkbestimmungen dar.

Wie der große englische Naturforscher John D. BERNAL schrieb, „wird es jetzt immer offensichtlicher, daß in der Biologie neue Verallgemeinerungen von großer Tragweite heranreifen. Die zentralen Entdeckungen der Biochemie, die auf die dem

Abb. 145/1 Vereinfachtes Schema des Aufbaus der lebenden Natur und ihrer Beziehungen zur nicht lebenden Natur



Leben zugrunde liegende chemische Natur und auf den chemischen Ursprung des Lebens hindeuten, müssen noch zu einer allgemeinen biologischen Theorie zusammengefaßt werden. Eine derartige Theorie muß ihrem Wesen nach evolutionär sein, das heißt, sie muß das Gegenwärtige als Resultat des in biologischen Strukturen und Funktionen verkörperten Vergangenen erkennen lassen. Zum Begriff der Evolution war man auf Grund der sichtbaren Formen und Merkmale gekommen; die neue Auffassung muß die ganze Stufenleiter bis zu den Atomen berücksichtigen, ohne die größeren Einheiten Organismus und Gemeinschaft aus den Augen zu verlieren. Gerade weil sie die Materie und die Geschichte gleichzeitig umfassen muß, kann sie nur auf der Grundlage des dialektischen Materialismus entwickelt werden".

1 2 3 4

Durch die revolutionäre Entwicklung der Biologie im 20. Jahrhundert und die Anwendung des dialektischen Materialismus auf die Forschungsergebnisse ergibt sich ein neues Bild von der Gesamtheit der lebenden Natur.

Organismus, Art, Biozönose und Biostroma sind Grundformen des hierarchischen Aufbaus der lebenden Natur.

Sie sind jeweils Systeme mit speziellen Strukturebenen, gehören aber gleichzeitig als bestimmte Strukturebene anderen Systemen an. Sie unterliegen als Bestandteile der lebenden Natur der Evolution.

Durch die Biosphäre als Ganzes und die in ihr enthaltenen Biogeozönosen bildet die lebende Natur eine untrennbare Einheit mit der nichtlebenden Natur.

Die Entwicklung der Auffassung vom Leben

Die spezifischen Merkmale des Lebens

Es ist außerordentlich kompliziert, die spezifischen Merkmale des Lebens zu seiner Charakterisierung, zur Unterscheidung von lebender und nichtlebender Materie, von lebenden und toten Objekten zu bestimmen. Durch bestimmte Fortschritte auf dem Gebiet der Medizin (z. B. Organtransplantationen) sind eindeutige Kriterien zur Bestimmung des Todes eines Menschen auch für den Arzt von größter Bedeutung.

Ein Organismus kann tot sein, während einige seiner Organe (Nieren, Herz) außerhalb des Organismus oder in andere Organismen transplantiert weiterleben. Gleiches gilt für Gewebe oder einzelne Zellgruppen, die in entsprechenden Kulturen wachsen und sich vermehren können. Einzelne Zellenzyme können ihre Funktion bei entsprechenden Bedingungen im Reagenzglas weiter ausüben, zum Beispiel Eiweiße synthetisieren oder Nährstoffe spalten. Es gilt also zunächst die Systemebenen zu beachten, für die der Zustand des Lebens oder Nichtlebens bestimmt werden soll.

Eine generelle Abgrenzung des Lebens von Nichtleben muß von der Vielfalt der Lebenserscheinungen und ihren unterschiedlichsten Ausprägungen abstrahieren. Sie muß jene grundlegenden Merkmale erfassen, die allen Lebewesen gemeinsam sind, die

auch das einfachste als lebend bestimmte System in einer elementaren Ausprägung aufweist und die zumindest in ihrer Vollständigkeit nichtlebenden Objekten fehlen. Dazu gehören die grundlegenden Lebensprozesse, die untereinander in enger Wechselbeziehung stehen (Prozeßstrukturen), und die stofflichen Strukturen, die erforderlich sind, damit die Lebensprozesse zustande kommen (↗ S. 6). Nach gegenwärtigem Wissensstand lassen sich folgende Merkmale des Lebens angeben:

Übersicht über grundlegende Lebensprozesse

Prozesse zur Erhaltung des lebenden Zustandes	Prozesse zur Reproduktion und Vermehrung	Prozesse der Entwicklung lebender Systeme
Stoff- und Energiewechsel	Wachstum Teilung/Vermehrung	Individualentwicklung Mutation
Regulationen (einschließlich Reizbarkeit)	Vererbung	Phylogenetische Entwicklung (durch Erbänderung und Selektion)
Bewegungen	Gesellung	

Die stofflichen Grundlagen des Lebens sind vor allem durch solche makromolekularen Substanzen wie Proteine – einschließlich Enzyme – und Nukleinsäuren gekennzeichnet. An, in und zwischen stofflichen Strukturen laufen die Lebensprozesse als materielle Wechselwirkung ab.

Strukturen und Prozesse des Lebens heben sich auf allen Ebenen durch spezifische biologische Prinzipien gegenüber nichtlebenden Objekten, chemischen und physikalischen Vorgängen ab: Hohe Komplexität und Kompliziertheit, hohes Niveau der räumlichen und zeitlichen Ordnung (Organisiertheit) und Selbstregulation. In jedem lebenden System sind eine Fülle von Teilen und Prozessen so geordnet, daß sie zur Erhaltung und Entwicklung des Systems führen. Wird die räumliche oder zeitliche Ordnung, die Stoff- oder Prozeßstruktur in einem Ausmaß gestört oder zerstört, das nicht durch Regulation zu kompensieren ist, so folgt daraus ein Zustand, der Nichtleben bedeutet.

All die genannten Komponenten in ihrem Zusammenwirken bedingen und ermöglichen die höhere Qualität, die Eigengesetzlichkeit der lebenden gegenüber nichtlebender Materie. Auf einem hohen Niveau der Kompliziertheit, Komplexität und Organisiertheit chemisch-physikalischer Stoff- und Prozeßstrukturen schlägt die anorganische Bewegungsform der Materie in die qualitativ höhere biologische Bewegungsform der Materie um. Bei zunehmender Aufklärung aller wesentlichen Komponenten wird es möglich sein, einfache lebende Substanz zu produzieren.

Vitalistische und mechanistische Lebensauffassungen

Jahrtausendelang vollzog sich in bezug auf die Auffassung vom Leben ein harter Kampf zwischen Materialismus und Idealismus, der auch heute noch nicht abgeschlossen ist. Die Materialisten versuchten stets, das Leben aus materiellen Ursachen zu erklären. Dabei konnten sie selbstverständlich immer nur die jeweilige Auffassung vom Wesen der Materie zugrunde legen.

* So deutete der altgriechische Philosoph DEMOKRIT das Leben als besonders komplizierte Form des Zusammenhangs der Atome. In bezug auf die Ontogenese ver-

trat DEMOKRIT zum Beispiel die Auffassung von der Präformation des fertigen Körpers im Samen. Jede Atomgruppe des entwickelten Organismus hatte danach im Samen ihre entsprechende Anlage, und Ontogenese bedeutete lediglich Wachstum und Entfaltung des im Samen Präformierten. *

Der Idealismus kam und kommt besonders in den verschiedenen Formen des Vitalismus zum Ausdruck. Dieser nimmt als Ursache der Lebenserscheinungen besondere, als unerkennbar erklärte immaterielle Faktoren an, die unter anderem als Lebenskraft (vis vitalis), Lebensagens, Entelechie oder Richtfaktor bezeichnet werden.

Die Auseinandersetzung zwischen Materialismus und Idealismus fand einen Höhepunkt im Mechanismus-Vitalismus-Streit des 19. Jahrhunderts, der bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts andauerte. Die großen Erfolge der Physik, insbesondere der Mechanik, und der Chemie im 18. und 19. Jahrhundert (z. B. die Harnstoffsynthese) sowie die Anregungen, die durch die Anwendung chemischer und physikalischer Methoden bei der Klärung einzelner biologischer Prozesse gegeben wurden, führten zur mechanistischen Lebensauffassung, die dem vormarxschen mechanischen Materialismus entsprach. Ausgangspunkt war die materialistische These von der prinzipiellen Einheit des Materiellen, des Anorganischen und des Organischen. Dabei wurde jedoch einseitig das dem Nichtlebenden und Lebenden Gemeinsame verabsolutiert, das Leben auf chemische und physikalische Vorgänge reduziert und die Eigengesetzlichkeit des Lebens vernachlässigt, die mit den Gesetzen der Mechanik, der Physik und Chemie allein nicht faßbar ist. Der mechanistischen Auffassung lag eine vereinfachte, aus der Mechanik abgeleitete Vorstellung vom Kausalzusammenhang zugrunde, bei der jede Wirkung durch eine Ursache eindeutig bestimmt ist. Sie betrachtete die lebende Natur als ununterbrochene Kette von Kausalbeziehungen, als ablaufendes Uhrwerk, als Maschine. Sie erfaßte demnach immer nur einzelne Seiten des Lebensgeschehens, während dieses als komplexer Vorgang im allgemeinen von einer größeren Anzahl miteinander wechselwirkender Faktoren abhängig ist.

* Der Zoologe W. ROUX (1850 bis 1924) zum Beispiel begründete mit seinen berühmten Versuchen mit Froschkeimen die „Entwicklungsmechanik". Von befruchteten Froscheiern tötete er auf dem Zweizellenstadium eine Furchungshälfte mit heißer Nadel ab. Aus der überlebenden Furchungszelle ging ein halbseitiger Embryo hervor (↗ S. 83). ROUX betrachtete daraufhin den Kern der Eizelle als Mosaik der Anlagen aller Teile des fertigen Organismus, die sich allmählich entfalteten.

Der Zoologe DRIESCH (1867 bis 1941) wies dagegen nach, daß sich die im Zwei- oder gar Vierzellenstadium unbeschädigt voneinander getrennten Furchungsteile von Seeigeleiern zu zwar kleineren, aber normalen Seeigellarven entwickeln (↗ S. 84). Zur Erklärung des komplizierten Entwicklungsgeschehens nahm er die Existenz einer immateriellen steuernden und lenkenden Instanz an, die er unter Rückgriff auf ARISTOTELES wieder „Entelechie" nannte. Darunter verstand er ein „seelenartiges Agens", das mit dem Material, den Erbanlagen, arbeite. Damit begründete er den Neovitalismus. *

Der Vitalismus/Neovitalismus lehnt eine Erklärung des Lebens durch physikalische und chemische Gesetze ab, er betont einseitig das Spezifische des Lebenden, durch das sich dieses vom Nichtlebenden unterscheidet, löst es aus dem Naturzusammenhang heraus, verselbständigt es und erklärt es idealistisch. Er errichtet damit unüberbrückbare Schranken zwischen der nichtlebenden und der lebenden Natur.

Mechanismus und Vitalismus waren notwendige beziehungsweise verständliche Entwicklungsstufen in der Erkenntnis des Wesens des Lebens. Idealistisch-vitalistische Auffassungen waren stets mit der Ideologie reaktionärer Klassen verbunden und wurden

von ihr gefördert (Vergleiche: Einführung in den dialektischen und historischen Materialismus, Berlin 1972, S. 88).

Die Überlegenheit des Mechanismus gegenüber dem Vitalismus bestand darin, daß er konsequent materialistisch vorging, das Leben logisch und naturwissenschaftlich faßbar – ohne zwecktätiges Agens, ohne Schöpfer und übernatürliche Faktoren – auf der Grundlage des universellen Kausalgesetzes zu erklären suchte. Durch einseitige, mechanistische Betrachtungen wurde und wird jedoch ebenfalls die weitere Forschung behindert. Durch einseitige Auffassung erschienen zum Beispiel die Vererbungslehre (die die Konstanz der Organismen in den Vordergrund stellte), die Darwinsche Evolutionstheorie (die die Veränderlichkeit der Organismen postulierte) und die Mutationstheorie weitgehend als miteinander unvereinbare Alternativen.

Die dialektisch-materialistische Lebensauffassung

Friedrich ENGELS entwickelte die erste dialektisch-materialistische Erklärung des Lebens: Im Vergleich zur anorganischen Materie ist Leben eine höhere Bewegungsform der Materie, ist es die spezifische Daseinsweise der Eiweißkörper, die die physikalisch-chemische Existenzform der Materie voraussetzt und in sich aufhebt. Diese These von Engels vereinigt in sich die progressiven Momente aller vorausgegangenen Erklärungen und hebt sie auf eine höhere Stufe. Sie hat sich als außerordentlich fruchtbare weltanschauliche, theoretische und methodologische Ausgangsposition für die biologische Forschung erwiesen. Sie erklärt das Leben als besonders komplizierte Form der Wechselwirkung zwischen hochorganisierten chemisch-physikalischen Stoffen und Prozessen (Systemelementen) in hochorganisierten Systemen und orientiert auf deren Untersuchung.

Diese Auffassung bestätigt die moderne Biologie eindeutig durch die Klärung verschiedener Schlüsselprozesse des Lebens auf der Grundlage ihrer molekularen Mechanismen, durch die Möglichkeit, solche Prozesse außerhalb des Organismus, mit aus Zellen gewonnenen leblosen Komponenten ablaufen zu lassen. Sie wird weiter präzisiert, indem die Biologie zunehmend alle Grundprozesse des Lebens als materielle Wechselwirkung zwischen Systemelementen erklärt, die Hauptkennzeichen des Phänomens „Leben" zusammenträgt und dadurch feststellt, worin die höhere Qualität, die charakteristische Besonderheit dieser Daseinsform besteht. Durch die Fortschritte der Molekularbiologie – insbesondere der Molekulargenetik – ist die Wissenschaft in den letzten 20 Jahren den Grundlagen des Lebens nähergekommen als durch alle vorangegangene Forschung. Die Erkenntnisse auf dem Gebiet der Molekularbiologie beweisen eindeutig die materielle Einheit des Lebens und seinen konkreten und historischen Zusammenhang mit der anorganischen Bewegungsform der Materie. Mit diesen Erkenntnissen und mit der Klärung der Abstammung des Menschen trägt die Biologie wesentlich zum Beweis der materiellen Einheit der Welt überhaupt bei.

Mit dem Aufdecken des objektiven materiellen und dialektischen Charakters der Lebensvorgänge setzt sich die dialektisch-materialistische Position und Denkweise auch bei bürgerlichen Naturforschern – vielfach unbewußt und unabhängig von anderen philosophischen Auffassungen – immer mehr durch. Der Vitalismus ist damit zumindest in der ernsthaften wissenschaftlichen biologischen Forschung endgültig besiegt.

Obwohl Vitalismus und Mechanismus jegliche wissenschaftliche Grundlage verloren haben, versuchen klerikale Kreise und Vertreter anderer reaktionärer monopolistischer Ideologie noch immer, Elemente idealistischer und auch mechanistischer Deutungen

des Lebens aufrechtzuerhalten. Sie fürchten vor allem, daß die Wissenschaftler, ausgehend von der Gesetzmäßigkeit der Naturprozesse, auch die Gesetzmäßigkeit gesellschaftlicher Entwicklung anerkennen und sich entsprechend verhalten. So werden vielfach durch den Einfluß imperialistischer Ideologie an richtige naturwissenschaftliche Erkenntnisse idealistische oder mechanistische Deutungen angehängt. Zum Beispiel wird die Überbewertung zufälliger Momente im gesetzmäßigen biologischen Geschehen, etwa in der Vererbung oder in der Evolution, dazu benutzt, um die Gesetzmäßigkeit im gesellschaftlichen Bereich zu leugnen (Vergleiche auch: Einführung in den dialektischen und historischen Materialismus, Berlin 1972, S. 66 u. S. 456).

5 6 7 8

Leben zeichnet sich gegenüber Nichtleben auf allen Systemebenen durch stoffliche Grundlagen und Prozesse aus, die durch ein unvergleichlich hohes Niveau der räumlichen und zeitlichen Ordnung spezifisch geprägt sind, so daß Selbstregulation der lebenden Systeme zustande kommt. Nur die Gesamtheit dieser Merkmale bestimmt das Leben.

Mit dem immer tieferen Eindringen der Biologie in die Lebensprozesse wandelt sich die Auffassung vom Leben. Die vitalistischen und mechanistischen Theorien sind nicht mehr haltbar, die dialektisch-materialistische Auffassung setzt sich immer mehr durch.

Der Mensch als Einheit von Biologischem und Gesellschaftlichem

Die Entwicklung der biologischen Forschung führt auch zu weiteren Erkenntnissen des Menschen über sich selbst. Der Mensch ist ein gesellschaftliches Wesen, das zugleich wesentliche biologische Grundlagen hat. Allen seinen Aktivitäten liegen nach biologischen Gesetzen ablaufende Lebensäußerungen seines Organismus zugrunde. Sie sind jedoch durch gesellschaftliche Faktoren (z. B. bewußte Zielsetzungen, Lebensbedingungen) vollständig oder teilweise motiviert, mehr oder weniger stark geprägt oder modifiziert. Fast alle körperlichen und geistigen Tätigkeiten und Merkmale des Menschen sind somit das Ergebnis des Zusammenwirkens biologischer und gesellschaftlicher Komponenten. Man spricht von einem dialektischen Wechselverhältnis, einer dialektischen Einheit von Biologischem und Gesellschaftlichem.

In diesem Wechselverhältnis werden die biologischen Aspekte des Lebens durch die morphologischen und funktionalen Strukturen der Lebensprozesse realisiert. Sie schließen Abläufe auf molekularem und zellularem Niveau ein, sowie auch Prozesse auf der Ebene der Gewebe, Organe, des Organismus und überindividueller Gruppen.

Die gesellschaftlichen (sozialen) Aspekte des menschlichen Lebens werden durch das gesellschaftliche Sein (materielle Produktion, Produktions-, Klassen-, Familienverhältnisse usw.) und das gesellschaftliche Bewußtsein (vorhandenes Wissen, Weltanschauung, Ideologie, juristische Normen usw.) bestimmt.

Der Einfluß der biologischen und gesellschaftlichen Faktoren aufeinander, ihr Anteil an den einzelnen Handlungen, Merkmalen und Eigenschaften des Menschen ist sehr unterschiedlich. Im allgemeinen nimmt der Einfluß des Gesellschaftlichen von den höchsten Organisationsebenen menschlichen Lebens (gesellschaftliches Leben der Gruppen) bis zu den untersten (molekulare Prozesse) ab. Für die biologische Komponente gilt die umgekehrte Beziehung. Die Erforschung der Beziehungen zwischen Biologischem und Gesellschaftlichem spielt eine große Rolle für die bewußte Gestaltung des gesellschaftlichen Lebens.

Der Übergang von biologischer zu gesellschaftlicher Lebensweise

Die Einheit von biologischen und gesellschaftlichen Faktoren beim Menschen hat sich mit der Anthropogenese entwickelt. In der relativ langen biologischen Evolution der unmittelbaren tierischen Vorfahren des Menschen (subhumane Hominiden) bildeten sich mit dem Wandel der Existenzbedingungen, mit dem Übergang vom Waldleben zum Steppenleben, die biologischen Voraussetzungen für ihren Übergang zu gesellschaftlicher Lebensweise heraus. Dazu gehören: aufrechte Körperhaltung, Vergrößerung und Differenzierung des Gehirns, Erweiterung der psychischen Leistungsfähigkeit, Abbau der biologischen Fixierung des Verhaltens und Zunahme seiner Flexibilität, Verwendung vorgefundener Gegenstände zum Gebrauch als „Werkzeuge", hochorganisierte biologische Gruppenbildung.

Mit der allmählich sich entwickelnden planvollen und regelmäßigen Werkzeugherstellung begann der Übergang von biologischer zu gesellschaftlicher Daseinsweise der Vorfahren des Menschen. Die ersten Anfänge der menschlichen Arbeit, die damit verbundenen psychischen Merkmale (z. B. Lernfähigkeit, Gedächtnis) und sozialen Verhaltensweisen begünstigten das Überleben der jeweiligen Individuen und Gruppen und hatten demnach einen hohen biologischen Selektionswert. Dadurch wurde die weitere biologische Evolution der ersten Menschen (humane Hominiden) auf die weitere Vervollkommnung der biologischen Voraussetzungen eben dieser gesellschaftlichen Komponenten sowie auf den Abbau aller diesem Prozeß entgegenstehenden biologischen Merkmale gerichtet. So konnten sich in Wechselwirkung miteinander Arbeit und Bewußtsein, Sprache und gesellschaftliche Beziehungen zwischen den Menschen ständig weiterentwickeln und zugleich Richtung und Tempo der biologischen Evolution anregen.

* Die Lebensweise der Frühmenschen wurde anfangs noch vorwiegend von biologischen Faktoren bestimmt. Allmählich nahm der Einfluß der neuen und höheren gesellschaftlichen Beziehungen auf das Leben der Menschen zu. Die dialektische Einheit von Biologischem und Gesellschaftlichem kam mehr und mehr in allen Lebensäußerungen zum Ausdruck. Mit der Verbesserung der Werkzeuge, dem Fortschritt der Produktion, der gesellschaftlichen Beziehungen, des Bewußtseins und so weiter erhob sich der Mensch immer mehr über die enge biologisch-tierische Lebensweise. Er erwarb dadurch die Fähigkeit, seine Bedürfnisse besser zu befriedigen, seinen Aktionsradius ständig zu erweitern, die Umwelt zu seinen Gunsten zu verändern. Er produzierte neue, gesellschaftliche Bedürfnisse. Im ständigen Aufeinanderwirken der biologischen und gesellschaftlichen Komponenten erlangten die gesellschaftlichen schließlich den bestimmenden Einfluß auf die gesamte Lebensweise der Menschen und ihre weitere Entwicklung. Damit war der endgültige Übergang von der biologischen zur qualitativ höheren gesellschaftlichen Daseinsweise vollzogen. Die weitere gesellschaftliche Entwicklung löste

sich zunehmend von der Abhängigkeit von biologischen Veränderungen und damit von der biologischen Evolution. Schließlich verfügte die Homo sapiens-Gruppe (z. B. vom Cromagnon-Typ) vor ungefähr 40000 bis 50000 Jahren über alle körperlich-biologischen Voraussetzungen für eine im Prinzip unbeschränkte gesellschaftliche Entwicklung. Die weitere Entwicklung des Menschen vollzieht sich im wesentlichen als gesellschaftliche Entwicklung auf höherer Ebene durch die Dialektik von Produktivkräften und Produktionsverhältnissen – unabhängig von biologischer Evolution, wenn auch von ihr nicht völlig unbeeinflußt. *

In der Anthropogenese werden die biologischen Grundlagen des Menschen zunehmend in die bestimmenden gesellschaftlichen Zusammenhänge eingeordnet. Ihre Rolle im menschlichen Leben wird immer mehr durch die Art der Wechselwirkung mit gesellschaftlichen Faktoren bestimmt. Sie erhalten dadurch einen für den Menschen spezifischen Charakter.

Die biologischen Gesetze behalten ihre Gültigkeit, werden aber durch gesellschaftliche Gesetze „überformt".

So haben sich zum Beispiel die biologischen Grundlagen von Ernährung, Schlaf, Sexualität, Fortpflanzung, Mutterschaft der Frau seit der Steinzeit kaum verändert. Die zunehmenden Erkenntnisse des Menschen über diese Grundlagen, ihre bewußte Kontrolle und Einordnung in vielfältige gesellschaftliche Beziehungen kommt in den unterschiedlichsten Ausprägungen in vielfältigen Kulturen zum Ausdruck. Die Unterschiede in den mehr als 3000 verschiedenen Kulturgestaltungen, die sich seit der jüngeren Altsteinzeit – ausgehend etwa von Menschengruppen des Cromagnon-Typs – entwickelt haben, sind nicht biologisch, sondern gesellschaftlich bedingt.

Die Integration der biologischen Grundlagen des Menschen in gesellschaftliche Zusammenhänge setzt sich unaufhörlich fort. Damit wächst die Dominanz der gesellschaftlichen Faktoren über die biologischen Faktoren; die Herrschaft des Menschen über die eigene biologische Natur vervollkommnet sich.

Es ist die Aufgabe aller verantwortungsbewußten Menschen, darauf zu achten, daß sich diese Beherrschung der eigenen biologischen Natur zum Wohle der Menschheit auswirkt. In vollem Umfange kann das nur eine von Ausbeuterinteressen befreite Gesellschaft gewährleisten.

Biologische und gesellschaftliche Entwicklung des Menschen

Die biologische Evolution der Arten führt durch Erbänderung, Rekombination und Selektion in relativ langen Zeiträumen über eine Veränderung des Genotyps zur Anpassung der Art an bestimmte Umwelten. Umweltänderungen erfordern die Veränderung der biologischen Konstitution oder führen bei zu krassem Wechsel zum Aussterben der Art.

Die biologische Evolution des Menschen erfolgt nach gleichen Evolutionsgesetzen wie die anderer Organismen. Die Evolutionsfaktoren und ihre Wirkungsweise sind jedoch wesentlich gesellschaftlich bestimmt (z. B. zunehmende Aufhebung der Isolate menschlicher Populationen, gesellschaftlich bedingte unterschiedliche Vermehrungsrate verschiedener Populationen, medizinischer Fortschritt).

* Die gegenüber der biologischen Entwicklung unvergleichlich schnellere gesellschaftliche Entwicklung – die Änderung der Organisation der gesellschaftlichen Verhältnisse (Dialektik von Produktivkräften und Produktionsverhältnissen) – ermöglicht es dem Menschen, immer umfassendere Bereiche der Umwelt seinen Bedürfnissen gemäß

zu gestalten, sie seiner eigenen Natur anzupassen. Voraussetzung und Folge dieses gesellschaftlichen Entwicklungsprinzips ist das Sammeln und Übertragen von Erfahrungen von Individuum zu Individuum, von Generation zu Generation. Das soziale (gesellschaftliche) Programm der Menschheit (z. B. wissenschaftliche Erkenntnisse, technische Mittel, Weltanschauung, ethische und juristische Normen) wird – unabhängig von genetischen Informationen – auf der Basis der materiellen gesellschaftlichen Bedingungen von Generation zu Generation angereichert, verändert und umgestaltet und durch Erziehung weitergegeben.

Dieser Prozeß ermöglicht bei entsprechenden gesellschaftlichen Bedingungen über die Umweltgestaltung und Erhöhung des Kulturniveaus eine wachsende Bereicherung und Vervollkommnung des menschlichen Lebens, den sozialen Fortschritt. Er kann sich unaufhörlich und unabhängig von biologisch-genetischen Grundlagen fortsetzen, solange die Menschheit existiert (Vergleiche: Einführung in den dialektischen und historischen Materialismus, Berlin 1972, S. 468 f.). Die gesellschaftlichen Errungenschaften machen den Menschen weitgehend unabhängig von den Einflüssen der natürlichen Umwelt. Sie kompensieren den Gegensatz zwischen Organismus und Umwelt und annullieren damit offensichtlich den entscheidenden Impuls biologischer Evolution. Dadurch bedingen sie eine relative Stabilität der wesentlichen biologischen Grundlagen des Menschen. *

Biologische und gesellschaftliche Faktoren in der Individualentwicklung

Die Ontogenese der Organismen ist im wesentlichen eine Folge der Wechselwirkungen von vorliegenden Erbinformationen und weiteren, im Verlaufe der Ontogenese sich ständig verändernden inneren und äußeren Entwicklungsbedingungen. Das Erbgut bestimmt die Entwicklungsmöglichkeiten innerhalb einer bestimmten Variationsbreite. Viele Potenzen des Genotyps werden gar nicht oder nur zu einem geringen Teil in den Phänotyp übersetzt, weil entsprechende Bedingungen nicht oder nicht ausreichend vorhanden sind.

