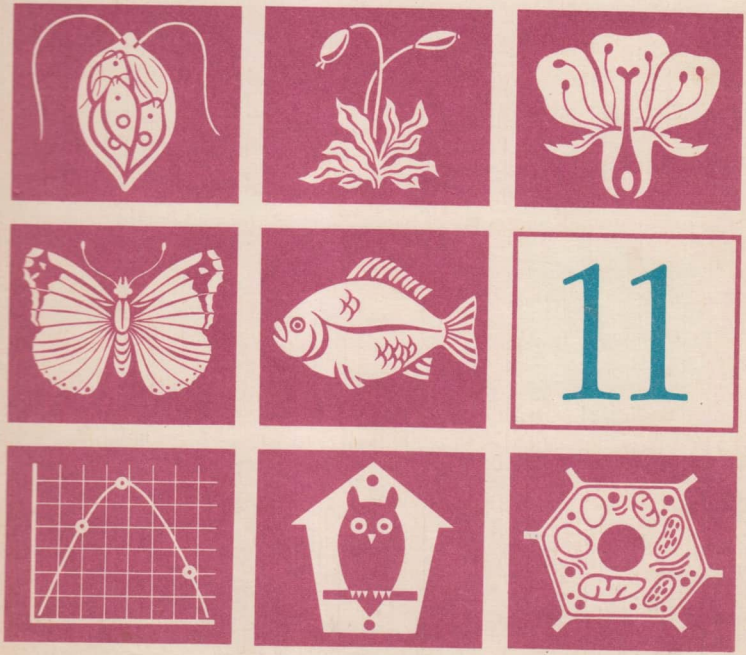
BIOLOGIE



BIOLOGIE

Lehrbuch für Klasse 11

Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin · 1974

Autoren:

Prof. Dr. Rudolf Hundt, Prof. Dr. Eike Libbert, Dr. Harry Schmidt, Dr. Josef Schuh,
Dr. Hubert Schumann, Dr. Franz Tietze, Prof. Dr. Walter Vent, Dr. habil. Hugo Weinitschke

Vom Ministerium für Volksbildung der Deutschen Demokratischen Republik
als Schulbuch bestätigt

1. Auflage · Ausgabe 1973
Zusammendruck der zweiteiligen Ausgabe 1972
Lizenz Nr. 203 · 1000/73 (BN)
LSV 1301
Redaktion: Manfred Gemeinhardt, Gertrud Kummer
Einband: Wieland/Wolff
Zeichnungen: Jans-Joachim Behrendt, Ingrid Schäfer
Typografische Gestaltung: Atelier vwv
Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden
Schrift: 9/9/10 Sabon Linotron
Redaktionsschluß: 22. August 1973
Printed in the German Democratic Republic
Bestell-Nr. 730 565 3
Schulpreis DDR: 4,–

Inhaltsverzeichnis

Aus der Systematik der Pflanzen und Tiere

Einführung in die Systematik 8

Aus der Systematik der Pflanzen 12
Viren 12
Bau und chemische Zusammensetzung 12
Existenzbedingungen, Vermehrung, Vererbung 13
Viren als Objekte genetischer Forschung 14
Herkunft der Viren und ihre Einordnung 14
Viruskrankheiten 15
Bakterien 16
Bau und Vermehrung 17
Vorkommen 18
Lebensweise 18
Bedeutung 19
Grünalgen 20
Bau und Organisationshöhe 20
Vermehrung 23
Stammesentwicklung 24
Bedeutung 25
Moose 26
Systematik, Verbreitung, Bedeutung 26
Stammesentwicklung 27
Pilze 28
Bau 28
Bedeutung 28
Stammesentwicklung 28
Flechten 29
Zusammenfassende Übersicht über den Verlauf der Stammesentwicklung im Bereich der niederen Pflanzen 29
Entwicklungsstufen in Bau und Organisation 30
Die Entwicklung der geschlechtlichen Vermehrung, Kernphasenwechsel und Generationswechsel 31
Farnpflanzen 33
Übersicht über die Farnpflanzen 36
Gegenüberstellung des Generationswechsels bei Moosen und Farnen 37

Samenpflanzen 38
Nacktsamer 38
Bedecktsamer 42

Aus der Systematik der Tiere 49
Tierische Einzeller 50
Urtierchen *(Protozoa)* 50
Tierische Vielzeller 55
Hohltiere *(Coelenterata)* 55
Zweiseitentiere *(Bilateria)* 59
Gliedertiere *(Articulata)* 60
Ringelwürmer *(Annelida)* 60
Gliederfüßer *(Arthropoda)* 63
Chordatiere *(Chordata)* 72
Wirbeltiere *(Vertebrata)* 73
Die wichtigsten Stämme des Tierreiches 77
Vergleichende Betrachtung einzelner Organsysteme 78
Atmungsorgane 78
Kreislaufsystem 82
Nervensystem 85

Ökologie

Wechselwirkungen zwischen der morphologisch-physiologischen Konstitution der Organismen und den Umweltfaktoren 92
Überblick über die Umweltfaktoren 92
Biotope mit extremen Umweltbedingungen 96
Reaktionsweisen der Organismen gegenüber der abiotischen Umwelt 104
Reaktionsweisen der Organismen gegenüber der biotischen Umwelt 128

Das Zusammenwirken von Umweltfaktoren 144
Das Zusammenwirken der Umweltfaktoren als Ursache für die Ausbildung der Waldgrenze im Gebirge 147
Das Zusammenwirken der Umweltfaktoren in den Biozönosen 148

Stoff- und Energiestrom in Ökosystemen 153
Charakterisierung der Ökosysteme 153
Beziehungen zwischen Biozönosen und Biotopen in Ökosystemen 153
Nahrungsketten und Nahrungskettensysteme 159
Energiefluß in Ökosystemen 162
Nährstoffkreislauf in Ökosystemen 163
Biologische Stoffproduktion 164

Eingriffe in das ökologische Gleichgewicht zur Steigerung der biologischen Stoffproduktion 168
Monokulturen 168
Düngung 169
Melioration 171
Schädlingsbekämpfung – Eingriff in das ökologische Gleichgewicht zur Steigerung der biologischen Stoffproduktion 173

Sozialistische Landeskultur 175
Natur und Gesellschaft 175
Naturschutz als wichtiges Anliegen der sozialistischen Gesellschaft 176
Das Landeskulturgesetz der DDR 177
Aufgaben zur Realisierung des Landeskulturgesetzes in der DDR 179
Organisation des Naturschutzes in der DDR 198
Landeskultur und Naturschutz in anderen sozialistischen Ländern 202

Aus der Physiologie der Pflanzen und Tiere

Einführung in die Physiologie der Pflanzen und Tiere 208
Die Zelle als morphologische und physiologische Grundeinheit des Lebens 209
Die pflanzliche Zelle als osmotisches System 217

Aufgaben und Fragen 222

Versuche 228

Worterklärungen 231

Register 235

Zeichenerklärung

① Aufgaben und Fragen
▼ Versuche
♂ männlich
♀ weiblich
✦ Zur Information
▶ Merkstoff, Zusammenfassungen
▼ Geschützte Pflanzen und Tiere
↗ Hinweis auf andere Seiten und Tabellen

Aus der Systematik
der Pflanzen und Tiere

Einführung in die Systematik

Gegenwärtig sind auf der Erde etwa eine halbe Million Pflanzenarten und über eine Million Tierarten bekannt. Es ist eine Aufgabe der modernen Systematik, die Formenfülle der Organismen in einem natürlichen System zu erfassen, zu ordnen und überschaubar zu machen. Das natürliche System der Pflanzen und Tiere muß der stammesgeschichtlichen Entwicklung entsprechen. Die Organismenarten lassen sich auf Grund spezifischer Merkmalskomplexe in Verwandtschaftsgruppen (Sippen) einteilen, die eine abgestufte Ähnlichkeit aufweisen. Nach dem Grad der Übereinstimmung der spezifischen Merkmalskomplexe werden die Organismengruppen in über- und untergeordnete Sippen eingeteilt. Die Kenntnis der fossilen Pflanzen und Tiere ist dabei von gleicher Bedeutung wie die der gegenwärtig lebenden. Allerdings ist die Kenntnis über Fossilien recht lückenhaft, das erschwert die Ordnung der Organismen nach ihrer stammesgeschichtlichen Verwandtschaft.

Beispiele für die Einteilung der Organismen		
Stamm:	Chordatiere	Samenpflanzen
Klasse:	Säugetiere	Zweikeimblättrige
Ordnung:	Raubtiere	Kreuzblütenartige
Familie:	Marderartige	Kreuzblütengewächse
Gattung:	Marder	Kohl
Art:	Steinmarder	Gemüse-Kohl

Eine Sippe wird nach Möglichkeit an ausgewählten lebenden und konservierten Individuen vergleichend untersucht. Dabei wird eine vollständige Erfassung des Merkmalsbestandes angestrebt. Bei den höher entwickelten Pflanzen spielen beispielsweise die biologischen Strukturen der Sproßachse, des Blattes, der Blüte und der Frucht mit ihren funktionellen Beziehungen eine ebenso große Rolle wie die Merkmale der Umwelt dieser Pflanze. Die Gesamtheit der Merkmale einer Sippe faßt man als Merkmalskomplex zusammen, der zur Erfassung dieser Sippe dient (/ Tab. S. 9). Je näher zwei Sippen miteinander verwandt sind, um so zahlreicher sind die ihnen gemeinsamen Merkmale.

Unter den Sippen nimmt die Art (Spezies) eine zentrale Stellung ein. Je genauer und umfassender die Kenntnisse von den Arten sind, um so besser können sie in das natürliche System eingeordnet werden. An der Untersuchung und Erfassung der Merkmalskomplexe sind alle Bereiche der biologischen Wissenschaften beteiligt.

An jeder Sippe, etwa einer Art, ist eine nur für diese Sippe charakteristische Merkmalskombination festzustellen, mit deren Hilfe sie eindeutig von anderen nahe verwandten Sippen unterschieden werden kann. Wenn es darauf ankommt, zwei nahe verwandte Arten richtig zu erkennen, kann man sich eines Differenzierungsmerkmals (Dm) bedienen.

✦ Als Differenzierungsmerkmal kann die Behaarung an einer bestimmten Stelle der Kronblätter von zwei nahe verwandten Sippen A und B dienen. Sie kann als Dm gelten, wenn sie

Merkmalskomplexe einer Sippe	
Merkmalsgruppen	Beispiele
morphologische	Ausbildung und Größe bestimmter Organe, Bau der Zellen und Gewebe
stoffliche	Vorhandensein bestimmter Inhaltsstoffe (z. B. Farbstoffe, Giftstoffe), Vorhandensein spezifischer Eiweiße
biologische	Art der Bestäubung, Verbreitungseinrichtungen, Fähigkeit zur Anpassung
chorologische	Wohngebiet oder Areal einer Art
ökologische	feuchter oder trockener Standort, Ansprüche an abiotische und biotische Faktoren
Entwicklungstendenz	Vorhandensein abgeleiteter Merkmale (gestauchte Blütenachse bei Pflanzen, Brutpflege und Parasitismus bei Tieren)

bei A vorhanden ist, bei B aber völlig fehlt; es genügt jedoch bereits, wenn sich die Behaarung von A und B quantitativ unterscheidet (mittlere Länge der Haare bei A = 0,8 mm, bei B = 0,3 mm). So lassen sich genau erforschte Sippen mit Hilfe von einem jeweils einem Sippenpaar zugehörigem Dm sicher und korrekt bestimmen.

Mit der möglichst vollständigen Erfassung des Merkmalsbestandes einer Sippe ist allerdings noch keine Aussage über die relative Entwicklungshöhe dieser Sippe und ihre Stellung im System möglich. Die Merkmale bedürfen einer entsprechenden Bewertung.

Mit Hilfe der dargestellten Beispiele von relativ ursprünglichen und mehr oder weniger abgeleiteten Merkmalen und vielen anderen Merkmalen kann man in Gattungen, Familien,

Es gelten als

relativ *ursprünglich*	mehr oder weniger *abgeleitet*
Holzgewächse	Kräuter (ausdauernde → zweijährige → einjährige)
Tracheen mit Leiterperforation	Tracheen mit einfacher Perforation
Blätter immergrün	Blätter sommergrün
Blätter einfach	Blätter zusammengesetzt
freie Nebenblätter vorhanden	Nebenblätter verwachsen oder fehlend
Blüten zwittrig	Blüten eingeschlechtig
Blüten endständig, einzeln	Blüten achselständig, in Blütenständen
Blütenachse verlängert	Blütenachse gestaucht oder abgeflacht — Blütenachse schüssel- oder becherförmig vertieft
Blütenglieder zahlreich	wenige oder 0 Blütenglieder
Blütenglieder spiralig	Blütenglieder zyklisch
Blütenglieder frei	Blütenglieder verwachsen
Blüten ohne Nektarien	Blüten mit Nektarien
öffnende Früchte	Schließfrüchte
zahlreiche Samen je Fruchtblatt	ein Samen je Fruchtblatt
Samen mit kleinem Embryo und viel Endosperm	Samen mit großem Embryo und wenig Endosperm

Ordnungen und höheren systematischen Kategorien Evolutionstendenzen erkennen, die ohne diese begründete Wertung der Merkmale verborgen bleiben. ✦

Sippen sind umweltabhängige, dynamische, sich entwickelnde Abstammungsgemeinschaften. Sie werden mit zahlreichen Methoden biologischer und nichtbiologischer Fachgebiete vergleichend und experimentell untersucht.

Während des achtzehnten Jahrhunderts hat man sich in der Systematik vorwiegend auf leicht feststellbare Merkmale der äußeren Gestalt und die Anzahl von generativen Organen beschränkt (z. B. im „künstlichen System" von LINNÉ). In der folgenden Zeit drang man infolge der wissenschaftlichen und technischen Entwicklung immer tiefer in den Bereich struktureller und funktioneller Feinheiten vor. So sind beispielsweise mit Hilfe elektronenoptischer und chemischer Untersuchungen bedeutende Ergebnisse erzielt worden, die über die Verwandtschaft bestimmter Organismen Auskunft geben. Viele Pflanzensippen wurden bereits chemisch gut untersucht, so daß Aussagen über ihre Inhaltsstoffe gemacht werden konnten. Mit manchen Inhaltsstoffen lassen sich ganze Familien charakterisieren. Bestimmte Alkaloide sind beispielsweise kennzeichnend für die Nachtschattengewächse *(Solanaceae)*, zu denen bedeutende Kulturpflanzen (z. B. Kartoffel, Tomate, Paprika, Tabak) gehören. Bitterstoffe kommen in den Enziangewächsen *(Gentianaceae)* und in den Sumpfkleegewächsen *(Menyanthaceae)* vor. Beide Familien sind sehr nahe verwandt, so daß viele Taxonomen sie lange nicht als zwei getrennte Familien anerkannten, bis die chemische Untersuchung der Bitterstoffe eine Entscheidung herbeiführte. In der chemischen Struktur der Bitterstoffe beider Sippen kam deren nahe Verwandtschaft ebenso wie auch ihre relativ selbständige stammesgeschichtliche Entwicklung zum Ausdruck. Heute werden diese Abstammungsgemeinschaften als selbständige Familien anerkannt. Ihre Bitterstoffe können als Differenzierungsmerkmale genutzt werden. Pflanzliche Inhaltsstoffe sind homolog, wenn sie in ihrer Struktur und in ihren Biosynthesewegen übereinstimmen. Ihre Homologie ist für die Einordnung der entsprechenden Organismen ins System ebenso bedeutend wie die Homologie morphologischer Merkmale. Für die Abgrenzung von Sippen und die Feststellung des Verwandtschaftsgrades werden unterschiedliche Merkmale herangezogen. Bei den Kreuzblütengewächsen sind es unter anderem Baueigentümlichkeiten der Samen und Früchte, während es bei den Schmetterlingsblütengewächsen daneben noch jene der Blüten und Blätter sind. Oft ist die stoffliche Zusammensetzung (z. B. Eiweißaufbau, Vorhandensein bestimmter Inhaltsstoffe) für Arten, Gattungen oder Familien charakteristisch.

✦ In vielen Fällen lassen sich Gattungen und Familien der Pflanzen mit Hilfe der Pollen charakterisieren und abgrenzen. Besonders die äußere Schicht der Pollen ist sehr mannigfaltig strukturiert und widerstandsfähig auch gegen stark wirkende Agenzien. Deshalb finden sie sich in vielen Sedimenten der Erdrinde, wo sie oft die einzigen Zeugen einer längst vergangenen Flora sind. ✦

In manchen Fällen läßt sich durch Kreuzen bestimmter Sippen und die Untersuchung der Nachkommen der Grad ihrer Verwandtschaft feststellen.

Die Systematik ist eine Wissenschaft mit jahrhundertealter Tradition. Sie wird wie jede Wissenschaft ständig weiterentwickelt. War sie in der Vergangenheit rein beschreibend, so arbeiten ihre Vertreter in den letzten Jahrzehnten mehr und mehr experimentell.

Eine Grundlage für alle systematischen Arbeiten ist die korrekte wissenschaftliche Benennung der Organismen. Die Beschreibung und Benennung wird nach international gültigen Regeln (z. B. Kode der botanischen Nomenklatur) festgelegt, an denen ständig Verbesserungen vorgenommen werden. Danach gibt es für jede Art, wie für alle anderen systematischen Kategorien, nur eine korrekte wissenschaftliche Bezeichnung (/ Tab. S. 11).

Trotz dieser prinzipiellen Einheitlichkeit in der Ordnung der Organismen gibt es noch nicht *das* System der Pflanzen oder Tiere. Innerhalb der großen Kategorien werden manche Sippen

Beispiele für die Benennung einer Art			
deutsche Bezeichnung	wissenschaftliche Bezeichnung		
	Gattung	Art dieser Gattung	Autor der Erstbenennung
Winter-Linde	*Tilia*	*cordata*	MILLER
Steinmarder	*Martes*	*foina*	(ERXLEBEN)

von verschiedenen Wissenschaftlern unterschiedlich angeordnet, stets jedoch unter Berücksichtigung der Kenntnisse über die stammesgeschichtliche Verwandtschaft. Mit der weiteren Entwicklung der biologischen Wissenschaften wird auch das System der Pflanzen und Tiere immer weiter verbessert werden.

▶ Die Systematik ist ein Teilgebiet der biologischen Wissenschaften. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, die Formenfülle der Organismen zu erfassen und zu ordnen. Die Systematik stützt sich dabei auch auf die Forschungsergebnisse der anderen Bereiche der biologischen Wissenschaften (z. B. Morphologie, Physiologie, Paläontologie). Die Organismenarten werden heute auf Grund einer abgestuften Ähnlichkeit in Verwandtschaftsgruppen eingeteilt (natürliches System). Dabei besteht über diese Einteilung zwar prinzipielle Übereinstimmung bei den Systematikern, innerhalb der einzelnen Gruppen oder in den höheren Kategorien kann jedoch eine unterschiedliche Zuordnung der Sippen erfolgen.
Jede Art wird mit einem korrekten wissenschaftlichen Namen bezeichnet (z. B. *Tilia cordata* MILLER).

Aus der Systematik der Pflanzen

Viren

Als *Viren* werden Partikel von verschiedener Form und Struktur bezeichnet, die auf Grund ihrer Eigentümlichkeiten eine Mittelstellung zwischen den lebenden Organismen und der nichtlebenden Natur einnehmen. Sie enthalten Nukleoproteide, besitzen die Fähigkeit der Vererbung, weisen aber keinen eigenen Stoffwechsel auf und vermögen sich nur in lebenden pflanzlichen, tierischen oder menschlichen Zellen und in Bakterien zu vermehren.

Zu den Viren gehören die Erreger vieler gefährlicher Krankheiten des Menschen, der Tiere und der Pflanzen. Durch ihre geringe Größe (etwa 10 nm bis 400 nm), die außerhalb des Auflösungsvermögens des Lichtmikroskops liegt, blieben die Viren dem Menschen lange Zeit als strukturelle Einheit unbekannt. Erst nach der Entwicklung technisch ausgereifter Elektronenmikroskope und dazugehöriger geeigneter Präparationsmethoden konnte man Viren sichtbar machen und ihre Größen, Formen und inneren Strukturen erkennen (im wesentlichen erst nach 1945). Mitte der dreißiger Jahre dieses Jahrhunderts gelang es erstmalig, die stoffliche Natur von Viren nachzuweisen und die Viren der Mosaikkrankheit des Tabaks zu isolieren. Mit der weiteren Vervollkommnung der biochemischen Analysenmethodik ergab sich dann die Möglichkeit, die chemische Struktur noch näher zu untersuchen und auch experimentell die Funktion der einzelnen chemischen Bestandteile der Viren genau zu erforschen.

Bau und chemische Zusammensetzung

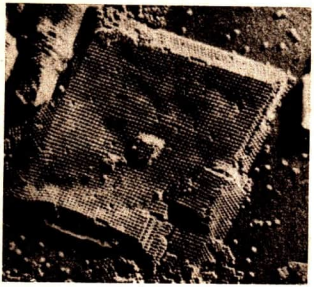
Bei allen bisher untersuchten Viren wurden Nukleinsäure und Eiweiß als die zwei Grundkomponenten ihres Aufbaus erkannt. An Nukleinsäure ist entweder DNS oder RNS vorhanden. Um die Nukleinsäure herum sind die für jeden Virus-Stamm jeweils spezifischen Eiweißmoleküle in Form bestimmter Struktureinheiten angeordnet. Das Eiweiß umhüllt die Nukleinsäure gewissermaßen als Mantel und schützt sie offenbar vor äußeren Einwirkungen.

Die Bakterien befallenden Viren, die *Bakteriophagen* oder kurz Phagen, weichen in ihrem Aufbau von diesem Typ ab. Im Prinzip umhüllt zwar auch bei ihnen ein Mantel aus Eiweißmolekülen die Nukleinsäure, aber dieser Eiweißmantel ist morphologisch in anderer Weise ausgeprägt als bei den Viren, die sich in pflanzlichen, tierischen und menschlichen Zellen vermehren. Bei einem Phagen (Abb. 13/2) läßt sich meist deutlich ein Kopfteil und ein Schwanzteil unterscheiden. Im Innern des Kopfteils befindet sich die Nukleinsäure, meist DNS. Die untere Region des Schwanzteils dient der Anheftung an die Wand der Bakterienzelle.

✦ Manche Viren können noch eine zusätzliche Hüllmembran aus Lipoproteiden besitzen. Viren, die diese sekundäre Membran nicht haben, sind *nackte Viren*. Bei ihnen bilden die Proteinstruktureinheiten die äußere Oberfläche des Virus.

Viele meist einfach gebaute nackte Viren können sich infolge der exakten Übereinstimmung ihres strukturellen Baues und ihrer Größe zu Kristallverbänden zusammenlagern.