Die biologischen Grundlagen des Menschen bilden sich grundsätzlich nach gleichen Gesetzmäßigkeiten aus, die jedoch mehr und mehr durch ein „soziales Filter" wirksam werden. Die Ausprägung des Phänotypus wird bereits wesentlich durch die gesellschaftliche Umwelt beeinflußt, die über die inneren Bedingungen wirkt.

Durch die Optimierung seiner Entwicklungsbedingungen vermag es der Mensch, die in der jeweiligen Erbinformation gegebenen biologischen Möglichkeiten in ebenfalls optimaler Weise zur Ausbildung zu bringen. Das äußert sich zum Beispiel in der seit Beginn der Industrialisierung sich vollziehenden Akzeleration, der zunehmenden Lebenserwartung, der verringerten Säuglingssterblichkeit (Abb. 154/1). In der Klassengesellschaft haben die Angehörigen der herrschenden Klassen und die oberen Sozialschichten bei diesen Prozessen auf Kosten der ausgebeuteten Klassen einen Vorsprung von mehreren Jahrzehnten gegenüber dem Durchschnitt der Bevölkerung. In Kriegs- und Krisenzeiten wurde diese gesellschaftlich bestimmte Optimierung biologischer Vorgänge jeweils gehemmt oder zurückgedrängt (Abb. 154/2).

Neue Forschungen zeigen, daß auch die endgültige phänotypische Ausprägung der Strukturen des Großhirns, also der organischen Grundlagen der Intelligenz, die sich auf der Grundlage der Erbinformationen in den ersten Jahren nach der Geburt vollzieht, durch soziale Bedingungen wie Ernährung, Pflege, körperliche und geistige Beanspruchung des Kindes beeinflußt wird.

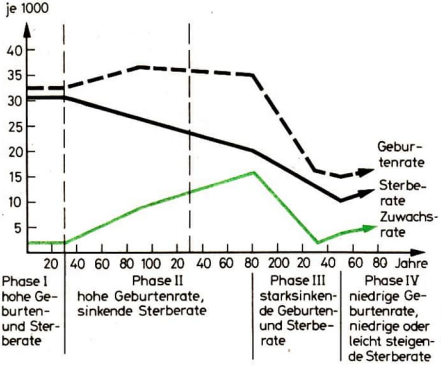


Abb. 154/1
Typische Bevölkerungsentwicklung in einem westeuropäischen Industrieland

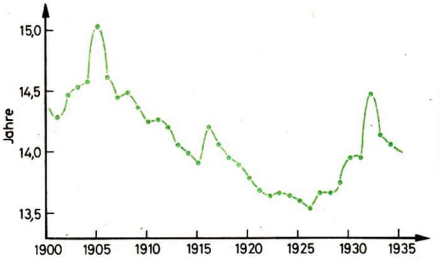


Abb. 154/2
Kurve der Akzeleration. Dargestellt am durchschnittlichen Menarchealter bei Frauen aus dem Kreis Greifswald. Rückgang der Akzeleration während und nach dem 1. Weltkrieg und der Weltwirtschaftskrisen der 30er Jahre

Auf der Grundlage seiner so herausgebildeten biologischen Organe eignet sich der Mensch, vermittelt durch Familienangehörige, gesellschaftliche Erzieher, Organisationen, die in seiner gesellschaftlichen Umwelt übliche Art und Weise des Denkens, Verhaltens, die gesellschaftlich bestimmte Lebensweise, die ethischen Normen, kurz, den bisher erreichten gesellschaftlichen Entwicklungsstand an und schafft damit zugleich die Ausgangsposition für das eigene Mitwirken an der weiteren Entwicklung.

* Jeder Mensch entwickelt auf diese Weise in Wechselwirkung zwischen seinen organischen Grundlagen und der Aneignung der gesellschaftlichen Erfahrungen die relativ beständigen inneren Bedingungen seines Denkens und Verhaltens, die Maßstäbe, nach denen er die Wirklichkeit beurteilt und wertet sowie gesellschaftliche Motive seines Handelns. Weitere Einflüsse werden immer nur über die inneren Bedingungen wirksam und wirken daher bei verschiedenen Menschen unterschiedlich.

Das Individuum wird daher in seiner Entwicklung wesentlich durch den ihm zugänglichen Teil der gesellschaftlichen Erfahrungen bestimmt, durch seine gesellschaftlichen Entwicklungsbedingungen. *

In bezug auf die psychische und physische Leistungsfähigkeit eines Menschen begrenzen die biologischen Komponenten nur das weite Feld der Möglichkeiten, in dem sich die Fähigkeiten zur Auseinandersetzung mit der Umwelt ausbilden können. Wie weit organisch gegebene Möglichkeiten der Entwicklung mathematischer, künstlerischer oder auch sportlicher Leistungsfähigkeit verwirklicht werden, entscheiden die jeweiligen gesellschaftlich bestimmten Entwicklungsbedingungen. Das biologische Erbgut eines Menschen kann die Aneignung bestimmter Bereiche der gesellschaftlichen Erfahrungen erleichtern oder erschweren, aber es entscheidet nicht darüber, welches soziale Programm oder welcher Teil davon angeeignet wird. Die psychische Leistungsfähigkeit eines Menschen ist somit stets das Ergebnis der spezifischen dialektischen Wechselwirkung seiner organischen Grundlagen mit seinen gesellschaftlichen Entwicklungsbedingungen.

So ist zum Beispiel der unterschiedliche Anteil von Arbeiter- und Bauernkindern an Hochschulen in der DDR und der BRD nicht Ausdruck unterschiedlicher Erbanlagen, sondern gegensätzlicher gesellschaftlicher Bedingungen.

In bezug auf die menschliche Persönlichkeit sind also die gesellschaftlichen Faktoren das Dominierende in der Dialektik von Biologischem und Gesellschaftlichem. Der Mensch ist in seinem Wesen, wie MARX feststellte, „das Ensemble der gesellschaftlichen Verhältnisse".

Der Mensch ist ein gesellschaftliches Wesen mit zugleich wesentlichen biologischen Grundlagen. Es besteht eine dialektische Einheit von biologischen und gesellschaftlichen Komponenten. Die biologische Evolution schuf die Voraussetzungen für die Entwicklung des gesellschaftlichen Lebens des Menschen. Die weitere Entwicklung der Menschheit vollzieht sich vorwiegend auf gesellschaftlicher Ebene durch spezifische gesellschaftliche Gesetze. Diese beeinflussen auch die biologische Entwicklung des Menschen. Durch die biologischen Grundlagen jedes Menschen werden Entwicklungsmöglichkeiten gegeben, der Grad ihrer Realisierung wird weitgehend durch die gesellschaftliche Umwelt bestimmt.

In bezug auf die menschliche Persönlichkeit sind die gesellschaftlichen Faktoren das Dominierende in der Dialektik von Biologischem und Gesellschaftlichem.

Biologie und gesellschaftliche Praxis

Bisher bestand die Bedeutung der Biologie für die gesellschaftliche Praxis vor allem darin, daß sie nach und nach wissenschaftlich beschrieb und erklärte, was Bauern, Tier- und Pflanzenzüchter, Forstwirte, Fischer, Winzer, Bierbrauer, Apotheker und Ärzte zu tun gelernt hatten sowie Wissen an die Stelle vor- und unwissenschaftlicher Vorstellungen zu setzen. Im Dienste der Medizin sowie der Erzeugung von Nahrungsgütern und Rohstoffen für Industrie und Handwerk half und hilft die Biologie, menschliche Arbeit rationeller und effektiver zu gestalten. Als Folge ihres revolutionären Erkenntnisfortschrittes ist die Biologie heute dabei, die Herrschaft über das Leben auf der Erde, einschließlich der Lebensvorgänge des menschlichen Organismus, in die Hand des gesellschaftlichen Menschen zu geben, so wie ihm die Physik die Kräfte des Atoms erschlossen hat. In diese Richtung weisen die Worte des bekannten sowjetischen Genetikers N. P. DUBININ: „Die Steuerung des Lebens, die auf der Erkenntnis seines Wesens beruht, halten wir für das zentrale Problem der modernen Biologie. Das Hauptziel der Biologie ist die Lösung praktischer Aufgaben der Landwirtschaft und der Medizin sowie die Steuerung des Lebens insgesamt auf unserem Planeten. Es sind Bedingungen für eine beträchtliche Leistungssteigerung der Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen zu schaffen; wir müssen Verfahren für den Kampf um die Gesundheit, eine lange Jugend und ein langes Leben des Menschen beherrschen lernen und Methoden ausarbeiten, mit denen sich die der Evolution der Arten zugrunde liegenden genetischen Prozesse steuern lassen".

Unter fortschrittlichen gesellschaftlichen Produktionsverhältnissen zum Wohle des Menschen angewendet, ist das biologische Wissen ein wichtiges Mittel, um die anwachsende Erdbevölkerung zu ernähren, ihre Gesundheit zu schützen, den technischen Fortschritt zu fördern, die Gefahren der Umweltverschmutzung zu bannen und die natürlichen Reichtümer der Biosphäre sinnvoll zu nutzen. Die Biologie nimmt an der Entwicklung der Naturwissenschaft zur unmittelbaren Produktivkraft teil. Sie schafft die wissenschaftlichen Voraussetzungen, um die Lebensprozesse zu beherrschen und die Biosphäre bewußt und planmäßig zu gestalten.

Bedeutung der Biologie als unmittelbare Produktivkraft

Welternährung

Eine erstrangige Aufgabe der Biologie besteht darin, neue Möglichkeiten zu erschließen, um die Ernährung der anwachsenden Bevölkerung der Erde quantitativ und qualitativ sichern zu helfen (Abb. 157/1). Die Anzahl der unterernährten Menschen auf

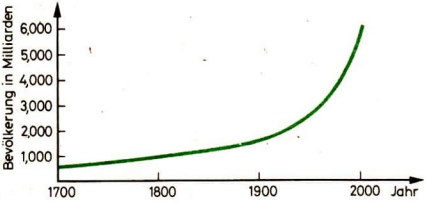


Abb. 157/1 Geschätzter Bevölkerungszuwachs bis zum Jahre 2000

der Erde wird gegenwärtig auf etwa zwei Drittel der Gesamtbevölkerung der Erde geschätzt, wobei der Eiweißmangel eine besondere Rolle spielt. In jeder Viertelstunde sterben etwa 200 Menschen auf der Erde an Hunger. Nahrungsmangel sowie rasches Bevölkerungswachstum treten vor allem in den Entwicklungsländern Afrikas, des mittleren Ostens und Lateinamerikas in Erscheinung. Als Folge der ehemaligen kolonialen Ausbeutung und des daraus resultierenden niedrigen Entwicklungsstandes der Produktivkräfte, der mit geringer Arbeitsproduktivität und Arbeitslosigkeit verbunden ist, hält die Nahrungsmittelproduktion mit der Bevölkerungszunahme nicht Schritt. Die sachliche Analyse dieser Situation führt nicht zu Naturbedingungen und -gesetzen, sondern zu sozialökonomischen Verhältnissen. Sie entlarvt den Imperialismus durch seine kolonialistische Versklavung und neokolonialistische Ausbeutung ganzer Völker als schuldig am Hunger der Millionen in Afrika, Asien und Lateinamerika.

Diese politische Erkenntnis orientiert die Völker der Entwicklungsländer auf den nichtkapitalistischen Entwicklungsweg, der in den historischen Prozeß des Übergangs der Menschheit vom Kapitalismus zum Sozialismus einmündet. Sie beweist, daß den hungernden und arbeitslosen Massen dauerhaft nur durch die planmäßige Entwicklung der Produktivkräfte geholfen werden kann, ihren Lebensstandard zu verbessern, ihr Bildungs- und Gesundheitswesen zu entwickeln. Durch Industrialisierung und Verstädterung, durch wachsenden Wohlstand und steigende Bildung wird sich dann auch die „Bevölkerungsexplosion" einregulieren, denn die Geburtenziffern hängen von den sozialökonomischen Bedingungen ab, nicht umgekehrt (↗ S. 173f.). In diesem Zusammenhang finden dann auch Familienplanung und Methoden der Geburtenregelung ihren Platz, wobei deren Anwendung wesentlich vom Bildungsniveau abhängt. Mechanisierung und Chemisierung der landwirtschaftlichen Produktion, Bodenmelioration, Züchtung neuer Rassen und Sorten von Nutztieren und Kulturpflanzen, die Erschließung neuer Arten für die land-, forst- oder fischwirtschaftliche Nutzung sowie die umfassende und rationelle Nutzung der biologischen Ressourcen der Süßwasser und des Weltmeeres sind wichtige Faktoren der Produktivkraftentwicklung für die Nahrungsmittelproduktion. Die Synthese von Eiweißen und anderen organischen Stoffen durch die chemische Industrie, die zu Futtermitteln für Nutztiere und zu Nahrungsmitteln für den Menschen verarbeitet werden, gewinnt zunehmend an volkswirtschaftlicher Bedeutung.

Für die menschliche Ernährung sind die Nahrungsketten „Pflanze – Tier – Mensch" und „Pflanze – Mensch" grundlegend. In der landwirtschaftlichen Produktion wird die Biologie wesentlich zur unmittelbaren Produktivkraft. Der biologisch-technologische Prozeß ist seinem Wesen nach ein stoffproduzierender Prozeß, der durch biologisch-stoffproduzierende autoregulative Systeme (Organismen) realisiert wird. Die Tier- und

Pflanzenzüchtung als vom Menschen gesteuerte und kontrollierte Evolution schafft Genkombinationen bei Organismen, die unter bestimmten Bedingungen höchste Produktionsziele ermöglichen.

Physikalisch- und chemisch-technologische Teilprozesse, zum Beispiel Bodenbearbeitung, Bewässerung, chemische Schädlingsbekämpfung, schaffen günstige Bedingungen für die biologische Stoffproduktion. Die Mechanisierung und Automatisierung der Agrarproduktion erfordert organismengerechte Maschinen ebenso wie die Züchtung von Pflanzen und Tieren, die maschinengerecht sind. Neben der Auslesezüchtung und Kombinationszüchtung bei Pflanzen und Kreuzungszüchtung bei Tieren erschloß die moderne Genetik der Züchtung die Methoden der genetisch regulierten Heterosis, der experimentellen Polyploidie und der Erzeugung von Genmutationen durch Strahlung und chemische Mutagene (↗ S. 133). Polyploide Zuckerrübensorten liefern einen um 25 % höheren Zuckerertrag als die zuvor angebauten Sorten. Auch mit polyploiden Sorten von Klee, Roggen und Wein konnten beträchtliche Ertragssteigerungen erzielt werden. Hybridsorten mit Heterosiseffekt von Mais und verschiedenen Gemüsen bringen um bis zu 50 % und heterotische Weizenhybriden um 50 bis 100 % gesteigerte Erträge.

Die verschiedenen Disziplinen der Pflanzen- und Tierphysiologie sowie der Landwirtschaftswissenschaften ermitteln die optimalen Bedingungen für die Verwirklichung der Produktionsziele auf der Grundlage der durch die Züchtung erreichten genetischen Möglichkeiten: Durch die jeweils günstige Gestaltung der verschiedenen Wachstums- und Entwicklungsfaktoren für die einzelnen Entwicklungsstadien der Individuen können die Erträge beträchtlich erhöht werden.

Fragestellungen und Erkenntnisse der Ökologie sind von Bedeutung, da der Mensch in der Landwirtschaft nicht mit Individuen, sondern mit Agropopulationen und Agrobiogeozönosen arbeitet. Mit Hilfe des Phytotrons und moderner Forschungsmethoden gelang es, die Ansprüche von Kulturpflanzen an solche wichtigen Wachstumsfaktoren wie Nährstoffe, Wasser, Temperatur, Licht (Intensität und Zusammensetzung), Bodenstruktur und Mikroorganismen des Bodens aufzuklären. Dabei ergab sich, daß der Nutzungsgrad der einfallenden Sonnenenergie durch die Pflanzen auf natürlichen Standorten nur 1 %, auf Kulturflächen 2 bis 3 % und bei Kulturen mit günstiger Bestandesdichte und zweckmäßiger Düngung sogar 5 % betrug.

Wo diese Erkenntnisse beispielsweise in Form von Bodenbearbeitung, Sicherung einer optimalen Bestandesdichte, künstlicher Bewässerung sowie nach Zeit, Quantität und Qualität dosierter Düngung beachtet werden, ist eine vielfache Ertragssteigerung möglich.

* So erreichten Agrarwissenschaftler der DDR bei Kartoffelsorten, die unter bisher üblichen Bedingungen Ernten von 200 bis 250 Dezitonnen pro Hektar bringen, Erträge von 400 Dezitonnen pro Hektar. In der Sowjetunion konnten beim Anbau unter Glas bei optimaler Gestaltung der übrigen Bedingungen durch Zusatzbeleuchtung mit Licht günstiger Wellenlänge (↗ S. 22) die Entwicklungszeiten vom Anpflanzen bis zur Reife der Tomaten auf 60 Tage (sonst 72 bis 75 Tage), bei Gurken auf 37 Tage (sonst 57 bis 60 Tage) verkürzt werden. Weitere Möglichkeiten für die Ertragssteigerung gibt der Einsatz wachstumsfördernder Pflanzenhormone (Wuchsstoffe, z. B. Auxine und Gibberelline). *

Die Erforschung der Lebensvorgänge und des Verhaltens landwirtschaftlicher Nutztiere verändert die über Jahrtausende geübte Praxis ihrer Haltung und Fütterung. Sauerstoff- und lichtreiche, schädlingsfreie Haltung, streng eingehaltener Tagesrhythmus im Wechsel von Aktivität und Ruhe, Verabreichung von leicht aufschließbarem

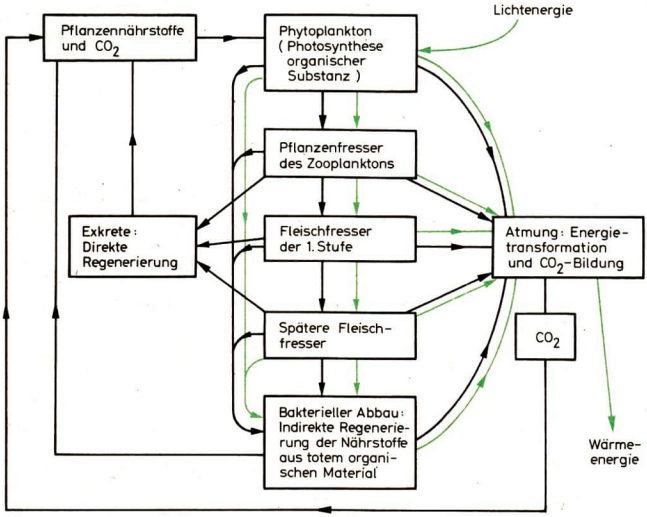


Abb. 159/1 Hauptwege des organischen Stoffkreislaufs im Meer

Eiweiß, Zugabe von Vitaminen wie A und B_{12} sind unter Voraussetzung hochwertiger Genkombinationen die Grundlage für hohe Leistungen. Es sind zum Beispiel bereits 7000 bis 8000 Liter Milch bei 4 bis 5 % Fettgehalt je Kuh und Jahr, 250 bis 300 Eier in der Legeperiode je Huhn und 5 bis 6 Monate Mastzeit bis zur Schlachtreife beim Schwein erreicht worden.

Große Erwartungen für die Verbesserung der Nahrungsmittelversorgung der Menschheit, vor allem für die Überwindung des Mangels an tierischem Eiweiß, richten sich auf die Nutzung des Meeres. Gegenwärtig stammt nur rund 1 % der menschlichen Nahrungsmittel aus dem Meer, das dafür hauptsächlich durch den Fischfang genutzt wird.

* Fast 71 % der Erdoberfläche, rund 361 Millionen Quadratkilometer, werden vom Weltmeer bedeckt. Es ist von Leben in vielfältigster Form erfüllt, im flachen, sonnenlichtdurchfluteten Schelfmeer ebenso wie in der ewigen Dunkelheit der Tiefsee. In ihm wechseln wie auf dem Festland fruchtbare und unfruchtbare Zonen, aber in anderer geographischer Verteilung. Wassertemperatur und Nährstoffgehalt, Sonneneinstrahlung, Sauerstoffkonzentration und Strömungen bestimmen die Lebensbedingungen für das Phytoplankton, das in einer Oberflächenschicht von mehr als 100 Meter Dicke verteilt gedeiht. Von ihm hängt das übrige Leben im Meer ab. Die Bedingungen für sein Gedeihen sind in den gemäßigten und polaren geographischen Breiten weitaus

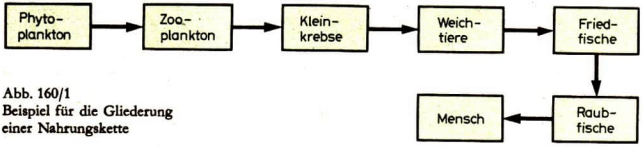


Abb. 160/1
Beispiel für die Gliederung einer Nahrungskette

besser als in den tropischen und subtropischen Breiten, da der stark ausgeprägte Wechsel der Jahreszeiten starke Schwankungen der Wassertemperatur bewirkt. Die Folge ist ein vertikaler Austausch verschieden temperierter Wassermassen, durch den nährstoffreiches Tiefenwasser an die lichtdurchflutete Oberfläche gelangt. In subtropischen und tropischen Meeren dagegen verhindern das ganze Jahr über stark erwärmte Wassermassen an der Oberfläche weitgehend diesen Austausch, so daß das Nährstoffangebot gering bleibt (Abb. 159/1). *

Eine Erweiterung der herkömmlichen Art des Nahrungsgewinns aus dem Meer durch das Erschließen neuer Fanggründe und die Entwicklung neuer Fangmethoden für die Fischerei ist aber nur in begrenztem Ausmaß möglich. Für eine an sich denkbare künstliche Umschichtung der Wassermassen in den Wüstenzonen des Meeres, um die Nährstoffvorräte des Tiefenwassers an das Phytoplankton heranzubringen und dadurch letztlich die Fischbestände zu vergrößern, fehlen die technischen Voraussetzungen.

Das Phytoplankton bildet den Anfang der Nahrungskette, aus deren Gliedern der Mensch dem Meer tierische Nahrung entnimmt (Abb. 160/1). Aber während die pflanzenfressenden Nutztiere auf dem Festland das zweite Glied der Nahrungskette Pflanze – Tier – Mensch bilden, entstammen mehr als 99 % der Nahrung, die der Mensch aus dem Meer gewinnt, dem dritten, vierten oder sogar fünften Glied der Nahrungskette. Deshalb wird intensiv an den wissenschaftlichen Grundlagen gearbeitet, um verstärkt frühere Glieder der Nahrungskette, bis zu Arten aus dem zweiten Glied, in die Nahrungsgewinnung einzubeziehen.

Zum anderen erlangt die Kultivierung von Fischen und anderen Meerestieren immer größere Bedeutung. Mit ihr verläßt die Menschheit auch für das Meer das primitive Stadium der Jäger und Fallensteller und begibt sich auf den Weg, den sie mit ihren Nutztieren seit der jüngeren Steinzeit eingeschlagen hat. Dabei orientiert man sich auch hier stark auf das zweite Glied der Nahrungskette. Bis jetzt werden Meerestiere für die Nahrungsgewinnung nur in sehr begrenztem Ausmaß unter vom Menschen geschaffenen und kontrollierten Bedingungen gehalten. Beispielsweise werden auf Java seit Hunderten von Jahren Milchfische *(Chanos chanos)* in Brackwasserteichen mit einer Vegetation von blaugrünen Algen aufgezogen. An der Küste Nordwestspaniens gibt es seit rund 20 Jahren Hängekulturen von Miesmuscheln. Seit etwa 100 Jahren werden die Austernbänke in der Osterschelde (Holland) bewirtschaftet, der Ertrag konnte von etwa einer halben Million auf bis zu 30 Millionen Austern je Jahr gesteigert werden. Am weitesten ist heute die Kultivierung von Meerestieren in Japan entwickelt. Muscheln, Tintenschnecken, Krebstiere und Fische werden hier in Meeresfarmen aufgezogen. Es existieren hier auch Zuchten von eßbaren Algenarten, die einen durchschnittlichen Ertrag von 6 bis 7 Tonnen Frischalgen je Hektar erbringen. In der DDR verliefen die ersten Versuche einer künstlichen Fischzucht in den Küstengewässern der Ostsee erfolgreich. So ist in den nächsten Jahren mit der Errichtung weiterer

Anlagen zur Aufzucht und Mast von Fischen zu rechnen. Alle Vorhaben zur Fischzucht sind noch auf die Küstengewässer beschränkt. Die hier gesammelten Erfahrungen kommen sicherlich einer schrittweise nachfolgenden Bewirtschaftung der Rand- und Schelfmeere sowie schließlich der Ozeane zugute. Auch eine Züchtung von Nutztierrassen aus den natürlich vorkommenden Arten ist zu erwarten.

Ein vielfältiges Ineinandergreifen biologischer und chemischer Technologie zeichnet sich bei den Versuchen ab, durch die chemische Industrie Glieder der Nahrungskette „Pflanze – Tier – Mensch" zu simulieren. So wird unter Einsatz von Hefepilzen der Gattung *Candida* Erdöl industriell in Eiweiß umgewandelt (z. B. in der Sowjetunion), das dann für die Tierernährung verwendet wird. Es dürfte auch möglich werden, dieses *Candida*-Eiweiß unmittelbar für die menschliche Ernährung aufzubereiten. Gegenwärtig sind Untersuchungen im Gange, die darauf abzielen, durch chemische und physikalische Verfahren schwerverdauliches pflanzliches Eiweiß unter Umgehung der tierischen Phase in eine für den menschlichen Organismus besser geeignete Form zu bringen. Beispielsweise werden in den USA aus Sojaeiweiß Produkte hergestellt, die Hühnerfleisch, Schinken und anderen Fleischspeisen täuschend ähnlich sind und außerdem für Überernährte den Vorzug haben, fettfrei zu sein. In England wurde ein Verfahren entwickelt, um aus Luzerneeiweiß unter Umgehung der Kuh ein milchähnliches Getränk herzustellen. Besonderes Interesse besteht international an der Verarbeitung von Algen zu Nahrungsmitteln, nutzt doch beispielsweise die Süßwasseralge *Chlorella* die Sonnenenergie bis zu 20 % und erzeugt im Vergleich mit Blütenpflanzen ein Vielfaches an Eiweißen, Fetten und Kohlenhydraten. In den südlichen Gebieten der Sowjetunion wird *Chlorella* bereits in Großanlagen kultiviert und als billiges und hochwertiges Viehfutter verwertet.

Bionik

Auf andere Weise als in der biologischen Technologie wird die Biologie durch die Bionik als unmittelbare Produktivkraft wirksam. Auf diesem Grenzgebiet von Biologie und Technikwissenschaft geht es darum, Prinzipien der Strukturen und Funktionen von Lebewesen für die Lösung technischer Probleme auszunutzen, zum Beispiel bei der Konstruktion von Anlagen für die elektronische Datenverarbeitung, von Meßgeräten oder von Gebäuden. Die lebende Natur hat dafür noch viele Anregungen zu bieten. So wird die Erbinformation durch Strukturen gespeichert, bei denen etwa 100 Atome die gleiche Leistung erreichen, zu der die kleinsten Festkörperspeicher der Technik, die magnetooptischen Speicher, 100000 Millionen Atome benötigen. Die Klapperschlange besitzt ein für infrarote Strahlen empfindliches Sinnesorgan, durch das sie auf Temperaturveränderungen von 0,001 Grad Celsius reagieren kann. Einige Tiere der Tiefsee reagieren auf Spannungsänderungen im elektrischen Feld von $3 \cdot 10^{-9}$ Volt je Millimeter. Die Qualle besitzt ein Organ, mit dem sie auf den Infraschall reagiert, der Stürmen vorausgeht. Er erreicht sie 10 bis 15 Stunden vor dem Herannahen des Sturmes, worauf sie sich aus der Nähe der Küste entfernt. Sowjetische Biophysiker entwickelten ein auf dem gleichen Prinzip beruhendes Sturmwarngerät für Schiffe. Die Strukturen der Pflanzenstengel und -blätter sind Vorbilder zugleich stabiler und materialsparender Bauweise. Der sowjetische Nobelpreisträger für Chemie N. N. SEMJONOW erklärte zur Bedeutung der Biologie für den weiteren technischen Fortschritt: „Ich bin davon überzeugt, daß die Arbeit, die geleistet wird, um den Mechanismus der physikalischen und chemischen Prozesse der Lebenstätigkeit zu klären,

eine wirkliche Revolution in der Chemie zur Folge haben wird. Unter Anwendung dieser Prinzipien auf die nichtlebende Materie wird es möglich sein, Katalysatoren von beispielloser Stärke und Eigenart zu entwickeln, insbesondere für photochemische Prozesse; es wird möglich sein, völlig neue Typen von Maschinen herzustellen, die ähnlich wie die Muskeln chemische Energie mit hohem Wirkungsgrad unmittelbar in mechanische Energie umwandeln".

9 10 11

Bedeutung der Biologie für die Gesunderhaltung des Menschen

In unserer Verfassung wird jedem Bürger der Deutschen Demokratischen Republik das Recht auf Schutz seiner Gesundheit und seiner Arbeitskraft garantiert. Dieses Recht wird durch zahlreiche Maßnahmen gewährleistet, zu denen beispielsweise die planmäßige Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen, die Pflege der Volksgesundheit, eine umfassende Sozialpolitik, die Förderung der Körperkultur, des Schul- und Volkssports und der Touristik gehören.

In diesem durch die Verfassung verbürgten Grundrecht kommt der humanistische Charakter der sozialistischen Gesellschaft zum Ausdruck, die unmittelbar an der Gesundheit und harmonischen geistigen und körperlichen Entwicklung eines jeden Bürgers interessiert ist und sie zu einer der vornehmsten Aufgaben des Staates und des ganzen Volkes bestimmt. Diese Aufgabe wird durch den sozialistischen Gesundheitsschutz verwirklicht. „Das Streben nach Gesundheit, Leistungsfähigkeit und Lebensfreude bis ins hohe Alter wird immer mehr zum Bestandteil einer von der ganzen Gesellschaft getragenen, vom sozialistischen Staat geförderten und vom Bürger selbst mitgestalteten Lebensweise" (Bericht des Zentralkomitees an den VIII. Parteitag der SED. Berichterstatter: Genosse Erich HONECKER, Berlin 1971).

Sozialistischer Gesundheitsschutz bedeutet die gesamtgesellschaftliche Aufgabe und Verantwortung für alle staatlichen, kommunalen und betrieblichen Maßnahmen hin-

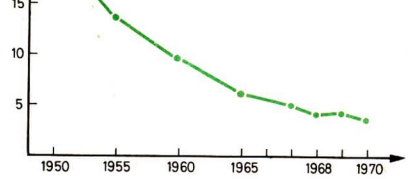


Abb. 162/1
Rückgang der Müttersterblichkeit in der DDR

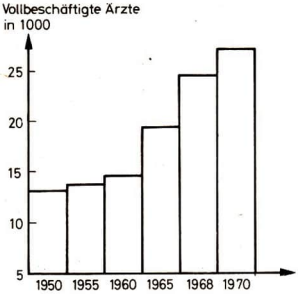


Abb. 163/1
Anzahl der vollbeschäftigten Ärzte in der DDR

sichtlich ihrer Wirkung für Gesundheit, Leistungsfähigkeit und Lebensfreude der Bevölkerung, für ihr physisches, psychisches und soziales Wohlbefinden. Er ist mit allen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens untrennbar verflochten und steht in der DDR als einem hochentwickelten sozialistischen Industriestaat vor großen Problemen. Die zweckmäßige Gestaltung der Städte und Wohnbedingungen entsprechend der sozialistischen Lebensweise, der schrittweise Übergang zur städtischen Lebensweise auf dem Lande und der hier notwendige Anschluß alter Wohnungen an Wasserleitung und Kanalisation, die Reinhaltung von Boden, Luft und Gewässern und der Schutz vor Lärm, der Schutz vor psychonervalen Überforderungen, die gesundheitsfördernde Gestaltung der Arbeitsbedingungen, der Ernährung und von Freizeit und Erholung – alle diese Probleme können nur in gesamtgesellschaftlicher Verantwortung unter Anwendung der Erkenntnisse vieler Zweige der Wissenschaft, nicht zuletzt der Biologie, gelöst werden. Den Grundsätzen der sozialistischen Moral entsprechend, ist jeder Bürger auch für eine gesundheitsdienliche Lebensführung verantwortlich. Sie gehört zu den Merkmalen der gebildeten sozialistischen Persönlichkeit. Die Gesundheitserziehung ist ein notwendiger Bestandteil des sozialistischen Gesundheitsschutzes wie der sozialistischen Bewußtseinsbildung.

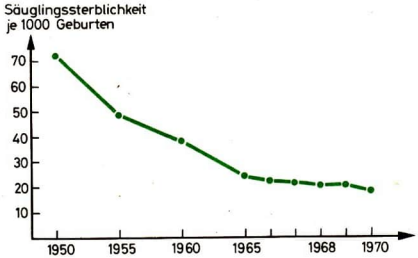


Abb. 163/2
Rückgang der Säuglingssterblichkeit in der DDR

Für die Erhaltung, Förderung und Wiederherstellung der menschlichen Gesundheit ist die komplexe Anwendung des Wissens verschiedenster Disziplinen notwendig. Grundlegende Bedeutung besitzt die medizinische Wissenschaft. In ihr verbinden und ergänzen sich naturwissenschaftliche, insbesondere biologische, mit psychologischen Methoden und Erkenntnissen bei der Erforschung des Menschen als biosoziale Einheit im Hinblick auf seine Gesundheit und seine Krankheiten.

Die Gesetzmäßigkeiten, welche Gesundheit und Krankheit des Menschen als biosoziale Einheit bestimmen, werden in drei großen Richtungen der medizinischen Forschung erfaßt, der biologisch-medizinischen Forschung, der klinischen Forschung und der epidemiologischen Forschung.

* Die biologisch-medizinische Forschung untersucht die Hierarchie der Strukturebenen von der molekularen und zellulären Ebene über die der Organe und Organsysteme bis zum Organismus als Ganzes, und sie verfolgt die Individualentwicklung des menschlichen Organismus von der befruchteten Eizelle durch die verschiedenen Lebensalter bis zum Tode.

Die klinische Forschung befaßt sich mit dem ganzen Menschen in den verschiedenen Lebensaltern als konkrete Einheit von biologisch, psychologisch und soziologisch faßbaren Seiten in der Wechselwirkung mit seiner Umwelt.

Die epidemiologische Forschung erfaßt die Abhängigkeit menschlicher Gesundheit und Krankheit von der Zugehörigkeit zu bestimmten Menschengruppen, die sich durch biologische, soziologische oder territoriale Gegebenheiten unterscheiden lassen. Sie erlangt beim Aufdecken der Häufigkeiten und der Verteilung der verschiedenen Erscheinungsformen des Gesundheitsstandes, insbesondere der Krankheiten, Kenntnisse über den Zusammenhang mit den Gesetzmäßigkeiten und Bedingungen der gesellschaftlichen Entwicklung. *

Erst die Einheit dieser drei Bereiche der medizinischen Forschung, ihre wechselseitige Verflechtung und Bezugnahme aufeinander, erbringt das Wissen, das für das Erkennen und Behandeln der Krankheiten und die Krankheitsvorbeugung (Prophylaxe) erforderlich ist.

Für die wissenschaftliche Medizin sind die Biologie und andere Wissenschaften unentbehrliche Voraussetzungen. Die biologisch-medizinische Forschung ist zugleich integrierter Bestandteil der biologischen Forschung.

Durch einen Staatsratsbeschluß erhielt die medizinische Wissenschaft der DDR 1970 eine langfristige Orientierung. Danach konzentriert sich die medizinische Forschung vor allem auf die Lösung ausgewählter Probleme der Herz-Kreislauf-Krankheiten, der Geschwulsterkrankungen, der Immunologie und des Infektionsschutzes. Dazu kommt die Lösung einer Reihe neuer Aufgaben, die sich aus der Rationalisierung, Automatisierung und Chemisierung der Volkswirtschaft ergeben. Weiter wird wissenschaftlicher Vorlauf zur schrittweisen Erarbeitung eines Systems für die Erfassung und Verarbeitung medizinischer Daten zur Optimierung der Vorbeugung (Prophylaxe), Krankheitserkennung (Diagnostik) und Krankheitsbehandlung (Therapie) geschaffen.

Es gibt keine an sich unheilbaren oder unvermeidbaren Krankheiten, sondern nur Krankheiten, die auf einem bestimmten Entwicklungsstand der Medizin noch nicht geheilt werden können oder denen noch nicht vorgebeugt werden kann, da die biologischen Grundlagen noch nicht erkannt oder die technischen Voraussetzungen noch nicht geschaffen sind.

Die Entwicklung der Hygiene und der heilenden Medizin liefert den praktischen Beweis dafür. Durch sie wird für den einzelnen Menschen die durchschnittliche Lebenserwartung erhöht, die Erkrankungswahrscheinlichkeit gesenkt und bei Krankheit

wirksame Heilhilfe geleistet. Die Fortschritte auf dem Gebiet der Genetik ermöglichen immer mehr den Kampf gegen die Erbkrankheiten, mit denen sich die medizinische Genetik, ein Teil der Humangenetik, befaßt. Etwa 4% aller Neugeborenen kommen mit genetischen Defekten behaftet zur Welt.

* Gegenwärtig unterscheiden Humangenetiker mehr als 1500 genetische Defekte beim Menschen, die im einzelnen unterschiedlich häufig vorkommen, unterschiedlich schwere Folgen haben und in unterschiedlichem Maße durch die Vererbung bestimmt sind. Neben Defekten, die sich zwangsläufig stets in Erkrankungen äußern, gibt es eine Reihe von erblich bedingten Dispositionen, bei denen es von Umweltfaktoren abhängt, ob es zur Erkrankung kommt oder nicht. *

Die an der humanistischen Zielsetzung der sozialistischen Medizin orientierte medizinische Genetik bemüht sich neben der Heilung von Kranken gleichermaßen um die Beratung und vorbeugende Behandlung von Einzelpersonen oder Familien, bei denen unter bestimmten Bedingungen genetisch bedingte Erkrankungen zum Ausbruch kommen können.

Mit der wachsenden Einsicht in die Erbvorgänge, in die Beschaffenheit der Gene und in das komplizierte Geflecht chemischer Reaktionen des Stoffwechsels, das an ihnen beginnt, ergeben sich zahlreiche mögliche Ansatzpunkte, um die Erbanlagen, ihre Auswirkungen und ihre Kombinationen in der Generationenfolge zu beeinflussen. So ergibt sich bei genetischen Defekten des Stoffwechsels die Möglichkeit, durch Diätnahrung oder durch Zufuhr notwendiger, vom Organismus nicht gebildeter Stoffwechselprodukte den Defekt auszugleichen (↗ S. 113 f.).

Die humangenetische Beratung hat die Aufgabe, Ehepartner, deren Genbestand mit großer Wahrscheinlichkeit bis Gewißheit genetisch kranke Kinder erwarten läßt, über diese Gefahr aufzuklären und sie verständnisvoll zu beraten. Damit haben sie die Möglichkeit, freiwillig auf eigene Kinder zu verzichten und großes Leid für sie und sich zu vermeiden. Eine gerichtete Veränderung krankheitsverursachender Erbanlagen zur kausalen Bekämpfung von Erbkrankheiten wird von vielen Forschern zukünftig für möglich gehalten.

Inhalt, Aufgabenstellung und Organisation der Medizin als Einheit von medizinischer Wissenschaft und Gesundheitswesen werden entscheidend von der Gesellschaftsordnung bestimmt, deren Bestandteil sie ist. Ihr Wirkungsfeld erhält sie durch persönliche und gesellschaftliche Bedürfnisse nach gesundheitlicher Betreuung. „Was ist jede Krankheit anderes als in seiner Freiheit gehemmtes Leben?", schreibt Karl MARX. Der kranke Mensch steht in wesentlich anderen Beziehungen zur gesellschaftlichen Umwelt als der Gesunde. Einerseits fallen von ihm sonst verwirklichte gesellschaftliche Beziehungen, beispielsweise im gesellschaftlichen Produktionsprozeß, aus. Andererseits benötigt er gesellschaftliche Fürsorge und Betreuung. Damit hat die Krankheit ihren Platz in den Zusammenhängen der gesellschaftlichen Produktion und Reproduktion des menschlichen Daseins. Seit eh und je steht sie im Zentrum individueller und gesellschaftlicher Interessen und hat bereits sehr früh in der Menschheitsgeschichte zum Entstehen der Medizin geführt.

Die gesellschaftliche Funktion der Medizin ist in der sozialistischen Gesellschaft dadurch bestimmt, daß alle Mitglieder der Gesellschaft, unabhängig von sozialer Stellung und finanziellem Einkommen, das gleiche Recht auf Schutz ihrer Gesundheit und ihrer Arbeitskraft haben.

Im Kapitalismus realisiert die Medizin ihre Funktion für die Gesellschaft mit dem Ziel des finanziellen Gewinns. Alle im Zusammenhang mit der kapitalistischen Medizin zu Recht angeprangerten Mißstände sind gesetzmäßige Folgen der gesellschaftlichen

Integration der Medizin im Kapitalismus. Dazu gehören sowohl die Degradierung des Menschen zum unmündigen Objekt der medizinischen Behandlung, wie das ausgeprägte soziale und territoriale Gefälle von Hygiene und ärztlicher Versorgung im imperialistischen Herrschaftsbereich, das damit verbundene Umsichgreifen von Aberglauben und Pseudowissenschaft und die diversen Arzneimittelskandale. Sie zeigen insgesamt, daß eine vom Streben nach Bereicherung bestimmte Medizin nicht in der Lage ist, die Bedürfnisse der gesamten Bevölkerung nach gesundheitlicher Betreuung zu befriedigen und die durch den Entwicklungsstand von medizinischer Wissenschaft und Technik dafür gegebenen Möglichkeiten auszuschöpfen. Der Kampf der Arbeiterbewegung um die Verbesserung ihrer Lebenslage im Kapitalismus schließt den Kampf um die Verbesserung ihrer gesundheitlichen Betreuung ein. Seine Erfolge sind durch das kapitalistische System begrenzt.

(12) (13) (14) (15) (16)

Die wissenschaftliche Biologie wird durch die Anwendung der Forschungsergebnisse vieler ihrer Disziplinen für die landwirtschaftliche Technologie und Züchtung sowie für die Erschließung neuer Nahrungsgüterquellen ebenso wie durch die Übersetzung biologischer Strukturen und Wirkungsweisen in technische Abläufe immer mehr zur unmittelbaren Produktivkraft.

Dadurch wie auch durch die Ausnutzung biologischer Forschung auf dem Gebiet der vorbeugenden und heilenden Medizin wird die bedeutende Rolle, die die wissenschaftliche Biologie für die menschliche Gesellschaft spielt und spielen wird, immer deutlicher.

Mißbrauch biologischer Erkenntnisse durch den Imperialismus

Ob wissenschaftliche Erkenntnisse für oder gegen den Menschen eingesetzt werden, entscheiden die herrschenden sozialökonomischen und geistigen Bedingungen der Gesellschaft. Durch die Entdeckung der Radioaktivität kann der Mensch durch Freisetzung von Energie das menschliche Leben bereichern oder – anders angewandt – massenhaft vernichten.

Es liegt in der Natur der herrschenden Klassen von Ausbeutergesellschaften, daß sie die Wissenschaft vorrangig entwickeln und anwenden, um den eigenen Profit zu steigern, ihre Macht zu festigen, die Ausbeutung und Unterdrückung des eigenen Volkes und fremder Völker zu verstärken und die Menschen ideologisch zu verwirren, damit sie in eingebildeter Freiwilligkeit fremden Ausbeuterinteressen dienen.

Der imperialistische Mißbrauch der biologischen Erkenntnisse reicht von ihrer einseitig profitgetriebenen Anwendung in der Natur bis zur Nutzung für die Vernichtung menschlichen Lebens, zur Umwandlung in imperialistische Aggressions- und Herrschaftstechnik. Er bedroht mit weiterem Erkenntnisfortschritt zunehmend die Existenz und die Natur der Menschheit. So berichtete ein US-amerikanisches Wissenschaftlerteam unter Leitung von J. SHAPIRO im November 1969 in der wissenschaftlichen Zeitschrift „Nature" von der gelungenen ersten Isolierung eines Gens, einem wich-

tigen Schritt auf dem Wege zur Manipulierung der Erbinformation, und gab dabei zugleich seiner Befürchtung eines Mißbrauchs dieser Erkenntnisse Ausdruck. Drei dieser bedeutenden Wissenschaftler – J. SHAPIRO, L. ERON und J. BECKWITH – schrieben voll Sorge im Dezember 1969 in einem Brief an die gleiche Zeitschrift:

„... An und für sich ist unsere Arbeit moralisch neutral, sie kann entweder zu einer Wohltat oder zu einer Gefahr für die Menschheit führen. Aber wir arbeiten in den Vereinigten Staaten des Jahres 1969. Die wesentliche Kontrolle über wissenschaftliche Arbeit und ihre weitere Entwicklung liegt in den Händen weniger Leute in den Führungsgremien großer privater Institutionen und an der Spitze von Regierungsbürokratien. Diese Leute haben immer wieder die Wissenschaft für schädliche Zwecke ausgebeutet, um ihre eigenen Machtpositionen zu festigen ... Den amerikanischen Indianern, den Vietnamesen und den Einwohnern Palästinas ist der Gebrauch der Technik als Instrument des Völkermordens nicht unbekannt. Die Überlebenden von Hiroshima und die Eltern von Contergan-Kindern können die Schrecken eines unkontrollierten Gebrauchs wissenschaftlicher Erkenntnisse durch Staat und private Unternehmen bezeugen. Die Liste ist buchstäblich endlos ... Wofür wir eintreten, ist, daß Wissenschaftler zusammen mit anderen Bürgern aktiv arbeiten sollten an einer radikalen politischen Veränderung in diesem Land ... Wissenschaftler haben kein Recht, innerhalb dieser politischen Anstrengung eine besondere Stellung intellektueller Führerschaft zu beanspruchen ...“

ABC-Waffen, Schrecken der Menschheit

Ein humanistisches Ziel biologischer Forschung ist unter anderem der Schutz von Menschen, Nutztieren und -pflanzen vor Infektion, Krankheit und Schädigungen aller Art. Entwicklung und Anwendung von Kernwaffen, chemischen und biologischen Kampfmitteln durch den Imperialismus, um menschliches Leben und seine natürlichen Grundlagen massenhaft zu vernichten, ist die antihumanistische Umkehrung jeder auf das Wohl der Menschen gerichteten Wissenschaft. Sie bedroht nicht nur die menschliche Existenz, sondern entzieht auch in ungeheurem Maße menschliche Schöpferkraft und materiellen Reichtum der Bedürfnisbefriedigung der Menschheit.

Kernwaffen. Die vernichtende Wirkung von Kernwaffen beruht auf der bei der Kernspaltung oder der Kernfusion frei werdenden Energie und der dadurch erzeugten Druckwelle, Licht-, Hitze- und Kernstrahlung. Die ohne strategische Notwendigkeit aus erpresserischen Gründen durch die USA auf Hiroshima und Nagasaki abgeworfenen A-Bomben töteten und verkrüppelten mehr als 100000 Menschen und richteten ungeheure nachhaltige Verwüstungen an. Inzwischen wurden bereits Kernwaffen mit der 2500fachen Sprengkraft der Hiroshimabombe getestet. Nur ein Teil der vorhandenen Kernwaffenbestände reicht theoretisch bereits aus, um die gesamte Erdbevölkerung zu töten. Schon durch die Versuche mit Kernwaffen wurden große Schäden angerichtet.

Chemische Kampfstoffe. Chemische Verbindungen, die auf Grund ihrer Toxizität dazu dienen können, Menschen, Tiere oder Pflanzen zu vernichten oder zu schädigen, werden als Waffen eingesetzt. Von den im ersten Weltkrieg von allen kriegführenden Ländern (trotz internationalen Verbots) eingesetzten chemischen Kampfstoffen wurden – einem UNO-Bericht zufolge – 1300000 Menschen betroffen, davon 100000

getötet. Der Faschismus nutzte chemische Kampfstoffe zum brutalen Mord an Kriegsgefangenen und Antifaschisten. Die USA, England und die BRD entwickeln und produzieren unter Mißbrauch zahlreicher Wissenschaftler und mit gewaltigem finanziellem Aufwand seit Ende des zweiten Weltkrieges chemische Kampfstoffe mit außerordentlich hoher Wirkung. Sie können zum Teil als Aerosole vom Flugzeugen aus versprüht oder mittels chemischer Bomben, Granaten oder Raketen verbreitet werden.

Dabei stehen im Vordergrund:

1. Neurotoxische Mittel: Nach dem US-Code sogenannte G- und V-Kampfstoffe sehr hoher Toxizität. Es handelt sich dabei um organische Phosphorverbindungen, die als Nervengifte wirken, wie zum Beispiel Tabun, Sarin und VX. Die tödliche Dosis von VX beträgt bei Einatmung 0,1 mg, bei Hautkontakt 5 mg. Neurotoxische Mittel gefährden praktisch alles menschliche und tierische Leben.
2. Psychotoxische Mittel: In der Medizin zum Teil als Psychopharmaka verwendete Stoffe; sie rufen je nach Konzentration psychische Beeinflussungen, Bewußtseinstrübungen, psychotische Zustände bis zu schweren körperlichen Schäden bei den Betroffenen hervor.
3. Phytotoxische Kampfstoffe: Mißbrauchte Herbizide (Unkrautbekämpfungsmittel), vorwiegend Wuchsstoffe, die je nach Konzentration selektiv das Wachstum bestimmter Pflanzen fördern und zugleich das anderer hemmen oder die Pflanzen überhaupt vernichten.

Neuere Totalherbizide auf der Grundlage von Picolinsäurederivaten und Arsenverbindungen werden nur langsam abgebaut und machen den Boden für längere Zeit unbenutzbar. Sie wirken auch auf Menschen und Tiere giftig und führen zu Mißbildungen während der Keimesentwicklung.

Allein von 1961 bis 1969 haben die USA im verbrecherischen Krieg in Südvietnam 13000 km² Anbaufläche (Reisfelder und Plantagen) und 25000 km² Waldgebiete durch wiederholtes Besprühen mit Herbiziden völlig vernichtet. Dabei erlitten 1300000 Menschen Vergiftungen. 1969/70 wurde eine Fläche von 18370 km² mit giftigen Chemikalien besprüht und zum Teil unbrauchbar gemacht. Mehr als 850000 Menschen erlitten Vergiftungen und Hunderte einen qualvollen Tod. Mit ihrem politisch erfolglosen grausamen Vernichtungsfeldzug mittels chemischer und konventioneller Waffen gegen das vietnamesische Volk haben sich die USA eines der größten Verbrechen eines Staates gegen die Menschlichkeit seit dem Atombombenabwurf auf die japanischen Städte schuldig gemacht. Seit 1966 liefern auch BRD-Chemiekonzerne erhebliche Mengen Herbizide nach Südvietnam.

Biologische Kampfmittel. Die potentiell gefährlichsten aggressiven Massenvernichtungswaffen sind biologische Kampfmittel. Die USA setzten 1950/52 unter anderem Pesterreger im Krieg gegen das koreanische Volk ein. In zahlreichen Einrichtungen in den USA, in England und der BRD wurden bis 1971 mit großem Aufwand modernste biologische Erkenntnisse dazu genutzt, pathogene Mikroorganismen und Viren auf Vorrat zu erzeugen, ihre Virulenz um ein Vielfaches zu erhöhen, sie gegen Medikamente, Antibiotika und atmosphärische Einflüsse widerstandsfähiger zu machen, ihre hochwirksamen Toxine isoliert in größeren Mengen zu gewinnen und effektive Verbreitungsmethoden (z. B. Aerosoltechnik) zu entwickeln. Zu den B-Waffen können gezählt werden:
1. pathogene Mikroorganismen (z. B. Erreger der Pest, der Cholera usw.),
2. pathogenes Virusmaterial,

3. Toxine, das heißt auf biologischem Wege erzeugte giftige Proteine (z. B. Botulinus-Toxin, Anthrax-Toxin der Milzbranderreger, pflanzliche Toxine).

Zu den Toxinen gehören die wirksamsten bekannten Gifte. Ein Gramm Botulinus-Toxin genügt theoretisch, um eine Million Menschen zu töten. Sie wirken sehr kurzfristig, und das betroffene Gebiet ist für die Aggressoren bald wieder benutzbar. NATO-Militärs preisen B- und C-Waffen, weil sie „lediglich" Menschen vernichten, aber Produktionsstätten und andere Werte den Aggressoren unversehrt überlassen.

Nur die gegenüber dem Imperialismus wachsende wirtschaftliche, politische und militärische Stärke der sozialistischen Staatengemeinschaft unter der Führung der Sowjetunion, deren zielklare und beharrliche Friedenspolitik sowie der internationale antiimperialistische Kampf können die imperialistischen Mächte zwingen, Zugeständnisse zur Politik der friedlichen Koexistenz zu machen und auf internationale Verträge zur Beseitigung des Wettrüstens einzugehen, und damit die Gefahr eines ABC-Waffenkrieges schrittweise bannen.