Kugelförmige Viren, wie beispielsweise die des Tabak-Nekrose-Virus (Abb. 13/1), bilden vielfach Gitterkristalle, während sich stäbchenförmige Viren (z. B. Tabak-Mosaik-Virus)



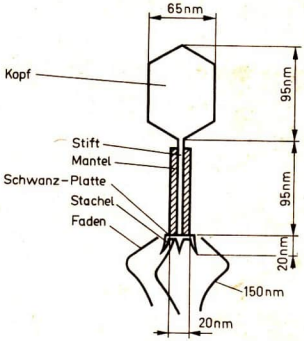


Abb. 13/1 Tabak-Nekrose-Virus
Abb. 13/2 Struktur des Bakteriophagen T 2 (rechts)

mitunter zu parakristallinen Nadeln zusammenlagern, die in den entsprechenden Zellen der Tabakpflanze sogar lichtoptisch sichtbar sind.

Bei anderen Virusstämmen konnten noch zahlreiche weitere Kristallformen beobachtet werden. ✦

Existenzbedingungen, Vermehrung, Vererbung

Viren können sich nur in lebenden Zellen vermehren. Außerhalb dieser Zellen verhalten sie sich wie nichtlebende organische Materie.

Das Eindringen der Viren in die Wirtszellen erfolgt auf verschiedene Weise. So kann das Virus zum Beispiel nach Adsorption an der Zellmembran von dieser umschlossen und in das Zytoplasma gebracht werden. Bei diesem Vorgang spielen charakteristische molekulare Strukturen der Zellmembran und der Virusoberfläche eine große Rolle. Innerhalb des Zytoplasmas wird dann, meist durch zelleigene Enzyme, die Eiweißhülle des Virus aufgelöst und die Nukleinsäure freigesetzt. Bakteriophagen dagegen dringen nicht als Ganzes in die Wirtszelle ein. Sie heften sich mit den fadenförmigen Fortsätzen ihres Schwanzendes an die Zellwand, zerstören danach mit einem am Schwanzende lokalisierten Enzym örtlich die Zellmembran und entleeren durch den Stift die Nukleinsäure in das Zytoplasma (Abb. 13/2).

In der Wirtszelle kann die Virusnukleinsäure eine Umstellung des normalen Stoffwechsels bewirken. Anstelle der spezifischen Nukleinsäure und des Proteins des Wirtes werden Nukleinsäure und Protein des Virus produziert. Das heißt, es erfolgt eine identische Reproduktion der Virusbestandteile mit Hilfe der Enzymsysteme der Wirtszelle. Nach einer bestimmten Zeit fügen sich die neu gebildeten Virusbestandteile zu Viruspartikeln zusammen, die in ihrer Struktur dem Ausgangsvirus entsprechen. Diese meist in großer Anzahl (50 bis 200 und mehr) neu gebildeten Viren werden dann freigesetzt. Sie führen mitunter zum Absterben der Zelle, so beispielsweise bei Bakterien.

Nach den bisherigen Beobachtungen erfolgt die Vermehrung der DNS-haltigen Viren vor allem im Kern der Wirtszelle, die der RNS-haltigen Viren im Zytoplasma.

Die Neubildung der Virusproteine wird durch die Virusnukleinsäure gesteuert, die die entsprechende genetische Information (den Kode) dafür enthält. Im Vermehrungszyklus DNS-haltiger Viren konnte die Übertragung der Erbinformation der DNS durch eine virusspezifische Boten-RNS an die Orte der Eiweißsynthese (an die Ribosomen) eindeutig nachgewiesen werden. Bei den RNS-haltigen Viren ist gegenwärtig noch nicht genau bekannt, wie die Informationen zum Proteinaufbau und zur Neubildung von der Virus-Nukleinsäure realisiert werden.

Innerhalb der einzelnen Virus-Sippen (z. B. Vakzinevirus, Tabak-Mosaik-Virus, Phagen der Kolibakterien) existieren einzelne Stämme, die sich durch bestimmte Merkmale voneinander unterscheiden. Im normalen Vermehrungszyklus wird die Gesamtheit der Merkmale unverändert von einer Generation zur anderen übertragen. Mitunter treten bei einzelnen Individuen aber sprunghaft Merkmalsänderungen (Mutationen) auf. Solche Mutationen konnten auch künstlich erzeugt werden.

Viren als Objekte genetischer Forschung

Wesentliche Aufschlüsse über die Rolle von DNS und RNS als Erbsubstanz bei allen Organismen, aber auch der RNS als Informationsüberträger wurden durch Experimente mit Viren gewonnen. Bevorzugte Objekte waren dabei Bakteriophagen und das Tabak-Mosaik-Virus. Beim Befall von Bakterien mit Phagen, deren DNS mit radioaktivem Phosphor und deren Eiweiß mit radioaktivem Schwefel markiert worden war, ließ sich eindeutig feststellen, daß nur die DNS in das Bakterium eintrat, dort aber die Synthese von Phagen-DNS und Phagen-Eiweiß bewirkte, die sich in der Folge wieder zu vollständigen Phagenpartikeln formierten. Damit war ein Beweis erbracht, daß die DNS Träger der Erbinformation ist. Bei Tabak-Mosaik-Viren wurde die RNS durch Abbau der Proteinhülle mittels Phenol isoliert. Die isolierte RNS vermochte, in Wirtszellen eingebracht, ebenfalls die Bildung vollständiger Tabak-Mosaik-Viren zu veranlassen. Da das genetische Material der Viren gegenüber dem der höheren Organismen der Analyse und Beeinflussung relativ leichter zugänglich ist, besitzen Viren auch zukünftig eine große Bedeutung für die Erforschung prinzipieller Fragen des komplizierten Erbgeschehens.

Herkunft der Viren und ihre Einordnung

Bei einer Entscheidung darüber, ob die Viren als Lebewesen anzusehen sind und zum Reich der Organismen gerechnet werden können oder nicht, muß davon ausgegangen werden, welche wesentlichen Eigenschaften ein Lebewesen auszeichnen.

Merkmale des Lebens	Vorkommen bei Viren
Stoffwechsel	nicht vorhanden
Reizbarkeit	nicht vorhanden
Individualität	nur begrenzt
Wachstum	nur im lebenden Wirt
Entwicklung	nur im lebenden Wirt
Fortpflanzung	nur im lebenden Wirt
Vererbung	vorhanden
Anpassung	vorhanden

Entscheidende Eigenschaften des Lebens fehlen den Viren oder sind nur unvollkommen vorhanden. Es gibt unter den sonst bekannten Organismen ebenfalls Formen, die zu ihrer Entwicklung auf lebende Wirtszellen angewiesen sind, das sind intrazelluläre Parasiten; sie benutzen aber den Wirt hauptsächlich als Nahrungsquelle und sind in ihrer Vermehrung nicht auf das Enzymsystem der Wirtszelle angewiesen wie die Viren.

Viren werden von den meisten Wissenschaftlern nicht zu den Lebewesen gerechnet. Sie bilden einen eigenen Bereich zwischen den Organismen und der nichtlebenden Natur.

Die Frage nach der Herkunft der Viren läßt sich heute noch nicht exakt beantworten. Manche Wissenschaftler sehen in ihnen Vorstufen des Lebens, die sich bis in die Gegenwart hinein erhalten haben. Die Vermehrung der Viren ist aber nur in Wirtszellen möglich und setzt daher bereits Leben voraus. Eine andere Hypothese sieht in den Viren Nachkommen von ursprünglich zellulär organisierten Parasiten, die sich im Verlaufe der Entwicklung schrittweise strukturell vereinfacht haben. Als dritte Möglichkeit wird schließlich angenommen, daß sich die Viren aus selbständig gewordenen Zellbestandteilen (z. B. Ribosomen) entwickelt haben, die DNS oder RNS enthalten. Diese Auffassung wird durch Experimente unterstützt, bei denen es gelang, freie DNS zwischen Bakterien zu übertragen und ihren Einbau in die entsprechenden Genome nachzuweisen.

Es ist denkbar, daß Viren nicht nur auf einem Wege entstanden sind. Die Vielfalt der Organisationstypen und die unterschiedliche chemische Zusammensetzung sprechen sogar dafür, sie als polyphyletisch entstandene Gruppe anzusehen, die sich durch den gleichen Organisationsgrad auszeichnet. Es ist unwahrscheinlich, daß die Viren in ihrer Gesamtheit Vorstufen des Lebens repräsentieren.

Viruskrankheiten

Beim Menschen sind die Viruskrankheiten heute die am stärksten verbreiteten Infektionskrankheiten. Auch die landwirtschaftliche Produktion wird jährlich in erheblichem Maße durch Viren beeinträchtigt. Die genaue Kenntnis der Viren und die Suche nach Möglichkeiten zu ihrer Bekämpfung sind deshalb von großer Bedeutung für die Volkswirtschaft.

Viruskrankheiten bei verschiedenen Organismengruppen		
beim Menschen	bei Tieren	bei Pflanzen
Pocken Masern Grippe Schnupfen Kinderlähmung	Rinderpest Schweinepest Geflügelpest Maul- und Klauenseuche	Blattrollkrankheit Mosaikkrankheit Strichelkrankheit Obstbaumvirosen

In vielen Ländern der Welt bemüht man sich um Eindämmung und Bekämpfung der Viruserkrankungen. Die größten Erfolge wurden bisher durch die aktive Immunisierung erzielt (z. B. bei Pocken). Das sozialistische Gesundheitswesen der DDR weist dabei vorbildliche Leistungen auf. Nach Einführung der vorbeugenden Impfung gegen Kinderlähmung sind seit 1961 in der DDR keine Erkrankungen an Kinderlähmung mehr zu verzeichnen. Die breite Anwendung der Masernschutzimpfung in der DDR seit 1967 führte zu einem rapiden Absinken dieser Erkrankung. Auch in der Landwirtschaft wurden durch großzügig angelegte Impfaktionen die Verluste infolge seuchenhafter Viruserkrankungen bei Tieren wesentlich eingeschränkt.

Auf Grund der Vielzahl von krankheitserregenden Viren lassen sich allerdings nicht alle Viruskrankheiten mit Schutzimpfungen überwinden. In der Bekämpfung versucht man auf der Grundlage genauer Kenntnisse über die bei der Vermehrung ablaufenden biochemischen Reaktionen Antibiotika und chemische Substanzen einzusetzen, die die Vermehrung der Viren hemmen. Auch in der Krebsforschung sind Viren von aktueller Bedeutung, da festgestellt wurde, daß einige Sippen bei Säugetieren bösartige Tumore erzeugen.

1

Viren sind Partikel unterschiedlicher Form und Struktur. Sie nehmen eine Zwischenstellung zwischen nichtlebender Materie und Organismenreich ein; sie bilden einen eigenen Bereich. Bei zahlreichen Viren sind Zusammenlagerungen vieler Einzelviren zu Kristallverbänden beobachtet worden.

Viren bestehen im wesentlichen aus Nukleinsäuren (DNS oder RNS), die von einer Eiweißhülle umgeben sind.

Viren haben keinen eigenen Stoffwechsel und können sich nur in lebenden Zellen anderer Organismen vermehren. Ihre identische Reproduktion verläuft mit Hilfe des Enzymsystems der Wirtszelle. Die Wirtszellen können dabei absterben.

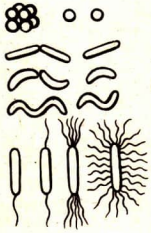
Viren sind Erreger zahlreicher Erkrankungen bei Menschen, Tieren und Pflanzen; bestimmte Formen, die Bakteriophagen, greifen auch Bakterien an.

Viren besitzen die Fähigkeit der Vererbung. Sie sind wichtige Objekte für die genetische Forschung.

Bakterien

Die Bakterien (Stamm: *Schizophyta*, Klasse: *Schizomycetes*) sind einzellige Lebewesen.

Die Zellgröße der meisten Sippen liegt zwischen 1 µm und 5 µm. Es gibt auch sehr kleine Formen von 0,2 µm und extrem lange Typen von etwa 100 µm Größe. Verschiedene Arten bilden lose zusammenhängende Fäden, wobei aber jede Einzelzelle den Wert eines ganzen Organismus behält.



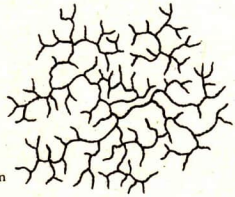


Abb. 16/1 Formtypen von Bakterien

Nach der Form der Bakterien werden Kokken, Stäbchen, Vibrionen und Spirillen unterschieden (Abb. 16/1). Einige Sippen vermögen auch weitverzweigte querwandlose Zellfäden zu bilden, die nur aus einer einzigen Zelle bestehen; das sind die Strahlenpilze.

Bau und Vermehrung

In der Feinstruktur ihrer Zelle unterscheiden sich die Bakterien wesentlich von den anderen Organismen. Die Kenntnisse hierüber wurden vor allem durch die Anwendung elektronenmikroskopischer und biochemischer Untersuchungsmethoden gewonnen. Die Zellwand ist aus 2 bis 3 Schichten aufgebaut, deren innerste (die Stützmembran) ihr die notwendige Stabilität verleiht und die Form der Bakterien bedingt. Die chemische Zusammensetzung der Zellwand

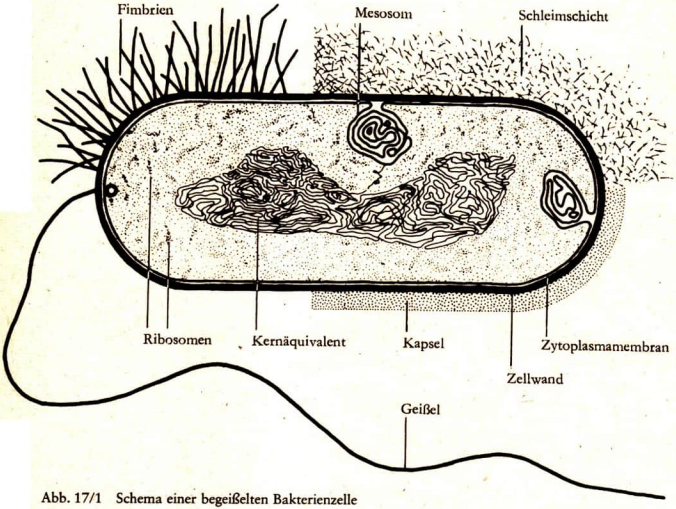


Abb. 17/1 Schema einer begeißelten Bakterienzelle

ist für die Bakterien charakteristisch. Sie besteht aus Eiweißen sowie aus Lipoiden und Polysacchariden. Vielfach sind den Zellwänden außen noch Schleimhüllen aufgelagert. Der Zellwand schließt sich nach innen eine besonders strukturierte Grenzschicht des Zytoplasmas an, die zytoplasmatische Membran. Sie kontrolliert den Stoffein- und -austritt. Im Zytoplasma liegen unter anderem nach innen eingestülpte Teile der zytoplasmatischen Membran, die *Mesosomen,* die den Mitochondrien vergleichbar sind; außerdem Ribosomen, Reservestoffe und zum Teil auch diffus verteilte Farbstoffe.

Einige autotroph lebende Bakterien besitzen Assimilationsfarbstoff (Bakteriochlorophyll, Bakterioerythrin), der jedoch nicht diffus im Plasma verteilt, sondern zwischen besonderen Trägerlamellen angeordnet ist. Durch Übereinanderlagerung solcher Lamellen und Farbstoffschichten entstehen Gebilde, die den Plastiden der Pflanzen ähneln.

Ein echter, durch eine Membran abgegrenzter Zellkern existiert bei Bakterien nicht, wohl aber ein stark DNS-haltiges Zentrum, das *Nukleoid*. Es ist zweifellos ein dem Zellkern äquivalentes Gebilde.

Viele Bakterien können sich vermittels ihrer Geißeln fortbewegen. Diese Geißeln sind mit einer verdickten Basis im Plasma verankert. Sie sind entweder als Einzelgeißel endständig angeordnet oder zu mehreren polar oder über die gesamte Oberfläche verteilt (Abb. 16/1 u. 17/1).

Die Vermehrung der Bakterien erfolgt durch einfache Zweiteilung oder Spaltung, deshalb werden sie Spaltpflanzen *(Schizophyta)* genannt.

Die Anzahl der aufeinanderfolgenden Teilungen ist bei den einzelnen Sippen sehr unterschiedlich (z. T. mehrmals je Stunde, z. T. einmal je Tag), sie hängt auch wesentlich von den zur Verfügung stehenden Nährstoffen und der Temperatur ab.

Unter ungünstigen Lebensbedingungen vermögen viele Bakterien *Dauersporen* zu bilden. Der stark mit Reservestoffen angereicherte Zellinhalt geht in einen inaktiven Zustand über. Er zieht sich an einer bestimmten Stelle der Zelle zusammen und umgibt sich mit einer neuen Membran. Die Dauersporen sind sowohl gegen Kälte als auch gegen Hitze und Trockenheit sehr widerstandsfähig und können mitunter viele Jahre überdauern. Treten günstige Bedingungen ein, so keimt die Spore wieder zu einem Bakterium aus. Dauersporen dienen nicht der Vermehrung.

Vorkommen

Bakterien sind über die ganze Erde verbreitet. Sie kommen im Wasser, im Boden und auch in der Luft vor. Sie sind an jedem Gegenstand zu finden und besiedeln jeden tierischen und pflanzlichen Organismus. Lebende Bakterien kommen überall dort vor, wo genügend Feuchtigkeit und Nährstoffe vorhanden sind. An trockenen Orten finden sich Dauersporen. Sie werden sehr leicht durch Luftbewegungen verbreitet.

Lebensweise

Die meisten Bakterien leben heterotroph als *Parasiten* lebender Organismen oder als *Saprophyten,* die sich von toten Organismen ernähren.

Einige Parasiten vermögen ausschließlich in lebenden Zellen oder in dauerndem Kontakt mit lebenden Zellen zu wachsen, das sind *obligate Parasiten.* Die meisten Parasiten können sich zwischenzeitlich auch außerhalb ihrer Wirte vermehren und teilweise als Saprophyten leben. Viele Saprophyten sind auf spezifische organische Stoffe spezialisiert, während andere wieder viele verschiedene Kohlenstoffverbindungen abbauen. Nur wenige Bakteriensippen leben autotroph. Sie gewinnen die für den Stoffwechsel notwendige Energie durch Photosynthese (z. B. Purpurbakterien) oder Chemosynthese (z. B. Schwefelbakterien, Wasserstoffbakterien, Nitritbakterien, Nitratbakterien).

Bedeutung

Im Stoffkreislauf der Natur haben die Bakterien neben den Pilzen eine äußerst große Bedeutung. Die Saprophyten unter ihnen werden auch als Fäulnisbakterien bezeichnet; sie bauen tote organische Substanz zu Wasser, Kohlendioxid, Ammoniak und Mineralsalzen ab. Dieser Vorgang, die Mineralisation, ist eine wesentliche Grundlage für die Fruchtbarkeit der Böden und die biologische Selbstreinigung von Gewässern. Der Bodenfruchtbarkeit dienen auch die chemosynthetisch lebenden nitrifizierenden Bakterien.

Die als Symbionten in den Wurzelknöllchen der Schmetterlingsblütengewächse lebenden Knöllchenbakterien sind in der Lage, Luftstickstoff zu binden. Sie tragen damit, wenn auch nur mittelbar, ebenfalls zur Bodenfruchtbarkeit bei.

Bakterien werden teilweise, wenn zunächst auch unbewußt, schon seit langen Zeiten zur Herstellung bestimmter Produkte und zur Konservierung von Gemüse benutzt. In der Molkereiwirtschaft spielen Milchsäurebakterien bei der Bereitung von Käse und Sauermilchgetränken eine große Rolle. Zur Konservierung von Gurken und zur Herstellung von Sauerkraut werden diese Bakteriengruppen ebenfalls benutzt. Milchsäurebakterien wandeln im Verlaufe ihrer Lebenstätigkeit Kohlenhydrate in Milchsäure um, die bereits in geringen Konzentrationen (0,5 % bis 2 %) die Entwicklung von Fäulnisbakterien hemmt. Auf diesem Prozeß beruht auch die Konservierung von Grünfutter in Silos. Milchsäurebakterien gedeihen auch unter Luftabschluß, während viele Sippen der Fäulnisbakterien Sauerstoff zum Leben benötigen. Da am Erntegut neben Milchsäurebakterien noch erhebliche Mengen Fäulnisbakterien haften, ist es wichtig, die Silagemasse fest zusammenzupressen, um damit den Luftsauerstoff möglichst fernzuhalten.

Weitere Verarbeitungsprozesse, bei denen die Lebenstätigkeit der Bakterien ausgenutzt wird, sind beispielsweise die Essigherstellung, die Fermentation des Tabaks und die Aufbereitung von Lein-, Hanf- und Jutepflanzen für die Fasergewinnung.

In den letzten Jahrzehnten wurden die spezifischen Stoffwechselleistungen von Bakterien zunehmend in großtechnischen Verfahren eingesetzt. So werden heute in der Industrie zum Beispiel Butanol, Milchsäure, Askorbinsäure (Vitamin C) und verschiedene andere organische Säuren, einige Antibiotika (z. B. Streptomyzin), einige andere Vitamine und verschiedene Enzyme durch Bakterien oder unter ihrer Mitwirkung in bestimmten Phasen des Produktionsprozesses hergestellt.

Viele Bakteriensippen üben aber auch eine schädigende Wirkung aus. Neben den schon erwähnten Fäulnisbakterien, die Lebensmittel- und Futtervorräte verderben können, sind in diesem Zusammenhang vor allem die bei Mensch, Tier und Pflanze krankheitserregenden Bakterien zu nennen. Ihre schädliche Wirkung beruht zum Teil auf Giftstoffen (Toxinen), die sie ausscheiden und die dann im Körper des Wirtes die jeweiligen charakteristischen Krankheitsbilder hervorrufen (z. B. Diphtherie). Zum Teil schädigen sie die inneren Organe direkt durch ihre enzymatische Wirkung (z. B. Cholera).

Bedeutende von Bakterien verursachte Krankheiten des Menschen sind: Cholera, Diphtherie, Keuchhusten, Pest, Syphilis, Tuberkulose, Typhus, Wundstarrkrampf. Durch umfangreiche Hygienemaßnahmen und Schutzimpfungen (z. B. gegen Diphtherie, Keuchhusten, Tuberkulose, Wundstarrkrampf) treten in der DDR die bakteriellen Infektionskrankheiten nicht mehr als Epidemien auf. International wird unsere Republik als das derzeit bestimmunisierte Land der Welt anerkannt.

Deutsche und japanische Faschisten entwickelten bereits im 2. Weltkrieg mit krankheitserregenden Bakterien sogenannte „biologische Kampfmittel". Die USA gingen diesen Weg weiter und testeten während des Koreakrieges die Wirkung von bakterienverseuchten (Pest, Milzbrand, Cholera) Tieren in Korea und Nordost-China. Auch in der Gegenwart wird in

verschiedenen imperialistischen Staaten, darunter auch in der BRD, intensiv an der Entwicklung biologischer Waffen gearbeitet. Das ist eine antihumane Anwendung wissenschaftlicher Kenntnisse, die von allen friedliebenden Menschen scharf verurteilt wird.