Übersicht über internationale Verträge, die die ABC-Waffen betreffen

Vertrag		bisher unterzeichnet von
5. 8. 1963	Moskauer „Vertrag über das Verbot der Kernwaffenversuche in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser"	über 100 Staaten
12. 6. 1968	Vertrag über die Nichtweiterverbreitung von Kernwaffen	fast 100 Staaten
16. 12. 1970	Vertrag über das Verbot der Stationierung von Kernwaffen und anderen Massenvernichtungsmitteln auf dem Meeresboden	von der UNO-Vollversammlung gebilligt
10. 4. 1972	Internationale Konvention über das Verbot der Entwicklung, Herstellung und Lagerung von bakteriologischen (biologischen) und toxischen Waffen	am gleichen Tag bereits von 44 Staaten unterzeichnet

Noch weigern sich die Westmächte, als nächsten Schritt auch dem Verbot der chemischen Waffen zuzustimmen.

Psychische Manipulation

Der Erkenntnisfortschritt der Neurophysiologie und der Psychologie schafft immer mehr Voraussetzungen, durch verschiedene chemische Substanzen, Medikamente (Psychopharmaka), den Geisteszustand des Menschen zu beeinflussen, die Wirkungen von Geisteskrankheiten herabzusetzen, Erziehung und Ausbildung effektiver zu machen. Eine nichtmedizinische unkontrollierte Anwendung dieser Mittel macht diese jedoch zu „Rauschgiften" und führt zu den bereits bei psychotoxischen Kampfmitteln beschriebenen psychischen Störungen und körperlichen Schäden.

* Ein großer Teil der US-Interventionssoldaten nimmt bereits – mehr oder weniger von den Vorgesetzten geduldet oder gefördert – Psychodrogen oder Rauschgifte, um sich selbst einen rauschhaften Zustand des Wohlbefindens vorzutäuschen. Als erwünschte „Nebenwirkungen" stellen sich Enthemmung und andere psychische Zu-

stände ein, die den Gebrauch der Soldaten als willenslose Massenkiller erleichtern. Rauschgiftsucht in imperialistischen Ländern ist Ausdruck des Verfalls und der Perspektivlosigkeit vieler Jugendlicher. In Bielefeld verwendeten 1970/71 von 6000 Jugendlichen zwischen 14 und 21 Jahren 1250 bis 1500 (21 bis 29 %) Rauschgift. In den USA nahmen 1971 30 % der Jugend Marihuana, 2 bis 5 % LSD. In New York fanden 1969 durch Suchtstoffe 900 Menschen den Tod (Vergleiche: Einführung in den dialektischen und historischen Materialismus, Berlin 1972, S. 477). *

Auch zahlreiche bürgerliche Wissenschaftler warnen vor der grauenerregenden Tendenz imperialistischer Geldgeber, die Erkenntnisse der Nervenphysiologie und Psychologie zu einer umfassenden relativ „sicheren" geistigen Manipulierung der Ausgebeuteten zu mißbrauchen:

Durch chemische Mittel – unauffällig dem Trinkwasser zugesetzt – könnten ganze Bevölkerungen je nach Bedarf aggressiv oder friedlich und zufrieden gestimmt und zu „verläßlichen" Werkzeugen manipuliert werden. Eine in bestimmter Weise gestaltete Umwelt kann Kinder in den ersten Lebensjahren so manipulieren, daß „minderwertige Sklaven" und „überlegene Herrenschichten" heranwachsen.

Bei Tieren können durch elektrische Impulse über Elektroden, die in bestimmte Gehirnbereiche eingepflanzt wurden, gezielt bestimmte Verhaltensweisen ausgelöst oder gehemmt werden. Solche Methoden können eine „Fernsteuerung" von Tierherden ermöglichen. Sie könnten aber auch mißbraucht werden, um durch chirurgische Eingriffe im Gehirn oder eingepflanzte Elektroden die geistige und seelische Einstellung von Menschen zu beherrschen. So behandelte Kinder könnten sich zu „billigsten Computern" entwickeln.

17 18 19

Biologismus – reaktionäre imperialistische Ideologie

Herrschende Ausbeuterklassen haben schon immer versucht, naturwissenschaftliche Erkenntnisse aus ihrem Zusammenhang zu nehmen, sie isoliert zu betrachten und zur ideologischen Rechtfertigung der bestehenden Ordnung zu mißbrauchen. Entsprechende Auslegungen biologischer Erkenntnisse werden als Biologismus bezeichnet. Unter Biologismus werden solche Auffassungen über Eigenschaften und Verhaltensweisen des Menschen sowie über seine Beziehungen zur Gesellschaft zusammengefaßt, denen die Überbewertung der biologischen Faktoren zugrunde liegt. Die gesellschaftlichen Faktoren im menschlichen Leben werden vernachlässigt oder biologische Begriffe auf gesellschaftliche Erscheinungen mechanistisch angewendet. In der kapitalistischen Gesellschaft tritt der Biologismus in vielen Formen – jeweils mit modernsten biologischen Begriffen pseudowissenschaftlich getarnt – in zahlreichen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens auf.

Mit der zunehmenden ideologischen Klassenauseinandersetzung zwischen Sozialismus und Imperialismus wird der Biologismus verstärkt von der imperialistischen Ideologie eingesetzt. Dabei werden auch einige bekannte Biologen in einem komplizierten und verdeckten Mechanismus der imperialistischen Ideologiebildung dazu mißbraucht, reaktionäre Ideologie zu erzeugen. Viele Wissenschaftler – auch der kapitalistischen Gesellschaft – kritisieren heftig die Folgeerscheinungen imperialistischer Herrschaft wie das Wettrüsten, die Aggressionskriege, die Umweltvergiftung, den Konkurrenzkampf, die Auswirkungen der imperialistisch betriebenen wissenschaftlich-

technischen Revolution, den moralischen Verfall und so weiter. Immer mehr unterstützen sie daher den Kampf gegen den Imperialismus. Zum Teil aber erkennen sie unter dem Einfluß antikommunistischer Propaganda nicht die gesellschaftlichen Zusammenhänge. Sie suchen nach Erklärungen und Lösungen der Misere außerhalb der Gesellschaft, um sich (und andere) bewußt oder unbewußt über den Untergang des Kapitalismus hinwegzutäuschen. Einige Biologen machen die für die imperialistische Gesellschaft typischen Probleme zu allgemein menschlichen Problemen und suchen ihre Ursachen in der biologischen Struktur des Menschen; zum Beispiel in seiner genetischen Konstitution, den Bedingungen seiner biologischen Evolution, dem raschen Bevölkerungswachstum oder in angeblich angeborenen, von den tierischen Vorfahren „überlieferten" Trieben und Instinkten. Entsprechend entwickeln sie Projekte, um die gesellschaftlichen Probleme mit biologischen Mitteln zu lösen, und werden damit zu Vertretern reaktionärer antihumanistischer Ideologie. In ihren Schriften finden sich vielfach Ergebnisse fortgeschrittenster exakter biologischer Wissenschaft mit reaktionärer Ideologie kommentiert.

Sozialdarwinismus. Der Sozialdarwinismus entstand um die Mitte des 19. Jahrhunderts. Er diente der Bourgeoisie im ideologischen Kampf gegen die sozialistische Bewegung. Diese biologistische Richtung macht die von DARWIN zur Begründung der Entstehung der biologischen Arten (1859) entdeckten Prinzipien biologischer Evolution (der natürlichen Auslese beziehungsweise des Kampfes ums Dasein) mechanistisch auch zur Grundlage gesellschaftlicher Prozesse. Dadurch konnte die bürgerliche Ideologie gesellschaftliche Konkurrenz- und Klassenkämpfe als biologische Auslesemechanismen, Ausbeuter als überlegene „Tauglichste" umdeuten, Arbeiter als im Daseinskampf „Unterlegene" verleumden und alle Erscheinungen der kapitalistischen Gesellschaft einschließlich der kolonialen Versklavung anderer Völker als notwendiges Resultat eines biologischen Ausleseprozesses und als höchste Errungenschaft der Menschheit preisen. Entsprechend stellte sie alle politischen Forderungen und Ziele der sozialistischen Bewegung und die von ihr erkämpften sozialen Fortschritte als „naturwidrig" dar.

Auf Grund dieser Auffassungen forderten die Anhänger des Sozialdarwinismus, die natürliche Auslese durch barbarische „Ausmerze" der „Minderwertigen" und Züchtung einer Elite bewußt zu fördern. Soziale Maßnahmen, wie ärztliche Betreuung, wurden als Feinde der Auslese und damit der Menschheit dargestellt, aber Krankheiten, Seuchen und Kriege als ihre natürlichen Verbündeten. Der radikalste Sozialdarwinismus wurde Bestandteil der faschistischen Ideologie und diente dazu, die Vernichtung anderer Rassen und Völker zu begründen.

Neosozialdarwinismus. Dem Neosozialdarwinismus lassen sich eine Reihe aktueller biologistischer Auffassungen zuordnen, die wiederum die Rolle biologischer Evolution für die gesellschaftliche Entwicklung überbewerten. Sie führen im Prinzip den alten Sozialdarwinismus weiter, kleiden ihn in moderne biologische Begriffe und passen ihn dem gegenwärtigen Monopolkapitalismus an.

1. Projekte der Menschenzüchtung: Von den Anhängern des Neosozialdarwinismus werden Projekte der Züchtung eines „Übermenschen" viel diskutiert. Sie stützen sich auf die Behauptung, der Mensch sei infolge des raschen Gesellschaftsfortschritts seiner wissenschaftlich-technischen Umwelt biologisch nicht mehr angepaßt, biologisch antiquiert. Die Ziele, die die imperialistische Ideologie damit verfolgt, werden klar, wenn man hört, daß beispielsweise ungenügende Intelligenz der Menschen als Ursache für

die dem Imperialismus eigenen Widersprüche angeführt wird. Entgegen jeglicher wissenschaftlichen Einsicht und Erfahrung behaupten selbst bekannte Genetiker wie MULLER, LEDERBERG, CRICK (alle Nobelpreisträger) und J. HUXLEY, nur besonders gezüchtete Wissenschaftler, Politiker, Ingenieure mit jeweils spezifischen Erbgrundlagen könnten die Welt vor einem Untergang bewahren.

Viele bürgerliche Genetiker warnen eindringlich vor den typisch imperialistischen grotesken Wunschvorstellungen, standardisierte, an unterschiedliche Funktionen angepaßte Menschengruppen mit abgestufter Intelligenz und Affe-Mensch-Zwitterwesen für niederste Funktionen zu züchten. Diese Vorstellungen gipfeln in dem antihumanistischen Ziel, eine genetisch fixierte Kastengesellschaft nach dem Vorbild eines Insektenstaates zu schaffen. Aus dem imperialistischen Alltag der wachsenden Umweltvergiftung und des Mißbrauchs der Technik erwachsen Projekte, den Menschen biologisch-genetisch für ein Leben in total vergifteter und verfinsterter Umwelt, für ein Leben in Raumschiffen und auf anderen Planeten umzukonstruieren, ja auch Rassenkonflikte künftig aus der Welt zu schaffen, indem die spezifischen genetischen Grundlagen Farbiger durch entsprechende Gene Weißer ausgetauscht werden.

Die Realisierung dieser Projekte würde das Wesen des Menschen in sein Gegenteil verkehren. Statt die Gesellschaft zu verändern, die Umwelt nach menschlichen Bedürfnissen zu gestalten, wollen sie den Menschen biologisch an eine überlebte menschenfeindliche imperialistische Welt anpassen. Schon die Anfänge ihrer Realisierung würden die millionenfachen Verbrechen des Faschismus in den Schatten stellen.

Die sozialistische Gesellschaft befürwortet Eingriffe in die biologischen Grundlagen des Menschen, soweit sie auf die Gesundheit des Individuums, seiner Familie und seiner Nachkommen gerichtet sind. Zum Beispiel ist die Zeit herangereift, daß der Mensch unserer Gesellschaft durch medizinisch-genetische Beratung die Möglichkeit erlangt, entsprechend der Verantwortung seiner Familie und der Gesellschaft gegenüber, eine bewußte Familienplanung auch unter genetischem Aspekt zu betreiben. Sie muß das Ziel verfolgen, vorerst noch nicht beherrschte Erbkrankheiten zu verhüten, um menschliches Leid abzuwenden.

2. Auffassungen von der biologischen Bedingtheit der Klassengesellschaft: Biologistische Richtungen versuchen, die soziale Struktur der Klassengesellschaft als biologisch bedingt zu rechtfertigen. Sie stützen sich dabei auf einseitig gedeutete Begabungserhebungen und Intelligenztests an Angehörigen unterschiedlicher Sozialschichten. Bei solchen Tests, die die sprachliche oder zeichnerische Darstellung bestimmter Aufgabenlösungen fordern, zeigen die Angehörigen der unteren Sozialschichten auf Grund ungünstigerer Entwicklungsbedingungen erwartungsgemäß im Durchschnitt geringere Ergebnisse als die der oberen. Die Verfechter des Biologismus führen die Testleistungen einseitig auf Erbgrundlagen zurück und vernachlässigen die sozialen Faktoren, die die Testleistungen beeinflussen und dadurch die wirkliche genetische Struktur der Bevölkerung verdecken. Aus solchen mißdeuteten Versuchsergebnissen leiten sie eine Korrelation von sozialer „Rangordnung" der Individuen und durchschnittlichem Niveau der genetischen Grundlagen geistiger Leistungsfähigkeit ab. Was 1895 der Sozialdarwinist Otto AMMON als „eine Ordnung der Individuen nach ihrer Begabung" und als Fortsetzung der „natürlichen Auslese beim Menschen" deutete, erscheint in moderner biologischer Terminologie als „differenzierte Verteilung von Genfrequenzen" und als „Sortierung bestimmter Erbvarianten auf rangverschiedene Sozialschichten".

Der Soziologe K. V. MÜLLER (BRD) verteidigt zum Beispiel das Bildungsmonopol der herrschenden Klasse der BRD als ein „Monopol guter Erbanlagen".

3. Rassismus: Sozialdarwinismus war stets auch mit Rassenideologie verbunden. In der Vergangenheit wurde dabei oft eine Rangfolge von „höheren" und „niederen" Rassen und deren Abstammung von unterschiedlichen Frühmenschen- oder Affengruppen postuliert. Alle Formen der Rassenideologie dienten und dienen dazu, über die gesellschaftlichen Ursachen der – im Vergleich zur Menschheitsentwicklung zeitlich relativ geringfügigen – Entwicklungsunterschiede hinwegzutäuschen, imperialistische Ausbeutung, Unterdrückung und Vernichtung anderer Rassen sowie die neokolonialistische Politik, die den Ausbeutern unermeßliche Reichtümer bringt, zu rechtfertigen und zu fördern.

In einem Handbuch für Biologie stuft der westdeutsche Biologe Hans WEINERT (der schon dem Faschismus mit der Begründung des Rassismus diente) noch 1965 „Australier" als „niedrigste Menschenrasse", „Neger und Mongolen" als „niedere Rassen" und die Europäer als „höchste Rassen" ein. Die Anthropologie hat eindeutig bewiesen, daß alle gegenwärtig existierenden Menschenrassen zur Art *Homo sapiens* gehören, die sich erst relativ spät in einzelne Rassen differenzierte. Allen Menschenrassen sind die typisch menschlichen Merkmale gemeinsam. Es sind Bevölkerungsgruppen oder Populationen, deren Unterschiede in der äußeren Erscheinung in den meisten Fällen auf der unterschiedlichen Häufigkeitsverteilung derselben Erbgrundlagen beruhen.

Neuere Formen des Rassismus verfälschen diese Erkenntnisse, indem sie ohne jede wissenschaftliche Grundlage behaupten, daß auch die Erbgrundlagen für die kulturelle und geistige Leistungsfähigkeit in unterschiedlicher Häufigkeitsverteilung zwischen den Rassen vorliegen (wie zwischen den Sozialschichten der Klassengesellschaft!). Sie wollen so den unterschiedlichen kulturellen und sozialen Entwicklungsstand der Völker und Rassen genetisch „erklären". Immer wieder durchgeführte Intelligenztests sollen dieser Behauptung einen wissenschaftlichen Anstrich geben.

* In den USA während der Weltkriege an Rekruten durchgeführte Tests, die die Überlegenheit der weißen Rasse beweisen sollten, deckten die Unsinnigkeit derartiger Behauptungen auf: Der Vergleich zwischen Negern und Weißen gleicher Gebiete brachte die erwünschten Ergebnisse. Die Neger einiger Nordstaaten waren jedoch den Weißen einiger Südstaaten im Durchschnitt überlegen, wie es dem Gefälle der sozialen Ausbildungsbedingungen entsprach. *

Biologistische Auffassungen zum Bevölkerungswachstum. Eine andere biologistische Richtung, die vielfach mit dem Neosozialdarwinismus kombiniert ist, macht das rasche Wachstum der Weltbevölkerung – „Bevölkerungsbombe" oder „Bevölkerungslawine" – zum „Weltproblem Nr. 1", zur größten Bedrohung der Menschheit, zur Hauptursache von Not, Elend und wirtschaftlicher Rückständigkeit in den ehemaligen Kolonialländern. Auf Grund von unwissenschaftlichen Parallelen mit Insektenkalamitäten, den bekannten endokrinologischen Fehlfunktionen und Verhaltensstörungen bei übermäßig dicht lebenden Hasen, Wühlmäusen und Ratten wird das Bevölkerungswachstum auch als Ursache für die zunehmende Aggressivität, für Kriege, Klassenkampf, Konkurrenz, für Kriminalität und Bandentätigkeit in den imperialistischen Ländern dargestellt. Den „Entwicklungsländern" wird vorgeworfen, die Finanzhilfen vorrangig für die Bekämpfung von Seuchen und Kindersterblichkeit genutzt und dadurch das natürliche „Gleichgewicht" zwischen Geburtenziffer und Sterberate gestört zu haben.

Die Entwicklung des Bevölkerungswachstums in den europäischen Industrieländern beweist jedoch eindeutig seine Korrelation mit der wirtschaftlichen und kulturellen

Entwicklung. Industrialisierung und wachsendes kulturelles Niveau führen zu höherer Lebenserwartung und sinkender Geburtenrate, während die wirtschaftliche und kulturelle Rückständigkeit der ehemaligen Kolonialländer unter heutigen Bedingungen sogar eine Voraussetzung ihres raschen Bevölkerungswachstums darstellt (↗ S. 157).

Als Lösung schlagen die meisten imperialistischen „Experten" radikale „Geburtenkontrolle" vor, die mittels gesetzgeberischem und ökonomischem Druck durchgesetzt werden soll. Die Stabilisierung und Lenkung der Bevölkerungsentwicklung ist wirklich ein kompliziertes Problem, das vor der Menschheit steht.

Selbstverständlich befürwortet die sozialistische Gesellschaft eine menschenwürdige Familienplanung; das kommt in den Gesetzen unseres Staates zum Ausdruck. Sie kann aber nur Bestandteil eines allgemeinen wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Fortschritts sein. Die menschenwürdige Lösung der Bevölkerungsprobleme ist folglich untrennbar mit dem internationalen Kampf gegen Imperialismus, um Erhaltung des Friedens und Abrüstung, mit dem nationalen und sozialen Befreiungskampf der Völker in den „Entwicklungsländern" verbunden.

Biologistische Auffassungen vom menschlichen Verhalten. Die moderne Verhaltensforschung deckt die biologischen Mechanismen tierischen Verhaltens und der Beziehungen zwischen den Individuen einer Art auf. Einige bürgerliche Verhaltensforscher glauben nun, in vielen, dem Imperialismus eigenen Erscheinungen des Verfalls der menschlichen Gesellschaft (z. B. Aggressivität, Kriminalität, Konkurrenzkampf, Brutalität) das Wirken tierischer Triebe wiederzuerkennen. Unter dem Vorwand des Entwicklungszusammenhangs von Tier und Mensch wird behauptet, der Mensch werde in seinem Sozialverhalten wesentlich von „unausrottbaren" tierischen Trieben und Instinkten, wie etwa der Aggressivität oder des Territorial- und Rangordnungsverhaltens, beherrscht. Die sich fortgesetzt „aufstauenden" entsprechenden Triebpotenzen müßten regelmäßig abreagiert oder „konsumiert" werden. Mit der unwissenschaftlichen Gleichsetzung von verteidigten Territorien einzelner Tiere oder Tiergruppen mit menschlichem Grundbesitz und Privateigentum an Produktionsmitteln, von Rangordnung in tierischen Rudeln und Herden mit der sozialen Rangordnung in der menschlichen Gesellschaft lassen sich so alle sozialen Strukturen der imperialistischen Ausbeutergesellschaft, alle Verfallserscheinungen und Kriege als natürliche Weiterentwicklung tierischen Sozialverhaltens und als der menschlichen Natur wesensgemäß deuten. Entsprechend folgern diese bewußten oder unbewußten Vertreter des Imperialismus eine „Widernatürlichkeit" der kommunistischen Gesellschaft. Verständlicherweise finden solche Auffassungen in der spätbürgerlichen Gesellschaft weite Verbreitung. In Wirklichkeit werden diese Verhaltensforscher durch ihr Erleben im imperialistischen Alltag zu einer Mißdeutung des tierischen Verhaltens gedrängt. Dieses mißdeutete Verhalten wird als Gesetzmäßigkeit wieder auf den Menschen übertragen. Zur Lösung der imperialistischen Misere empfehlen solche Verhaltensforscher, die angeborenen Triebe bei „unschädlichen" Gelegenheiten (etwa dem Sport) „abzureagieren". Im übrigen hoffen sie, der Mensch eigne sich in seiner weiteren biologischen Evolution oder durch künstliche Züchtung dem gesellschaftlichen Leben besser angepaßte Triebe und Instinkte an.

Dieser gesamte Biologismus täuscht darüber hinweg, daß möglicherweise noch vorhandene biologische Komponenten menschlichen Sozialverhaltens, deren Ausmaß durch exakte Forschung aufzuklären ist, durch gesellschaftliche Beziehungen, gesellschaftliche Bedürfnisse und Motive des Handelns und gesellschaftliche Anschauungen

„gebrochen“ werden. Diese bestimmen Ziele, Richtung und Charakter der Realisierung angeborener Verhaltenstendenzen.

Schlußfolgerung. Die angeführten Beispiele zeigen, daß der Biologismus stets – unabhängig von den Vorstellungen seiner Verfechter – dazu dient, die imperialistische Gesellschaft als naturgemäß zu erklären, zu rechtfertigen und von jeder Schuld freizusprechen, aber die sozialistische Bewegung zu verleumden. Er ist darauf gerichtet, die Ausbeutergesellschaft zu stabilisieren, die Massen vom revolutionären Befreiungskampf abzuhalten und den gesellschaftlichen Umwälzungsprozeß zu hemmen. Dadurch verzögert er die Lösung der gesellschaftlichen Probleme des Imperialismus. Er ist folglich reaktionäre imperialistische Ideologie. Seine große Verbreitung und Wirkung ergibt sich daraus, daß er sich vielfach auf die Auffassungen angesehener Biologen stützen kann und den Menschen pseudowissenschaftlich getarnt, als scheinbar logische Konsequenz exakter Wissenschaften, entgegentritt. Er entsteht nicht aus den Fortschritten der Wissenschaft, sondern ergibt sich gesetzmäßig aus den sozialen und geistigen Bedingungen und ideologischen Bedürfnissen des Imperialismus. Er ist ein Beispiel für den verwickelten und verdeckten Prozeß der Bildung imperialistischer Ideologie. In ihm kommen zugleich die vom Imperialismus gesetzten Erkenntnisschranken bürgerlicher Wissenschaftler zum Ausdruck.

(20) (21) (22) (23)

Der ideologische und praktische Mißbrauch der Biologie durch den Imperialismus kommt in der Anwendung der ABC-Waffen, der psychischen Manipulation und der Verbreitung biologistischer Ideologie zum Ausdruck. Er macht die mißliche Lage der Wissenschaftler im Imperialismus deutlich und zeigt die großen Gefahren, die der Imperialismus mit wachsendem Erkenntnisfortschritt der Biologie den von ihm unterdrückten Völkern bringt. Der Imperialismus ist mit dem modernen Stand und der künftigen Entwicklung von Wissenschaft und Technik unvereinbar.

Die Bedeutung der Biologie für die Gestaltung der Umwelt

Natur und Gesellschaft sind vielfältig miteinander verknüpft. Der entscheidende Zusammenhang zwischen ihnen besteht in den durch die Produktion materieller Güter bedingten Beziehungen zwischen der Gesellschaft und ihrer geographischen Umwelt an der Oberfläche der Erde. Gesellschaft und Natur stehen hier in einem kontinuierlichen und sich erweiternden Stoff- und Energieaustausch, der durch die gesellschaftliche Arbeit vermittelt wird. Indem die Gesellschaft die natürlichen Stoffe und Energien innerhalb des Produktionsprozesses in Produktions- und Konsumtionsmittel verwandelt und die „Exkremente der Produktion und Konsumtion“ (MARX) in die geographische Umwelt abführt, ist sie bestimmend für deren Veränderung. Damit ist

eine intensive Wechselwirkung zwischen der Ökonomie der Gesellschaft und der Ökologie der Natur und des Menschen gegeben. Durch ihren Stoff- und Energiewechsel mit der sie umgebenden Natur gehört die Gesellschaft zum Wirkungsgefüge der Biosphäre.

Die wissenschaftliche Lehre von der Biosphäre wurde von dem berühmten sowjetischen Geowissenschaftler W. I. WERNADSKI (1863 bis 1945) begründet. Sie vereint biologisches, chemisches und geologisches Vorgehen und bezieht in diese geniale Synthese das Wirken des gesellschaftlichen Menschen als eine den Planeten Erde gestaltende Kraft ein. In inniger Verbindung mit dem Marxismus-Leninismus ist sie eine wesentliche theoretische Grundlage, um die aktuellen Probleme der Wechselwirkung von Natur und Gesellschaft, des Umweltschutzes, des Naturschutzes und der sozialistischen Landeskultur wissenschaftlich und praktisch zu lösen. Nach der Theorie von WERNADSKI ist die Biosphäre jene besondere Hülle der Erde, in der die aus dem Kosmos einstrahlende Energie von der „lebenden Substanz", das heißt von der Masse aller lebenden Organismen, in irdische (chemische, mechanische, elektrische, thermische) Energie umgewandelt wird und die stofflichen und energetischen Austauschprozesse zwischen der lebenden Substanz und der anorganischen Materie der Erdrinde stattfinden; sie ist die von Leben erfüllte Sphäre.

Die Biosphäre umspannt die Hydrosphäre bis zum Grund des Weltmeeres, die Lithosphäre bis zu einer Tiefe von 10 Kilometern und mehr sowie einen Teil der Troposphäre, der untersten Schicht der Atmosphäre. In der Lithosphäre wird sie durch die mit zunehmender Tiefe ansteigende Temperatur begrenzt, in der Atmosphäre durch den Ozonschirm, der die lebenszerstörenden kurzwelligen Strahlungen aus dem Kosmos abfängt. Die Biosphäre unterscheidet sich von allen anderen Geosphären durch die Eigenart und Dynamik der in ihr ablaufenden chemischen Prozesse, die sich in gigantischen stofflichen und energetischen Umsetzungen und Umläufen äußern. Gemeinsame Grundlage aller dieser Prozesse ist die Ausnutzung der von der Sonne stammenden kosmischen Strahlungsenergie durch die chlorophyllhaltigen Organismen. Das Kernstück der Biosphäre ist die enkaptische Hierarchie der lebenden Natur.

Die Biosphäre entstand im Verlauf der geochemischen Evolution der Erde mit der abiogenen Entstehung des Lebens und entwickelte sich mit der Evolution der Organismen. Diese führte unter anderem zur Entstehung des Menschen und der menschlichen Gesellschaft. „Mit dem Erscheinen eines vernunftbegabten Lebewesens auf unserem Planeten geht der Planet in ein neues Stadium seiner Geschichte über. Die Biosphäre geht in die Noosphäre über", schrieb WERNADSKI. „Die Noosphäre – der letzte von vielen Evolutionszuständen der Biosphäre in der Erdgeschichte – ist der Zustand unserer Tage".

Mit dem Begriff der Noosphäre bezeichnet WERNADSKI den von der gesellschaftlichen Arbeit erfaßten und gestalteten Bereich der Erde, der mit der Entwicklung der menschlichen Gesellschaft in der Biosphäre entsteht und diese umgestaltet. In Verwirklichung des gesellschaftlichen Gesetzes der ständigen Entwicklung der Produktivkräfte tendiert die Noosphäre zur Ausdehnung über die gesamte Erdoberfläche, in das Erdinnere hinein und über die Grenzen des Planeten hinaus (Kosmonautik).

Die geographische Umwelt (das geographische Milieu) einer Gesellschaft ist jener mit ihrem Territorium gegebene Ausschnitt aus der Biosphäre, mit dem sich die Gesellschaft unmittelbar in Wechselwirkung befindet. In geologischen Zeiträumen verändert sich das Milieu auch unabhängig von der Gesellschaft. Solange die Natur dem Menschen beim Sammeln und Jagen vor allem als Quelle naturgegebener Lebensmittel

diente, läßt sich der Einfluß des Menschen auf sie noch vernachlässigen. Seitdem aber die Funktion des geographischen Milieus als Quelle natürlicher Arbeitsmittel hervortrat – beginnend mit der Entstehung von Ackerbau und Viehzucht –, wurde der Mensch zum alles andere überwiegenden Faktor der Veränderungen der Umwelt. Seither entstand kein Produktionszweig, der nicht mehr oder minder dauerhafte Spuren in der Landschaft hinterlassen hat. Der im geographischen Milieu stattfindende Stoff- und Energieaustausch zwischen Natur und Gesellschaft ist ein überaus widerspruchsvoller Prozeß. Die im einzelnen fortschreitende Beherrschung der Naturkräfte und die darauf beruhenden Eingriffe in das Wirkungsgefüge der Biosphäre zeitigten bisher den Gesamteffekt, daß, wie Karl MARX schrieb, „die Kultur, wenn naturwüchsig vorschreitend und nicht bewußt beherrscht ..., Wüsten hinter sich zurückläßt".

Bisher ging die kulturelle Entwicklung, verwüstete Natur hinter sich zurücklassend, stets an anderer Stelle weiter; ihre Zentren wanderten und wechselten. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts treten in diesem spontanen Prozeß notwendige Veränderungen auf, da es auf unserem Planeten keine Möglichkeiten des Ausweichens aus verwüsteten Territorien mehr gibt und da weiterhin der Umfang und die Intensität dieses Prozesses im Gefolge der industriellen Entwicklung eine bei weiterem Andauern für die Existenz des Lebens und des Menschen auf der Erde bedrohliche Situation herbeigeführt haben. Dazu tragen insbesondere der Raubbau an den Naturreichtümern unter den Bedingungen der kapitalistischen Profitwirtschaft und die mit ihr verbundene Anreicherung von Schadstoffen in Boden, Luft, Wasser und Lebewesen bei. Der kapitalistische Prozeß der Naturverwüstung gipfelt in der absichtlichen Zerstörung der natürlichen Existenzbedingungen ganzer Völker, im Ökozid als Bestandteil imperialistischer Kriegführung, wie sie der USA-Imperialismus seit Jahren in Indochina verübt (↗ S. 168).

Die Biosphäre als Quelle unersetzlicher und unentbehrlicher Existenzmittel des Menschen ist in Gefahr. Auf der Erde wird insgesamt mehr Ackerboden zerstört als neu gebildet. 500 Millionen Hektar urbaren Landes wurden durch Erosion und Versalzung unbebaubar. Es wird mehr Holz geschlagen als nachwächst, um zwei Drittel hat sich der Waldbestand der Erde verringert. Etwa 65 Säugetierarten und etwa 150 Vogelarten wurden vom Menschen ausgerottet; nahezu 1000 Tierformen sind selten geworden oder vom Untergang bedroht. Tausende große und kleine Flüsse wurden zu stinkenden Abwasserrinnen und vergiften das Weltmeer. Die weitreichenden Auswirkungen derartiger Veränderungen im Gefüge der Biosphäre kennen keine Ländergrenzen, sie pflanzen sich von Pol zu Pol fort und treffen Schuldige wie Unschuldige. Die gesellschaftlichen Wurzeln der verwüstete Natur hinter sich zurücklassenden spontanen Entwicklung der Kultur, die schließlich zur vom modernen Kapitalismus heraufbeschworenen „Umweltkrise" führte, sind seit Marx und Engels bekannt. „Alle bisherigen Produktionsweisen sind nur auf die Erzielung des nächsten, unmittelbarsten Nutzeffekts der Arbeit ausgegangen. Die weiteren erst in späterer Zeit eintretenden, durch allmähliche Wiederholung und Anhäufung wirksam werdenden Folgen blieben gänzlich vernachlässigt", schrieb ENGELS und bemerkte speziell zur kapitalistischen Produktionsweise: „Gegenüber der Natur wie der Gesellschaft kommt bei der heutigen Produktionsweise vorwiegend nur der erste handgreifliche Erfolg in Betracht; und dann wundert man sich noch, daß die entfernteren Nachwirkungen der hierauf gerichteten Handlungen ganz andere, meist ganz entgegengesetzte sind ...".

Die Folgen dieser Form der Verhältnisse der Gesellschaft zur Natur haben einen Stand erreicht, der Umweltschutz zur Aufgabe des Tages und die bewußte und planmäßige Gestaltung der Biosphäre im Maßstab des Planeten als Noosphäre, das heißt die Herrschaft des gesellschaftlichen Menschen über die in seinen Wirkungs-

bereich einbezogene Natur in ihren gesetzmäßigen Zusammenhängen als Ganzes, zum einzig möglichen Ausweg macht.

In dieser globalen Problematik kommt zum Ausdruck, daß die Menschheit in der Epoche ihres Übergangs vom Kapitalismus zum Sozialismus auch am Beginn eines neuen Abschnitts der Beziehungen von Natur und Gesellschaft steht. Die bewußte und planmäßige Gestaltung der Noosphäre hat den Übergang der Menschheit vom Kapitalismus zum Sozialismus zur Voraussetzung; das kapitalistische Privateigentum an den Produktionsmitteln und Naturreichtümern steht ihr im Wege. Die imperialistischen Monopole, die miteinander konkurrierenden Beherrscher der modernen kapitalistischen Gesellschaft interessieren sich für Maßnahmen des Umweltschutzes nur insofern, als sie dazu für die Sicherung des profitbringenden Produktionsprozesses gezwungen sind oder ihre Durchführung selbst zum profitablen Unternehmen wird. Dabei umgeben sie sich mit der Gloriole des Wohltäters an der Menschheit, um die Kosten aus den Steuergeldern der Werktätigen bezahlen zu lassen. In wachsendem Maße aber wird der Umweltschutz zu einem Teilziel der Arbeiterbewegung sowie aller fortschrittlichen und demokratischen Kräfte der spätkapitalistischen Gesellschaft im Kampf gegen die Monopole. Das Verhältnis der Gesellschaft zur Biosphäre ist zu einem Bereich der Klassenauseinandersetzung und des Kampfes zwischen Sozialismus und Imperialismus geworden, in dem es um die zukünftige Umwelt des Menschen auf der Erde geht. Dieser Kampf fügt sich in die Auseinandersetzung zwischen den revolutionären Kräften unserer Epoche und dem Imperialismus ein, seine Erfolge werden durch den Sieg des Sozialismus auf der ganzen Erde dauerhaft gesichert. In der Epoche des Übergangs der Menschheit vom Kapitalismus zum Sozialismus erfordert der Umweltschutz jederzeit das Zusammenwirken der friedlich koexistierenden Staaten unterschiedlicher Gesellschaftsordnung.

An Umweltproblemen mangelt es heute auch unter sozialistischen Bedingungen nicht. Ihrem Wesen nach unterscheiden sie sich jedoch prinzipiell von der „Umweltkrise" des Spätkapitalismus. Was dort mit dem Charakter der Gesellschaftsordnung gesetzmäßig verbunden ist, erweist sich hier als Nachwirkung des Hervorgehens aus jener Gesellschaft und als Schwierigkeiten des Wachstums aus eigener Kraft. Die sich entwickelnde sozialistische Gesellschaft stellt sich den daraus resultierenden Aufgaben, und zwar in dem Maße, in dem sie die erforderlichen finanziellen, wissenschaftlichen und technischen Mittel zu ihrer Lösung erarbeitet hat, um das Erbe der Vergangenheit im Umgang mit der Natur in Bewußtsein und Praxis zu beseitigen. Diese Lösungen erfolgen auf der Grundlage des Volkseigentums an den Produktionsmitteln und Naturreichtümern durch den wissenschaftlich-technischen Fortschritt im Interesse der Arbeiterklasse und aller Werktätigen als ihre gemeinschaftliche Aktion unter der Führung der marxistisch-leninistischen Partei der Arbeiterklasse. Biologisches, insbesondere ökologisches Wissen ist eine notwendige Voraussetzung dafür. Die Ökologie entwickelt sich zur Wissenschaft von der Steuerung der Biosphäre.

Von den Leninschen Dekreten zum Schutz der Natur aus den ersten Jahren der Sowjetmacht bis zur Zusammenarbeit der Mitgliedsländer des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe auf dem Gebiet des Umweltschutzes führt ein gerader und direkter Weg. Ihn bestimmt auf dem Gebiet der DDR das Gesetz über die planmäßige Gestaltung der sozialistischen Landeskultur. Mit der ökonomischen Integration der sozialistischen Staaten werden neue Entwicklungstendenzen gesetzt: bewußt beherrscht vorschreitend, wird die Kultur keine Wüsten mehr hinter sich zurücklassen.

24 25 26

Die Gesellschaft ist durch ihren Stoff- und Energiewechsel mit der umgebenden Natur Bestandteil der Biosphäre. Die Gesellschaft hat ihre natürliche Existenzgrundlage in dem sie umgebenden geographischen Milieu, in dessen Wirkungsgefüge sie mit zunehmender Beherrschung der Naturkräfte – zu effektiverer Ausnutzung – immer stärker eingreift und das sie dabei weitgehend verändert.

Die Anwendung der Erkenntnisse über die Wechselwirkung zwischen Gesellschaft und geographischem Milieu und deren Zusammenspiel als gemeinsame Bestandteile der Biosphäre ermöglicht die notwendig gewordene Beendigung der Naturzerstörung und die planmäßige Gestaltung der Biosphäre. Sie setzt den Übergang der Menschheit vom Kapitalismus zum Sozialismus voraus.

Die sich entwickelnde sozialistische Gesellschaft stellt sich das Ziel der bewußten, planmäßigen, erhaltenden Beherrschung der Natur, der Gestaltung der Noosphäre.

Zu den Aufgaben der Biologie im Sozialismus

Die biologische Forschung hat in den letzten Jahren zu Entdeckungen geführt, und weitere stellt sie in Aussicht, die die Natur und das menschliche Leben in naher Zukunft tiefgreifend beeinflussen können. Sie können wesentlich dazu beitragen, eine Welt des Wohlstandes, der Gesundheit und des Wohlergehens für die gesamte Menschheit zu schaffen. Die Entwicklung und Anwendung der Biologie in diesem Sinne – menschlichem Wesen und humanistischer Wissenschaft adäquat – wirft eine Fülle ethischer, sozialer und wissenschaftlich-sachlicher Fragen auf. Sie verlangt eine auf das Wohl der Menschen gerichtete, von allen Ausbeuterinteressen befreite gesellschaftliche Zielsetzung und ein sorgfältiges wissenschaftliches Durchdenken und Abwägen aller möglichen Wirkungen bestimmter Eingriffe in die lebende Natur, um die komplexen Probleme eines optimalen Einsatzes der biologischen Erkenntnisse lösen zu können.

Die erörterten Beziehungen zwischen Biologie und Gesellschaft zeigen: in kapitalistischen Staaten sind zweifellos beachtliche Erfolge auf wissenschaftlichem Gebiet möglich, die sozialen Bedingungen – das Privateigentum an Produktionsmitteln, Herrschafts- und Machtinteressen – setzen bestimmte Erkenntnisschranken, bedingen eine einseitige Wissenschaftsentwicklung und sind Quelle eines ständigen Mißbrauchs der Wissenschaften für egoistische Klasseninteressen und menschheitsfeindliche Ziele. Diese Situation fördert die Einsicht in die unabdingbare Notwendigkeit, den Imperialismus durch die sozialistische Revolution zu überwinden.

Die Kraft der sozialistischen Staatengemeinschaft und der internationalen Arbeiterbewegung, die Wachsamkeit und der machtvolle Protest aller progressiven Kräfte einschließlich der Wissenschaftler aller Länder gegen den Mißbrauch der Naturwissenschaften (z. B. chemische Kriegführung, Umweltverschmutzung, Rauschgiftmißbrauch) engen die Bewegungsfreiheit des Imperialismus in der antihumanistischen Anwendung der Wissenschaft immer mehr ein. Der Sozialismus, in dem das Wohl und die allseitige Entwicklung des Menschen im Mittelpunkt aller gesellschaftlichen Anstrengungen stehen, macht erstmalig in der Geschichte der Menschheit den Weg dafür frei, die Wissenschaften allseitig und planmäßig zu entwickeln und ihre Anwendung ausschließlich als Mittel der Erkenntnis der Welt und zur Förderung des Wohlstands und der Kultur, zur allseitigen Bildung der menschlichen Persönlichkeit zu sichern. Die Schaffung der entwickelten sozialistischen und kommunistischen Gesellschaft ist mit einem mächtigen Wachstum der Wissenschaft verbunden. Andererseits können ohne die allseitige Förderung aller Wissenschaften und die Nutzung ihrer Errungenschaften die wachsenden materiellen und kulturellen Lebensbedürfnisse der Bürger nicht im erforderlichen Maß befriedigt und der Aufbau der sozialistischen Gesellschaft nicht vollendet werden. Die zunehmende sozialistische Integration der sozialistischen Staatengemeinschaft ermöglicht es, durch Vereinigung des wissenschaftlichen und technischen Potentials der einzelnen Bruderländer eine wesentliche Beschleunigung ihres gemeinsamen wissenschaftlich-technischen Fortschritts herbeizuführen.

In diese Zusammenhänge ist auch die Biologie im Sozialismus einzuordnen. Sie wird im Sozialismus zu einem wesentlichen Mittel, die Herrschaft des Menschen über seine eigene und die äußere biologische Natur zu erweitern, den materiellen Reichtum zu mehren und die Gesundheit, Leistungsfähigkeit und Lebensfreude der Menschen zu fördern.

Einen bedeutenden Beitrag haben die biologischen Wissenschaften zur kontinuierlichen Versorgung der Bevölkerung mit hochwertigen Nahrungsmitteln zu leisten. Im Vordergrund werden in naher Zukunft noch die konventionellen Methoden der Produktion pflanzlicher und tierischer Erzeugnisse in der Landwirtschaft stehen. Die Biologie hat wissenschaftlichen Vorlauf für deren weitere sozialistische Intensivierung, die Erhöhung ihrer Effektivität und den Übergang zu industriellen Formen der Produktion zu schaffen, damit die Nahrungsmittelproduktion in naher Zukunft den wachsenden Anforderungen gerecht werden kann. Das erfolgt vor allem durch den Beitrag zur Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen, die zum Beispiel dazu dienen, die Bodenfruchtbarkeit zu erhöhen, ertragreichere (besonders eiweißreichere) Pflanzensorten und hochleistungsfähige Tierrassen nach bewährten und neuen Methoden zu züchten, Schädlinge, Pflanzen- und Tierkrankheiten und Unkräuter wirksamer zu bekämpfen.

Die sozialistischen Länder leisten auch den Entwicklungsländern entsprechende Hilfe, die erforderlichen gesellschaftlichen Bedingungen und sachlichen Voraussetzungen für die Intensivierung der Nahrungsmittelproduktion zu schaffen. Landwirtschafts- und Ernährungswissenschaftler haben errechnet, daß auf unserer Erde etwa 20 bis 45 Milliarden Menschen auf durchschnittlichem europäischem Niveau ernährt werden können, wenn auf dem zur Verfügung stehenden Land entsprechend den unterschiedlichen Bedingungen die zur Zeit besten Nutzungsmethoden Anwendung finden. Möglichkeiten der Ernährung werden folglich nicht der begrenzende Faktor des Bevölkerungswachstums sein.

In diesem Zusammenhang besitzt die mikrobielle Nahrungsproduktion große Perspektiven. An Vorteilen bietet sie gegenüber traditionellem Pflanzenbau: Wesentlich raschere Zunahme an Biomasse, höheren Proteingehalt mit relativ günstiger Aminosäurenzusammensetzung (hohe biologische Wertigkeit), relativ billiges Nährsubstrat (Abfallstoffe aus der Pflanzenproduktion, der Zellulose herstellung, der Erdölindustrie und kommunale Abwässer) und eine industriell organisierte Produktion. Dabei zeigen sich auch

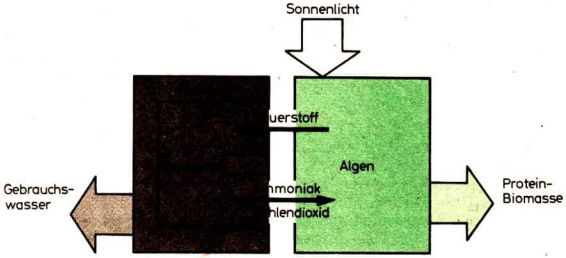


Abb. 181/1 Schematische Darstellung
der biologischen Reinigung von Abwasser bei gleichzeitiger Gewinnung von Bioproteinmasse

Möglichkeiten, bei Mischkulturen von Bakterien und Algen kommunale und zum Teil industrielle Abwässer mit hohem Gehalt an organischer Substanz als Nährmedien zu verwenden, so daß bei entsprechender Regulation hochwertige Biomasse entsteht und zugleich Abwasser in Gebrauchswasser umgewandelt wird (Abb. 181/1).

Die Biologie erforscht die biologischen Grundlagen und die Regulierungsmechanismen der Biosynthese von Eiweißen und Kohlenhydraten. Sie wird damit Wege zeigen, Enzyme auf biologischem oder chemischem Wege in gewünschter Menge zu produzieren oder auch Enzyme gezielt zu verändern, so daß Biokatalysatoren gewünschter Wirkungsweise entstehen. Damit schafft die Biologie nicht nur die Möglichkeiten, um in Zukunft die Produktivität landwirtschaftlich genutzter Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen zu steuern, sondern sie gibt auch die wissenschaftlichen Grundlagen für die enzymatische oder chemische Eiweißsynthese und die „künstliche" Photosynthese von Kohlenhydraten. Solche Produktionsrichtungen können nur im Sozialismus voll ausgenutzt werden, um den Menschen künftig unerschöpfliche Mengen an Nahrungsmitteln und technischen Rohstoffen liefern zu können.

Die Biologie erschließt der Tier- und Pflanzenzüchtung zunehmend neue Methoden: Die Sortierung der Spermien mit X- bzw. Y-Chromosom ermöglicht eine Geschlechtsbestimmung der tierischen Nachkommen.

Mehr und mehr wird es möglich sein, hochleistungsfähigen weiblichen Zuchttieren Eizellen zu entnehmen und diese befruchtet anderen Tieren einzupflanzen.

Eine wesentliche Aufgabe moderner Genetik ist die Erzeugung erwünschter Mutationen. Ihre Lösung erfordert noch die Überwindung vielfältiger Probleme. Nach Meinung mehrerer Genetiker werden sich weitere Möglichkeiten gezielter Erbänderung ergeben: Die Isolierung einzelner Gene oder Genkomplexe beziehungsweise die Synthese von Genen sowie die Erarbeitung von weiteren Mechanismen der Genübertragung mittels Bakterien oder Viren lassen Möglichkeiten erkennen, ganze Genorte gegen homologe Genorte veränderten Informationsgehalts auszutauschen, Erbinformationen von einer Organismenart in das Erbgefüge einer anderen einzufügen (↗ S. 107 f.). Bei Zellkulturen aus Karotten ist es bereits gelungen, die in den Zellkernen „ruhende" Erbinformation zu aktivieren und die Zellen zu veranlassen, sich zu Geweben, Organen und sogar fertigen Pflanzen zu organisieren. Es ist noch nicht abzusehen, wie weit solche Verfahren zur Produktion pflanzlicher oder tierischer Gewebe oder gar zur ungeschlechtlichen Vermehrung dienen können.

Nach wie vor kommt es bei der gesundheitlichen Betreuung der Bevölkerung in den sozialistischen Ländern darauf an, das Erkennen und die Behandlung der Krankheiten zu verbessern. Immer mehr treten jedoch Aufgaben der Prophylaxe in den Vordergrund: die Entwicklung eines Systems von Vorbeugeuntersuchungen, das rechtzeitiges Erkennen und folglich wirksamere Behandlung der mit fortschreitendem Lebensalter häufiger auftretenden Krankheiten ermöglicht.

Rückgang von Infektionskrankheiten in der DDR am Beispiel von Diphtherie, Poliomyelitis, Tuberkulose (Erkrankungen je 10000 Einwohner)

Krankheit	1950	1955	1960	1965	1969	1970
Diphtherie	10,5	4,6	2,2	0,1	0,0	0,0
Poliomyelitis	0,2	0,5	0,08	—	—	—
Tuberkulose	50,4	26,2	13,6	9,4	6,2	6,0

Die Fortschritte der Biologie werden der Medizin in wachsendem Maße neue Wege erschließen: Die zunehmende Aufklärung des Ursachengefüges von Erbkrankheiten ermöglicht es immer mehr, beispielsweise durch besondere Ernährung, durch Zufügen fehlender oder durch Wegnahme störender Substanzen negative Effekte von Erbstörungen zu kompensieren. Die Erforschung der Mutationen zeigt Möglichkeiten, mutative Prozesse durch Gestaltung der Umwelt sowie mit Hilfe von Antimutagenen und durch Regulierung des Genreparaturmechanismus der Zellen zu unterdrücken. Da zumindest viele bösartige Zellwucherungen auf eine Veränderung einzelner Nukleotide der DNS zurückgehen, die von einem leistungsgeminderten Reparatursystem der Zelle nicht behoben werden können, schaffen diese Forschungen auch Voraussetzungen, die Geschwulstkrankheiten unter Kontrolle zu bringen.

Die Erforschung des Immunitätssystems des Menschen zielt auch darauf ab, Wege zur Überwindung der Immunitätsschranken des Organismus zu finden und dadurch die Möglichkeiten der Organverpflanzung zu verbessern. Die Züchtung und gezielte genetische Veränderung von Mikroorganismen wird es ermöglichen, jede benötigte Menge an Vitaminen, Antibiotika und Lebendvakzinen zu gewinnen.

Durch Erforschung der Alterskrankheiten und der Biologie des Alterns wird die Biologie dazu beitragen, immer mehr die Gesundheit und Leistungsfähigkeit des Menschen bis ins hohe Alter erhalten zu können.

Die sozialistische Landeskultur konzentriert sich vorerst im Interesse einer rationellen Nutzung der natürlichen Ressourcen auf einzelne Probleme der Reinhaltung der Gewässer, der Luft, der Nutzung und des Schutzes des Bodens, der Beseitigung und Verwertung von Siedlungsmüll und Abprodukten, der Wiederherstellung von geschädigtem Naturgebiet, um eine unserer sozialistischen Gesellschaft entsprechende Umwelt zu gestalten und die Beziehungen zwischen Mensch und Natur zu optimieren. Biologische Erkenntnisse und Forschungen müssen ökologische Konsequenzen bei der Gestaltung von Siedlungs- und Industriegebieten sichtbar machen und deren Entwicklung zu allseitig ausbalancierten biologisch-technischen Einheiten fördern. Die zunehmende Anlage künstlicher Stauseen, großer Bewässerungssysteme, die Umleitung von Flüssen, Anpflanzung von Schutzwaldstreifen, Chemisierung der Landwirtschaft, steigender Kohlendioxidgehalt und Staubgehalt der Atmosphäre, Zunahme der Wasserdampfkonzentration beispielsweise schaffen eine Reihe großräumiger ökologischer und klimatischer Probleme. Immer mehr wird daher in den sozialistischen Ländern eine komplexe ökologische Untersuchung großräumiger Gebiete und schließlich der gesamten Biosphäre und Noosphäre an Bedeutung gewinnen. Die Biologie muß einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, daß die sich auf unserem Planeten abspielenden, grundlegenden, ökologisch bedeutsamen Prozesse umfassend zu verstehen sind, sie muß Wege finden, um eine umfassende Regulierung der Nutzung und erweiterte Reproduktion der biologischen Reichtümer unseres Planeten im Interesse aller Menschen zu gewährleisten.

Die bedeutenden Leistungen bei der Erforschung des Weltraumes sind untrennbar mit Ergebnissen der Kosmobiologie und der Raumfahrtmedizin verbunden. Die kosmische Biologie konzentriert sich vor allem auf eine allseitige Erforschung der Wirkung kosmischer Faktoren auf verschiedene lebende Organismen. Für längere Raumflüge und längeren Aufenthalt auf anderen Planeten hat die Biologie dazu beizutragen, ein zuverlässiges geschlossenes System der biologischen Lebenssicherung des Menschen im Weltraum zu schaffen. Dazu gehört zweifellos die außerordentlich komplizierte Aufgabe, die in der irdischen Natur sich vollziehenden Stoffkreisläufe unter Einschluß des Menschen im Mikromaßstab und mit möglichst wenig Kettengliedern

den Weltraumbedingungen adäquat zu rekonstruieren, damit die Lebenstätigkeit von Raumfahrern für lange Zeit voll aufrechterhalten werden kann.