(2) (3) (4)

Bakterien sind einzellige Organismen von unterschiedlicher Form; sie können lichtmikroskopisch sichtbar gemacht werden.

Bakterien haben keinen abgegrenzten Zellkern, ihre DNS ist in einem Nukleoid konzentriert. Einige Formen besitzen Assimilationsfarbstoffe, die in plastidenähnlichen Gebilden lokalisiert sind.

Die Vermehrung der Bakterien erfolgt durch einfache Teilung (Spaltung), die je nach den äußeren Bedingungen in unterschiedlich schneller Folge ablaufen kann. Bakterien können als Dauersporen ungünstige Umweltbedingungen überdauern.

Einige Bakterien leben autotroph (durch Photosynthese oder Chemosynthese), die Mehrzahl der Bakterien lebt heterotroph (parasitisch oder saprophytisch).

Bakterien sind für den Menschen von großer Bedeutung, zum Beispiel bei der Abwässerreinigung, bei der Herstellung oder Konservierung bestimmter Lebensmittel, in der chemischen und pharmazeutischen Industrie, als Erreger von Krankheiten bei Menschen, Tieren, Pflanzen.

Grünalgen

Die Grünalgen *(Chlorophyta)* sind im Hinblick auf ihre Sippenzahl der umfangreichste unter den Algenstämmen. Die meisten Arten leben im Bereich des Süßwassers, nur relativ wenige besiedeln die Randzonen der Weltmeere.

Gegenüber den Bakterien zeichnen sie sich dadurch aus, daß sie einen deutlich abgegrenzten Zellkern besitzen, autotroph leben und daß die der Photosynthese dienenden Farbstoffe in charakteristisch strukturierte Zellorganellen (Chloroplasten) eingelagert sind.

Bau und Organisationshöhe

Unter den gegenwärtig vorkommenden Vertretern der Grünalgen befinden sich sowohl freilebende Einzeller und einzellige Formen, die Kolonien oder Zellfäden bilden, als auch Sippen, deren Vegetationskörper bereits in Gewebeschichten differenziert ist.

Einzellige Algen. Einen sehr ursprünglichen Typ stellen die durch Geißeln beweglichen Einzeller (Flagellaten) dar (Abb. 21/1), zu denen zum Beispiel die artenreiche Gattung *Chlamydomonas* gehört. Arten dieser Gattung kommen in allen Gewässern vor, die durch organische Stoffe verunreinigt sind.

Arten der Gattung *Chlorella* (Abb. 21/1) gehören einem abgeleiteten Typ an; nur bei einigen Arten treten im Verlaufe ihrer Vermehrung Zellen auf, die vorübergehend mit Geißeln ausgestattet sind, beim Heranwachsen verlieren sie diese aber wieder. Das Auftreten von begeißelten Stadien während der Entwicklung deutet darauf hin, daß sich die kugeligen Chlorellen offenbar aus geißeltragenden Grünalgen enwickelt haben.

Koloniebildene Algen. Eine weitere Entwicklungsstufe stellen die koloniebildenden Grünalgen dar (Abb. 21/1). Es sind in der Regel Zusammenlagerungen mehrerer einzelliger begeißelter

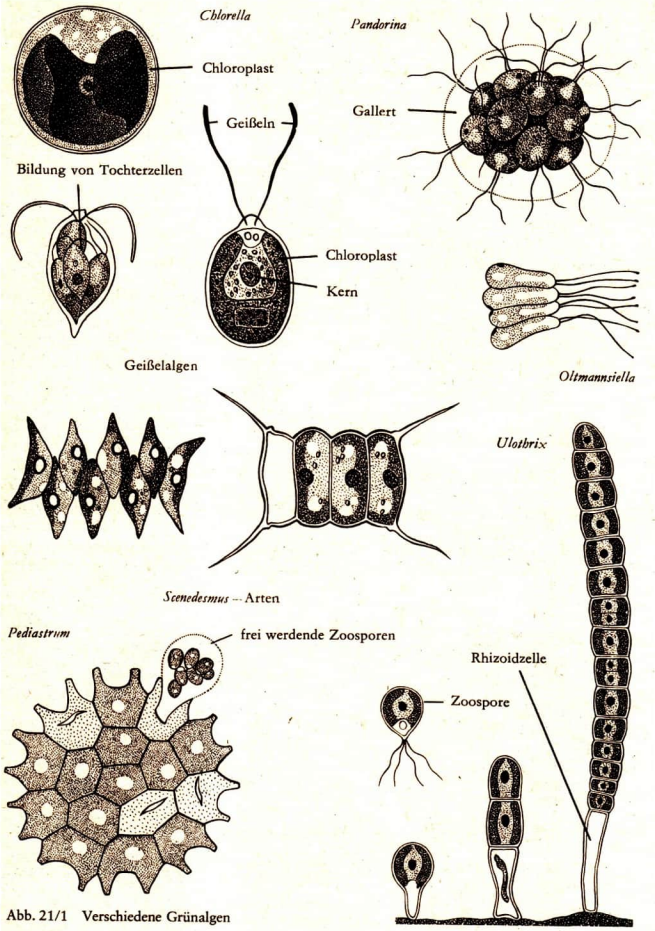


Abb. 21/1 Verschiedene Grünalgen

oder unbegeißelter Algen. Die Anzahl der Algenzellen in einer Kolonie ist für jede Sippe spezifisch, bei *Oltmannsiella* sind es zum Beispiel 4 Zellen, bei *Pandorina* 8 bis 16 Zellen, die von einer gemeinsamen Gallerthülle umgeben sind. Jede Zelle führt noch alle Funktionen eines selbständigen Organismus aus. Zu dieser Gruppe gehören zum Beispiel auch die in Binnengewässern verbreiteten Arten der Gattungen *Scenedesmus* und Wassernetz *(Hydrodiction)*.

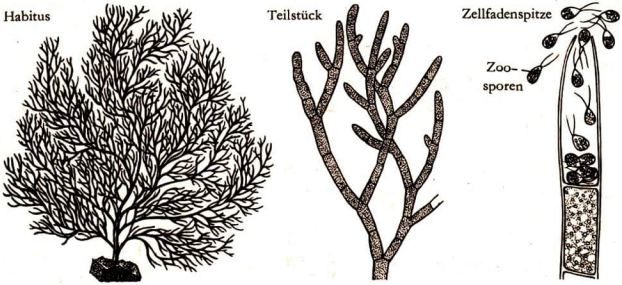


Abb. 22/1 Mehrzellige Grünalge: Flußalge *(Cladophora)*

Eine höhere Ausbildungsstufe wird beispielsweise bei *Volvox* erreicht (Abb. 23/3), bei ihr sind mehrere hundert bis mehrere tausend Zellen zu einer Hohlkugel vereinigt. Die Mehrzahl der Zellen dient der Fortbewegung und Ernährung, einige Zellen haben die Funktion der Fortpflanzung übernommen.

Mehrzellige Algen. Zu den mehrzelligen Algen gehören in der Regel festsitzende Algen, deren Basiszelle zur Festhaftung an der Unterlage besonders ausgebildet ist. Bei vielen Sippen

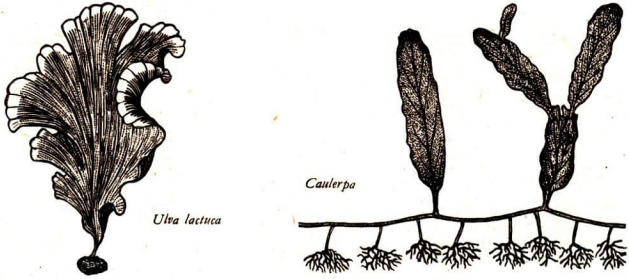


Abb. 22/2 Beispiele für fortschreitende Differenzierung bei Grünalgen

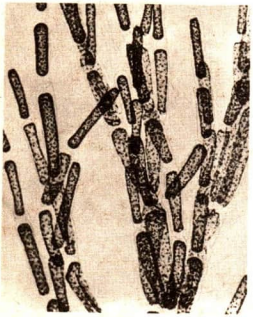


Abb. 23/1 Flußalge *(Cladophora)*

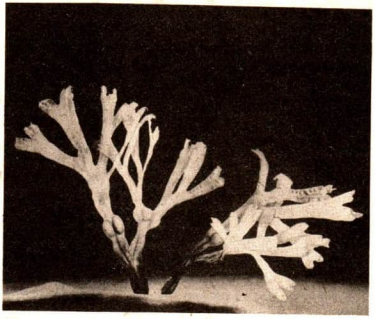
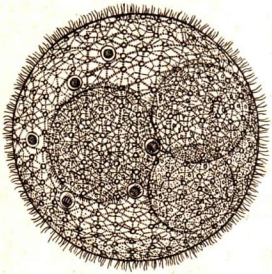


Abb. 23/2 Blasentang *(Fucus vesiculosus)*

sind alle anderen Zellen undifferenziert und können sowohl die Funktion der Ernährung als auch der Fortpflanzung ausüben. Die mehrzelligen Algen sind fadenförmig, zum Beispiel Kraushaaralge (*Ulothrix*, Abb. 21/1) und Flußalge (*Cladophora*, Abb. 22/1 u. 23/1) oder zwei- oder mehrschichtig ausgebildet, zum Beispiel der an der Ostseeküste häufige Meersalat (*Ulva Lactuca*, Abb. 22/2). Bei Arten der in tropischen Gewässern lebenden Grünalge *Caulerpa* (Abb. 22/2) sind funktionsbestimmte Pflanzenteile wie Rhizoide, blattartige Assimilationsorgane und Fortpflanzungszellen ausgebildet.

Vermehrung

Die Mehrzahl der Grünalgensippen vermehrt sich sowohl ungeschlechtlich als auch geschlechtlich.



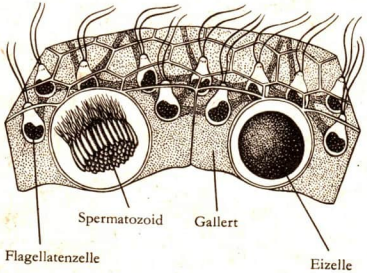


Abb. 23/3 Volvoxkugel mit Tochterkolonien, rechts Ausschnitt (vergr.)

Bei der ungeschlechtlichen Vermehrung bilden sich durch einfache Teilungen des Zellinhalts *Tochterzellen* (Fortpflanzungszellen, *Sporen*) in unterschiedlicher Anzahl aus, die dann die Mutterzellwand sprengen und zu neuen, selbständigen Organismen heranwachsen. Bei koloniebildenden Algen legen sich die Tochterzellen zu neuen Kolonien zusammen.

Die zur geschlechtlichen Fortpflanzung gebildeten Vermehrungszellen, die *Gameten*, gleichen äußerlich oft den Tochterzellen (Sporen), sind jedoch physiologisch von ihnen unterschieden. Sie können nicht allein zu einem Organismus heranwachsen, sondern jeweils zwei Gameten müssen zu einer Zygote verschmelzen. Erst die Zygote kann einen neuen Organismus hervorbringen. Auch bei der geschlechtlichen Vermehrung werden verschiedene Entwicklungsstufen unterschieden, nämlich die Isogamie, das ist die Vereinigung gleich großer beweglicher Gameten (z. B. bei *Chlamydomonas*), die Anisogamie, das ist die Vereinigung ungleich großer beweglicher Gameten und die Oogamie, das ist die Befruchtung eines größeren unbeweglichen Gameten, des Eies, durch einen kleineren beweglichen Gameten, das Spermatozoid (z. B. bei *Volvox*). Bei koloniebildenden oder mehrzelligen Algen sind je nach der Organisationshöhe alle Zellen zur Fortpflanzung fähig (z. B. bei *Pandorina, Scenedesmus*), oder einige bestimmte Zellen haben als *Sporangien* die Funktion der Fortpflanzung übernommen (z. B. bei *Caulerpa*).

Stammesentwicklung

✦ Die Grünalgen sind eine phylogenetisch sehr alte Pflanzengruppe. Fossilien bestimmter Sippen wurden schon in über 400 Millionen Jahre alten Gesteinen gefunden. Bei den Grünalgen können mit den Gestaltstypen der in der heutigen Zeit vorkommenden Sippen die wahrscheinlichen Etappen der Evolution vom Einzeller zum komplizierteren Organismus rekonstruiert und damit eine Vorstellung vermittelt werden, wie die Phylogenie verlief (Abb. 24/1). Dabei ist aber zu beachten, daß nicht die heute lebenden Sippen voneinander

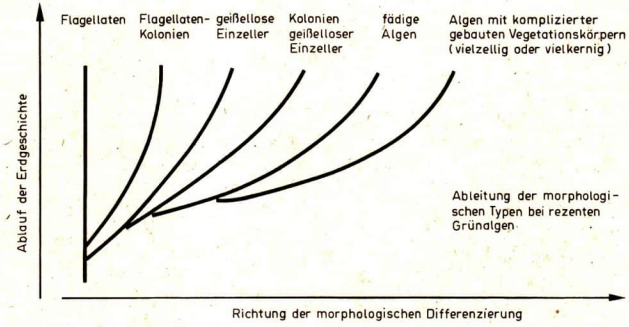


Abb. 24/1 Schematische Darstellung der morphologischen Differenzierung von Grünalgen

abstammen, sondern daß sich bei Vorfahren der heutigen Sippen diese Entwicklung vollzog. Unter den Algenstämmen nehmen die Grünalgen eine besondere Stellung ein. Ihre Chloroplasten enthalten Assimilationspigmente (z. B. Chlorophylle) und andere Farbstoffe (z. B. Karotin, Xanthophyll) in gleicher Struktur und Menge wie die autotrophen Landpflanzen. Wie diese bilden auch die Grünalgen Stärke als Reservestoff. Ferner bestehen die Zellwände der Grünalgen wie die der Landpflanzen aus Zellulose. Dazu kommen noch weitere übereinstimmende Merkmale. Kein anderer Algenstamm hat so viele Merkmale mit den Landpflanzen gemeinsam. Es ist deshalb sehr wahrscheinlich, daß sich die ersten Landpflanzen aus Grünalgen entwickelt haben; vermutlich aus solchen Sippen, die in der Gezeitenzone der Meere lebten. ✦

Bedeutung

Von den Grünalgen sind in wirtschaftlicher Hinsicht vor allem die geißellosen Sippen von Bedeutung. Die biologische Selbstreinigung von Gewässern wird durch sie nachhaltig beeinflußt, da der bei der Photosynthese entstehende Sauerstoff die Tätigkeit der aeroben Bakterien fördert. *Chlorella, Scenedesmus* (Abb. 21/1) und einige andere Sippen eignen sich auch vorzüglich zur künstlichen Massenkultur in anorganischen Nährlösungen. Die Sippen enthalten hochwertige Eiweiße (mit allen lebensnotwendigen Aminosäuren) und viele Vitamine. In Zukunft, wenn genügend billige Energiequellen zur Verfügung stehen, kann die Großkultur von Grünalgen für Futterzwecke und eventuell auch für die Ernährung der Menschen sicherlich einmal eine Rolle spielen. Möglicherweise werden Grünalgenkulturen sogar bei längeren Raumfahrten von Kosmonauten Verwendung finden. Gegenwärtig wird unter anderem untersucht, ob man in Raumschiffen einen biologischen Kreislauf schaffen kann; die Algen sollen einerseits Nahrungs- und Sauerstoffquelle sein und andererseits das Kohlendioxid der Atemluft und organische Abfälle verwerten.

Die zum Plankton gehörenden Arten der Grünalgen bilden eine wichtige Nahrungsquelle für viele andere Organismen der Meere und Binnengewässer.

5 6

Grünalgen besitzen einen abgegrenzten Zellkern. Sie ernähren sich in der Regel autotroph, ihre Assimilationsfarbstoffe sind in besonderen Zellorganellen konzentriert.

Zu den Grünalgen gehören Formen sehr unterschiedlicher Organisationshöhe, es gibt Einzeller, die frei leben, Einzeller, die zu Kolonien oder Zellfäden zusammenliegen, und mehrzellige Algen, deren Vegetationskörper in spezielle Gewebeschichten differenziert sind.

Algen können sich ungeschlechtlich oder geschlechtlich vermehren, wobei je nach der Organisationshöhe alle oder nur bestimmte Zellen zur Fortpflanzung fähig sind. Bei der geschlechtlichen Vermehrung wird Isogamie, Anisogamie und Oogamie unterschieden.

Grünalgen sind phylogenetisch sehr alt. Wahrscheinlich haben sie gemeinsame Vorfahren mit den heute lebenden Landpflanzen.

Als Planktonten sind Grünalgen als Nahrungsquelle in Gewässern von großer Bedeutung. Sie spielen eine große Rolle bei der biologischen Reinigung der Gewässer, ihre industrielle Nutzung als Eiweiß- und Vitaminlieferant ist zu erwarten.

Moose

Die Moose *(Bryophyta)* sind autotroph lebende Pflanzen, die in ihrem Bau bereits Anpassungen an das Landleben zeigen. Ihr Vegetationskörper ist aus vielen Zellschichten aufgebaut; bei einfachen Lebermoosen ist er bandförmig flach, bei höher entwickelten Lebermoosen und bei Laubmoosen ist er deutlich in aufrechte Stämmchen und Blätter gegliedert und nutzt so den Lichtraum besser aus (Abb. 26/1).

Stämmchen und Blätter der Moose sind Stengeln und Blättern der höheren Pflanzen (der Sproßpflanzen) nur analog, sie enthalten beispielsweise kein Festigungsgewebe.

Die Gewebedifferenzierung beschränkt sich meist auf die Epidermis, auf assimilierende Gewebe, deren Zellen Chloroplasten enthalten und auf speichernde Gewebe. Bei einigen Arten sind auch Leitstränge vorhanden; sie enthalten aber keine echten Gefäße und Siebröhren (Abb. 41/1). Verschiedene Arten haben ein Durchlüftungssystem, das durch Luftspalten oder schließbare Spaltöffnungen mit der Außenluft in Verbindung steht. Der Epidermis ist zwar eine Kutikula aufgelagert, doch ist diese sehr dünn und schützt die Pflanze wenig vor Austrocknung. Die Moose bilden noch keine echten Wurzeln aus, sondern aus wenigen Zellen bestehende Rhizoide, die nur der Festheftung am Substrat dienen. Die Wasseraufnahme erfolgt durch die gesamte Oberfläche der Pflanzen.

Systematik, Verbreitung, Bedeutung

✦ Die Moose werden in zwei Klassen unterteilt, die Lebermoose *(Hepaticae)* und die Laubmoose *(Musci)*. Die Lebermoose sind morphologisch einfacher gebaut. Viele Arten zeichnen sich durch einen breitflächigen, gelappten Vegetationskörper aus, der sich der jeweiligen Unterlage eng anschmiegt (Abb. 26/1), sie besitzen einzellige Rhizoiden. Die Laubmoose sind stets in Stämmchen und Blättchen gegliedert (Abb. 26/1), ihre Rhizoiden sind größer und bestehen aus mehreren Zellen. Zu den Laubmoosen zählen viele bekannte Sippen, wie zum Beispiel das Torfmoos *(Sphagnum)*, das Sternmoos *(Mnium)* und das Widertonmoos *(Polytrichum)*. ✦

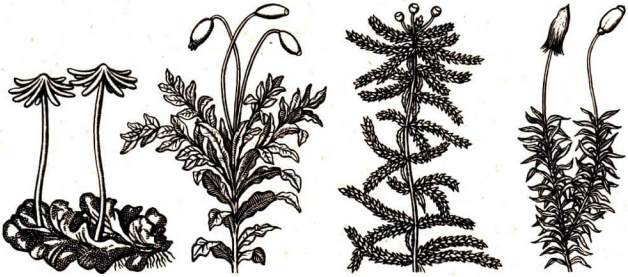


Abb. 26/1 Verschiedene Arten einheimischer Moose

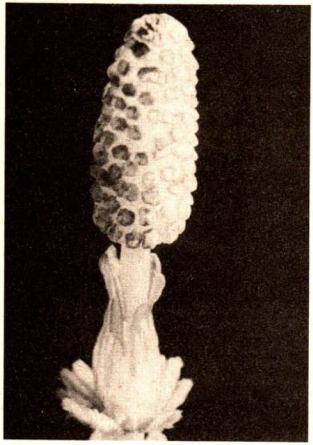


Abb. 27/1 Sporophyllstand des Wiesen-Schachtelhalms *(Equisetum pratense)*

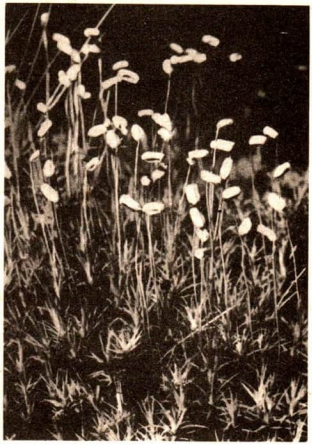


Abb. 27/2 Widertonmoos *(Polytrichum)* mit Sporophyten

Nur wenige Moose sind weltweit verbreitet, viele Arten besiedeln nur relativ kleine Gebiete oder sind an bestimmte, vorwiegend feuchte Standorte gebunden (z. B. Moor, Waldboden, Baumrinden).

Eine besonders reiche Moosflora entwickelt sich in regenfeuchten Gebirgswäldern. Auch in den arktischen Tundren bilden Moose oft ausgedehnte Bestände. In der Zone des gemäßigten Klimas haben die Moose eine große Bedeutung für den Wasserhaushalt der Waldböden. Einerseits speichern sie das Regenwasser und geben es allmählich an den Boden ab, andererseits schützen dichte Moospolster den Boden vor Austrocknung. An Hanglagen wird durch Moose ein rasches Abspülen oder Verwehen der Bodenkrume verhindert. Einige Arten gehören auch zu den Erstbesiedlern rohen Bodens, zum Beispiel von Felsen. Von Tieren werden Moose nur selten gefressen.

Für den Menschen haben besonders die Torfmoose Bedeutung, die in den Mooren oft Lager von großer Mächtigkeit bilden. Nach Trockenlegung der Moore wird der Torf gewonnen und findet als Bodenverbesserungsmittel in Gärtnereien Verwendung, mitunter wird er auch als Brennstoff genutzt.

Stammesentwicklung

✦ Die Moose haben sich zweifellos aus dem Bereich der Grünalgen heraus entwickelt, und zwar aus einer Formengruppe, die morphologisch schon differenziert war und einen Generationswechsel besaß. Zu welchem Zeitpunkt die Entwicklung von Moosen aus Algen vor sich

ging, läßt sich gegenwärtig nicht nachweisen, da bisher noch keine derartigen Fossilien gefunden wurden. Die ältesten fossilen Moose stammen aus dem Karbon. Sie ähneln gestaltlich aber schon sehr den heute lebenden Sippen. Die ursprünglichsten Formen dieser Pflanzengruppe müssen deshalb weit früher gelebt haben. Für die Abstammung der Moose von den Algen sprechen ihr Bau, der viele Gemeinsamkeiten mit dem der Algen aufweist (z. B. Rhizoiden, geringe Gewebedifferenzierung) und die noch nicht vollständige Anpassung an das Landleben (z. B. Abhängigkeit der Befruchtung vom Wasser, Fehlen spezieller Einrichtungen für Wasseraufnahme und -leitung). ✦

▶ Moose sind autotroph lebende Landpflanzen. Die Mehrzahl der Arten besitzt einen in Stamm und Blättchen gegliederten Vegetationskörper, der mit Rhizoiden im Boden verankert ist. Die vielzelligen Gewebe sind in der Regel in Assimilationsgewebe, Speichergewebe und Abschlußgewebe differenziert, bei manchen Arten ist ein Leitgewebe vorhanden.

Moose besiedeln vorwiegend feuchte Standorte, sie sind für den Wasserhaushalt in der Natur von großer Bedeutung.

Pilze

Bau

Pilze (*Mycophyta*) sind heterotroph lebende Parasiten oder Saprophyten. Die Zellen sind kernhaltig, ohne Plastiden und Chlorophyll. Zellwandbaustoff ist meist Chitin, bei einigen Sippen sind es auch Zellulose oder andere Stoffe. Die Vermehrung erfolgt geschlechtlich und ungeschlechtlich.

Bedeutung

Saprophytische Pilze sind ein wichtiges Glied im Stoffkreislauf der Natur. Viele parasitisch lebende Sippen verursachen Krankheiten an Kulturpflanzen (z. B. Knollenfäule der Kartoffel, Mehltau auf Weinreben und Getreide, Rost- und Brandkrankheiten der Getreide) und schädigen Vorräte (Schimmelbildung). Einige Sippen sind von unmittelbarer wirtschaftlicher Bedeutung für den Menschen (z. B. Hefen - Herstellung von Brot und alkoholischen Getränken, Futtereiweiß; Verwendung von Pilzen zur Produktion von Antibiotika - Penizillin).

Stammesentwicklung

Die Pilze entwickelten sich parallel zu den Algenstämmen. Auch bei ihnen läßt sich die morphologische Stufenfolge Einzeller – einfache Zellfäden – verzweigte Zellfäden, Fadengeflecht beobachten (Abb. 31/1). Dem Auftreten von vielzelligen Fäden ging im Verlaufe der Phylogenese wahrscheinlich stets das Stadium des einzelligen, aber vielkernigen Fadens voraus. In der morphologischen Entwicklung haben die Pilze nie die Stufe des Fadengeflechts überschritten, selbst der massiv erscheinende Fruchtkörper höherer Pilze besteht nicht aus echtem Gewebe, sondern nur aus solchem Geflecht (Abb. 31/1).

Flechten

✦ Die Vegetationskörper der Flechten (*Lichenes*) sind aus einer Symbiose von (meist einzelligen) Grün- oder Blaualgen mit Pilzen zustande gekommen. Die spezifische Gestalt des Vegetationskörpers (krustenförmig, laubartig oder an verkleinerte Sträucher erinnernd) wird im wesentlichen durch den Pilz bestimmt, aber nur im symbiontischen Verband mit den Algen ausgebildet. Eine getrennte künstliche Kultur der beteiligten Pilze und Algen ist wohl möglich, dabei tritt jedoch nie die charakteristische Gestalt der jeweiligen Flechte in Erscheinung. Die Vermehrung erfolgt meist vegetativ, indem sich Teile der Flechte abtrennen. Durch den Algenanteil können Flechten teilweise autotroph leben (z. B. auf Gestein), vielfach nimmt aber auch der Pilz Nährstoffe auf. Als eigenständige Produkte des Stoffwechsels werden bestimmte Farbstoffe und Flechtensäuren gebildet. Die eigentümlichen, nur im Symbioseverband auftretenden Lebenserscheinungen gestatten es, die Flechten als selbständige systematische Gruppe zu betrachten. Sie werden ebenso wie die anderen Stämme in Klassen, Ordnungen und Familien eingeteilt. Wahrscheinlich sind Flechtensymbiosen zu verschiedenen Zeiten entstanden, so daß die Gruppe eine polyphyletische Einheit darstellt. Innerhalb bestimmter Sippen lassen sich deutliche Entwicklungsrichtungen von lockeren Verbänden zu klar abgegrenzten Vegetationskörpern erkennen. ✦

7

Zusammenfassende Übersicht über den Verlauf der Stammesentwicklung im Bereich der niederen Pflanzen

Bei der Einschätzung des Evolutionsverlaufes einer Organismengruppe müssen neben den Ergebnissen fossiler Funde sowie morphologischer und anatomischer Forschungen in gleicher Weise physiologische, biochemische, genetische, geographische, ökologische und viele andere Eigenheiten der jeweiligen Sippen berücksichtigt werden. Auf der Basis solcher umfassenden Aussagen läßt sich heute mit großer Wahrscheinlichkeit folgern, daß sich die einzelnen Stämme der niederen Pflanzen schon seit dem Präkambrium sehr eigenständig entwickelt haben (Abb. 29/1). Rekombination und Mutation von Erbanlagen sowie die Wirkung von Selektion und Isolation waren aber überall die Grundlage der in den einzelnen Stämmen getrennt voneinander verlaufenden Entwicklung. Eine gleiche Umwelt beziehungsweise gleichsinnig wirkende äußere Faktoren führten dabei in verschiedenen Stämmen zu ähnlichen morphologi-

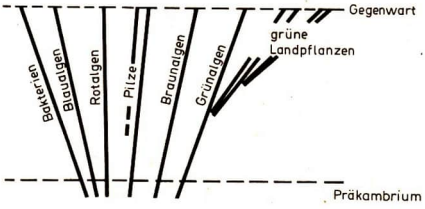


Abb. 29/1 Schematische Darstellung der phylogenetischen Entwicklung der niederen Pflanzen

schen und physiologischen Erscheinungen, zum Beispiel bei den sich morphologisch vielfach ähnelnden Grün-, Braun- und Rotalgen.

Unabhängig von der getrennten Entwicklung der einzelnen Stämme ist aus dem Ablauf der Entwicklung jedoch deutlich zu erkennen, daß sich in allen Fällen aus relativ einfachen Organismen allmählich kompliziertere entwickeln. Das betrifft nicht nur die äußere Gestalt der Organismen, sondern auch die Feinstruktur der Zelle und die Stoffwechselprozesse. Bei der Entwicklung der vielzelligen Organismen bildete sich im Verlaufe der Zeit eine Funktionsteilung (Arbeitsteilung) zwischen einzelnen Zellgruppen heraus. Das gleichzeitige Auftreten von Organismen verschiedener morphologisch-anatomischer Entwicklungshöhe (z. B. Einzeller, Zellkolonien, fädige Typen) zeigt jedoch, daß nicht jeder Evolutionsprozeß mit Struktur- und Formwandel verbunden ist. Eine Anpassung an neue Umweltbedingungen zum Beispiel durch Änderung bestimmter Stoffwechselprozesse ist ebenfalls ein Entwicklungsvorgang. Auf diese Weise haben sich einerseits relativ einfach organisierte Lebewesen über viele hundert Millionen Jahre hinweg bis zur Gegenwart erhalten können, während andererseits ihre in früherer Zeit lebenden Vorfahren gleichzeitig Ausgangspunkte von Entwicklungsreihen gewesen sind, die zu vielfältigen Formen- und Funktionsdifferenzierungen führten. Ein Beispiel dafür sind die Flagellatenformen der Grünalgen, die auch heute noch vorkommen, deren Vorfahren aber sicherlich einmal Ausgangspunkt der Entwicklungslinie zu den vielzelligen Grünalgen und damit auch zu den höher entwickelten Sippen waren.

Entwicklungsstufen in Bau und Organisation

Im Bereich der niederen Pflanzen lassen sich folgende wichtigen Entwicklungsstufen unterscheiden:

Einzellige Organismen ohne Kern. Leben heterotroph oder autotroph. Die Kernsubstanz ist noch nicht durch eine Membran vom Plasma getrennt; die Assimilationspigmente sind, sofern vorhanden, noch nicht in besonderen Zellorganellen (Plastiden) geordnet, es sind noch keine Mitochondrien vorhanden. Kernäquivalent (Nukleoid), Plastidenäquivalent (Einlagerung der Pigmente zwischen Membranen) und Mitochondrienäquivalent (in das Zytoplasma eingesenkte Teile der zytoplasmatischen Membran) sind vorhanden. Diese Organismen werden im System als besonderer Bereich zusammengefaßt – *Prokaryonta*, mit den Stämmen *Schizophyta* (Bakterien) und *Cyanophyta* (Blaualgen). In beiden Stämmen sind Sippen mit polarer Differenzierung der Zelle vorhanden. Bestimmte Sippen neigen zur Koloniebildung. Einige Blaualgen haben auch fädige Formen entwickelt, der Zusammenhalt der Zellen ist jedoch sehr lose.

Einzellige Organismen mit Kern. Leben autotroph. Echter Kern, Plastiden und Mitochondrien vorhanden. Zellen mit Geißel (die ursprüngliche Form) oder geißellos.

Zellkolonien. Sie bestehen aus Flagellaten oder aus geißellosen Typen. Bandförmige, flächige, kugelige Kolonien. Höchstentwickelte Form *(Volvox)* erreicht die Stufe eines vielzelligen Organismus mit beginnender Funktionsteilung zwischen den Zellgruppen.

Aus dieser Stufe führt eine Entwicklung über bandförmige Kolonien zu Zellfäden.

Zellfäden. Zellen sind fest miteinander verwachsen. Polare Differenzierung – Basiszelle und Spitzenzelle unterscheiden sich gestaltlich von den übrigen Zellen - und einsetzende Funktionsteilung treten auf. Von Organismen, die aus einfachen Zellfäden bestehen, leiten sich die Sippen mit weit verzweigten Zellfäden ab (z. B. *Cladophora*).

Vegetationskörper aus Fadengeflechten (Abb. 31/1). Enge Verflechtung von verzweigten und unverzweigten Zellfäden. Diese Formtypen finden sich gegenwärtig vor allem im Bereich der Rotalgen und der höheren Pilze. Aus Sippen mit ähnlich gebautem Vegetationskörper haben sich möglicherweise die Organismen mit echtem Gewebeaufbau entwickelt.

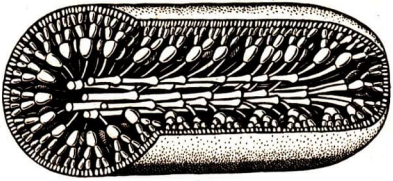


Abb. 31/1 Vegetationskörper aus Fadengeflechten (links Habitus einer Rotalge, rechts Schnitt durch deren Vegetationskörper)

Flächige Vegetationskörper. Aus der Zellfadenstufe heraus entwickelten sich ebenfalls in verschiedenen Algenstämmen sowohl Organismen mit flächigem Vegetationskörper ohne besondere morphologische Differenzierung (z. B. *Ulva lactuca*), als auch solche, die eine weitergehende gestaltliche Gliederung aufweisen, ohne dabei aber schon verschiedene Gewebetypen auszubilden (z. B. *Caulerpa*).

Thallus. Es entstehen Vegetationskörper mit mehrschichtigen, übereinander angeordneten und fest verwachsenen Zellagen (dreidimensionales Gewebe). Weitergehende Funktionsteilung tritt ein, das Wachstum erfolgt nur noch von einer Zelle, der Scheitelzelle, aus. Herausbildung von Abschluß-, Assimilations- und Speichergewebe, Sporen und Gameten werden in besonderen Organen gebildet. Funktionsbedingte morphologische Gliederung in blattähnliche, stammähnliche und wurzelähnliche Organe tritt auf. Vegetationskörper dieser Entwicklungshöhe werden als *Thallus* bezeichnet.

Der Thallus ist die kennzeichnende Organisationsform im Bereich der Algen, Pilze, Flechten und Moose; deshalb werden diese Sippen insgesamt oft als Thallophyten zusammengefaßt.

Kormus. Ein wesentliches Merkmal bei der weiteren anatomisch-morphologischen Differenzierung in Anpassung an das Landleben ist die Herausbildung eines in Wurzel und Sproß (Sproßachse – Blätter) gegliederten Vegetationskörpers. Ein derartig gestalteter Vegetationskörper wird *Kormus* genannt. Er kennzeichnet die Farne *(Pteridophyta)* und die Samenpflanzen *(Spermatophyta)*, die deshalb als Kormophyten bezeichnet werden.

Thallus und Kormus sind morphologische Begriffe. Eine Unterscheidung des Pflanzenreiches in Thallophyten und Kormophyten vermittelt daher nur einen Überblick über die jeweilige Organisationshöhe, nicht aber über die nähere und fernere Verwandtschaft der Sippen.

Die Entwicklung der geschlechtlichen Vermehrung, Kernphasenwechsel und Generationswechsel

Ebenso wie der Zellaufbau und die Gestalt der Pflanze hat sich auch die Art der Vermehrung im Verlaufe der Evolution verändert. Die meisten Sippen der Prokaryonten und eine Reihe einzelliger Algen und Pilze vermehren sich noch ungeschlechtlich. Bei den kernhaltigen

Einzellern geht jeder Zellteilung eine Kernteilung voraus. Viele einzellige Algen zeigen aber bereits eine geschlechtliche Vermehrung. Dabei verschmelzen zwei Individuen miteinander, es bildet sich eine Zygote. Im Gegensatz zum Kern der Einzelindividuen ist der Kern der Zygote diploid, er weist also eine andere Kernphase auf als die Kerne der haploiden Einzelindividuen. Bei den meisten einzelligen Sippen kommt es dann in der Zygote zu einer Reduktionsteilung, in deren Folge wieder haploide Einzelindividuen entstehen. Diese Einzelindividuen vermehren sich meist lange Zeit ungeschlechtlich (wobei stets eine Kernteilung abläuft), ehe sie wieder zur Zygotenbildung kommen.

In der Entwicklungsfolge Individuen–Zygote–Individuen ist das diploide Kernstadium nur auf die Zygote beschränkt, es werden also keine diploiden Individuen erzeugt. In diesem Falle wird nicht von einem Generationswechsel, sondern nur von einem *Kernphasenwechsel* gesprochen.

Auf der Stufe der mehrzelligen Pflanzen entstand dann der *Generationswechsel*. Hierbei entwickelt sich aus der Zygote ein mehrzelliger diploider Organismus (Sporophyt), der unter Einschaltung einer Reduktionsteilung haploide Sporen erzeugt, die nun ihrerseits zu mehrzelligen, Gameten bildenden Organismen (Gametophyten) heranwachsen (z. B. *Cladophora,* Abb. 22/1). Die Sporen und die Gameten werden also von jeweils verschiedenen, längere Zeit existierenden Individuen gebildet.

Die Abfolge Spore–Gametophyt–Gamet–Sporophyt–Spore im ontogenetischen Entwicklungszyklus wird als Generationswechsel bezeichnet und ist stets mit einem Kernphasenwechsel verbunden.

Das hier erläuterte Grundschema des Generationswechsels hat (z. B. in einigen Algenstämmen) vielfache Abwandlungen erfahren, die sich auch darin äußern, daß Gametophyt und Sporophyt morphologisch unterschiedlich gebaut sind.

Neben der ungeschlechtlichen Fortpflanzung durch einfache Zellteilung tritt schon bei vielen Einzellern auch geschlechtliche Fortpflanzung auf. Die geschlechtliche Fortpflanzung ist bei Einzellern mit einem Kernphasenwechsel, bei mehrzelligen Pflanzen in der Regel mit einem Generationswechsel verbunden.

► In der Stammesentwicklung der niederen Pflanzen läßt sich eine Höherentwicklung sowohl innerhalb der einzelnen Stämme als auch zwischen ihnen beobachten.

Die Entwicklungsrichtung verläuft dabei von einzelligen Organismen zu Zellkolonien, Zellfäden, Zellflächen bis zu mehrzelligen Organismen, wobei sich die relative Oberfläche vergrößert (von kugeligen über fädige zu flächigen Formen).

Gleichzeitig tritt eine steigende Differenzierung einzelner Zellen oder Zellverbände auf, die mit einer Funktions- und Arbeitsteilung gekoppelt ist.

Als erster Schritt erfolgt eine Differenzierung in Fortpflanzungszellen und in Dauerzellen, die der Ernährung und Fortbewegung dienen. Bei weiteren Differenzierungsschritten erfolgt eine Aufteilung der Dauerzellen in Zellen, die der Ernährung (z. B. Assimilationsgewebe), der Speicherung (Speichergewebe), der Wasserleitung oder dem Schutz und der Festigung der Pflanze dienen (Abschlußgewebe).

Im Verlaufe der Evolution ist es auch zu einer Differenzierung der Gameten gekommen, wobei der weibliche Gamet an Größe zunahm, mehr Reservestoffe speicherte und schließlich gar keine Bewegungsorganellen (Geißeln) mehr ausbildete. Diese Entwicklung findet in der Stufenfolge Iso-, Aniso- und Oogamie ihren Ausdruck.

Farnpflanzen

Die meisten Vertreter des Stammes Farnpflanzen *(Pteridophyta)* sind Landpflanzen. Mit der Besiedelung des Festlands sind wesentliche Änderungen im Bau und in der Differenzierung der Gewebe, wie zum Beispiel die Ausbildung einer Epidermis mit Kutikula als Verdunstungsschutz der oberirdischen Sproßteile, verbunden. Die Wasseraufnahme ist nicht mehr durch die gesamte Oberfläche der Pflanzen möglich, sondern erfolgt über die Wurzeln. Für die Wasserleitung wird ein besonderes Gewebe ausgebildet, das bei den Farnpflanzen in der Regel aus verholzten Tracheiden besteht und gleichzeitig Stützfunktion hat. Die Tracheiden liegen bei den meisten Farnen in einem zentralen Strang. Diese Anordnung gewährleistet noch keine große Biegefestigkeit. Im Verlauf der Höherentwicklung ist eine Tendenz zur Verlagerung der Wasserleitungsgewebe an die Peripherie des Sprosses festzustellen.

Beim Adlerfarn sind bereits Tracheen als Wasserleitungselemente ausgebildet, sie üben nur eine Leitfunktion aus. Es ist ein besonderes Festigungsgewebe entstanden (Sklerenchymplatten).

An das Vorhandensein von Wasser gebunden sind bei den Farnen aber noch die Fortpflanzungszellen (Gameten), die von den Gametophyten gebildet werden. Die Vermehrung der Farne ist mit einem Generationswechsel verbunden (Abb. 33/1 u. Abb. 35/1). Dabei stellt die grüne diploide Farnpflanze den Sporophyten dar.

Beim heimischen Tüpfelfarn (Abb. 33/1) sind auf der Unterseite der Blattspreiten die gestielten Sporangien in kleinen runden Häufchen (Sori) angeordnet. In allen Sporangien entstehen aus zahlreichen diploiden Sporenmutterzellen unter Reduktionsteilung haploide gleichartige Sporen, die *Isosporen*. Ein in der Längsachse verlaufender Ring aus einseitig verdickten Zellen öffnet mit Hilfe eines Kohäsionsmechanismus ruckartig das Sporangium, wobei die Sporen ausgeschleudert werden. Aus der auskeimenden haploiden Spore entsteht ein im Umriß etwa herzförmiges grünes Prothallium, das den Gametophyten darstellt. Auf dessen Unterseite entwickeln sich Geschlechtsorgane (Gametangien) und zwar weibliche Archegonien und männliche Antheridien. Rhizoiden verankern den Gametophyten im Boden (Abb. 33/1). Bei Vorhandensein von Wasser schwimmen die Schwärmerzellen aus den

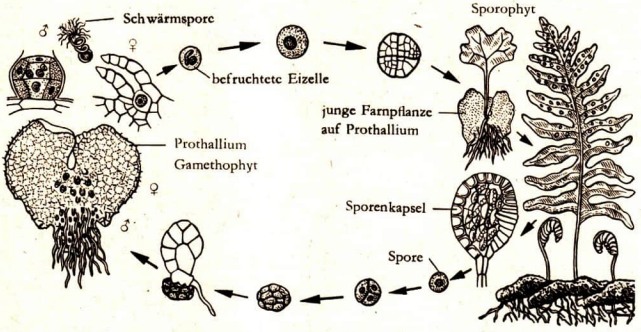
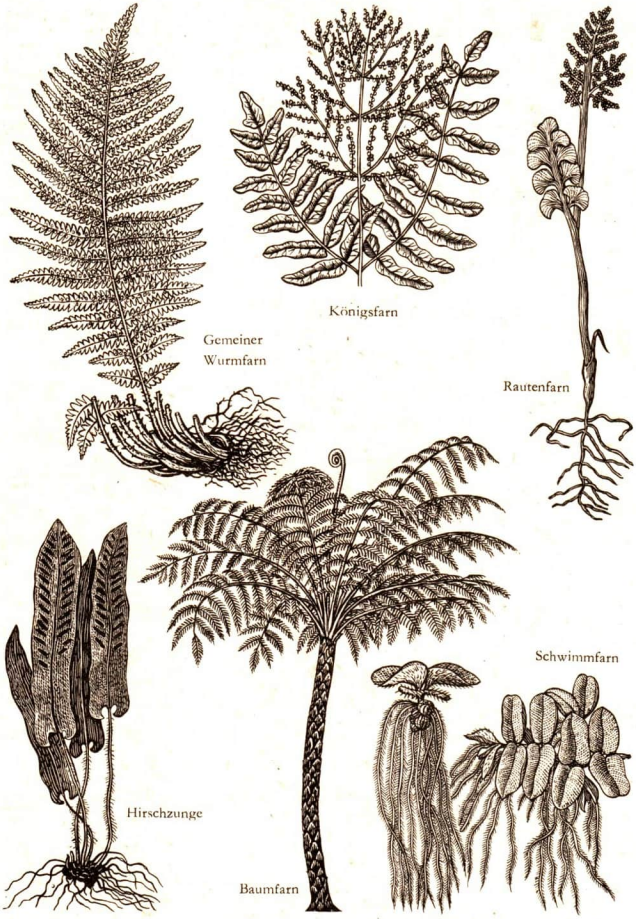


Abb. 33/1 Generationswechsel beim Tüpfelfarn


Königsfarn
Gemeiner
Wurmfarn
Rautenfarn
Schwimmfarn
Hirschzunge
Baumfarn

Antheridien zu den Eizellen in den Archegonien. Nach dem Verschmelzen der beiden Keimzellen bildet sich die diploide Zygote, die dann zu einer neuen Farnpflanze, dem Sporophyten, auskeimt. Das Prothallium geht zugrunde.