Neben schwierigen technischen Lösungen, etwa der Erzeugung einer künstlichen Schwerkraft, sind weitere medizinische Mittel gegen die ungünstigen Auswirkungen der Schwerelosigkeit, wie Möglichkeiten zur Regulierung des Blutdruckes in allen Teilen des Körpers, Möglichkeiten einer besseren Readaptation an irdische Bedingungen, zu erforschen und zu entwickeln.

Seit allen Zeiten haben Erfinder und Konstrukteure Anregungen aus dem Bereich der Biosphäre schöpferisch in neuartige Lösungen technischer Probleme umgesetzt. Die Direktive des VIII. Parteitages der SED von 1971 orientiert unter anderem darauf, biologische Prozesse und Wirkstoffe technisch nutzbar zu machen. So kann bereits in unserer Zeit die Bionik dazu beitragen, die Technik zu revolutionieren. Doch der Mensch steht erst am Anfang der technischen Ausnutzung biologischer Organisations- und Funktionsprinzipien. Biologische Systeme sind die vollkommensten und kompliziertesten Entwicklungen in der Natur – hinsichtlich Struktur und Funktion in einer Milliarden Jahre umfassenden Evolution weitgehend optimiert. Sie zeichnen sich durch ein hohes Maß an Zuverlässigkeit und Anpassungsfähigkeit aus. Hochentwickelte kybernetische Geräte setzen stets die schöpferische Modellierung beziehungsweise die Auswertung von Strukturen lebender Natur voraus.

Viele Wissenschaftler sehen daher die Möglichkeit zu einem weiteren qualitativen Sprung in der Entwicklung der Technik, insbesondere der Steuerung technischer Systeme darin, daß der Mensch umfassend Gesetzmäßigkeiten der anorganischen und der lebenden Natur miteinander verbindet und in seinen Dienst stellt. Biologische Grundlagenforschungen schaffen mit die Voraussetzungen dafür, daß eine solche biomechanische, biophysikalische und biochemische Technik, die in vieler Hinsicht die lebende Natur durchaus übertreffen wird, die technische Basis künftiger Gesellschaften sein kann.

Vor der Biologie als Teil der sozialistischen und kommunistischen Wissenschaft stehen noch viele komplizierte Aufgaben. Sie hat alle Potenzen, die Geheimnisse der Natur weiter zu entschleiern und die Entdeckungen dafür einzusetzen, das menschliche Leben zu bereichern und zu vervollkommnen.

Lenin charakterisierte schon unmittelbar nach der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution, die die kommunistische Epoche der Menschheitsentwicklung einleitete, wie folgt: „Dem siegreichen Proletariat hat sich die Erde erschlossen, die jetzt zum Gemeingut des Volkes geworden ist, und es wird imstande sein, eine neue Produktion und Konsumtion nach sozialistischen Grundsätzen aufzubauen. Früher war das ganze menschliche Denken, der menschliche Genius nur darauf gerichtet, den einen alle Güter der Technik und Kultur zu geben und den anderen das Notwendigste vorzuenthalten – Bildung und Entwicklung. Jetzt dagegen werden alle Wunder der Technik, alle Errungenschaften der Kultur zum Gemeingut des Volkes, und von jetzt an wird das menschliche Denken, der menschliche Genius niemals mehr ein Mittel der Gewalt, ein Mittel der Ausbeutung sein. Das wissen wir. Und lohnt es etwa nicht, für diese gewaltige geschichtliche Aufgabe zu arbeiten, dafür alle Kräfte einzusetzen? Die Werktätigen werden dieses titanische geschichtliche Werk vollbringen."

27 28 29

Aufgaben und Fragen

Stoffwechselphysiologie

1. Definieren Sie den Begriff „Stoffwechsel"!
2. Erklären Sie am Beispiel von Dissimilation und Assimilation den Zusammenhang von Stoffwechsel und Energiewechsel!
3. Inwiefern ist die lebende Zelle ein dynamisches System?
4. Nennen Sie verschiedene Reaktionsorte der Zelle. Welche Vorgänge laufen dort ab?
5. Vergleichen Sie Katalysatoren und Enzyme in ihrer Wirkung, und definieren Sie danach den Begriff Enzym!
6. Wie spiegeln sich Proteineigenschaften in den Eigenschaften von Enzymen wider?
7. Geben Sie eine möglichst vollständige Aufstellung über die Möglichkeiten, die Aktivität eines Enzyms zu beeinflussen!
8. Nennen Sie Beispiele für autotroph und für heterotroph lebende Organismen!
9. Welche Wechselbeziehungen bestehen zwischen den autotroph und heterotroph lebenden Organismen auf der Erde?
10. Wiederholen Sie aus Klasse 9: Welche Bedingungen müssen für die Kohlendioxidassimilation erfüllt sein?
11. Vergleichen Sie Photo- und Chemosynthese! Suchen Sie nach Gemeinsamkeiten und nach Unterschieden!
12. Welchen Dienst leisten Isotope bei der Erforschung der Photosynthese?
13. Welche Beziehungen bestehen zwischen Licht- und Dunkelreaktion der Photosynthese? Stellen Sie dazu ein Schema auf!
14. Durch welche Substanzen werden im Verlaufe der Photosynthese Elektronen, Wasserstoff und Energie übertragen?
15. Nennen Sie die Produkte der photolytischen Wasserspaltung!
16. Was sind und welche Bedeutung haben Redoxketten?
17. Erläutern Sie, in welcher Form in der Photosynthese Kohlendioxid reduziert wird!
18. Warum ist die Regeneration der Akzeptorverbindung Voraussetzung für den kontinuierlichen Photosyntheseverlauf?
19. Erläutern Sie schriftlich die Energieumwandlung in der Licht- und in der Dunkelreaktion!
20. Was würden Sie als primäre und was als sekundäre Photosyntheseprodukte bezeichnen? Erläutern Sie die Beziehungen zwischen beiden!
21. Welche Beziehungen bestehen zwischen der Wellenlänge des Lichts und der Photosynthese?
22. Welche Funktionen haben Karotinoide?

23 Erklären Sie das Prinzip der begrenzenden Faktoren an selbstgewählten Beispielen!

24 Suchen Sie nach Beziehungen zwischen Bau und Funktion bei Licht- und Schattenblättern!

25 Beschreiben Sie Wechselwirkungen zwischen Licht, Kohlendioxid, Temperatur und Wasser bei der Beeinflussung der Photosynthese!

26 Welche äußeren Bedingungen der Photosynthese werden in der Landwirtschaft und im Gartenbau beeinflußt, um Erntezuwachs zu erzielen?

27 Beschreiben Sie die biologische Bedeutung der Chemosynthese!

28 Welche wirtschaftliche Bedeutung hat die Chemosynthese?

29 Beschreiben Sie die biologische, wirtschaftliche und industrielle Bedeutung der Photosyntheseprodukte!

30 Erläutern Sie Ihre Vorstellungen über die zukünftige Entwicklung von Ernährung, Landwirtschaft und Industrie im Hinblick auf die Photosynthese!

31 Welche Arten der Klasse Vögel sind Nahrungsspezialisten?

32 Nennen Sie einige Arten aus der Klasse der Säugetiere, die Pflanzenfresser sind!

33 Ist der Mensch ein Nahrungsspezialist? Begründen Sie Ihre Meinung!

34 Nennen Sie pflanzliche Polysaccharide!

35 Welche Disaccharide und Monosaccharide sind Ihnen bekannt?

36 Geben Sie an, welches Enzym den Abbau der Stärke bewirkt!

37 Welche Proteasen werden im Verlaufe des Verdauungsvorgangs im menschlichen Darmkanal abgegeben?

38 Welche Bindungen im Eiweißmolekül werden durch Proteasen gespalten?

39 Worin besteht die Wirkung von Lipasen?

40 In welchen Abschnitten des menschlichen Darmkanals erfolgt die Resorption von Nährstoffen?

41 Weshalb können die Mistel und der Sonnentau nicht als heterotrophe Pflanzen bezeichnet werden?

42 Nennen Sie Besonderheiten und Übereinstimmungen im Bau der Atmungsorgane höherer Tiere!

43 Nennen Sie Beispiele für Tiere mit Kiemenatmung! Ordnen Sie sie in das System ein!

44 Wie verlaufen die Atembewegungen beim Menschen?

45 Vergleichen Sie Atmung und Photosynthese im Hinblick auf folgende Einzelheiten: a) Bruttoformel, b) Zweistufigkeit der Prozesse, c) Rolle des Wasserstoffs, d) gemeinsame Zwischenprodukte, e) Karboxylierung/Dekarboxylierung, f) Oxydation und Reduktion, g) Redoxketten, h) Energieumwandlung, i) Rolle von ATP, k) Rolle von Phosphotransferasen, l) Lokalisation in der Zelle!

46 Erläutern Sie, wodurch sich die biologische Oxydation von den Oxydationsvorgängen in der nichtlebenden Natur unterscheidet! Welche allgemeinen Erkenntnisse leiten Sie daraus ab?

47 Welche Größe hat der respiratorische Quotient bei der Veratmung niederer Karbonsäuren wie beispielsweise Ameisensäure (Methansäure HCOOH) oder Oxalsäure (Äthandisäure HOOC – COOH)?
a) Schätzen Sie! b) Stellen Sie die Oxydationsgleichung auf, und berechnen Sie RQ!

48 Erläutern Sie, auf welche Weise bei lagernden Ernteprodukten Substanzverluste vermindert werden können!

49 Erklären Sie, auf welchem Wege der Wassergehalt der Zelle die Atmungsintensität beeinflußt!

50 Welche Gemeinsamkeiten und welche Unterschiede bestehen zwischen Atmung und Gärungen?

51 Begründen Sie, warum man bei der alkoholischen Gärung dem Gärballon einen Gärverschluß aufsetzen muß!

52 Verfolgen Sie den Weg des Wasserstoffs im biochemischen Ablauf der Ihnen bekannten Gärungen!

53 Weshalb findet bei der Milchsäuregärung (stille Gärung) keine Gasentwicklung statt im Unterschied zu der „stürmisch" verlaufenden alkoholischen Gärung?

54 Inwiefern bedingen sich Atmung und Photosynthese gegenseitig?

55 Wie verschiebt sich bei autotrophen Pflanzen das Gleichgewicht zwischen Assimilation und Dissimilation im Wechsel zwischen Tag und Nacht?

56 Studieren Sie die Abbildung 46/1 gründlich, und geben Sie zu jedem der in der Abbildung enthaltenen 10 Pfeile eine Erklärung in ein bis zwei Sätzen!

57 Erweitern Sie in einer eigenen Skizze die Abbildung 46/1 durch Hinzufügen der (pflanzlichen und tierischen) Parasiten!

58 Beschreiben Sie, vom Nitrat-Ion ausgehend, die Biosynthese von Proteinen!

59 Welche Bedeutung haben Bakterien im Stickstoffhaushalt der Natur?

60 Studieren Sie die Abbildung 48/1 gründlich, und geben Sie zu jedem der in der Abbildung enthaltenen 10 Pfeile eine Erklärung in ein bis zwei Sätzen!

61 Stellen Sie zur Selbstkontrolle den Kreislauf des Stickstoffs und des Kohlenstoffs zeichnerisch dar!

62 Wie verändert sich der respiratorische Quotient, wenn aus der Atmungskette Wasserstoff abgezweigt und zur Reduktion von Nitrat verwendet wird?

63 Nennen Sie Verzweigstellen im Grundstoffwechsel!

64 Welche Verwendung kann der aus der Atmungskette stammende Wasserstoff finden?

65 Begründen Sie die zentrale Stellung des Atmungsgeschehens im Stoff- und Energiewechsel!

66 Studieren Sie die Abbildung 51/1 gründlich, und geben Sie zu jedem der in der Abbildung enthaltenen 39 Pfeile eine Erklärung in ein bis zwei Sätzen (34 Erklärungen, da die parallelen „Oxydationspfeile" zusammenzufassen sind)!

67 Leiten Sie aus den Erkenntnissen über den Stoffwechsel der Organismen Schlußfolgerungen über die Beziehungen zwischen anorganischer und lebender Materie ab!

Reizphysiologie

1 Erläutern Sie an einem Beispiel die Vorgänge, in denen sich die Reizbarkeit auswirkt!

2 Wie zeigt sich die Adaption eines Sinneselements?

3 Erläutern Sie den Zusammenhang von Stoffwechsel und Erregungsbildung und -leitung!

4 Welche Mechanismen bewirken die ungleiche Verteilung der Ionen zwischen Zellinnerem und extrazellulärer Flüssigkeit?

5 Nennen Sie die zwei Grundtypen der Erregung und ihre Charakteristika!

6 Erläutern Sie, welche Beziehung zwischen Reizstärke und Reizpotential besteht!

7. Stellen Sie Bildung und zeitlichen Verlauf eines Aktionspotentials schematisch dar!
8. Nennen Sie die wesentlichen mit dem Nervenimpuls zusammenhängenden Vorgänge!
9. In welcher Richtung können Nervenfasern die Erregung leiten?
10. Welcher Unterschied besteht zwischen der marklosen und der markhaltigen Nervenfaser bei der Erregungsleitung?
11. Schildern Sie die Bedeutung und die Wirkungsweise der Synapsen!
12. Nennen Sie Beispiele für Reaktionen bei Pflanzen bei Einwirken von Lichtreizen!
13. Wie erfolgt die Reizung von Muskelfasern im Körper?
14. Wie kommt die tetanische Dauerkontraktion eines Skelettmuskels zustande?
15. Nennen Sie die direkte und indirekte Energiequelle der Muskelkontraktion!
16. Erläutern Sie, unter welchen Bedingungen es leicht zur Muskelermüdung kommt!
17. Stellen Sie nach Ihren Kenntnissen aus der Klasse 9 die Bewegung der Spaltöffnungen zeichnerisch dar!
18. Vergleichen Sie die Reizvorgänge bei Pflanzen und Tieren. Ordnen Sie sie tabellarisch ein! Auf welche Ursachen lassen sich die Unterschiede in den Reaktionsmöglichkeiten nach Ihrer Meinung zurückführen?

Entwicklungsphysiologie

1. Definieren Sie den Begriff „Ontogenese"! Geben Sie einen Überblick über die Phasen der Ontogenese bei den vielzelligen Tieren!
2. Worin liegt die Bedeutung der Reduktionsteilung?
3. Vergleichen Sie die Bildung der weiblichen und der männlichen Gameten!
4. Kennzeichnen Sie das Wesen der Befruchtung!
5. Geben Sie einen Überblick über die Vorgänge, die unmittelbar nach dem Eindringen der Samenzelle in der Eizelle vor sich gehen!
6. Definieren Sie den Begriff „Furchung"!
7. Kennzeichnen Sie die Keimscheibenfurchung!
8. Beschreiben Sie die Gastrulationstypen!
9. Stellen Sie Furchung und Keimblattbildung, von einer dotterarmen Zygote ausgehend, zeichnerisch dar!
10. Kennzeichnen Sie Merkmale einer indirekten Entwicklung!
11. Nennen Sie Beispiele für die indirekte Entwicklung!
12. Würden Sie die Embryonalentwicklung des Menschen als direkte oder als indirekte Entwicklung bezeichnen? Begründen Sie Ihre Meinung!
13. Was sind wesentliche Kennzeichen der Reifephase?
14. Welches sind die wichtigsten inneren Entwicklungsbedingungen?
15. Nennen Sie Faktoren, die die unterschiedliche Entwicklung der Furchungszellen bedingen!
16. Erläutern Sie, was man unter Frühdetermination versteht!
17. Kennzeichnen Sie den Unterschied zwischen Mosaik- und Regulationskeimen!
18. Worauf beruht die Entstehung eineiiger Zwillinge?
19. Worauf beruht die Wirkung eines Organisators?
20. Beschreiben Sie an Beispielen die Induktion in der Ontogenese!
21. Definieren Sie den Begriff Determination, und wenden Sie ihn auf die ontogenetische Entwicklung an!

22 Welche äußeren Faktoren sind Vorbedingungen für die Entwicklung?
23 Zeigen Sie an Beispielen die Wechselbeziehungen von Ursache und Wirkung bei der Entstehung von Modifikationen!
24 Erläutern Sie, welche Faktoren die Entwicklung eines befruchteten Bieneneies zur Königin bestimmen!

Genetik

1 Erklären Sie, warum man aus den Mendelschen Gesetzen auf die Existenz von Genen schließen muß!
2 Reaktivieren Sie Ihre Kenntnisse über Gene aus dem Biologieunterricht in der Klasse 10!
3 Nennen Sie die wichtigsten Bestandteile der Zellen, und erläutern Sie ihre Bedeutung für das Leben der Zelle!
4 Stellen Sie Mitose und Meiose schematisch dar! Definieren Sie die Begriffe!
5 Kommen Ribosomen als Erbträger in Betracht? Begründen Sie Ihre Meinung!
6 Welche Bedeutung haben Mikroorganismen für die Entwicklung der modernen Genetik?
7 Welche neuen Untersuchungsmethoden erwiesen sich bei der Entwicklung der Molekulargenetik als besonders wichtig?
8 Definieren Sie den Begriff „Identische Replikation der DNS"!
9 Beschreiben Sie das Prinzip, auf dem die identische Replikation der DNS beruht!
10 Warum ist die DNS als genetisches Material besonders geeignet?
11 Warum braucht man eine „Muster-DNS", wenn man in vitro DNS synthetisieren will?
12 Zählen Sie die wichtigsten direkten Beweise für die Rolle der DNS als stabiler Erbträger auf! Nennen Sie auch einige indirekte Beweise!
13 Stellen Sie den Vermehrungszyklus von Phagen zeichnerisch dar!
14 Welche Möglichkeiten stehen heute zur Bekämpfung von Erbkrankheiten zur Verfügung?
15 Auf welchem Untersuchungsergebnis basiert die „Ein-Gen/ein-Enzym-Hypothese"?
16 Beschreiben Sie die Unterschiede zwischen Messenger-RNS und Transport-RNS!
17 Welche Beziehungen bestehen zwischen Kodons und Antikodons?
18 Vergleichen Sie die gengesteuerte Proteinsynthese mit einer vollautomatischen Produktionsanlage!
19 Warum war bei der Aufklärung des genetischen Kodes von vornherein zu erwarten, daß die Kodons aus mindestens 3 Basen bestehen?
20 Erläutern Sie die Grundprinzipien des genetischen Kodes!
21 Was versteht man unter einem „degenerierten" Kode?
22 Inwiefern darf man molekulargenetische Erkenntnisse, die an Mikroorganismen gewonnen wurden, verallgemeinern? Geben Sie einige Beispiele!
23 Reaktivieren Sie Ihre Kenntnisse über die Mendelschen Gesetze!
24 Erweitern Sie Ihre nach Aufgabe 2 gegebene Definition des Begriffs „Gen" unter Berücksichtigung molekularbiologischer Erkenntnisse!
25 Warum entstehen durch Mutationen meist rezessive Allele?
26 Warum sind Verwandtenehen abzulehnen?
27 Zählen Sie mutagene Reize aus unserer Umwelt auf!

28 Warum kann man die Sichelzellanämie als eine „Molekularkrankheit" bezeichnen?

29 Inwiefern könnten Duplikationen für die Evolution wichtig sein?

30 Erläutern Sie die Unterschiede zwischen Gen-, Chromosomen- und Genommutationen!

31 Werden Veränderungen, die auf somatische Mutationen zurückzuführen sind, vererbt? Begründen Sie Ihre Meinung!

32 Warum wirken sich Mutationen meist nachteilig für den betreffenden Organismus aus?

33 Erläutern Sie den grundsätzlichen Unterschied in der mutagenen Wirkung von salpetriger Säure und 5-Bromurazil!

34 Ist zu erwarten, daß die Ergebnisse der Molekulargenetik Erfolge bei der Bekämpfung der Erbkrankheiten zeitigen werden? Begründen Sie Ihre Meinung!

35 Geben Sie eine persönliche Stellungnahme zu Problemen der Erforschung und Anwendung mutagener Agenzien!

Bedeutung der Biologie

1 Zeigen Sie an drei von Ihnen ausgewählten Beispielen, wie biologische Forschungsergebnisse entweder theoretisches Wissen aus anderen Naturwissenschaften oder apparativ-technische Hilfsmittel, in denen Erkenntnisse anderer Naturwissenschaften vergegenständlicht sind, zur Voraussetzung hatten!

2 Erläutern Sie an einem Beispiel, wie Reizbarkeit die Selbsterhaltung des Organismus in der ständigen Wechselwirkung mit der Umwelt unterstützt!

3 Erläutern Sie das Prinzip der enkaptischen Hierarchie an der bildlichen Darstellung eines Muskelquerschnittes!

4 Zeichnen Sie ein Schema der Strukturebenen der lebenden Natur! Tragen Sie die Ihnen bekannten Disziplinen der Biologie ein!

5 Ordnen Sie die Viren in bezug auf lebende und nichtlebende Materie ein und begründen Sie!

6 Weisen Sie das hohe Niveau der Ordnung und Selbstregulation der Lebensvorgänge an einem Beispiel aus der Stoffwechselphysiologie oder der Genetik nach!

7 Zeigen Sie am Beispiel des Gesetzes von der Erhaltung der Energie, wie auch physikalische Erkenntnisse den Fortschritt der Biologie unterstützten!

8 Nehmen Sie zu folgendem Text von DRIESCH Stellung:

„Eine spezifisch gebaute, spezifisch eingestellte Struktur, kurz eine Maschine, kann nicht geteilt werden und dabei immer bleiben, was sie war, nämlich ‚ganz'. Nun bleiben aber die Teile des Eies, nämlich die Furchungszellen, nach der Trennung voneinander immer ganz. Liefert doch jedes von ihnen den ganzen Organismus. Also kann eine Maschine nicht Grundlage der Formbildung sein.

... Das, was da am Werke ist, arbeitet ja wie ein geistiger Mensch, wenn auch nicht ‚bewußt'! Wir können von einem seelenartigen Agens reden. Ich habe es, ein Wort von Aristoteles in etwas anderem Sinne als er selbst verwendend, Entelechie genannt ... Gewiß spielt das Materielle, also die ‚Chromosomen' ... eine Rolle. Aber dieses Materielle ... ist nur ein Material, mit dem ... die Entelechie arbeitet ..."

9 Zeigen Sie an drei von Ihnen ausgewählten Beispielen, wo und wie biologische Forschungsergebnisse in der Produktion materieller Güter angewandt werden!

10 Geben Sie auf Grund Ihrer Kenntnisse aus der Stoffwechselphysiologie eine Begründung für die auf S. 158 f. genannten Tatsachen!

11 Wägen Sie die Bedeutung a) der herkömmlichen Nahrungsmittel, b) der Erschließung neuer naturgegebener Nahrungsquellen, z. B. Algen, c) der Simulierung von tierischem Eiweiß durch pflanzliches Eiweiß, z. B. Sojaeiweiß, und d) der unmittelbaren chemischen Synthese von Nahrungsmitteln aus anorganischen Stoffen auf industriellem Wege für die zukünftige menschliche Ernährung ab!

12 Setzen Sie sich mit der Auffassung des westdeutschen Arztes und Schriftstellers Peter BAMM auseinander: „Für den heiligen Augustin ist Krankheit eine von Gott gesandte Prüfung der Seele und somit eine Brücke, welche den Menschen mit dem Himmel verbindet ... Wenn der heilige Augustin eine Kenntnis davon gehabt hätte, was wir heute über die Natur der Krankheiten wissen, hätte er nichts von seinen Lehren zu ändern brauchen. Vielleicht hätte er sich dann des eigentümlichen Problems bemächtigt, was die Krankheiten der Tiere im Plan der Schöpfung für einen Sinn haben ... Diesem Problem steht die gesamte Naturwissenschaft hilflos gegenüber."

13 Zeigen Sie am Kampf gegen die Erbkrankheiten die wachsende Verantwortung der Biologen und Ärzte gegenüber der Gesellschaft.

14 Begründen Sie, daß nur die sozialistische Gesellschaftsordnung den menschenfeindlichen Mißbrauch der Herrschaft über die Lebensvorgänge des menschlichen Organismus auszuschließen vermag!

15 Begründen und erläutern Sie den Ausspruch von Maxim ZETKIN: „Der Sozialismus ist die beste Prophylaxe!"

16 Nehmen Sie zu dem Satz „Weil du arm bist, mußt du früher sterben" Stellung!

17 Setzen Sie sich mit der Auffassung des westdeutschen Arztes und Schriftstellers Thomas REGAU auseinander: „Während die naturwissenschaftliche Medizin mit steigenden Erfolgen die individuellen Krankheitsfaktoren analysierte und ausschaltete, erschuf die gleiche Naturwissenschaft in der technischen Zivilisation einen Krankheitsfaktor von universellem Ausmaß!"

18 Setzen Sie sich mit der Behauptung von NATO-Generalen auseinander, mittels psychotoxischer Kampfstoffe könne ein „humaner" chemischer Krieg geführt werden!

19 Werten Sie den massenweisen Einsatz phytotoxischer Kampfstoffe durch die USA in Vietnam unter ökologischen Gesichtspunkten und unter moralischen Gesichtspunkten!

20 Leiten Sie aus den folgenden Aussagen einzelner Sozialdarwinisten Schlußfolgerungen in bezug auf soziale Quellen und Ziele des Sozialdarwinismus ab!

„Überall in der Natur siegt das Höhere über das Niedere, und darum ist es nur das Recht der stärkeren Rassen, die niederen zu vernichten." (TILLE)

„Alle soziale Gliederung und Ordnung" ergibt sich aus der „natürlichen Ungleichheit physischer und geistiger Eigenschaften" und aus der „natürlichen Auslese." (WOLTMANN)

„Die Ständebildung setzt das Werk der natürlichen Auslese beim Menschen fort und begründet eine natürliche Züchtung." „Der untere Stand stellt nur den Bodensatz dar, aus welchem die wertvollsten Bestandteile herausdestilliert sind." (AMMON)

„Im Wachstum eines großen Geschäftsunternehmens drückt sich lediglich das Überleben der Tauglichsten aus ... Das ist keine üble Tendenz im Busineß. Es

ist bloß die Äußerung eines Natur- und eines göttlichen Gesetzes." (Industrieller ROCKEFELLER)

21 Beurteilen Sie die Behauptung des englischen Genetikers DARLINGTON in seinem Buch „Genetics and Man", in der befruchteten Eizelle wären bereits alle geistigen Fähigkeiten, sozialen Verhaltensweisen und Charaktereigenschaften des Menschen vorbestimmt!

22 Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen neokolonialistischer Politik des Imperialismus, Rassenideologie und biologistischen Auffassungen zum Bevölkerungswachstum!

23 Setzen Sie sich mit folgender Aussage vom Zoologen LEYHAUSEN (BRD) auseinander: „Der größte Teil aller politischen und sozialen Probleme der Welt ... wäre mit einem Schlage – nein, nicht gelöst: Sie hörten einfach auf zu existieren, könnte man erreichen, daß nirgends mehr als fünf bis höchstens zwanzig Menschen je Quadratkilometer lebten."