Bei den *heterosporen* Farnen treten im Generationswechsel Veränderungen auf, die für das Verständnis der Entwicklung zu den Samenpflanzen bedeutungsvoll sind. Beim Gemeinen Schwimmfarn *(Salvinia natans,* Abb. 35/1) werden diese Veränderungen besonders deutlich. Die kurze Sproßachse trägt an jedem Knoten 3 Blätter. Nur die beiden oberen, die eigentlichen Schwimmblätter, sind mit zahlreichen großen Interzellularen versehen, das dritte dagegen ist in Anpassung an das Wasserleben umgebildet und erscheint wurzelähnlich, es dient mit seiner großen Oberfläche der Stoffaufnahme aus dem Wasser. An der Basis dieser Wasserblätter sitzen die kugeligen Sporangienbehälter, die entweder eine geringere Anzahl von *Megasporangien* (Makrosporangien) oder eine etwas größere Anzahl von *Mikrosporangien* einschließen. Bei der Sporenbildung in den Mega- bzw. Mikrosporangien findet die Reduktionsteilung statt.

Jedes Mikrosporangium enthält 64 Mikrosporen, deren weitere Entwicklung zu stark rückgebildeten männlichen Prothallien verläuft.

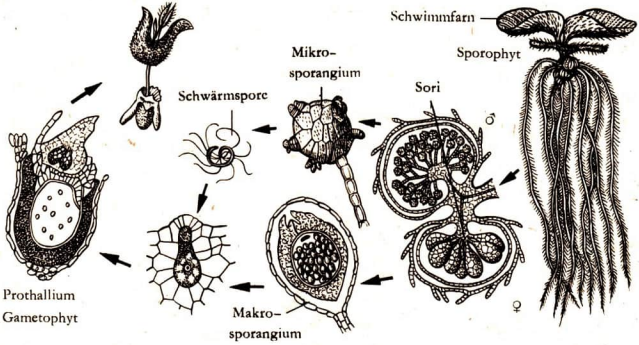


Abb. 35/1 Generationswechsel beim Gemeinen Schwimmfarn

Die größeren Megasporangien schließen je nur eine Megaspore ein, die sehr gut mit Reservestoffen (Stärke- und Eiweißkörner, Öltröpfchen) versehen ist. Das Megasporangium mit der Megaspore löst sich von der Mutterpflanze ab und treibt an der Wasseroberfläche. Bei der Keimung der Megaspore bildet sich ein kleines Prothallium, das ständig mit der Megaspore verbunden bleibt, es durchbricht Sporenhaut und Sporangienwand. Wenige Archegonien werden ausgebildet, aber nur eine befruchtete Eizelle entwickelt sich zu einem Embryo.

Mit der Entwicklung von der Isoporie zur Heterosporie geht eine starke Reduktion des männlichen und weiblichen Gametophyten (Prothallien) einher. Die haploiden Gametophyten sind beim Wasserfarn nicht mehr selbständig, sondern bleiben mit dem diploiden Sporophyten verbunden.

Abb. 34/1 Verschiedene Arten der Farne (gegenüberliegende Seite)

Übersicht über die Farnpflanzen

Die Farnpflanzen sind eine sehr alte Gruppe von Landpflanzen, deren Hauptentwicklungszeit im Devon und Karbon lag. Durch günstige Bedingungen für die Bildung von Fossilien sind eine Reihe von ausgestorbenen Arten erhalten geblieben und bekannt geworden. Sie sind zum Teil bedeutend an der Bildung von Steinkohlenlagern beteiligt. Zu ihnen gehören beispielsweise

Nacktsprosser: primitiveste bekannte Farnpflanzen; blattlose, gabelteilige, nackte Sprosse mit Kutikula. Sporangien endständig. Bis 0,50 m hoch (Abb. 36/1). Hierzu gehört die Urlandpflanze *(Rhynia)*, bisher sind 2 Arten bekannt.

Bärlappbäume *(Lepidodendrales)*: verwandt mit den rezenten Bärlappgewächsen. Baumförmig, mit gabelteiligen Verzweigungen; bis 40 m hoch und bis 5 m dick, Blattpolster bilden charakteristische Strukturen an der Stammoberfläche (z. B. Siegelbaum, Abb. 36/1); Sporophylle stehen in zapfenähnlichen Sporophyllständen zusammen. Mehrere Gattungen mit mehreren Arten bekannt.

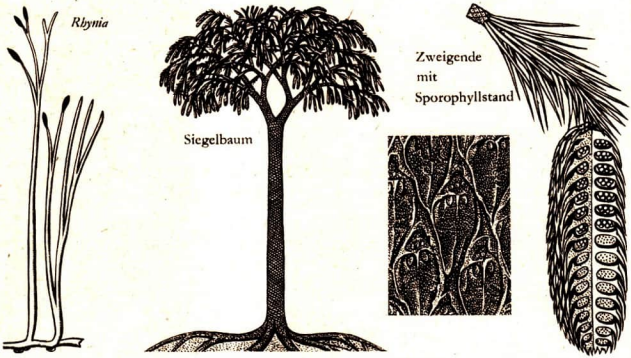


Abb. 36/1 Urfarne

Röhrenbäume *(Calamitaceae)*: verwandt mit rezenten Schachtelhalmgewächsen; krautige bis baumförmige (bis 40 m hoch) Pflanzen, mit quirligen Verzweigungen. Sporophyllstände endständig. Mehrere Gattungen mit mehreren Arten bekannt.

Zu den rezenten Farnpflanzen gehören neben den zahlreichen Vertretern der eigentlichen Farne (z. B. Wurmfarn, Adlerfarn, Tüpfelfarn, Kleefarn, Schwimmfarn, Abb. 34/1 u. S. 33) Vertreter der Klassen Bärlappähnliche (z. B. Keulen-Bärlapp, Moosfarn, Abb. 37/1), Brachsenkrautähnliche (z. B. See-Brachsenkraut) und Schachtelhalmähnliche (z. B. Acker-Schachtelhalm, Abb. 37/1).

8 9 10 11

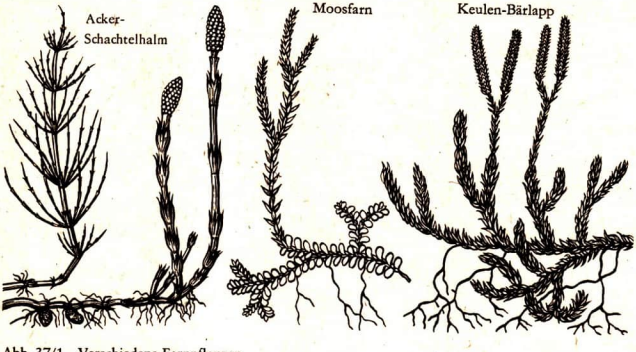


Abb. 37/1 Verschiedene Farnpflanzen

Farnpflanzen sind in Sproß und Wurzel gegliederte Kormophyten. Sie sind durch stärkere Differenzierung der Gewebe (z. B. Epidermis mit Kutikula und Spaltöffnungen, Leit- und Stützgewebe) dem Leben auf dem Lande angepaßt. Bei ihrer Fortpflanzung tritt ein Generationswechsel auf, bei dem in der Regel die haploide, gametenbildende Generation als thallöses Prothallium ausgebildet ist, und die diploide, sporenbildende Generation den grünen Kormophyten darstellt.

Zu den Farnpflanzen gehören neben den rezenten Formen auch zahlreiche nur fossil bekannte Arten, die zum Teil bedeutend an der Bildung der Steinkohlenlager beteiligt waren.

Gegenüberstellung des Generationswechsels bei Moosen und Farnen

✦ Die Geschlechtsorgane der Farne stimmen, zumindest in ihrem Grundbauplan, mit denen der Moose überein. In beiden Stämmen werden die gametenerzeugenden Zellen von einer einschichtigen Hülle steriler Zellen umgeben; in den Archegonien der Farne wandelt sich ebenfalls nur eine Zelle zum Ei um, und in den Antheridien entstehen zahlreiche Spermatozoiden. Man nimmt deshalb an, daß sich beide Sippen aus der gleichen Gruppe urzeitlicher Grünalgen entwickelt haben. Die Evolution verlief aber in beiden Stämmen verschieden. Während sich bei den Moosen der Gametophyt zur grünen assimilierenden Pflanze entwickelt und der Sporophyt in seiner Gestalt reduziert wurde, verhält es sich bei den Farnen umgekehrt. Bei ihnen dominiert der Sporophyt (als die große assimilierende Farnpflanze), und der Gametophyt bleibt nur ein kleines, wenig differenziertes, allerdings selbständiges Gebilde (das Prothallium), das meist nur wenige Wochen lebt. ✦

Samenpflanzen

Samenpflanzen (Stamm *Spermatophyta*) sind hochentwickelte Kormophyten, deren Fortpflanzungszellen in Blüten entstehen und die Samen bilden. Samen enthalten je einen Keimling und Nährstoffe (Endosperm) und sind außen von einer Samenschale umgeben. Es sind relativ wasserarme Organe, die sich nach einer Ruheperiode unter günstigen Bedingungen zu jungen Tochterpflanzen entwickeln können. Samenpflanzen werden auch als Blütenpflanzen bezeichnet. Blüten sind Sprosse oder Sproßteile, die der geschlechtlichen Fortpflanzung dienen und in fast allen Fällen im Wachstum begrenzt sind. Die Samenanlagen entstehen bei den Nacktsamern frei auf den Samenschuppen, bei den Bedecktsamern sind sie bis zu ihrer Reife von Fruchtblättern eingeschlossen. Die Pollen entstehen in den Pollensäcken der Staubblätter. Diese generativen Teile der Blüte sind in vielen Fällen von einer Blütenhülle umgeben, die besonders bei Pflanzen mit Insektenbestäubung sehr auffällig sein kann.

Die Samenpflanzen haben ebenso wie die Farnpflanzen einen Generationswechsel. Gegenüber den Farnpflanzen sind aber bei den Samenpflanzen die Gametophyten noch stärker reduziert. Sie bleiben dauernd von dem sie ernährenden Sporophyten eingeschlossen.

Nacktsamer

Die Nacktsamer (Unterstamm *Gymnospermophytina*) tragen ihre Samenanlagen frei auf den Samenschuppen. Es sind ausnahmslos Holzgewächse mit vielgestaltigem Kormus. Sekundäres Dickenwachstum, bei den Farnen sehr selten (z. B. Baumfarne), ist hier allgemein verbreitet.

Es können mächtige Holzstämme von teilweise mehr als 100 m Höhe und 10 m Dicke aufgebaut werden, beispielsweise beim Mammutbaum *(Sequoia gigantea)*. Solche Bäume

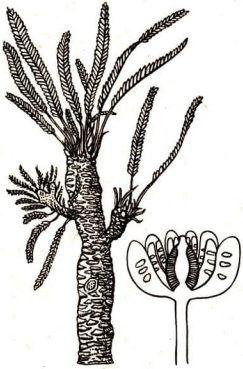


Abb. 38/1 Urtümlicher Nacktsamer

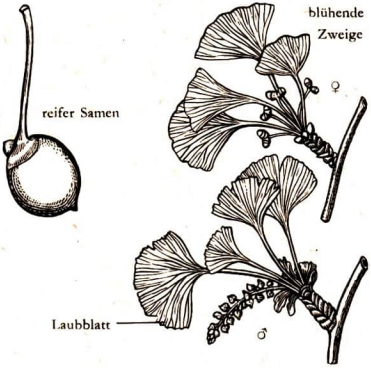


Abb. 38/2 Ginkgo

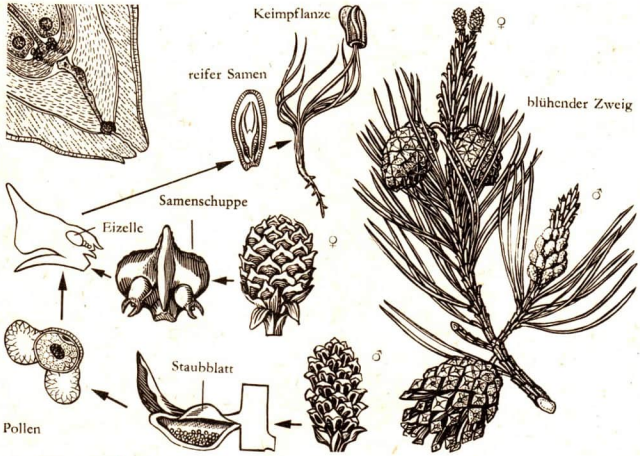


Abb. 39/1 Entwicklungszyklus bei der Gemeinen Kiefer

Abb. 39/2 ♀ Blütenstand der Küsten-Douglasie

Abb. 39/3 Längsschnitt durch ♀ Blütenstand

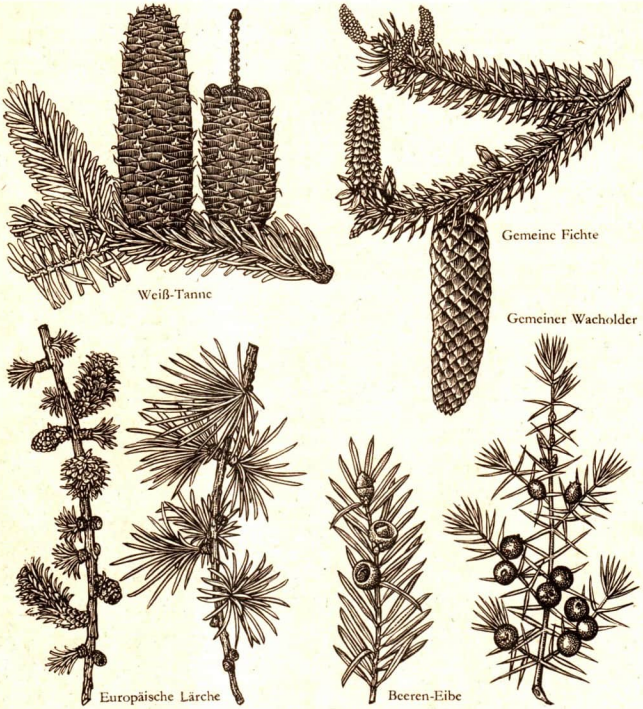


Abb. 40/1 Verschiedene Arten von Nadelgehölzen

erreichen manchmal ein sehr hohes Alter, aber nur einzelne Individuen (z. B. bei *Pinus aristata*) werden bis 4 600 Jahre alt.

Als wasserleitende Elemente sind Tracheiden ausgebildet, Siebröhren sind noch ohne Geleitzellen. Das Kambium bildet einen Hohlzylinder (Abb. 41/4). Fast alle Nacktsamer haben meist nadel- oder schuppenförmige, derbe, immergrüne Blätter (z. B. Kiefer, Fichte, Eibe). Zu den wenigen sommergrünen Arten gehören zum Beispiel Lärche und Ginkgo. Die Blüten der heute lebenden Nacktsamer sind eingeschlechtig und werden vom Wind bestäubt. Eine Blütenhülle ist meist nicht entwickelt. Staub- und Fruchtblätter stehen in vielen Fällen in großer Anzahl an gestreckten Achsen – Zapfenblüten (Abb. 39/1 bis 39/3).

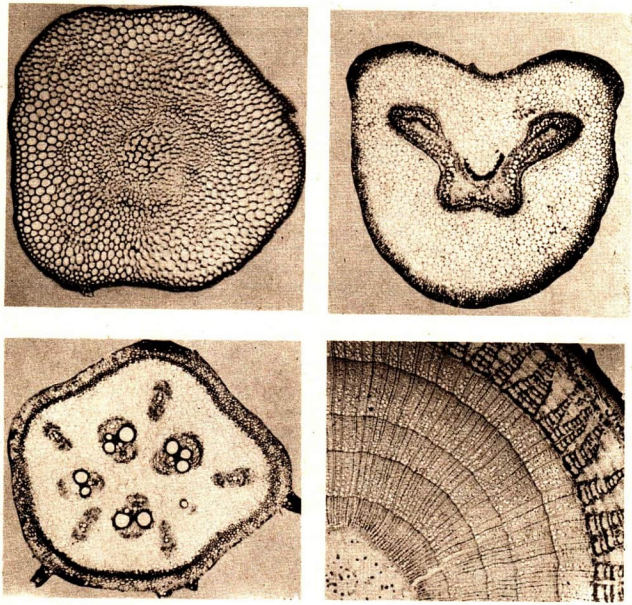


Abb. 41/1 Querschnitte durch Sproßachsen; Moos (oben links), Farn (oben rechts), zweikeimblättrige Samenpflanze (krautige unten links, verholzte unten rechts)

Die Samenanlagen sind unbedeckt und für Pollen frei zugänglich. In der Samenanlage bilden sich durch Reduktionsteilung 4 haploide Makrosporen, von denen nur eine erhalten bleibt. Aus dieser Makrospore entwickelt sich der Embryosack, der zum vielzelligen weiblichen Prothallium auswächst. In diesem Prothallium entstehen unterschiedlich viele Archegonien, die jeweils nur eine Eizelle enthalten (Abb. 39/1).

In dem ursprünglich einzelligen Pollenkorn entstehen durch Zellteilung 1 bis 2 kleine Zellen, die bald zugrunde gehen und wohl einem sehr stark reduzierten Prothallium entsprechen. Außerdem entstehen aus einer sogenannten Vegetationszelle die Anlage für den Pollenschlauch, aus einer generativen Zelle 2 Spermazellen, von denen eine durch den Pollenschlauch zur Eizelle geleitet wird. Nur in wenigen Fällen werden noch freibewegliche Spermatozoiden gebildet. Zwischen Bestäubung und Befruchtung können einige Monate vergehen, so daß die Ausbildung des Keimlings teilweise erst nach dem Abfallen der Samen erfolgt.

12 13

Zu den Nacktsamern zählen neben vielen ausgestorbenen etwa 800 rezente Arten. Sie lassen sich in sieben Klassen anordnen. Sie spiegeln eine beträchtliche Mannigfaltigkeit wider. Die Hauptentfaltung der Nacktsamer lag aber vor dem Auftreten der Bedecktsamer.

Bedecktsamer

Die Samenanlagen der Bedecktsamer (Unterstamm *Angiospermophytina*) sind von Fruchtblättern, die den Fruchtknoten bilden, eingeschlossen. Damit ist den Pollen der unmittelbare Zugang zu den Samenanlagen versperrt. Am oberen Teil des Fruchtknotens hat sich die Narbe als „Empfangsorgan" entwickelt. Die Entfernung zwischen Narbe und Samenanlage ist je nach Größe und Bau des Fruchtknotens verschieden. Entsprechend dieser Entfernung muß der auf der Narbe auskeimende Pollen teilweise einen sehr langen Pollenschlauch entwickeln. Die Gametophyten sind noch stärker als bei den Nacktsamern zurückgebildet. Im Pollenkorn, dem Träger des männlichen Gametophyten, gibt es keine Prothallienzellen mehr, auch Spermatozoiden sind nicht vorhanden. Im weiblichen Gametophyten werden kein vielzelliges Mega-

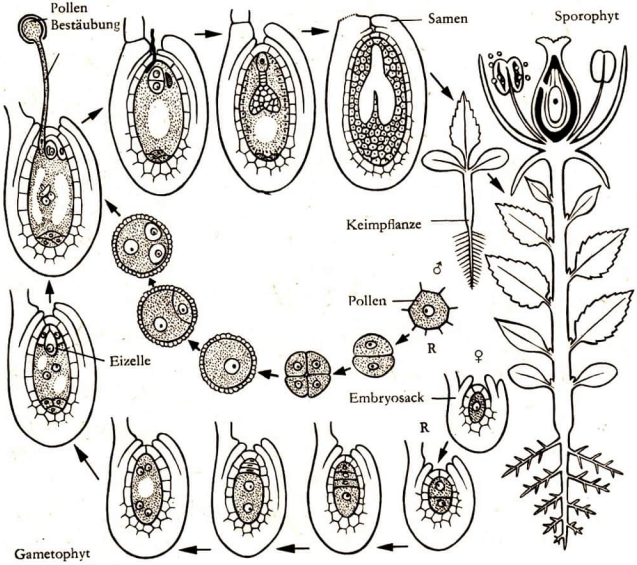


Abb. 42/1 Entwicklungszyklus bei Bedecktsamern (R = Reduktionsteilung)

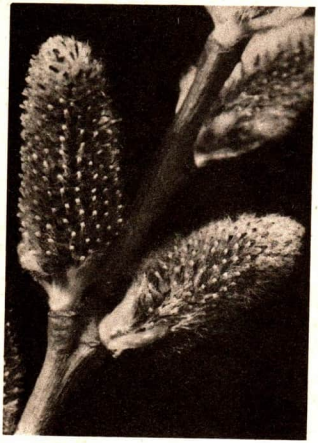


Abb. 43/1 ♀ Blütenstand der Weide

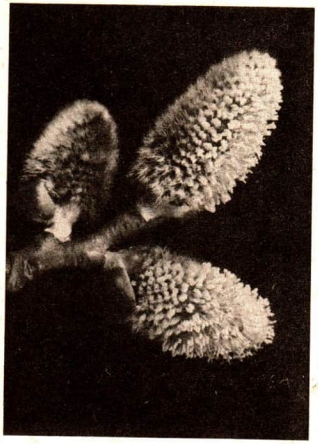


Abb. 43/2 ♂ Blütenstand der Weide

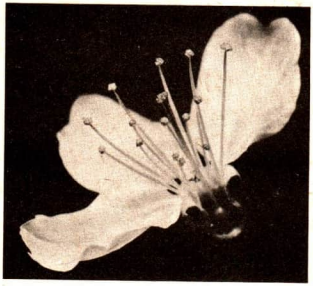


Abb. 43/3 Schnitt durch eine Kirschblüte (Längsschnitt)

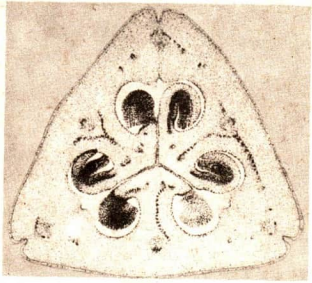


Abb. 43/4 Schnitt durch den Fruchtknoten der Tulpe (Querschnitt)

prothallium und keine Archegonien mehr entwickelt. In der Samenanlage entwickelt sich in mehreren Teilungsschritten der *Embryosack*. In vielen Fällen ist er achtzellig, eine Zelle davon ist die Eizelle.