24 Weisen Sie an Hand von Beispielen aus der Biologie nach, daß der Imperialismus mit den Perspektiven von Wissenschaft und Technik unvereinbar ist!

25 Setzen Sie sich mit der Auffassung von USA-Präsident JOHNSON auseinander, daß in den Entwicklungsländern „weniger als 5 Dollar für Geburtenkontrolle besser investiert" seien „als 100 Dollar in der Wirtschaft"!

26 Begründen Sie die Notwendigkeit von Naturschutz- und Landschaftsschutzgebieten!

27 Begründen Sie die These W. I. LENINs: „Zusammenarbeit von Wissenschaftlern und Arbeitern – nur eine solche gemeinsame Arbeit wird imstande sein, die ganze Last des Elends, der Krankheiten und des Schmutzes zu beseitigen. Und das wird geschehen. Dem Bündnis von Wissenschaft, Proletariat und Technik wird keine noch so finstere Gewalt widerstehen können!"

28 Zeigen Sie den Zusammenhang zwischen der Lösung des Problems der Vererbung und der bewußten Gestaltung der Noosphäre an Hand der Erklärung von N. P. DUBININ: „Wir werden Tier-, Pflanzen- und Mikrobenarten von ungeahnter Produktivität schaffen, märchenhafte Blumen, Bäume, Sträucher, Moose, Wasserpflanzen, Fische, Vögel sowie andere Tiere und Mikroorganismen, die die Erde verschönen sollen. Schadorganismen, in erster Linie Mikroben und Viren, werden in neutrale oder nützliche Lebewesen verwandelt werden. Eine der schlimmsten Geißeln der Menschheit, der Krebs, wird vollständig ausgerottet werden, weil wir die Möglichkeit erhalten, die Gewebe an der Entartung zur Krebszelle zu hindern. Die Erbkrankheiten des Menschen werden verschwinden. Wir werden weder unter infektiösen noch unter inneren Krankheiten zu leiden haben. Der Mensch wird unter Beibehaltung von Jugend und Gesundheit lange leben!"

Begründen Sie mit Ihren Kenntnissen der Genetik, daß es sich bei der Erklärung N. P. DUBININs nicht um leere Versprechungen oder bloße Wunschträume handelt, sondern um reale Möglichkeiten!

29 Informieren Sie sich in der Tagespresse über Ergebnisse biologischer Forschung in der DDR entsprechend den in den Materialien des VIII. Parteitages sowie im RGW-Komplexprogramm festgelegten Aufgaben!

Versuche

1. Eigenschaften von Enzymen am Beispiel der Amylase

Untersuchungsmaterial: Amylaselösungen und Stärkelösung.

Geräte und Reagenzien: Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Tüpfelplatten aus Porzellan, Glasstäbe, Pipetten, Bechergläser 400 ml, Bunsenbrenner, Dreifuß und Drahtnetz. – Stärkelösung 1%ig (Stärke kalt mit Wasser anrühren, in kochendes Wasser eingießen, nach dem Verquellen abkühlen), Jodkaliumjodidlösung (Lugolsche Lösung), Fehlingsche Lösungen I und II, Eis, Gefriermischung (1 kg zerkleinertes Eis mit 100 bis 150 g Kochsalz vermischt) oder Gefrierfach im Kühlschrank, Natriumfluorid oder Monojodäthansäure (bzw. deren Natriumsalz).

Dauer: 45 min.

Durchführung:

a) Reaktionsdauer bei unterschiedlicher Enzymkonzentration

5 Reagenzgläser mit 4 ml, 2 ml, 1 ml, 0,5 ml oder 0 ml Amylaselösung, mit Wasser auf 4 ml auffüllen. Mit 2 ml Stärkelösung versetzen, umschütteln, Zeit notieren (Versuchsbeginn). Verlauf der enzymatischen Reaktion durch „Tüpfeln" verfolgen: In regelmäßigen Abständen aus jedem Glas mit einem Glasstab 1 Tropfen auf die Tüpfelplatte bringen und durch Zusatz von 1 Tropfen Jodkaliumjodidlösung auf Vorhandensein von Stärke prüfen. Wenn keine Stärke mehr feststellbar: Zeit notieren (Versuchsende). Nach Versuchsende: Reaktionsprodukte mit Fehlingscher Lösung prüfen. Ergebnis notieren.

b) Verhalten der Amylase nach Erhitzen und Gefrieren

3 Reagenzgläser mit je 4 ml Amylaselösung. Erstes Glas 5 min in kochendes Wasser halten (gelegentlich schütteln), zweites Glas in Kältemischung einfrieren, drittes Glas unbehandelt lassen. Alle Gläser wieder auf Zimmertemperatur bringen; 2 ml Stärkelösung zusetzen, umschütteln, Stärkeabbau durch Tüpfeln verfolgen (↗ Versuch a). Wenn Stärkeabbau in einer Probe beendet ist, alle Proben durch Zusatz gleicher Mengen Jodkaliumjodidlösung zur Reaktionslösung prüfen. Ergebnis notieren.

c) Enzymhemmung durch Enzyminhibitoren

4 Reagenzgläser mit je 4 ml Amylaselösung und 2 ml Stärkelösung füllen.
Zusatz zu Glas 1 bis 3: etwas Kupfersulfat (Fehlingsche Lösung I), Jodkaliumjodidlösung bzw. Natriumfluorid oder Monojodäthansäure, viertes Glas ohne Zusatz. Umschütteln, Reaktionsdauer durch Tüpfeln (↗ Versuch a) verfolgen. Kupfer-, Jod- und Fluorionen sowie Monojodäthansäure sind Inhibitoren der Amylase.

Aufgabe: a) Werten Sie die Reaktionsdauer in Abhängigkeit von der Enzymkonzentration graphisch aus (Koordinatenkreuz)!

b) Erklären Sie, weshalb die Jod-Stärke-Reaktion mit zunehmender Versuchsdauer

abnimmt und welche Beziehungen zwischen der Enzymkonzentration und der Geschwindigkeit der enzymatischen Umsetzung bestehen!

Erklären Sie den Einfluß des Erhitzens und Gefrierens auf die Enzymaktivität!

2. Stärkebildung bei Belichtung

Untersuchungsmaterial:

a) getopfte Pflanzen der Bohne oder der Kapuzinerkresse,

b) panaschierte (weißgefleckte) Blätter, z. B. von Weißrandpelargonien.

Geräte und Reagenzien: Aluminiumfolie („Stanniol") oder schwarzes Papier, Briefklammern, Glasschalen, Dunkelsturz oder Dunkelkammer, 100-Watt-Lampe, kochendes Wasser, 96%iges Äthanol oder Azeton (Propanon), Jodkaliumjodidlösung (Lugolsche Lösung).

Dauer: 20 min, 1 Tag später nochmals 30 min.

Durchführung:

a) Notwendigkeit des Lichtes

Getopfte Pflanzen stehen vor Versuchsbeginn 24 h im Dunkeln. Aus Aluminiumfolie oder schwarzem Papier Schablonen schneiden, einige Blattoberseiten damit bedecken, Blattunterseiten mit Folie oder schwarzem Papier abdecken, mit Briefklammern lichtdicht zusammenhalten. Etwa 24 h belichten (100 W), Blätter abschneiden, kurz in kochendes Wasser tauchen, Blattfarbstoffe durch Schwenken in warmem Äthanol oder Propanon (Azeton) extrahieren. (Vorsicht beim Erhitzen über offener Flamme!) Die nunmehr farblosen Blätter in einer Glasschale mit Jodkaliumjodidlösung „entwickeln" (Abb. 194/1).

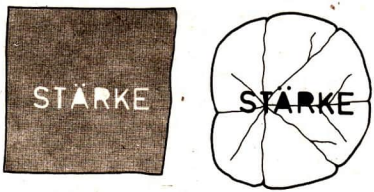


Abb. 194/1
Stärkebildung bei Belichtung.
Links Schablone,
rechts Versuchsergebnis,
Stärkeschrift im Blatt

b) Notwendigkeit des Chlorophylls

Gut (möglichst 24 h lang) belichtete panaschierte Blätter ebenso behandeln wie in Versuch a: abschneiden, aufkochen, extrahieren, entwickeln.

Aufgabe: Vergleichen und begründen Sie die Ergebnisse!

3. Die Wirkung verschiedener Spektralbereiche des Lichtes bei der Photosynthese

Untersuchungsmaterial: Wasserpest.

Geräte und Reagenzien: Kleinbildprojektor, Farbfilter rot und blau (oder als Ersatz: gesättigte Kaliumdichromatlösung, 5%ige Kupfersulfatlösung, welcher bis zur Auflösung des Niederschlages Ammoniak zugegeben wurde), Stoppuhr, Zollstock, Belichtungsmesser, 2 Küvetten, 1%ige Kaliumhydrogenkarbonatlösung.

Dauer: 30 min.

Durchführung: Küvette mit Kaliumhydrogenkarbonatlösung füllen, einen Sproß der Wasserpest mit seiner schrägen Schnittfläche nach oben einsetzen, Küvette in den Strahl des Bildwerfers bringen. 5 Minuten lang die entstehenden Sauerstoffbläschen zählen!

Lichtintensität an der Stelle, wo die Küvette stand, messen. – Rotes Farbfilter (oder Kaliumdichromatlösung in einer Küvette) in den Bildwerferstrahl bringen, mit Belichtungsmesser denjenigen Ort suchen, wo gleiche Lichtintensität herrscht wie im Versuch mit weißem Licht. Dort die Küvette mit der Wasserpest aufstellen und die 5-Minuten-Zählung wiederholen! – Dasselbe Experiment mit Blaufilter (oder Kupfersulfatlösung) wiederholen!

Zur Demonstration für die ganze Klasse kann man den Bildwerferstrahl durch die Küvette auf eine Leinwand projizieren und den Klassenraum etwas abdunkeln.

Aufgabe: a) Begründen Sie, weshalb Kaliumhydrogenkarbonatlösung (und nicht Wasser) verwendet wurde!

b) Erläutern Sie an diesem Versuch die Abhängigkeit der Photosyntheseaktivität von der Lichtqualität bei ungefähr gleicher einfallender Lichtmenge!

4. Blattfarbstoffe: Extraktion, papierchromatographische Trennung, Chlorophyllfluoreszenz

Untersuchungsmaterial: Blätter der Brennessel oder andere chlorophyllreiche Blätter.

Geräte und Reagenzien: Mörser mit Pistill, kleine Abdampfschale, Becherglas, Glasplatten zum Abdecken der Schale und des Bechergla ses, großes Reagenzglas oder kleine Mensur mit passendem Gummistopfen, in den von unten ein kleines Drahthäkchen gesteckt wurde, Schere, Chromatographiepapier, evtl. Sammellinse oder besser Kleinbildprojektor, Propanon (Azeton) oder Trichlormethan (Chloroform), Benzin, Benzol, Quarzsand.

Dauer: Extraktherstellung 10 min, Auftragen 15 min, Laufzeit maximal 1 h, währenddessen Fluoreszenznachweis 10 min.

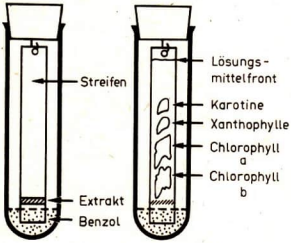


Abb. 196/1
Anordnung zur Papierchromatographischen Trennung der Blattfarbstoffe
links Streifen vor Beginn der Entwicklung in der Chromatographiekammer,
rechts Streifen nach Ende der Trennung

Durchführung:

a) Herstellung der Chromatographiekammern und -streifen; siehe Abbildung 196/1! Papierstreifen soll so breit sein, daß er beim Einhängen nicht an den Seitenwänden anstößt, und so lang, daß die untere Kante etwa 8 mm über dem Gefäßboden hängt. Streifen stets nur mit Pinzette oder an den seitlichen Rändern anfassen.

b) Herstellung des Extraktes

Mehrere Blätter in der Reibschale mit Quarzsand und Propanon oder Trichlormethan zerreiben. Rückstände absetzen lassen. Den deutlich dunkelgrünen Extrakt vorsichtig teilweise in das Becherglas, teilweise in die Abdampfschale gießen, beide gut abdecken (Vermeidung des Verdunstens des Lösungsmittels).

c) Papierchromatographische Farbstofftrennung

Untere Kante des Chromatographiestreifens in den Extrakt in der Abdampfschale eintauchen, Farbstoff etwa 1 cm aufsteigen lassen, Streifen trocknen lassen. Dasselbe 2- bis 3mal wiederholen, so daß 1 cm über der Unterkante eine grüne Farbstoffzone entsteht.

Chromatographiekammer (Reagenzglas oder Mensur) etwa 1 cm hoch mit dem Lösungsmittel Benzol oder Benzin-Benzol-Gemisch (Verhältnis 1:1) füllen, Streifen in die Kammer hängen, etwa 2 mm tief in das Lösungsmittel eintauchen lassen (Abb. 196/1). Während nun das Lösungsmittel im Streifen aufwärts steigt, werden die verschiedenen Blattfarbstoffe voneinander getrennt. Nach beendeter Trennung (bevor die Lösungsmittelfront die obere Kante des Streifens erreicht hat) Streifen herausnehmen und trocknen lassen. (Karotine sind orangefarbene, Xanthophylle gelbe Farbstoffe der Plastiden – Sammelbegriff für beide: Karotinoide). Die Karotine befinden sich oft direkt in der Lösungsmittelfront. Da die Plastiden mehrere Xanthophylle enthalten, beobachtet man oft mehrere gelbe Xanthophyll-Zonen.

d) Fluoreszenz des Chlorophylls

Den „Rohchlorophyllextrakt" (= Chlorophylle und Karotinoide) im Becherglas im durchfallenden Licht betrachten: grün. Im auffallenden Licht (Sonnenlicht, evtl. mit Sammellinse konzentriert, besser Kleinbildprojektor) betrachten: prächtig rote Fluoreszenz.

Aufgabe: Erklären Sie, welche physikalischen Grundlagen der papierchromatographische Trennvorgang haben könnte! Denken Sie an Unterschiede in der Löslichkeit und in der Adsorbierbarkeit an Zellulose!

5. Gaswechsel bei der Photosynthese

Untersuchungsmaterial: Wasserpest oder Wassermoos *(Fontinalis)*.

Geräte und Reagenzien: 4 Erlenmeyerkolben (50 ml) mit passenden, unten abgeschrägten Gummistopfen, 2 Pipetten, schwarzer Stoff zum Verdunkeln. – Gasfreies Wasser (Herstellung s. u.) in verschlossenem Gefäß, frisch angesetzte 10%ige Pyrogallollösung (1.2.3-Trihydroxybenzol) in gasfreiem Wasser, darf höchstens schwach gelb gefärbt sein, 30%ige Natriumhydroxidlösung, Selterswasser oder Natriumhydrogenkarbonat ($NaHCO_3$).

Dauer: 45 min.

Durchführung:

Herstellung von gasfreiem Wasser: Wasser einige Zeit kochen lassen, unter Luftabschluß abkühlen lassen. 4 Erlenmeyerkolben mit gasfreiem Wasser füllen und folgendermaßen beschicken:

1	2	3	4
Pflanze	Pflanze	Pflanze	—
—	Kohlendioxid	—	—
Licht	Licht	dunkel	Licht

Pflanze: etwa gleich viele Sproßstückchen in die Kolben tun; Kohlendioxid: etwas Selterswasser oder Natriumhydrogenkarbonat als Kohlendioxidquelle zusetzen;

Licht bzw. dunkel: Kolben an möglichst helles Licht stellen bzw. ganz verdunkeln.

Alle Kolben luftdicht verschließen: abgeschrägte Stopfen so auf die gestrichen vollen Kolben setzen, daß keine Gasblasen unter den Stopfen bleiben. Nach 30 min Kolben öffnen, 1 ml Pyrogallollösung und 1 ml Natriumhydroxidlösung zusetzen, verschließen, umschütteln. Die Braunfärbung ist das Maß der vorhandenen Sauerstoffmenge. Kolben 4 dient als Kontrolle, mit der die übrigen Kolben verglichen werden.

Aufgabe: a) Nennen Sie die Ursachen für den unterschiedlich hohen Sauerstoffgehalt in den verschiedenen Versuchsansätzen!

b) Erläutern Sie, weshalb die Photosyntheseintensität der grünen Pflanzen auf dem Umweg über Sauerstoff nachgewiesen werden kann und weshalb das bei grünen Bakterien nicht möglich ist!

6. Stärkespaltung durch Enzyme im Speichel des Menschen

Untersuchungsmaterial: Stärkekleister.

Geräte und Reagenzien: Reagenzgläser im Gestell, Mörser mit Pistill, destilliertes Wasser, Jodkaliumjodidlösung, Fehlingsche Lösungen I und II.

Dauer: 10 min.

Durchführung: Eine Probe des Stärkekleisters wird mit Jodkaliumjodidlösung betropft; die tiefblaue Farbe zeigt Stärke an. Eine andere Probe des Stärkekleisters wird

mit Speichel vermischt und in den Mörser gebracht. Mit etwas destilliertem Wasser versetzen und den Überstand nach gutem Durchmischen abgießen. In einer Probe davon erneut auf Anwesenheit von Stärke prüfen. Die Prüfung fällt bei ausreichender Durchspeichelung negativ aus. Eine zweite Probe wird in üblicher Weise mit Fehlingscher Lösung auf reduzierenden Zucker getestet, die Probe ist in der Regel positiv.

Aufgabe: Erklären Sie die Ursache für die Veränderungen im eingespeichelten Stärkekleister!

7. Eiweißverdauung durch Pepsin

Untersuchungsmaterial: Karminfibrin.

Fibrin erhält man am einfachsten, indem man Säugetier- oder Vogelblut gerinnen läßt, den Blutkuchen in ein Tuch wickelt und ihn unter ständigem Kneten in fließendem Wasser auswäscht. Dadurch werden die Erythrozyten zerstört, und nur das Fibringerüst bleibt zurück. Nach kurzem Trocknen färbt man das Fibrin in einer beliebigen Karminfarbe, zum Beispiel Boraxkarmin oder Alaunkarmin. Die Differenzierung wird in mit Salzsäure versetztem Äthanol – 3 Tropfen konzentrierte Salzsäure auf 100 ml 70%iges Äthanol – vorgenommen, bis keine Farbwolken mehr abgehen. Karminfibrin ist in Glyzerin unbegrenzt haltbar. Es muß vor Verwendung in Wasser ausgewaschen werden.

Geräte und Reagenzien: Reagenzgläser im Gestell, großes Becherglas, Brenner, Dreifuß, Thermometer, 0,2%ige Salzsäure, 1%ige Pepsinlösung.

Dauer: 5 min, nach 1 Stunde 5 min Auswertung.

Durchführung: Man kennzeichnet 4 Reagenzgläser und bringt in:
Glas 1 = 1 kleine Fibrinflocke, 1 ml Pepsinlösung und 10 ml Wasser,
Glas 2 = 1 kleine Fibrinflocke, 10 ml Salzsäure,
Glas 3 = 1 kleine Fibrinflocke, 1 ml Pepsinlösung und 10 ml Salzsäure,
Glas 4 = 1 kleine Fibrinflocke, 10 ml Salzsäure und 1 ml Pepsinlösung, die vorher aufgekocht wurde.

Die Reagenzgläser in ein großes Becherglas stellen, welches als Wasserbad dient. Die Temperatur wird 1 h lang etwa bei 37 °C gehalten.

Aufgabe: Beobachten Sie die Veränderungen am Fibrin, und erklären Sie die Unterschiede in den 4 Reagenzgläsern!

8. Fettemulgierung mit Galle

Untersuchungsmaterial: Pflanzenöl, Gallensaft. (Man bezieht diesen Gallensaft entweder frisch vom Schlachthof oder verwendet ihn in getrockneter Form. Gallensaft ist nach Eintrocknen bei etwa 60 °C unbegrenzt haltbar.)

Geräte und Reagenzien: Reagenzgläser im Ständer, destilliertes Wasser.

Dauer: 5 min.

Durchführung: In 2 Reagenzgläser je eine kleine Probe Pflanzenöl gießen und mit Wasser zur Hälfte auffüllen. Einem der beiden Gläser Gallensaft zusetzen. Beide Gläser gut durchschütteln.

Aufgabe: Beobachten Sie nach kurzer Zeit das Verhalten des Öles! Leiten Sie aus dem Versuch die Wirkung des Gallensaftes bei der Fettverdauung ab!

9. Wärmeentwicklung bei der Atmung

Untersuchungsmaterial: Blüten oder Blütenstände (Rosen, Pfingstrosen, Schafgarbe, Margueriten, Klee) oder Getreidekeimlinge (2 bis 3 Tage lang angekeimt).

Geräte und Reagenzien: Dewargefäß oder Thermosflasche oder wärmeisolierte (watteverpackte) Büchse mit durchbohrtem Stopfen, 2 Thermometer (lange Form) 0 bis 50 °C.

Dauer: Ansetzen 10 min, Beobachtung: einige Stunden.

Durchführung: Untersuchungsmaterial dicht in das Dewargefäß (Thermosflasche, Büchse) stopfen, Thermometer einführen. Zweites Thermometer zur Registrierung der Umgebungstemperatur verwenden. Beide Thermometer wenigstens stündlich ablesen, Temperaturdifferenz berechnen.

Aufgabe: Stellen Sie den Zeitverlauf der Temperatursteigerung graphisch dar (Koordinatenkreuz)!

10. Sauerstoffverbrauch bei der Atmung

Untersuchungsmaterial: Blüten oder Blütenstände von Pfingstrosen, Kuhblume, Dahlien o. ä.

Geräte und Reagenzien: 1 Standzylinder (etwa 30 bis 40 cm hoch und 8 bis 10 cm Durchmesser), Schale oder Wanne aus Glas, Steingut oder Blech, kleines Schälchen von geringerem Durchmesser als der Zylinder, konzentrierte Kaliumhydroxidlösung.

Dauer: 10 min, 4 bis 24 h nach Ansatz beobachten.

Durchführung: Zylinder zu $^1/_3$ bis $^1/_2$ mit Blüten füllen, mit vielfach durchbohrtem Korken abdecken, Wanne zur Hälfte mit Wasser füllen, Uhrgläschen mit Kaliumhydroxidlösung auf dem Wasser schwimmen lassen, Zylinder umgestürzt darüber stülpen. Dem Sauerstoffverbrauch entsprechend steigt das Wasser im Zylinder an. (Stärkere Temperaturschwankungen während des Versuchs vermeiden. Temperaturänderungen würden das Luftvolumen im Zylinder beeinflussen!)

Aufgabe: Begründen Sie die Verwendung des Kaliumhydroxids! Erläutern Sie, wie das Versuchsergebnis ohne Kaliumhydroxid ausfallen würde!

11. Alkoholische Gärung

Untersuchungsmaterial: 15 g Bäckerhefe.

Geräte und Reagenzien: 11 Gärkolben mit Gummischlauch, 2 Bechergläser 200 ml, 8 Bechergläser 50 ml, Meßzylinder 10 ml, 5 Wasserbäder (oder Behelfswasserbäder) mit Thermometer, 1 Schüssel mit Rührlöffel, 10%ige Lösungen von Glukose, Fruktose, Galaktose, Saccharose, Maltose, Mannit, 1%ige Stärkelösung, Weizenmehl.

Dauer: 45 min.

Durchführung:

a) Vergärbarkeit verschiedener Kohlenhydrate

10 g Bäckerhefe in 150 ml Wasser fein aufschlämmen. Je 10 ml davon mit 10 ml der Kohlenhydratlösungen im Becherglas mischen und in Gärkolben einfüllen; der geschlossene Schenkel muß gefüllt sein. Gärkolben in ein Wasserbad bei 40 °C einstellen. Nach 30 min die Vergärbarkeit der einzelnen Kohlenhydrate anhand der Intensität der Kohlendioxidentwicklung im geschlossenen Schenkel der Gärkolben prüfen und protokollieren.

b) Temperatureinfluß auf die Gärung

Genau wie bei a) verfahren. 4 Gärkolben mit Saccharoselösung und Hefe füllen; in Wasserbäder bei 20, 30, 40, 50 °C stellen. Nach 30 min Kohlendioxidentwicklung quantitativ ablesen (Stricheinteilung am geschlossenen Schenkel). Ergebnis graphisch im Koordinatenkreuz darstellen und interpretieren

c) Bedeutung der Hefe für die Teigauflockerung

Durch Verrühren von Weizenmehl in etwas Saccharoselösung einen Teigkloß herstellen; ein haselnußgroßes Stück Hefe in Zuckerlösung aufschlämmen und damit einen zweiten Teigkloß herstellen. Beide Klöße in ein großes Becherglas mit lauwarmem Wasser geben. Nach 5 min beobachten.

Aufgabe: a) Vergleichen Sie die Vergärbarkeit der einzelnen Kohlenhydratlösungen. b) Stellen Sie den Einfluß der Temperatur auf den Verlauf der Gärung graphisch dar (Koordinatenkreuz), und erläutern Sie das Ergebnis. c) Vergleichen Sie das Verhalten beider Klöße nach 5 min. Begründen Sie das Ergebnis.

12. Photo- und Geotropismus

Untersuchungsmaterial: Keimpflanzen von Hafer, Erbse und Gartenkresse *(Lepidium sativum)*.

Geräte und Reagenzien: Petrischalen, Filtrierpapier, Schere, Blumentöpfe mit Erde bzw. Sand, Becherglas. – Für a: Dunkelkammer, Glühlampe 60 W. – Für b: Glasgefäß mit Deckel und Glasscheibe, die in dem Gefäß senkrecht stehen kann; schwarzes Papier, Zwirn. – Für c: Weites Glasgefäß mit Korkdeckel (oder anderem Deckel, der unten mit Kork, Holz oder dicker Pappe beklebt ist), Dunkelsturz (umgestülpter Karton, unten mit Sand oder schwarzem Stoff gegen Licht abdichten).

Dauer: Ansetzen 30 min, Beobachtung: mehrere Stunden (a) bzw. mehrere Tage (b und c).

Durchführung:

a) Phototropismus der Haferkeimscheide

Keimpflanzen mit etwa 2 cm langen Keimscheiden in der Dunkelkammer in verschiedenen Abständen um eine Glühlampe aufstellen. Krümmungsverlauf halbstündlich beobachten. Krümmungswinkel schätzen.

Aufgabe: Halten Sie den Krümmungsverlauf zeichnerisch fest. Beachten Sie dabei die Reizleitung. – Stellen Sie die Beziehung zwischen Lichtintensität (quadratische Abnahme der Strahlung mit der Entfernung!) und Krümmungsstärke fest.

b) Phototropismus des Kressekeimlings

Glasplatte mit Filtrierpapier überziehen, einen dünnen Faden um die Platte legen. Hinter dem Faden einen Kressekeimling senkrecht aufhängen. Glasplatte mit Keimling senkrecht in Glasgefäß mit etwas Wasser stellen, Gefäß verschließen, mit schwarzem Papier lichtdicht umhüllen. Einseitig einen schmalen Schlitz in die Verdunkelung schneiden, so daß Licht parallel zur Glasplatte einfällt. Am hellen Fenster aufstellen.