Einen wesentlichen Unterschied zu den Nacktsamern bildet die doppelte Befruchtung bei den Bedecktsamigen. Im Gegensatz zu den Nacktsamigen sind bei ihnen beide Spermazellen funktionstüchtig. Während die eine sich mit der Eizelle vereinigt und damit die Entwicklung

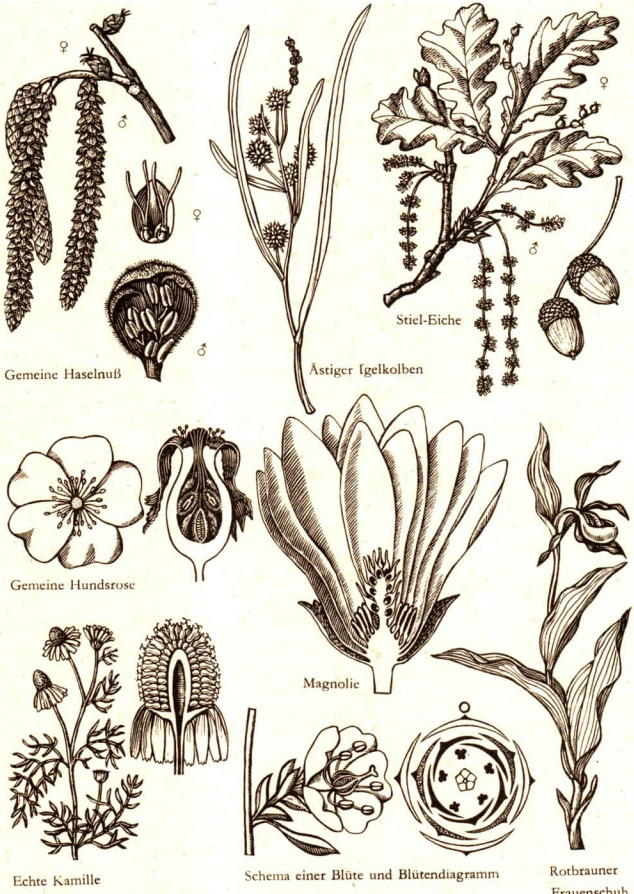


Abb. 44/1 Blüten und Früchte verschiedener Arten bedecktsamiger Pflanzen

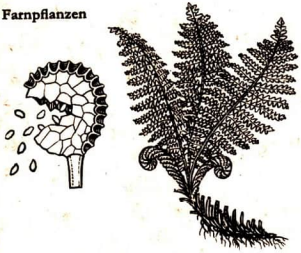
des Embryos einleitet, verschmilzt die zweite Spermazelle mit dem aus zwei Embryosackzellen entstandenen „sekundären Embryosackkern" und leitet die Bildung des Endosperms ein. Demzufolge besteht das Endosperm der Bedecktsamigen aus triploiden Zellen. Seine Entwicklung wird erst mit der Befruchtung der Eizelle eingeleitet (Abb. 42/1).

Gibt es bei den rezenten Nacktsamern nur Holzgewächse, so sind bei den Bedecktsamern daneben viele krautige Sippen ausgebildet, die mehrjährig, zweijährig oder einjährig sein können und zahlreiche unterschiedliche Wuchsformen zeigen. Die Bedecktsamer sind mit etwa 250 000 Arten die auf der Erde vorherrschende Pflanzengruppe. Sie sind von größter Bedeutung für unser Leben. 160 m hoch wird die größte von ihnen, ein Vertreter der Gattung Eukalyptus *(Myrtaceae)*, während die kleinste, *Wolffia arrhiza, (Lemnaceae)* nur 1,5 mm Länge erreicht. Die Sproßachsen tragen sehr mannigfaltige Blätter. Die Blüten sind meist zwittrig und mit einer mehr oder weniger auffälligen Blütenhülle versehen. Sie werden meist von Insekten bestäubt. Als relativ ursprünglich werden Blüten mit verlängerter Blütenachse angesehen, bei denen Staub- und Fruchtblätter in großer Anzahl spiralig an der Blütenachse stehen, bei manchen besteht auch die Blütenhülle aus einer größeren Anzahl gleichartiger Glieder in spiraliger Anordnung. In den meisten Fällen ist die Blütenachse so stark verkürzt, daß sie als Blütenboden bezeichnet wird und die Blütenglieder sind wirtelig angeordnet, wobei die Anzahl der Glieder in einem Wirtel verschieden sein kann (Abb. 44/1).

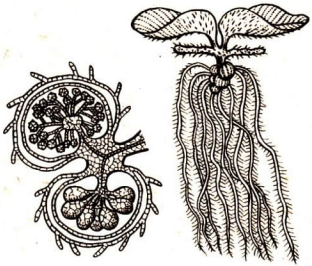
Zahlreiche Arten der Samenpflanzen wurden im Verlaufe der Jahrtausende von den Menschen kultiviert. Sie gehören vor allem den Sippen Schmetterlingsblütengewächse, Kreuzblütengewächse, Süßgräser, Nachtschattengewächse und Lippenblütengewächse an.

(14) (15) (16) (17) (18) (19)

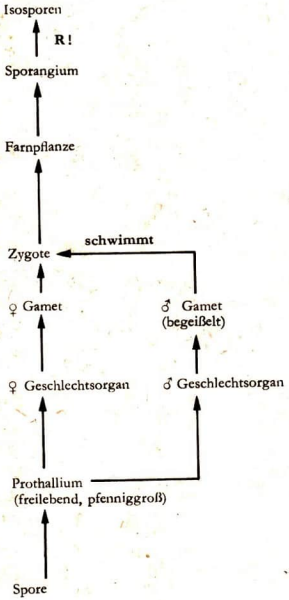
Gegenüberstellung einiger Merkmale bei Nacktsamern und Bedecktsamern	
Nacktsamer	Bedecktsamer
Holzgewächse Tracheiden und Siebröhren	Holzgewächse und Kräuter Tracheiden, Tracheen und Siebröhren mit Geleitzellen
Samenanlagen liegen frei auf der Samenschuppe	Samenanlagen sind in einem Fruchtknoten eingeschlossen
Frucht wird nicht gebildet	Ausbildung einer Frucht
Windbestäubung	Wind- oder Insektenbestäubung
Blüte meist ohne Schauapparat	Blüte ohne oder mit Schauapparat
rezent etwa 800 Arten	rezent etwa 250 000 Arten
geringere Zelldifferenzierung	stärkere Zelldifferenzierung

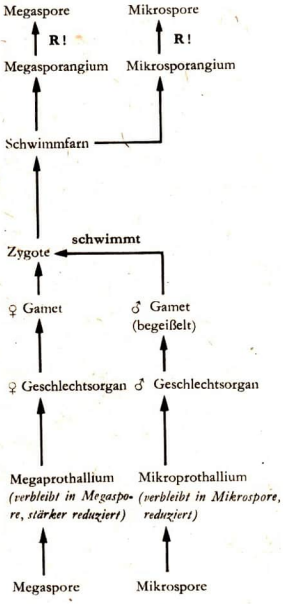


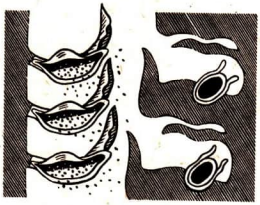
Isosporer Farn (z. B. Tüpfelfarn)

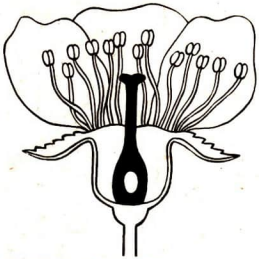


Heterosporer Farn (z. B. Schwimmfarn)









Nacktsamer (z. B. Gemeine Fichte)

Megaspore — Mikrospore

↑ Megasporangium (Samenanlage) — ↑ Mikrosporangium (Pollensack)

↑ nacktsamige Pflanze

↑ **Samen** *(Embryo u. Nährgewebe)*

Zygote ← *Pollenschlauch*

↑ ♀ Gamet — ♂ Gamet *ohne Geißel*

↑ ♀ Geschlechtsorgan — ♂ Geschlechtsorgan

↑ Megaprothallium *(verbleibt in Megaspore, stärker reduziert)* — Mikroprothallium *(verbleibt in Pollenkorn, stärker reduziert)*

↑ **R!** — ↑ **R!**

Megaspore (Embryosack) — Mikrospore (Pollenkorn)

Bedecktsamer (z. B. Süß-Kirsche)

Megaspore — Mikrospore

↑ Megasporangium (Samenanlage) — ↑ Mikrosporangium (Pollensack)

↑ bedecktsamige Pflanze

↑ **Samen** *(Embryo u. Nährgewebe)*

Zygote ← *Pollenschlauch* — Endosperm (triploid) ↑ *„doppelte" Befruchtung*

↑ ♀ Gamet — ♂ Gamet – ? Kerne *ohne Geißel*

↑ ♀ Geschlechtsorgan *(reduziert, 3 Zellen Eizelle u. Gehilfinnen)* — ♂ Geschlechtsorgan *(reduziert, 1 Zelle generative Zelle)*

↑ Megaprothallium *(verbleibt in Megaspore, nur aus 8 Zellen — Kernen — sehr stark reduziert)* — Mikroprothallium *(extrem reduziert, aus 2 Zellen — vegetative u. generative — in Mikrospore)*

↑ **R!** — ↑ **R!**

Megaspore (primitiver Embryosack) — Mikrospore (Pollenkorn)

Bezeichnung	Herkunft	Seit wann kultiviert?	Anbaugebiete
Kartoffel (*Solanum tuberosum* Familie (F) *Solanaceae*	Andenhochflächen Süd-Amerikas	mehr als 2 000 Jahre, in Europa bes. seit 18. Jh.	in allen Ländern der gemäßigten und subtropischen Breiten
Ölpalme (*Elaeis guineensis*) F *Arecaceae*	trop. West-Afrika	mehr als 2 000 Jahre	trop. West-Afrika, Kongogebiet
Kakao (*Theobroma cacao*) F *Sterculiaceae*	Mittelamerika	vor dem 15. Jh.	trop. West-Afrika, Brasilien
Kaffee (*Coffea arabica*) F *Rubiaceae*	Afrika (Äthiopien)	15. Jh.	Brasilien, Süd-Amerika, Mittelamerika, Afrika, Indien, Indonesien
Baumwolle (*Gossypium herbaceum*) F *Malvaceae*	Süd- und Ost-Asien, Mittelamerika	mehr als 3 000 Jahre	USA, UdSSR, China, Indien, Brasilien, Mexiko, VAR
Pfeffer (*Piper nigrum*) F *Piperaceae*	Süd-Indien, Malaiische Inselwelt	vor Beginn u. Z. (trop. Asien)	Südwest-Indien, Malaysia, Indonesien
Reis (*Oryza sativa*) F *Poaceae*	China	etwa 3 000 Jahre v. u. Z.	China, Indien, Staaten Hinterindiens, Japan, Pakistan, Nord- und Süd-Amerika, Afrika, Süd-Europa
Weizen (*Triticum aestivum*) F *Poaceae*	Vorderasien	Weizenarten mehr als 10 000 Jahre	fast in allen Gebieten der Erde; Haupterzeugerländer: UdSSR, USA, China, Kanada, Australien
Mais (*Zea mays*) F *Poaceae*	Mittel- und Süd-Amerika	etwa 4 000 Jahre v. u. Z.	Körnermais in fast allen subtropischen und warmgemäßigten Gebieten, in den Tropen vor allem auf Hochflächen, Haupterzeugerländer: USA, Brasilien, Mexiko, UdSSR
Kohl (*Brassica oleraceae*) F *Brassicaceae*	Iran	etwa 400 Jahre v. u. Z.	Europa, Nord-Amerika

Aus der Systematik der Tiere

Tiere und Pflanzen unterscheiden sich meist durch zahlreiche charakteristische Merkmale voneinander. Die Unterschiede zwischen Tier und Pflanze sind um so deutlicher, je höher organisiert die Lebewesen sind. Deshalb ist es beispielsweise einfach, ein Säugetier von einer Kulturpflanze zu unterscheiden. Größere Schwierigkeiten bereitet es jedoch, die niederen Lebewesen, insbesondere die Einzeller, dem Tier- oder Pflanzenreich zuzuordnen.

Als wesentliches Einteilungsprinzip im Bereich der Lebewesen gilt die Form des Stoffwechsels. Pflanzliche Organismen sind meist autotroph, tierische Organismen dagegen stets heterotroph. Die Pflanzen sind demnach Produzenten organischer Substanzen, die Tiere dagegen Konsumenten dieser Stoffe. Die hohe Reizbarkeit, verbunden mit der Entwicklung von Sinnesorganen und eines Nervensystems, die Eigenbewegung mit Ortswechsel, die innere Organgliederung und das Fehlen der für die Pflanzen typischen Zellulose in der Wand der einzelnen Zellen sind weitere charakteristische Merkmale der Tiere.

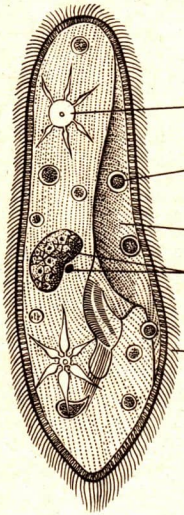
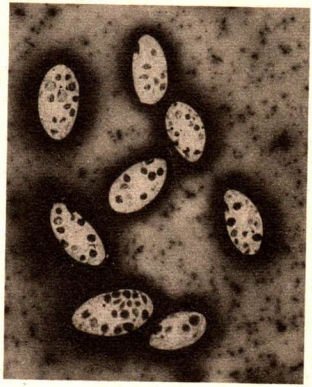


Abb. 49/1 Pantoffeltierchen (*Paramaecium*, links)

Abb. 49/2 Wimpertierchen (*Colpidium*, unten)



Urtierchen *(Protozoa)*

Bau und Lebensweise

Jedes Urtierchen besteht aus einer einzigen Zelle und ist demzufolge von winziger Körpergröße. Im allgemeinen ist es nur mit Hilfe eines Mikroskops möglich, Einzelheiten des Zellkörpers der Protozoen zu erkennen. Der Körper der Urtierchen setzt sich aus dem Plasmaleib und einem oder mehreren Zellkernen zusammen (Abb. 49/1). Dennoch verfügt ein solches einzelliges Individuum über viele der Eigenschaften, die auch ein mehrzelliger Organismus aufweist.

Differenzierungen des Protoplasmas, die den Organen höherer Tiere funktionell entsprechen und die allgemein als Organellen bezeichnet werden, befähigen die Protozoen, eine Vielzahl von Tätigkeiten auszuführen.

Die Organellen können nach ihren Funktionen unterteilt werden (/ S. 51).

Unter den einzelligen Organismen gibt es einige Gruppen, die sowohl zu den „Urtierchen" als auch zu den „Algen" gerechnet werden können. Eine dieser Zwischenformen ist das zu den Geißelträgern *(Flagellata)* gehörenden Augentierchen (*Euglena gracilis*, Abb. 53/1), welches mit Hilfe von Chlorophyll assimiliert. Werden diese Flagellaten allerdings in völliger Dunkelheit gehalten, verlieren sie ihre Farbstoffe und ernähren sich von gelösten organischen Substanzen. Dieses Verhalten stellt einen Modellfall für die Entwicklung von Lebewesen mit autotropher und heterotropher Ernährungsweise dar. Eine klare Unterscheidung von Pflanze und Tier ist bei diesen Organismen nicht möglich.

Urtierchen vermehren sich ungeschlechtlich durch Teilung und Knospung. Sie können sich auch geschlechtlich durch Kopulation oder Konjugation fortpflanzen.

Die Protozoen sind von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung, beispielsweise bei der biologischen Selbstreinigung der Gewässer.

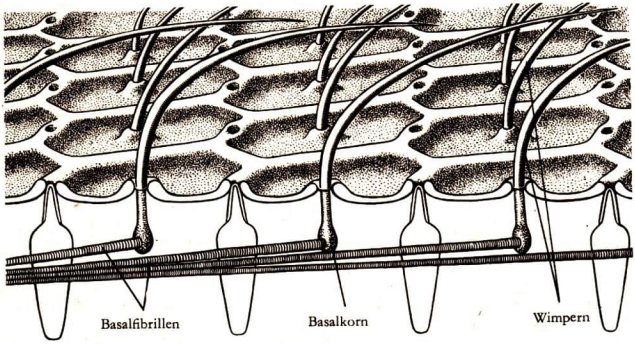
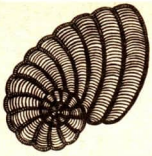
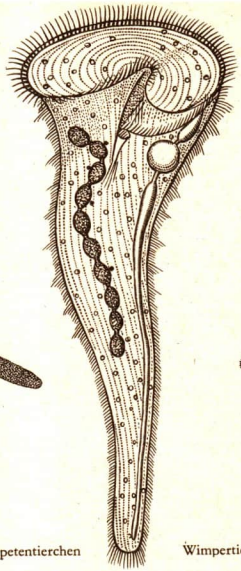


Abb. 50/1 Wimpernapparat eines Pantoffeltierchens (stark vergr.)

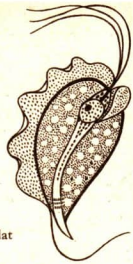
Zellorganellen		
Funktion	Ausbildungsform	Kennzeichnung
Bewegungs-organellen	Scheinfüßchen (Pseudopodien)	Durch Quellung und Entquellung des Zellplasmas vorübergehend gebildete Körperfortsätze.
	Geißeln (Flagellen)	Mindestens körperlange Plasmafäden, die in 1-, 2- oder 4-Zahl vorkommen. Nach vorn gerichtet = Zuggeißeln; nach hinten gerichtet = Schleppgeißeln.
	Wimpern (Zilien)	Kurze fadenartige Plasmafortsätze, meist in Reihen angeordnet.
	Kontraktile Fasern (Myoneme)	Innerhalb des Zellkörpers befindliche kontraktile Plasmastränge.
Ernährungs-organellen	Zellmund	Einsenkung der Zelloberfläche, an welcher Nahrung aufgenommen wird.
	Zellschlund	Röhrenförmige Einstülpung.
	Zellafter	Öffnung in der Zellhaut (Pellikula) zur Abgabe der Nahrungsreste.
	Nahrungsvakuolen	Hohlräume innerhalb der Zelle, in denen Nahrung aufbereitet und verdaut wird.
	Scheinfüßchen (Pseudopodien)	Plasmafortsätze, die Nahrungsteile umschließen und in die Zelle befördern.
Osmoregulations- bzw. Exkretions-organellen	Pulsierende (kontraktile) Vakuole	Flüssigkeitsbläschen, welches der Entfernung von überflüssigem Wasser und Exkretstoffen dient.
Organellen der Reizaufnahme und Erregungsleitung	Augenflecke (Stigmen)	Pigmente besitzende, lichtempfindliche Organellen.
	Tastzilien	Plasmafortsätze, die der mechanischen Reizaufnahme dienen.
Kernteilungs-organellen	Zentralkörperchen (Zentrosoma)	In Kernnähe befindliches, kugeliges Organell, welches die Teilungsspindel für die nachfolgende Zellteilung bildet.
Schutzorganellen	Zellhaut (Pellikula)	Verfestigte, den Zellkörper umschließende Ektoplasmaschicht.
	Zystenhüllen	Aus verschiedenen Substanzen (Plasma, Gallerte, Chitin, Zellulose) bestehende Schutzhülle.
Stützorganellen	Gehäuse, Schalen	Abgeschiedene Zellprodukte (Chitin, Kieselsäure, Kalziumkarbonat), die den Plasmakörper umschließen; zum Teil mit aufgelagerten Fremdkörpern.
	Skelette	Anorganische Stützelemente (z. B. Kieselsäure) innerhalb des Plasmaleibes.



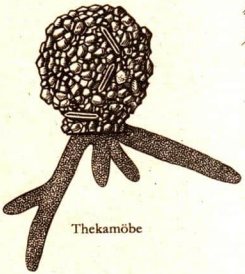
Foraminifere



Trompetentierchen



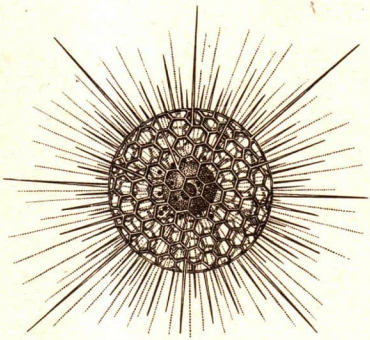
Flagellat



Thekamöbe

Wimpertierchenkolonie

Gregarine



Radiolarie

Pansenziliat

Einteilung

Die Formenmannigfaltigkeit der Protozoen ist außerordentlich groß. Von den gestaltlosen Plasmaklümpchen der Wurzelfüßer bis zu den Strahlentierchen, die von Ernst HAECKEL als Kunstformen der Natur bezeichnet wurden, von den ovalen Sporentierchen bis zu den Glockentierchen oder baumförmig verzweigten Wimpertierchenkolonien gibt es die verschiedenartigsten Bildungen. Einen kleinen Überblick über die verschiedenen Formen vermittelt die Abbildung 52/1. Die Urtierchen bilden keine monophyletische Gruppe, sie lassen untereinander nur in manchen Fällen verwandtschaftliche Bindungen erkennen. Eine Aufstellung eines phylogenetischen Systems der Einzeller ist zur Zeit wegen der noch ungenügenden Kenntnis dieser Lebewesen nicht möglich. Gegenwärtig werden sie in vier Gruppen (Klassen) unterteilt.

Stamm: Urtierchen *(Protozoa)*			
Klasse: Geißeltierchen *(Flagellata)*	Klasse: Wurzelfüßer *(Rhizopoda)*	Klasse: Sporentierchen *(Sporozoa)*	Klasse: Wimpertierchen *(Ciliata)*

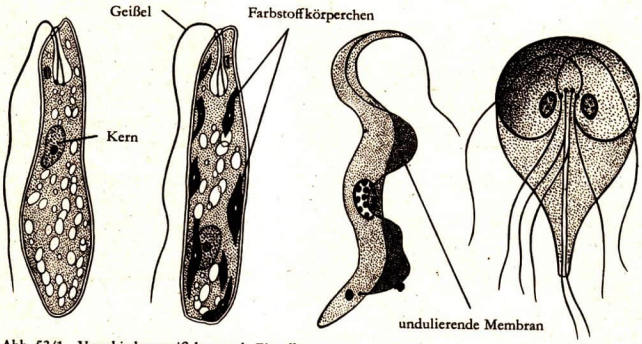


Abb. 53/1 Verschiedene geißeltragende Einzeller

Geißeltierchen *(Flagellata)*. Die Geißeltierchen bilden die ursprünglichste Gruppe der Protozoen und scheinen die Ausgangsgruppe für die vielzelligen Pflanzen und Tiere zu sein. Ihr auffälligstes Merkmal ist das Vorhandensein einer oder mehrerer Geißeln (Abb. 53/1). Die Fortpflanzung erfolgt durch einfache Längsteilung.

Abb. 52/1 Verschiedene Arten von Urtierchen (gegenüberliegende Seite)

Viele Geißeltierchen leben als Parasiten in anderen Tieren und im Menschen. Besonders gefährlich sind die im tropischen Afrika vorkommenden Trypanosomenarten, die beim Menschen die Schlafkrankheit und bei Tieren die Naganaseuche hervorrufen.

Wurzelfüßer *(Rhizopoda)*. Einige Gruppen der Wurzelfüßer sind ebenfalls sehr einfach gebaut. Mit Hilfe von Scheinfüßchen (Pseudopodien), die gleichzeitig der Nahrungsaufnahme dienen, bewegen sie sich langsam vorwärts. Wegen ihrer veränderlichen Körpergestalt werden diese Organismen als Wechseltierchen bezeichnet (Abb. 54/1).

Abb. 54/1 Nahrungsaufnahme bei Amoeben

Von ihnen leiten sich Formen mit einer einfachen Schale (Thekamöben) ab. Gehäusebildungen finden sich in verschiedenster Form bei den Foraminiferen, plasmatische Stützorganellen bei den Sonnentierchen und anorganische Skelettbildungen bei den Strahlentierchen (Abb. 52/1).

Sporentierchen *(Sporozoa)*. Wegen ihrer ausschließlich parasitischen Lebensweise gehören die Sporentierchen zu den wichtigsten Urtierchen. Sie sind verhältnismäßig klein, fast unbeweglich und nehmen ihre Nahrung durch Osmose auf. Im Verlauf ihrer komplizierten Vermehrungszyklen, die in vielen Fällen sowohl Generationswechsel als auch Wirtswechsel aufweisen, entstehen Formen, die in feste Hüllen eingeschlossen sind und der Verbreitung dienen. Diese Gebilde werden als Sporen bezeichnet. Die medizinisch wichtigsten Sporentierchen sind die Plasmodien als Erreger der Malaria, die durch Fiebermücken *(Anopheles)* übertragen werden.

Wimpertierchen *(Ciliata)*. Wimperkleid, kräftige Zellmembran (Pellikula) und gelegentliche geschlechtliche Fortpflanzung in Form von Konjugation zeichnen die Wimpertierchen aus. Nach Art der Bewimperung lassen sie sich in verschiedene Gruppen aufteilen. Bekannteste Form unter den Wimpertierchen ist das in jedem Heuaufguß zu findende Pantoffeltierchen *(Paramaecium* sp., Abb. 49/1 u. 49/2). An diesem Einzeller lassen sich die typischen Merkmale (z. B. Groß- und Kleinkern, Zilien, Nahrungs- und Exkretionsorganellen) sehr leicht erkennen.

► Urtierchen sind einzellige Tiere ohne echte Organe oder Gewebe, sie besitzen Organellen und kommen freilebend oder festsitzend vor. Sie ernähren sich heterotroph und leben gelegentlich symbiontisch oder parasitisch.

Urtierchen pflanzen sich ungeschlechtlich durch Teilung der Zelle oder geschlechtlich durch Konjugation oder Kopulation fort. Bei parasitisch lebenden Formen tritt Generationswechsel auf.

Einige Urtierchen sind von großer medizinischer, biologischer und volkswirtschaftlicher Bedeutung, unter ihnen gibt es zahlreiche Krankheitserreger (z. B. Erreger von Malaria, Schlafkrankheit)

Tierische Vielzeller

Die Frage nach der Entwicklung vom einzelligen zum mehrzelligen Organismus kann auch heute noch nicht eindeutig beantwortet werden. Im wesentlichen bestehen zwei Auffassungen über diesen bedeutungsvollen Schritt.

Die eine Auffassung besagt, daß vielkernige Wimpertierchen die Ausgangsformen dieser Entwicklung darstellen. Um jeden einzelnen Kern des Zellkörpers haben sich Zellwände gebildet, bis schließlich ein mehrzelliger Organismus entstand, der eine gewisse Ähnlichkeit mit darmlosen, primitiven Strudelwürmern hatte. Die andere, weitaus begründetere Auffassung geht davon aus, daß sich die Mehrzeller aus Flagellatenkolonien mit hochgradiger Funktionsteilung entwickelt haben (Kugelalgen, / S. 22 f.). Einer solchen Kolonie entspricht weitgehend der Bau des Blasenkeims (Blastula), eines Stadiums in der Keimesentwicklung der Mehrzeller. Im weiteren Verlauf der ontogenetischen Entwicklung der Vielzeller folgt der Becherkeim (Gastrula), der aus zwei aneinanderliegenden Zellschichten besteht. Die innere Zellschicht (Entoderm) bildet einen zentralen Hohlraum, den Urdarm, der durch eine einzige Öffnung (Urmund) mit der Außenwelt in Verbindung steht. Innerhalb der Mehrzeller *(Metazoa)* finden sich auch heute noch solche ursprüngliche Formen, deren Körperbau sich nicht wesentlich vom Bauplan einer Gastrula unterscheidet. In der überwältigenden Mehrzahl haben sich die Vielzeller jedoch zu Formen mit kompliziert gebauten Geweben und Organen entwickelt.

Hohltiere *(Coelenterata)*

Bau und Lebensweise

Die Hohltiere sind radiär-symmetrische Tiere, die bis auf einige Gruppen dem Bauplan einer Gastrula entsprechen (Abb. 56/1). Ihr Körper besteht aus zwei Epithelschichten, die durch eine meist zellenlose Stützlamelle voneinander getrennt sind. Das innere Epithel (Entoderm) umgibt einen Hohlraum, welcher entsprechend seiner Funktion als Magen bezeichnet wird. Die Zugangsöffnung dient gleichermaßen als Mund und als After. Um diese Öffnung sind bei fast allen Hohltieren Tentakel (Fangarme) angeordnet.

Die Hohltiere besitzen bereits Gewebe (z. B. Epithelien, Muskelgewebe, Nervengewebe). Dabei sind Muskel- und Nervensystem noch sehr einfach gebaut. Sie werden von Zellen der Epithelien gebildet. Beispielsweise verbreitern sich die Ektodermzellen an der Basis und entwickeln kontraktile Fasern, die in der Längsrichtung des Tieres verlaufen. Die Zellen haben also eine Doppelfunktion. Sie sind zugleich Epithel- und Muskelzelle und werden Epithelmuskelzellen genannt (Abb. 56/1). Das Ektoderm bildet dabei die Längsmuskeln, das Entoderm die Ringmuskeln. Die Leistung dieser primitiv gebauten Epithelmuskelzellen ist beträchtlich, vermögen sie doch die Tentakel auf $^1/_8$, in manchen Fällen sogar den ganzen Körper auf $^1/_{10}$ seiner Länge zu verkürzen.

Neben den Epithelmuskelzellen kommen in den Epithelien Sinneszellen vor, die mit einem nach außen ragenden Fortsatz Reize aufnehmen und Impulse über eine spezifische Faser zu einem weitmaschigen und diffusen Nervennetz leiten (Abb. 56/1 u. 85/1). Dieses Nervensystem wird von beiden Epithelien gebildet und besteht aus Nervenzellen, die durch Ausläufer miteinander verbunden sind.

Nesselzellen im Ektoderm sind charakteristisch für die Nesseltiere, zu denen 99% der Hohltiere gehören.

In den Nesselzellen befinden sich die Nesselkapseln (Abb. 56/2), die als komplizierteste

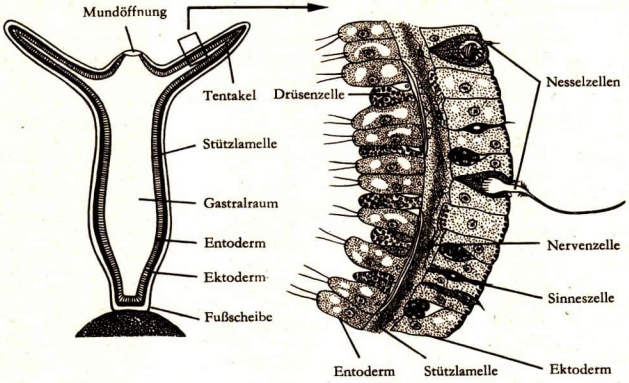


Abb. 56/1 Süßwasserpolyp (links Schemadarstellung, rechts Ausschnitt aus der Körperwand; stark vergr.)

Zellbildungen des gesamten Tierreiches angesehen werden können und in den Tentakeln besonders häufig vorkommen. In ihrem inneren Hohlraum befindet sich ein aufgerollter Nesselfaden. Der Faden kann herausgeschleudert werden. Mit Hilfe der Nesselzellen vermögen die Nesseltiere ihre Beute zu überwältigen; zugleich dienen sie dem Schutz der Tiere. Gebildet werden die Nesselkapseln von undifferenzierten Zellen, den Ersatzzellen, die sich auch zu verschiedenen anderen Zellarten entwickeln können.

Im Zusammenwirken mit Epithelzellen vermögen diese Ersatzzellen aus kleinsten Körperfragmenten ein neues Tier aufzubauen. Das Regenerationsvermögen steht weitgehend mit der Differenzierungshöhe der einzelnen Tiergruppen in Zusammenhang und ist bei den Hohltieren besonders stark ausgeprägt.

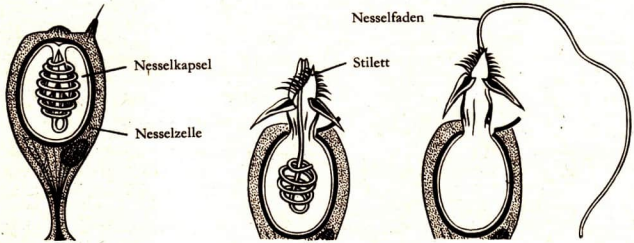


Abb. 56/2 Funktionsweise einer Nesselkapsel

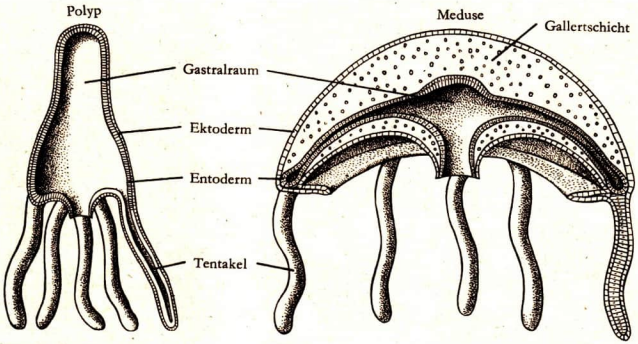


Abb. 57/1 Hohltiere

✦ Die Nesseltiere kommen als festsitzender Polyp und als freischwimmende Meduse vor. Trotz ihres unterschiedlichen Aussehens lassen sich Polypen und Medusen auf die gleiche Grundgestalt zurückführen (Abb. 57/1). Während die Polypen eine mehr zylindrische Gestalt haben, ist die Körperlängsachse der Medusen gestaucht und ihr Körperdurchmesser vergrößert. Außerdem ist die Stützlamelle zu einer mächtigen Gallertschicht verdickt.

Bei der Vermehrung der Nesseltiere tritt ein Generationswechsel auf. Meist wechseln Polypen- und Medusengenerationen in der Weise ab, daß aus Polypen durch Knospung Medusen entstehen, die ihrerseits wiederum aus befruchteten Eiern Polypen hervorbringen. Bei einigen Gruppen der Hohltiere ist allerdings die Medusengeneration rückgebildet, bei anderen fehlt die Polypengeneration. Lösen sich die durch Knospung erzeugten Tochterpolypen nicht vom Muttertier, entstehen Kolonien, die sich aus einer großen Anzahl von Einzelpolypen zusammensetzen. Vielfach kommt es in derartigen Tierstöcken (z. B. Staatsquallen) zu Arbeitsteilungen, indem beispielsweise manche Individuen als Freßpolypen fungieren, andere wiederum der Fortpflanzung oder dem Schutz der Kolonie dienen.

Die koloniebildenden Formen scheiden vielfach Chitin-, Horn- oder Kalkskelette ab. Bei den Korallentieren können diese abgeschiedenen Stützsubstanzen gewaltige Ausmaße annehmen. Riesige Barriereriffe und unzählige Atolle in den tropischen Meeren sind durch die massenhafte Entwicklung der Korallentiere entstanden (Abb. 58/1).

Einteilung

Die Hohltiere werden in die Nesseltiere *(Cnidaria)* und die nesselkapselfreien Rippenquallen *(Ctenophora)* unterteilt. ✦

Stamm: Hohltiere *(Coelenterata)*	
Unterstamm: Nesseltiere *(Cnidaria)*	Unterstamm: Rippenquallen *(Ctenophora)*

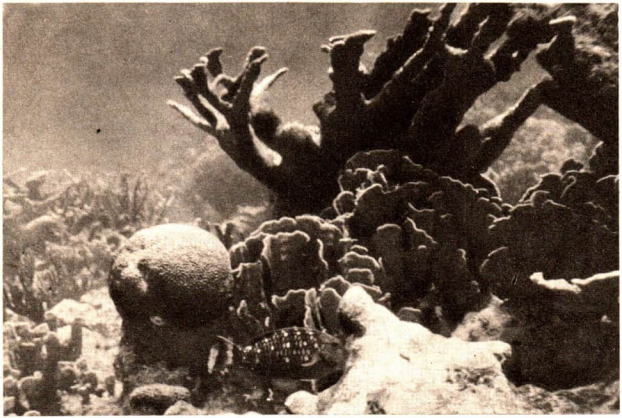


Abb. 58/1 Korallenriffe in tropischen Meeren

Nesseltiere			
Klasse	wesentliche Merkmale	Vorkommen	bekannte Arten
Polypentiere	Medusengeneration stark rückgebildet	Meer- und Süßwasser	Süßwasserpolypen
Schirmquallen	Medusen größer und auffälliger als Polypen, einige Arten stark nesselnd	Meer	Ohrenquallen, Feuerquallen
Korallentiere (Blumentiere)	stets festsitzende Polypen, einzeln oder koloniebildend, oft prächtig gefärbt	Meer (wärmere Gebiete)	Edelkorallen, Seerose, Seenelke, Seeanemone, Steinkorallen (Riffbildner)

▶ Hohltiere sind ausschließlich im Wasser lebende, niedrig organisierte, radiärsymmetrisch gebaute Vielzeller mit 2 Zellschichten (Ektoderm, Entoderm), die durch eine Stützlamelle getrennt sind.

Hohltiere kommen als festsitzende, zylinderförmige Polypen und als freischwimmende schirmförmige Quallen vor.

Innerhalb der Zellschichten erfolgt eine weitgehende Differenzierung der Zellen (z. B. Nesselzellen).

Zweiseitentiere *(Bilateria)*

Bei den höher entwickelten Mehrzellern ist eine sekundäre Leibeshöhle, das Zölom, ausgebildet. Sie entsteht aus Bildungen eines dritten Keimblattes (Abb. 62/1). Es wird zwischen dem äußeren Keimblatt (Ektoderm) und dem inneren Keimblatt (Entoderm) gebildet und deshalb als mittleres Keimblatt (Mesoderm) bezeichnet. Das Mesoderm ist aus dem Entoderm hervorgegangen. Die sekundäre Leibeshöhle ist mit einer Flüssigkeit gefüllt und mit Kanälen verbunden, die nach außen münden. Alle höher entwickelten Mehrzeller sind zweiseitig symmetrisch (bilateral). Man kann bei ihnen eine Bauch- und eine Rückenseite, ein Vorder- und ein Hinterende, eine rechte und eine linke Körperhälfte unterscheiden. Alle Stämme mit diesen Merkmalen werden zu den *Bilateria* zusammengefaßt.

Nach Bildung der Mundöffnung lassen sich bei den *Bilateria* Urmundtiere *(Protostomia)* und Neumundtiere *(Deuterostomia)* unterscheiden (Abb. 60/1).

Bei den *Urmundtieren*, zu denen beispielsweise die Anneliden gehören, wird der Urmund des Gastrulastadiums zur bleibenden Mundöffnung, während der After neu gebildet ist. Das Nervensystem liegt auf der Bauchseite des Körpers. Die Urmundtiere besitzen in der Regel ein Außenskelett (Abb. 64/1).

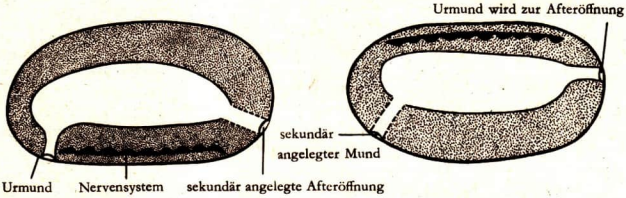


Abb. 60/1 Unterschiedliche Entwicklung der Mund- und Afteröffnung bei *Protostomia* (links) und *Deuterostomia* (rechts)

Der Urmund der *Neumundtiere* wird dagegen zur Afteröffnung; die eigentliche Mundöffnung bildet sich am entgegengesetzten Ende aus. Das Nervensystem liegt auf der Rückenseite des Körpers, es sind Rückenmarktiere (Abb. 60/1). Das Skelett ist ein Innenskelett.

Gliedertiere *(Articulata)*

Zu den Gliedertieren gehören die meisten der heute auf der Erde lebenden Tierarten. Sie werden in 5 Gruppen zusammengefaßt. Die artenreichsten und bedeutendsten sind die Ringelwürmer *(Annelida)* und die Gliederfüßer *(Arthropoda)*.

Gliedertiere *(Articulata)*				
Ringelwürmer *(Annelida)*	Stummelfüßer *(Onychophora)*	Bärtierchen *(Tardigrada)*	Zungenwürmer *(Pentastomieda)*	Gliederfüßer *(Arthropoda)*

Gemeinsame Merkmale der Ringelwürmer und Gliederfüßer:
- es werden hintereinanderliegende Segmente ausgebildet, in denen die wichtigsten inneren Organe jeweils wieder vorkommen;
- es sind serienweise angeordnete Segmentanhänge (Extremitäten) vorhanden, die meist der Fortbewegung dienen;
- ein Blutgefäßsystem ist ausgebildet;
- das Zentralnervensystem liegt in Form eines Strickleiternervensystems vor.

Ringelwürmer *(Annelida)*

Die Ringelwürmer (Abb. 61/1) sind durch eine auch äußerlich deutlich sichtbare Körpergliederung gekennzeichnet. Die Körperwand besteht aus einer drüsenreichen Epithelschicht und einer von ihr abgeschiedenen eiweißhaltigen Kutikula sowie einer äußeren Ring- und einer

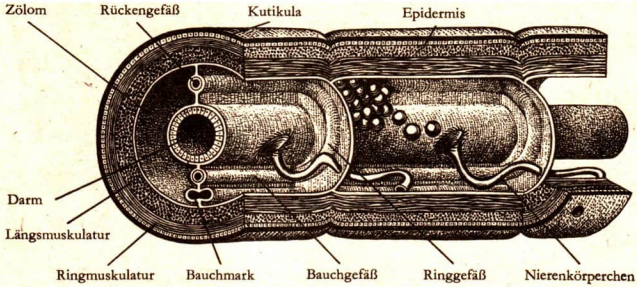


Abb. 61/1 Körperbau eines Anneliden (schematisch)

inneren Längsmuskelschicht (Abb. 61/1 bis 61/3). Zwischen diesem Hautmuskelschlauch und dem das ganze Tier durchziehenden Darm befindet sich die Leibeshöhle.

Das Blutgefäßsystem besteht aus einem Rückengefäß, welches die rot, gelb oder grün gefärbte Blutflüssigkeit von hinten nach vorn führt, und aus einem Bauchgefäß, in welchem das Blut von vorn nach hinten fließt. Beide Längsgefäße sind durch Ringgefäße miteinander verbunden. An verschiedenen Stellen des Blutgefäßsystems sind kontraktile Abschnitte ausgebildet, die das Blut durch das Gefäßsystem pumpen (Abb. 62/2).

Als Ausscheidungsorgane dienen Nierenkörperchen (Nephridien, Abb. 61/1). Diese paarig angelegten Organe beginnen in jedem Segment als offener Wimpertrichter im Zölom, durchbrechen mit einem geschlängelten Kanal die Hinterwand des Zölomsäckchens und münden schließlich im nachfolgenden Segment durch den Hautmuskelschlauch nach außen. Die Nierenkanälchen sind mit einem feinen Flimmerepithel ausgekleidet. Neben den Exkreten werden durch sie auch die Geschlechtszellen nach außen befördert. Die Geschlechtsorgane sind ursprünglich segmental angeordnet, bei höher differenzierten Formen kommen sie nur

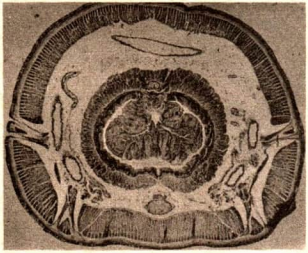


Abb. 61/2 Querschnitt durch einen Regenwurm (*Lumbricus*)

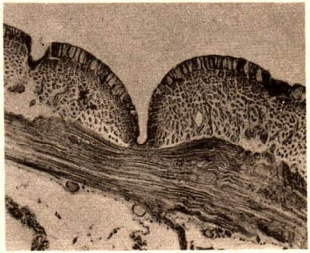


Abb. 61/3 Längsschnitt durch die Hautmuskelschicht des Regenwurms (*Lumbricus*)

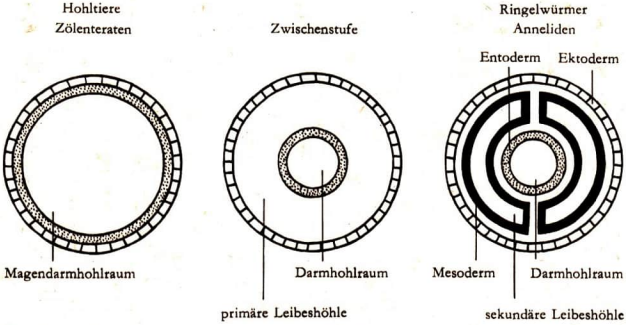


Abb. 62/1 Differenzierung der inneren Organe bei Wirbellosen

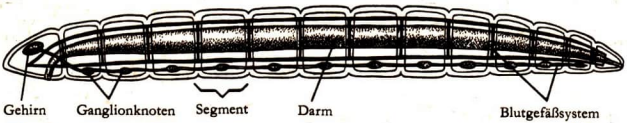


Abb. 62/2 Bauplan des Ringelwurms

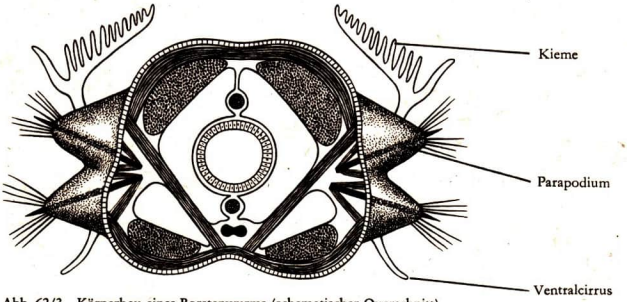


Abb. 62/3 Körperbau eines Borstenwurms (schematischer Querschnitt)

noch in bestimmten Körperabschnitten vor. Das Nervensystem besteht aus einem über dem Vorderdarm liegenden Oberschlundganglion (Gehirn) und dem Bauchmark, welches sich aus zwei Längsreihen paarig angeordneter und miteinander verbundener Ganglienknoten zu-

sammensetzt (Abb. 62/2). Zu den am Vorderende des Körpers besonders zahlreichen Sinnesorganen führen Nervenstränge vom Gehirn. Außerdem gehen von ihm zwei den Schlund umgreifende Nervenlängsstämme (Schlundringe) ab, die sich mit dem Bauchmark verbinden. Die segmental angeordneten Ganglienknoten stehen miteinander durch Längsstämme und Querstränge in Verbindung (Strickleiternervensystem).