Aufgabe: Beobachten Sie täglich den Krümmungsverlauf von Sproß und Wurzel. Protokollieren Sie die Beobachtungsergebnisse.

c) Geotropismus der Erbsenwurzel

Glasgefäß mit Filtrierpapier auskleiden und mit etwas Wasser füllen. Samen mit etwa 1 cm langer Keimwurzel, aber noch ohne Keimsproß, mit einer Stecknadel so am Gefäßdeckel befestigen, daß die Keimwurzel horizontal liegt. Gefäß schließen und unter Dunkelsturz stellen.

Aufgabe: Beobachten Sie täglich 2mal den Krümmungsverlauf. Stellen Sie das Ergebnis graphisch dar. Werten Sie das Ergebnis aus.

13. Gewebespannung

Untersuchungsmaterial: Stengel von Kuhblume bzw. Blüten- oder Blattstiele vom Alpenveilchen.

Geräte und Reagenzien: Scharfes Messer oder neue Rasierklinge, 2 Bechergläser. – 10%ige Natriumchloridlösung.

Dauer: 10 min.

Durchführung: Die Stengel längs der Achse kreuzweise einschneiden. Schnittstelle in Wasser stellen. Die auftretende Krümmung beobachten. Anschließend aus dem Wasser in die Natriumchloridlösung übertragen.

Aufgabe: Erklären Sie die Ursachen für das Auftreten und Verschwinden der Krümmung!

Worterklärungen

Aberration: Abweichung, fehlerhafte Lage
Agens (Agenzien): wirksames Mittel
Allel: Zustandsform eines → Gens. Allele sind in homologen Chromosomen am gleichen Ort lokalisiert. Unterschiedliche Allele (→ rezessiv, → dominant) entstehen durch → Genmutation oder Punktmutation aus einem Ausgangsallel und können zu neuen Phänotypen führen
Antibiotika (Sing. Antibiotikum): vorwiegend von Mikroorganismen gebildete Substanzen, die bestimmte andere Mikroorganismen in ihrer Entwicklung hemmen, sie schädigen oder töten
appliziert: angewandt, verabreicht, aufgetragen
Autoradiographie: Methode zur Bestimmung radioaktiver Substanzen in Materialien mit Hilfe photographischer Schichten, die durch Strahlung geschwärzt werden
Autosomen: alle Chromosomen außer den Geschlechtschromosomen
Axon: zentraler, erregungsleitender Teil des langen Fortsatzes (Neurit) der Nervenzelle

Basenanaloge: Purine und Pyrimidine, die sich in ihrer Struktur von den normalen N-Basen etwas unterscheiden. Einige Analoge (z. B. 5-Bromuracil) können an Stelle der normalen Bestandteile in die Nukleinsäuren eingebaut werden
Biosphäre: Teil der Erdoberfläche, in dem das Leben existiert und der sich deshalb durch eine besondere geologische und physikochemische Organisation auszeichnet; durch die Lebewesen und ihre Beziehungen untereinander und zur Gesteins-, Wasser- und Lufthülle der Erde gebildete besondere Erdhülle
biotisch: lebenden Ursprungs; Gegensatz–abiotisch

Chromatographie: Verfahren zur Trennung ähnlicher, in Lösung befindlicher Stoffe auf Grund ihrer verschieden starken Adsorption in Pulvern oder in senkrecht in die Lösung eingetauchten Spezialpapieren
Chromosomenmutation: mehr oder weniger drastische Veränderung der Chromosomenstruktur

de novo (lat.): von neuem
dominant: sind → Allele beziehungsweise Merkmale eines Elters, die im Bastard die rezessiven Merkmale oder Allele des anderen Elters an der Ausprägung hindern

Elektrophorese: Wanderung von Kolloidteilchen unter dem Einfluß von elektrischem Strom
Element: das, woraus etwas besteht; Bestandteil von Zusammengesetztem, speziell von Mengen, Klassen und Systemen
Enkaptische Hierarchie: allgemeines Strukturprinzip der Materie, wonach Systeme niederer Ordnung in Systemen höherer Ordnung enthalten sind
Entelechie: eine in der idealistischen Philosophie angenommene Fähigkeit oder Kraft der Materie (bzw. des Organismus), die deren Entwicklung bewirkt und lenkt
Entoderm: inneres Keimblatt, welches im wesentlichen Teile des Darmes und dessen Anhangsdrüsen liefert
Eukaryont: Organismus, dessen Zellen im Gegensatz zu den → Prokaryonten einen echten Zellkern mit echten, durch Mitose oder Meiose verteilten Chromosomen besitzen

fertil: fruchtbar, Fortpflanzungsorgane bzw. Fortpflanzungszellen tragend
Funktionsgen: → Gen

Gen: Abschnitt des genetischen Materials (DNS oder Virus-RNS), in dem durch eine spezifische Sequenz von Basen(paaren) die Information zur Synthese eines bestimmten Genproduktes, z. B. eines Enzyms (Strukturgen) oder eines Repressors (Funktionsgen) verschlüsselt ist und durch → Transkription und → Translation abgegeben wird
Genmutation: → Punktmutation oder kleine, sich auf den Bereich eines → Gens beschränkende → Chromosomenmutation
Genommutation: zu Euploidie oder Aneuploidie führende Veränderung der Chromosomenzahl
Genpool: Gesamtheit der Gene einer Population

Heterozygotie: Ungleicherbigkeit, auf Vereinigung von Gameten zurückzuführen, die sich in Qualität und Quantität oder Anordnung ihrer Gene unterscheiden
Hierarchie: Rangordnung, Stufenfolge
Homozygotie: Gleicherbigkeit nach Vereinigung von Gameten mit sich nicht unterscheidenden Genen

Idiotypus: Gesamtheit der in Genom, Zytoplasma, Mitochondrien sowie bei grünen Pflanzen in den Plastiden lokalisierten Erbanlagen
Imago: voll entwickeltes Insekt
Interzellulare: Zwischenzellräume
in vitro: im Reagenzglas, unter künstlichen Bedingungen (z. B. Proteinsynthese in zellfreien Bakterienextrakten, Kultivierung von Zellen in der Gewebekultur)
in vivo: im lebenden Organismus, unter natürlichen Bedingungen

Konstellation: Stellung; Lage von Dingen
Konstitution: jedem Organismus eigene, in der Anlage ererbte, durch Umwelteinwirkung beeinflußbare Körperverfassung

letal: tödlich wirkend

Mangelmutante: (meist Mikro-) Organismus, der durch Mutation die Fähigkeit zur Synthese eines Wuchsstoffes (Aminosäure, Vitamin o. ä.) verloren hat und nur noch in Gegenwart dieses Wuchsstoffes zu existieren vermag
Meiose: eine in zwei Etappen (Meiose I und II) ablaufende, modifizierte Form der Kernteilung (Mitose), in deren Verlauf jede Tochterzelle nur die Hälfte der ursprünglichen Chromosomenzahl zugeteilt erhält (Reduktionsteilung, Reifeteilung). Die Meiose ist obligat mit der geschlechtlichen Fortpflanzung verknüpft und kann in Abhängigkeit von der jeweiligen Organismengruppe an verschiedenen Stellen in den Entwicklungszyklus eingefügt sein. Sie führt zur Entstehung von Keimzellen (Gameten)
Mesoderm: mittleres Keimblatt; aus ihm gehen Bindegewebe, Muskeln, Innenskelett und Ausscheidungsorgane hervor
Mitose: im Gegensatz zur Meiose ein Kernteilungsmodus, in dessen Verlauf die beiden Chromatiden jedes Chromosoms voneinander getrennt sind und auf die Tochterkerne und -zellen verteilt werden. Die Mitose stellt sicher, daß die Tochterzellen eine untereinander und mit der Ausgangszelle identische chromosomale und genetische Ausrüstung erhalten

Morphologie: Wissenschaft von der Gestalt und vom Bau der Organismen

Noosphäre: Teil der Erdoberfläche, in dem die menschliche Gesellschaft existiert und der durch ihre bewußte Aktivität gestaltet wird. Mit der fortschreitenden Beherrschung der Natur durch die menschliche Gesellschaft erweitert sich die Noosphäre, dringt in das Erdinnere ein und in den Weltraum hinaus

Ontogenese: individuelle Entwicklung eines Tieres odes einer Pflanze vom Keim über die Fortpflanzungsreife bis zum Tod
Organell: Differenzierung des Zellplasmas, das eine besondere Struktur hat und eine bestimmte Funktion ausübt

pathogen: krankheitserregend
Phylogenese: Stammesentwicklung
Phylogenie: Stammesgeschichte
Plankton: Lebensgemeinschaft im freien Wasser schwebender Organismen mit fehlender oder geringer Eigenbewegung. Nach der Zugehörigkeit planktonischer Organismen zu pflanzlichen oder tierischen Arten kann ein Phytoplankton oder Zooplankton unterschieden werden
Plasmagene: Einzelfaktoren innerhalb der Gesamtheit der plasmatischen Erbfaktoren
Polypeptid(kette): Kette aus miteinander verknüpften Aminosäuren, Grundstruktur aller Proteine; Transkriptions- und Translationsprodukt eines Strukturgens
postuliert: vorausgesetzt, angenommen
Potenz: in einem Entwicklungsstadium anlagenmäßig vorhandene Entwicklungsmöglichkeit
Präformation: Vorbildung, Vorbestimmung
Pro(to)karyont: in der Regel einzelliger Organismus, der im Gegensatz zu → Eukaryonten keinen echten Zellkern aufweist und bei dem Mitose und Meiose fehlen. Bei Prokaryonten ist das genetische Material (DNS) in nicht durch eine Membran vom Zytoplasma abgegrenzten Kernäquivalenten, den Nukleoiden, konzentriert
Punktmutation: auf Basenaustausch- oder Rastermutation zurückgehende, ein Nukleotid(paar) betreffende Veränderung eines Gens

Rastermutation: → Punktmutation
Replikation: originalgetreue Vermehrung von Nukleinsäure-Molekülen mittels bestimmter polymeristischer Enzyme (Polymerasen). Zur Autoreplikation sind nur DNS und Virus-RNS befähigt; nicht-Virus-RNS wird in einem der Autorepli-

kation ähnlichen Prozeß (Transkription) an einer DNS-Matrize synthetisiert
Repressor: (Funktions-) Genprodukt, mit dem Transkription oder Translation von Strukturgenen reguliert wird
reprimieren: unterdrücken
Respiration: Atmung
Ressourcen: hier Hilfs- und Rohstoffquellen
rezessiv: Allel, das sich im Gegensatz zum entsprechenden → dominanten Allel in Heterozygoten nicht oder kaum ausprägt

Semaphoront: raum-zeitlicher Ausschnitt aus dem Lebenslauf eines Organismus, der unmittelbares Objekt der Forschung ist. Kann im Grenzfall entweder unendlich klein gedacht werden oder mit der Lebensdauer eines Individuums zusammenfallen
Sequenz: Folge, z. B. von Nukleotid(paar)en oder Aminosäuren
Sippe → Taxon
Struktur: Gesamtheit der wesentlichen räumlichen und/oder zeitlichen Beziehungen zwischen den Elementen eines Systems
Strukturgen → Gen
Syndrom: Komplex von für ein Krankheitsbild typischen Symptomen
System: Gesamtheit miteinander in Beziehung stehender Elemente, die ein Ganzes bilden. Man kann Systeme nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen: materielle Systeme (z. B. Lebewesen), ideelle Systeme (z. B. natürliches System der Organismen, Periodensystem der chemischen Elemente), offene Systeme, geschlossene Systeme, kybernetische Systeme usw.

Taxon (Pl. Taxa)*:* Bezeichnung für eine systematische Einheit unabhängig von ihrer Kategorie (z. B. Familie, Gattung, Art usw.)
thermodynamisch: Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie
Toxin: von Krankheitserregern abgeschiedener Giftstoff
Transkription: DNS-abhängige (Messenger-) RNS-Synthese als erster Schritt der Abgabe der genetischen Information
Translation: Messenger-RNS-abhängige Polypeptid-Synthese als zweiter Schritt der Abgabe der genetischen Information

Register

Adaption 56
ADP 16 f., 19
Agrarproduktion 158
Aktionspotential 59 ff., 63
Akzeleration 153
alkoholische Gärung 42 ff.
Alkaloide 54
Allele 123, 131 f.
Altern 74, 81
Aminierung 47, 52
Aminosäureaustausch 125
Aminosäurefolge 49
Aminosäure-Kode 119 ff.
Aminosäuresequenz 117, 119
Aminosäuren 11, 21, 35, 47 f., 52
Amylase 30, 43
Anthropogenese 151
Anthropologie 173
Aneuplodie 128
Arbeitsproduktivität 157
Assimilation 7, 11 ff., 44 ff.
- des Kohlenstoffs 11 ff., 20, 27 f.
- der Mineralstoffe 11
- des Stickstoffs 11
Assimilationsstärke 20, 21*
Atmung 34 ff., 44 ff.
- äußere Faktoren 39 f.
- Biochemie 35 f.
Atemgase, Austausch 34
Atmungsintensität 40
Atmungskette 37, 39, 43, 52
Atmungsorgane 35
Atmungssubstrat 40, 52
ATP 16 ff., 35, 37, 39, 68, 117
Ausbeutergesellschaft 166, 174
Auslese 133, 143
Auslesezüchtung 158
Autoreplikation 90, 97
autotroph 12, 27 f., 30, 32 f.

Bakterien 182
Bakteriophagen 99, 109, 111*, 112*, 140
Basenanaloge 99, 134 ff.
Basenaustausch 125
Basensequenz 101*, 102, 119
Basenpaarung, komplementäre 106, 117
Befruchtung 74, 75*
Bevölkerungswachstum 157, 171, 173
Bewegungen 65, 72, 89
Bewegungsphysiologie 55
Bewußtheit 57
Biokatalysatoren 182
Biogeozönose 144
biologische Daseinsweise 151
biologische Kampfmittel 168
biologische Oxydation 37 f.
biologisches Gleichgewicht 144
Biologismus 110 f., 174
Bionik 161, 184
Biosphäre 143, 156, 176 f., 183 f.
Biostroma 144
Biosynthese 7, 11, 20, 48, 52 f., 182
Biozönosen 143
Blastula 77, 84 f.
Botschafter-RNS 116 ff.
Brenztraubensäure 11, 36 f., 42

chemische Kampfstoffe 167
Chemosynthese 13, 26 f., 32, 50
Chlorophyll 12 f., 16, 21*
Chloroplasten 12, 14*, 45
Chromatin 90 f.
Chromosomen 91* ff., 98, 127 ff.
Chromosomenpaare 75

Darwinismus 143
Dauerreiz 56
Dehydrierung 37
Dekarboxylase 42, 44
Dekarboxylierung 36, 42
Determination 83, 85
Dialektik 145
Dissimilation 7, 33 f., 44 ff.
DNase 109
DNS 7, 49, 90, 92, 97 ff.
- Polymerasen 106, 135
- Replikation 135
- Schäden 106
- Struktur 100* ff.
- Viren 111
dominant 131
DRIESCH 148
Dunkelreaktion 14*, 15* f., 18 f., 36

Eiweiße 31, 35, 40, 47
Eiweißstoffwechsel 50, 51*, 52
Eizelle 74 f.
Ektoderm 79*, 83 f., 85*
Embryonalentwicklung 74 f.
enkaptische Hierarchie 143, 176
Energiegleichgewicht 55
Entelechie 148
Entoderm 78, 79*, 83
Entwicklung 145
–, direkte 80*
–, indirekte 80*
–, phylogenetische 147
Entwicklungsbedingungen, gesellschaftliche 153 ff.
- länder 157
- physiologie 74 ff.
Enzymbildung 114
Enzyme 7 ff., 30 ff., 36, 42, 109, 113 f., 116 f.
–, eiweißspaltende 30 f.
–, induzierbare 122
–, reprimierbare 122
–, stärkeabbauende 30
–, zellulosespaltende 30
Erbanlagen 75, 82, 88, 97 f.
–, Übertragung 109
–, Verteilung 122

Erbberatung 140
– grundlagen 173
– information 88, 153
– information, Manipulierung 167
– krankheiten 109, 113, 130, 137, 165
– merkmale 90, 113
– träger, plasmatische 131
Erregung 55, 57 ff., 72 f.
–, örtliche abgestufte 59, 61
–, fortgeleitete explosive 61
Erregungsgeschwindigkeit 62 f.
– leitung 55, 61 ff., 69 f., 72
Essigsäuregärung 44
Explantation 84
Euploidie 128
Evolution 145, 150, 157, 176
–, biologische 171
– des Menschen 152
Evolutionsfaktor 152

Familienplanung 157, 172 f.
Fette 11, 21, 35, 40
– stoffwechsel 31, 50, 51*, 52 f.
Flimmerbewegung 65, 66*
Fortpflanzungsgemeinschaften (Populationen) 143
Fortpflanzungsorgane 74
Furchung 74, 76*, 77*, 82

Gameten 74 f., 93
Gärungen 42 ff.
Gastrulation 77, 78*, 84 f.
Geburtenrate 174
– regelung 157
Gen 90, 98 ff., 123, 182
Gen-Austausch 140
– bestand 143
– mutationsrate 133
– pool 137
– produkte 113, 116, 119, 121
– reparaturmechanismus 183
genetische Information 90, 98, 106 f., 109, 116
genetischer Kode 119 ff.
Genetik 182
Genotyp 153
Glukose 20
Glykolyse 36*, 42, 44
Geotropismus 70
gesellschaftliche Daseinsweise 151
Gesellung 147
Gesundheitserziehung 163
– schutz 156, 162
Gewebekultur 81
Gewebespannung 71

Hämoglobin 35
Harnsäure 49
– stoff 49
Hautatmung 35
Herbizide 168
Heterosis 158
heterotroph 12, 28 f., 32 f.
Heterozygoten 132
homozygot 123, 131
Hormone 86
Humangenetik 165
humangenetische Beratung 165
Hydrolyse 16

Idealismus 147
Ideologie, imperialistische 150, 175
Impuls 59 ff.
Individualentwicklung 147
Induktion 86
Industrialisierung 174
Industriestaat 163
Informationsabgabe 116
Instinkt 171
Intelligenz 153
Ionenkonzentration 57
– verteilung 57
– wanderung 60
Isotopen 99

Jugendentwicklung 74, 80, 86

Kalamität 86
Karotin 22
Karotinoide 22
Keimblattbildung 74, 77*
Keimblätter 78 f.
Keimesentwicklung 88
Keimling 82
Keimscheibenfurschung 77*
Keimzellen 74, 93
Kernäquivalent 90
Kernwaffen 167
Klassenauseinandersetzung, ideologische 170
Klassengesellschaft 153
–, biologische Bedingtheit 172
Klassenkampf 142
Kodon 118, 124 f.
Kohlenhydrate 35, 40
Kohlenhydratstoffwechsel 50, 51*, 52 f.
Kohlenstoffkreislauf 46* f.
Kombinationszüchtung 133, 158
Konjugation 109
Konsumenten 47
Kosmobiologie 183
Kreatinphosphat 68
Kreuzungszüchtung 158
Kulturgestaltungen 152
– niveau 153

Landeskultur 83
Larvenentwicklung 86
– formen 80*
Latenzphase 59
– zeit 67
Lebensauffassung, dialektisch-materialistische 149
–, vitalistische und mechanistische 147
Lebensdauer 81
– erwartung 153, 174
– führung, gesunde 163
– prozesse 147
– stätten (Biotope) 144
– vorgänge 149, 158
Lichtreaktion 14*, 15* f., 18 f.
– spektrum 21, 22*
Lipasen 31

Mangelmutanten 109
Manipulation, psychische 169
Manipulierung, geistige 170
Materialismus 147
Mechanismus 148 f.
medizinische Forschung 164 f.
Meiose 91, 93, 94*, 96*, 97, 130
Membran, Polarisation 57, 58*
–, Repolarisation 58
Membranpotential 57 ff.
Mendelsche Gesetze 122
Merkmalsausbildung 107
Mesoderm 78, 79*, 83, 85*
Messenger-RNS 116
Metamorphose 80*, 86
Mikroorganismen (Mikrobozönose) 99, 144
–, pathogene 168
Milchsäuregärung 42, 44
Mitochondrien 6, 37, 45, 58, 97 f., 131
Mitose 91, 92*, 93, 95*

Modifikabilität 87
Modifikationen 87
Molekularbiologie 149
Molekulargenetik 99
Monokarbonsäuren 11, 35, 53
Monosaccharide 11, 20, 35
Morula 76*, 77
Mosaikkeim 82*, 83
Muskelbewegung 66 f.
– ermüdung 69
–, quergestreifter 67
Mutabilität 124
Mutagene 133, 135, 137 ff.
Mutanten 99, 129, 134, 137
Mutation 99, 123 ff., 147, 182
Mutationsauslösung 98, 133
– typen 124 ff.
– züchtung 130, 133

$NADH_2$ 42 ff.
NADP 15, 37, 42
$NADPH_2$ 17 ff.
Nahrungsgewinnung 160
– ketten 157, 160
– produkte, mikrobielle 181
Nahrungsmittelproduktion 181
Nährstoffreserve 76
„Natriumpumpe" 58, 60
Naturprozesse, Gesetzmäßigkeit 150
Nebenstoffwechsel 53
Nervenfaser 57*, 58
– system 57
– zellen 73, 81
Netto-Photosynthese 24
Neosozialdarwinismus 171
Neurotoxische Mittel 168
nitrifizierende Bakterien 27, 50
Noosphäre 178, 183
Nukleinsäure 11, 47
Nukleoside 100
Nutzung des Meeres 159

Oberflächenfurchung 77
Ökologie 178
Ökozid 177
Ontogenese 74, 86 ff., 153
Organbildung 74, 78 f.
Oxydoreduktasen 15, 17 f., 36 f., 42, 52

Parasiten 47
Parasitismus 32
Peptide 48
Pflanzenhormone 70
– züchtung 127
Phänotyp 123, 153
Phenylbrenztraubensäure 113
– Schwachsinn 113
Phenylketonurie 113, 114*, 123
3-Phosphoglyzerinaldehyd 11, 19 f., 37
Phosphoglyzerinsäure 19 f., 37
Phosphorsäureester 19
Phosphortransferasen 19 f., 35
Phosphorylierung 36
Photolyse 14, 16
Photosynthese 13 ff., 32, 36, 44 ff.
– produkte 20 f.
–, äußere Faktoren 21 ff.
Phototropismus 70
phytotoxische Kampfstoffe 168
Phytozönose 144
Plasmabewegung 65
Plastiden 97 f., 131
Polymerase 105
Polypeptide 48
Polyploidie 129, 158
Polysaccharide 11, 21, 45
Populationen 109
Produktionsverhältnisse 156
Produktivkräfte 157
Produzenten 47
Profit 166
Propantriol 31, 35, 53
Prophylaxe 164, 182
Proteasen 31
Proteine 11, 21, 40, 48 f.
Proteinsynthese 49, 116, 120
Protoplasma 55
Psychopharmaka 168 f.
Psychotoxische Mittel 168
Puppenstadium 80*

Radionuklide 99
Ranvierscher Schnürring 62*
Rassismus 173
Raumfahrtmedizin 183
Rauschgifte 169 f.
Reaktion 55, 64, 72 f.
Redoxkette 17 f.
Reduktionsteilung 93, 94*
Reduzenten 47
Regeneration 81
Regulation, hormonale 86
Regulationskeime 83 f.
– vorgänge 81
Reparatur-Synthese-Prozeß 106
Reparaturvorgänge 105 f.
Replikation 103, 124
Replikationsmechanismus 103, 104*, 105
Reservestoffe 35, 53
Respiratorischer Quotient 40
Ressourcen, biologische 157, 183
rezessiv 123 f., 132, 137
Reifeteilung 75
Reifephase 74, 81
Reiz 55 f., 70, 72 f.
–, adäquater 55, 72
– aufnahme 55
–, nichtadäquater 72
– beantwortung bei Pflanzen 69 ff.
– folgepotential 58*, 59
– physiologie 55
–, überschwelliger 56
–, unterschwelliger 56
– summation 56
Reizbarkeit 55
Ribosomen 116 f.
Ribulosediphosphat 20
RNase 109
RNS 90, 92, 98, 106
RNS-Polymerase 106, 116
ROUX, W. 148
Ruhepotential 57 ff.

Saccharose 21, 45
Samenzelle 74 f.
Saprophytismus 32
Säuglingssterblichkeit 153
Saugspannung 71
Säurezyklus 36*, 53
Schwefelbakterien 26
Schwellenwert 56, 59
Selbstdifferenzierung 83, 86
Selbstreinigung der Gewässer 27
Selektion 132
Selektionsfaktor 138
Sichelzellanämie 125
Sinnesapparate 56
– organ 55, 72
– zellen 55, 57
Sozialverhalten 174
Speicherorgane 35
– stärke 21
Spenderbakterien 109
Stickstoffbinder 50
– kreislauf 47 f.*
Stoffbilanz 24 f.

Stoff- und Energiewechsel 147
Stoffwechselphysiologie 7 ff.
– prozesse 57
– störung 113, 114*
– vorgänge, Zusammenwirken 45
Strahlungsenergie 176
Strukturprotein 116
Synapsen 63
– spalt 63*
Systeme 143 f.
Systemelemente 149

Teilung/Vermehrung 147
Tetanus 67
Tonus 67
Tod 74, 81
Toxine 169
Toxizität 167
Transduktion 109, 110*
Transferasen 20
Transformation 107, 108*, 140
Transkriptase 106
Transkription 116
Translation 117, 122, 126
Transplantat 85
Transplantation 84 f.
Transport-RNS 117 f., 121, 139
Triplett 120 f.
– sequenz 126* f., 127
Tropismen 70
Turgorbewegungen 71 f.

Umweltfaktor 87
– gestaltung 153, 175
– krise 177
– schutz 177
– probleme 178
– verschmutzung 156

Variationsbreite 153
Verdauung 30 ff.
–, Eiweiße 31
–, Fette 31
– der Kohlenhydrate 30 f.
Verhaltensforschung 174
Vererbung 98, 152
Vererbungserscheinungen 99
Viren 99 f., 117, 132
Virus-RNS 119
– vermehrung 114
Vitalismus 148 f.

Wachstum 147
Wachstumsbewegung 70
Welternährung 156
WERNADSKI 176
Wuchsstoff 70, 121

Zelle, Feinstruktur 7
Zellkern 49, 90
Zellstoffwechsel 81
Zellulasen 30
Zentralnervensystem 64
Zoozönose 144
Züchtung 109 f., 158, 161, 182
Zwillinge 84
Zygote 74, 76, 82
Zytochrome 37

01 12 54-1
Schulpreis DDR 3,20