✦ Zu den Ringelwürmern gehören die Klassen der Borstenwürmer und der Gürtelwürmer.

Borstenwürmer *(Polychaeta)*. Die fast ausschließlich im Meer lebenden Borstenwürmer sind durch segmental ausgebildete Stummelfüßchen (Parapodien) charakterisiert (Abb. 62/3). Andere Borstenwürmer leben in Röhren und Gängen des Meerbodens, wie beispielsweise der Sandpier oder Köderwurm der Ostseeküste.

Gürtelwürmer *(Clitellata)*. Die Gürtelwürmer, die zur Fortpflanzungszeit eine ringförmige, aus Drüsengewebe bestehende Anschwellung am Körper zeigen, sind vorwiegend Süßwasser- und Bodenbewohner. Bekannteste Vertreter dieser Klasse sind Regenwürmer und Blutegel. ✦

► Ringelwürmer haben einen gleichmäßig gegliederten Körper, ein geschlossenes Blutgefäßsystem und ein zentrales Nervensystem (Strickleiternervensystem). Sie pflanzen sich geschlechtlich fort.

Zu den Ringelwürmern gehören die Borstenwürmer und die Gürtelwürmer.

Gliederfüßer *(Arthropoda)*

Mit etwa 900 000 Arten bilden die Gliederfüßer den artenreichsten Tierstamm, sie stellen auch die höchstentwickelten Urmundtiere *(Protostomia)* dar. Ihre Leistungen lassen sich in vielen Fällen nur mit denen der Wirbeltiere vergleichen.

Die Bezeichnung Gliederfüßer ist von den gegliederten Extremitäten hergeleitet, die nicht nur als Bewegungsorgane, sondern auch als Greif- und Mundwerkzeuge dienen. Die Ex-

Unterschiedliche Merkmale bei Ringelwürmern und Gliederfüßern

Merkmal	Ringelwürmer	Gliederfüßer
Extremitäten	ungegliedert, dienen nur der Fortbewegung	gegliedert, dienen zur Fortbewegung und als Greif- und Mundwerkzeuge
Segmentierung	gleichmäßig (homonom)	ungleichmäßig (heteronom)
Blutgefäßsystem	fast stets geschlossen	stets offen
Leibeshöhle	sekundäre Leibeshöhle	primäre und sekundäre Leibeshöhle verschmelzen zum Mixozöl
Körperbedeckung, Festigung	Hautmuskelschlauch	Chitinkutikula (Außenskelett)

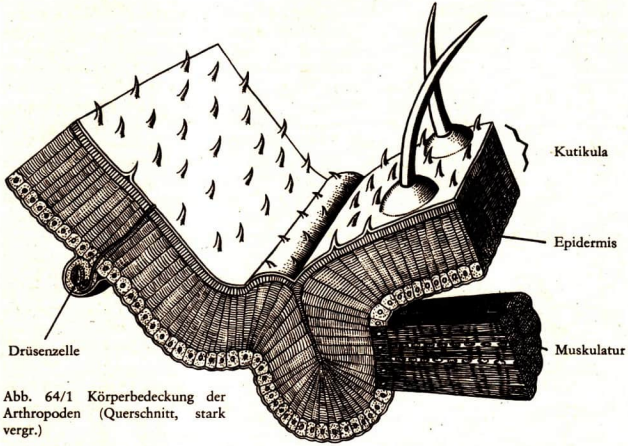


Abb. 64/1 Körperbedeckung der Arthropoden (Querschnitt, stark vergr.)

tremitäten lassen sich von den ungegliederten segmentalen Körperanhängen (Parapodien) der Ringelwürmer ableiten, die in ihrer ursprünglichen Form zweiästig sind und eine Vielzahl von Borsten tragen (Abb. 62/3).

Ein wichtiges Merkmal der Arthropoden ist das den ganzen Körper bedeckende Außenskelett (Abb. 64/1). Es wird von der Epidermis abgeschieden und besteht im wesentlichen aus Chitin.

Das Chitin, ein stickstoffhaltiges Polysaccharid, ist eine sehr leichte Substanz, die an Härte, Zähigkeit, Flexibilität und Widerstandsfähigkeit gegenüber Chemikalien bisher noch von keinem synthetischen Stoff erreicht wird. Erst das Vorhandensein dieses Chitinpanzers er-

Parapodium eines Anneliden — Bein eines Krebses — Bein eines Insekts

Abb. 64/2 Entwicklung der Extremitäten bei Gliedertieren

möglichte es den Gliederfüßern, vom Wasser- zum Landleben überzugehen, den Luftraum zu erobern und dabei eine sehr große Formenmannigfaltigkeit und Entwicklungshöhe zu erlangen.

Die Körperdecke der Arthropoden ist von unterschiedlicher Stärke. Sie besteht aus plattenförmig verstärkten Abschnitten, die durch dünne Membranen miteinander verbunden sind und die Gliedertiere vor äußeren Einwirkungen und gegen Austrocknung schützen. Gleichzeitig dient sie aber auch als Skelett, sie dient der Muskulatur als Ansatzpunkt und gibt dem Körper Halt. Einlagerung von Kalk und anderen Fremdstoffen kann die Chitinkutikula zu einem panzerähnlichen Gebilde verfestigen. Die Starrheit des Außenskeletts begrenzt allerdings auch die Größenzunahme des Arthropodenkörpers. Diese Tiere müssen sich von Zeit zu Zeit häuten, also die alte, zu klein gewordene Chitinhülle abwerfen und sie durch ein neues und größeres Außenskelett ersetzen. Zahlreiche Gliedertiere beenden das Wachstum mit dem Erreichen des fortpflanzungsfähigen Stadiums (z. B. Insekten).

Das Blutgefäßsystem weicht im Bau wesentlich von dem der Anneliden ab. Durch seitliche Öffnungen gelangt die Körperflüssigkeit aus der Leibeshöhle in ein auf der Rückenseite liegendes, langgestrecktes Gefäß („Herz"). Von dort wird das aus Blutzellen und Gewebeflüssigkeit bestehende Blut durch eine Aorta in die Leibeshöhle zurückgepumpt. Durch Spalten, Lücken und Kanäle des Körperinnern gelangt das Blut schließlich zu den Eingeweiden und allen anderen Organen. Der Blutstrom verläuft aber nicht in miteinander verbundenen Gefäßen. Gliederfüßer besitzen einen offenen Blutkreislauf. Der Gasaustausch erfolgt im wesentlichen über ein Tracheensystem. Nur die im Wasser lebenden Arten atmen meist durch Kiemen. Ganz zarthäutige und kleine Individuen vermögen ihren Gasaustausch sogar durch die dünnwandige Hautoberfläche zu führen.

Die Kiemen sind als blatt- oder büschelförmige Körperausstülpungen ausgebildet, die ein reiches Kapillarnetz besitzen oder mindestens stark von Blut durchströmt werden. Meist befinden sie sich an den basalen Gliedern der Extremitäten oder an den Rumpfseiten. Bei manchen Arten (z. B. bei Krebsen) liegen sie auch in einer grubenartigen Körpervertiefung, der sogenannten Kiemenhöhle.

Die landbewohnenden Gliederfüßer besitzen ein lufterfülltes Röhrensystem, das in Form von Tracheen oder Fächerlungen auftritt.

Die Fächerlungen der Spinnentiere – teilweise auch Fächertracheen genannt – bestehen aus hohlen Tracheenblättern, die in einen bluterfüllten Hohlraum des Körpers ragen.

Das Zentralnervensystem ist ein Strickleiternervensystem, das bei vielen Vertretern stark abgewandelt ist. So verschmelzen beispielsweise bei langgestreckten Gliederfüßern die paarigen Ganglien zu unpaaren Nervenknoten. Bei höher entwickelten Arten kommt es durch Zusammenrücken und Verschmelzen der Ganglienknoten im Bereich des Kopf- und Brust-

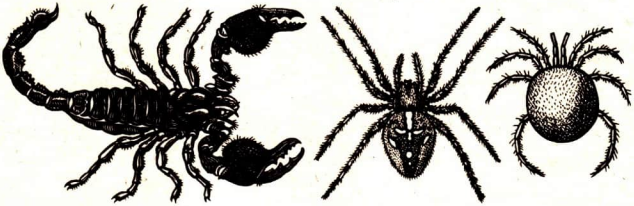


Abb. 65/1 Verschiedene Spinnentiere

abschnitts zu einer Konzentration der Nervenzellen im Zerebralganglion und im Unterschlundganglion. Hochentwickelte Sinnesorgane sind im Bereich des Kopfes (z. B. Komplexaugen, Antennen, chemische Sinnesorgane) ausgebildet.

Die systematische Gliederung der Gliederfüßer ist noch recht uneinheitlich und hängt weitgehend davon ab, welche Einteilungskriterien von den Zoologen angewendet werden. Zu den Gliederfüßern gehören die Klassen Spinnentiere, Krebstiere, Vielfüßer und Insekten.

Spinnentiere *(Chelicerata)*. In der Körpergliederung, der Anzahl der Extremitäten und im Bau der Mundwerkzeuge unterscheiden sich die etwa 35 000 Spinnentierarten deutlich von den anderen Gliederfüßern (Abb. 65/1). Der Hinterleib besitzt keine Extremitäten, jedoch in manchen Gruppen Spinnwarzen (Webspinnen) oder Giftstachel (Skorpione).

Als Mundwerkzeuge besitzen die Spinnentiere ein Paar Kieferfühler (Cheliceren) und ein Paar Kiefertaster (Pedipalpen). Die Kieferfühler können als Beiß-, Stech- und Saugorgane ausgebildet sein. Häufig finden sich an ihnen scherenartige Gebilde oder klauenförmige Fortsätze. Auch Giftdrüsen münden nicht selten an ihnen aus. Fühler fehlen den Spinnentieren. Als Atemorgane dienen den primitiven Spinnentieren Fächertracheen; höher entwickelte Formen besitzen Röhrentracheen. Milben vermögen auch durch die Haut zu atmen.

Zu den Spinnentieren gehören die noch sehr ursprünglichen, im Wasser lebenden Pfeilschwanzkrebse. Weitere Spinnentiere sind die mit einem Giftstachel ausgerüsteten und lebendgebärenden Skorpione, die eigentlichen Spinnen und das Heer der unscheinbaren, aber medizinisch und wirtschaftlich bedeutsamen Milben.

Krebstiere *(Crustacea)*. Die vorwiegend das Wasser bewohnenden Krebse atmen durch Kiemen. Bisher sind etwa 25 000 Arten bekannt, von denen die größten eine Gesamtlänge (einschließlich der Extremitäten) von 3 m erreichen. Ein wichtiges Merkmal der Krebstiere sind zwei Paar Antennen, die mit Tast- und chemischen Sinnesorganen versehen sind. Am Kopf der Krebse befinden sich außerdem drei Paar kauladentragende Mundgliedmaßen.

Extremitäten sind bei ursprünglichen Formen an allen Segmenten vorhanden, bei höher

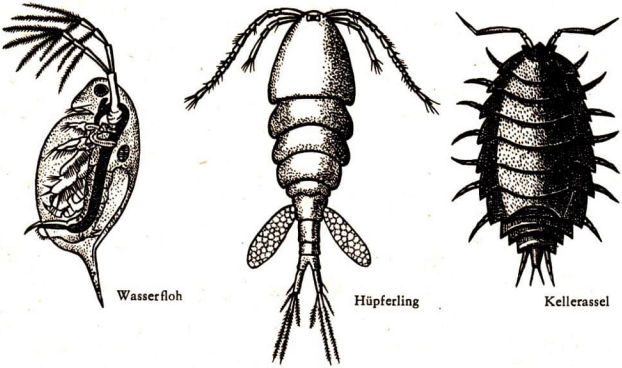


Abb. 66/1 Verschiedene Krebstiere

differenzierten finden sie sich nur noch am Kopf-Brust-Abschnitt. Sie dienen als Bewegungsorgane, können aber auch zur Nahrungsaufnahme benutzt werden. Vielfach verschmelzen bei den Krebsen einzelne Segmente miteinander, insbesondere kommt es zur Ausbildung eines Kopf-Brust-Stückes (Zephalothorax), das durch eine häufig auftretende Schale besonders

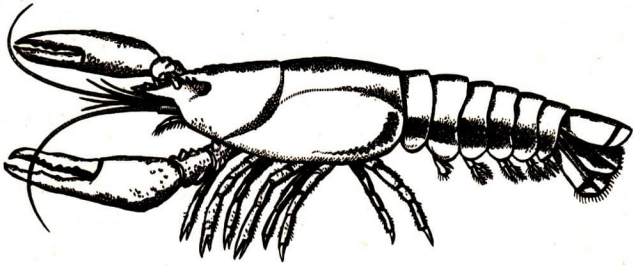


Abb. 67/1 Krebstier (Flußkrebs)

deutlich hervorgehoben wird. Durch Kalkeinlagerung ist die Chitinkutikula bei höheren Krebsen sehr hart und widerstandsfähig (panzerähnlich).

Vielfüßer *(Myriapoda)*. Die Vielfüßer sind eine relativ kleine Tiergruppe, deren Vertreter sich durch einen langgestreckten, aus äußerlich gleichartigen Segmenten bestehenden Körper auszeichnen. Der Kopf trägt außer den Fühlern zwei Paar Mundgliedmaßen, zu denen noch ein mit Giftdrüsen ausgestattetes Beinpaar kommen kann. Nach der Anzahl der an jedem Segment befindlichen Beinpaare werden zwei Unterklassen unterschieden: die Tausendfüßer

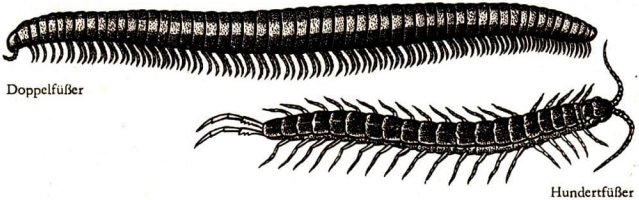


Abb. 67/2 Vielfüßer

(Diplopoda) tragen je Körperabschnitt 2 Beinpaare (deshalb Doppelfüßer), die Hundertfüßer *(Chilopoda)* nur ein Beinpaar (Abb. 67/2).

Insekten *(Insecta)*. Mit der Klasse der Insekten *(Hexapoda)* erreichen die Arthropoden ihre höchste Entwicklung. Mit über 800 000 Arten sind sie die formenreichste Tierklasse überhaupt. Der Insektenkörper ist heteronom gegliedert (Abb. 69/2 u. 70/1) und hat 3 Beinpaare. Die inneren Körperorgane sind im Gegensatz zu der Formenmannigfaltigkeit des äußeren

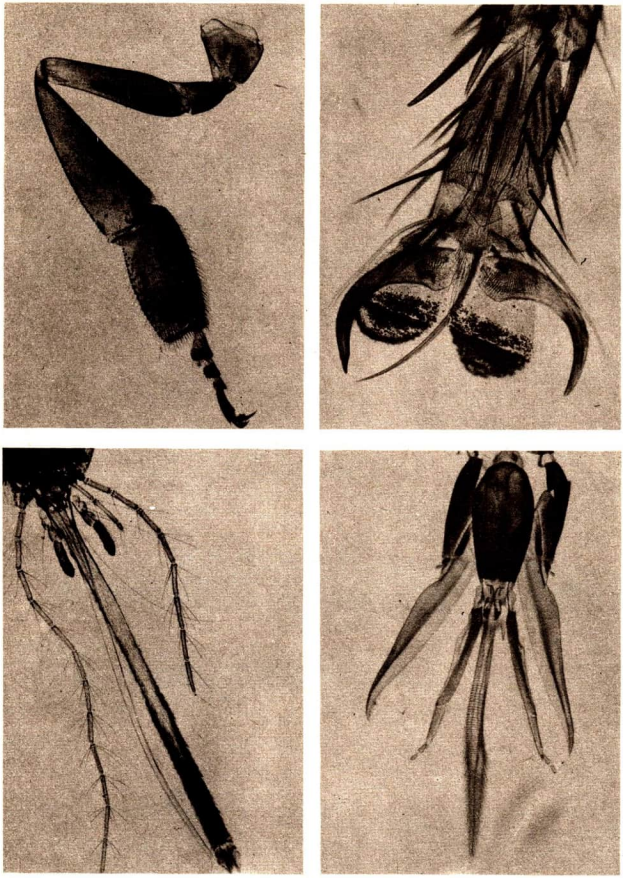


Abb. 68/1 Gliedmaßen (oben) und Mundwerkzeuge verschiedener Insekten

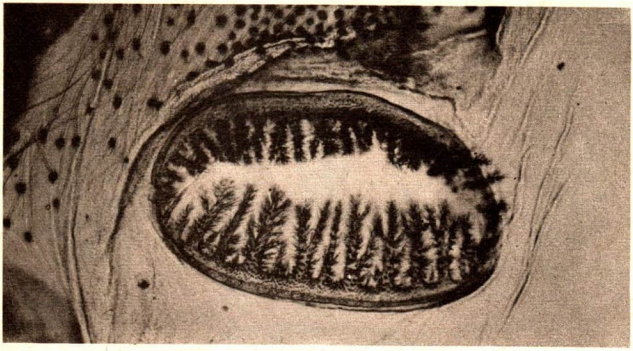


Abb. 69/1 Atemöffnung der Larve des Nashornkäfers

Insektenkörpers von relativ gleichförmigem Bau. In der Kopfkapsel befindet sich außer dem Gehirn, welches schon eine sehr komplizierte Struktur aufweisen kann, das Unterschlundganglion. Das im Rumpf liegende Bauchmark zeigt in vielen Fällen deutlich die Form des Strickleiternervensystems, kann aber auch sehr stark zentralisiert sein.

Die Insekten haben ein offenes Blutgefäßsystem. Die Atmung erfolgt durch Tracheen (/ S. 80 f.).

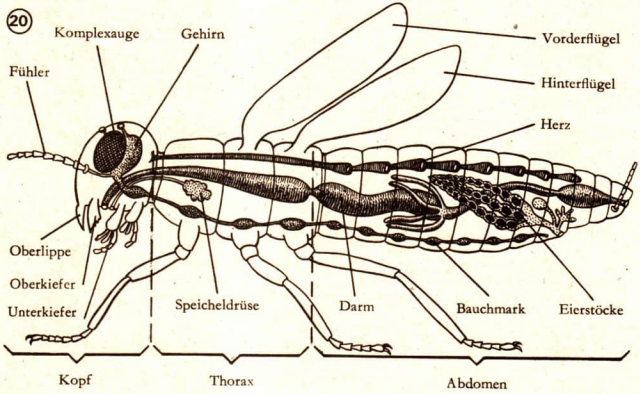
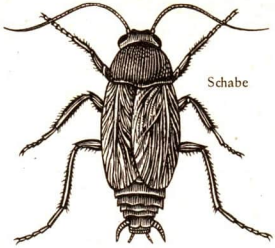
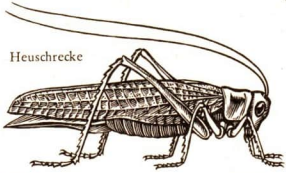


Abb. 69/2 Körpergliederung bei Insekten





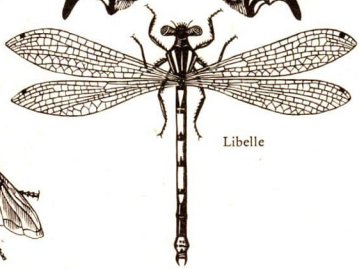


Abb. 70/1 Vertreter verschiedener Insektenordnungen

Gliederfüßer				
	Krebstiere	Spinnentiere	Vielfüßer	Insekten
Körper-gliederung	Kopf-Brust-Stück, Hinterleib	Kopf-Brust-stück, Hinterleib	Kopf, gleichartig segmentierter Hinterleib	Kopf, Brust, Hinterleib
Extremitäten	bei niederen Formen an allen Segmenten, bei höheren nur am Kopf-Brust-Stück	meist 4 Paar Beine, nie am Hinterleib	je Segment 1 Paar oder 2 Paar Beine	3 Paar Beine am Brust-abschnitt und 2 Paar Flügel
Atmungs-organe	Kiemen (wasserlebende Formen)	Fächer- oder Röhren-tracheen	Tracheen	Tracheen
Fühler (Antennen)	2 Paar	keine	1 Paar	1 Paar
wichtige Vertreter	Zehnfußkrebse (z.B. Flußkrebse, Krabben. Garnelen), niedere Krebse (z.B. Wasserflöhe, Hüpferlinge, Asseln)	Spinnen, Milben, Skorpione	Hundert-füßer, Tausend-füßer	Käfer, Schmetter-linge, Mücken, Fliegen, Bienen

▶ Zu den Gliederfüßern gehören die Krebstiere, Spinnentiere, Vielfüßer und Insekten.

Gliederfüßer besitzen einen ungleichmäßig segmentierten Körper, der durch eine Chitinkutikula gestützt wird.

Meist zahlreiche Extremitäten dienen der Fortbewegung und bei verschiedenen Arten als Greif- und Mundwerkzeuge.

Das Zentralnervensystem ist als Strickleiternervensystem ausgebildet.

Gliederfüßer besitzen ein offenes Blutgefäßsystem.

Chordatiere *(Chordata)*

Bau und Lebensweise

Die etwa 70 000 Arten umfassenden Chordatiere gehören zu den als Rückenmarktiere *(Deuterostomia)* bezeichneten bilateralen Mehrzellern. Sie besitzen eine sekundäre Leibeshöhle (Zölom), ein Innenskelett, welches aus dem Mesoderm (mittleres Keimblatt) entstanden ist, und ein rückenwärts gelegenes zentrales Nervensystem.

Chorda. Typisch für die Chordatiere ist ein Achsenskelett, das sich aus einem über dem Darm gelegenen elastischen Stützstab, der Chorda dorsalis (Rückensaite) entwickelt. Diese Rückensaite ist aus dem Dach des Urdarms entstanden.

Neuralrohr. Über der Chorda dorsalis befindet sich das Zentralnervensystem. Es besteht aus einem aus dem Ektoderm (äußeres Keimblatt) hervorgegangenen Nervenrohr, welches einen Zentralkanal umschließt. Am Vorderende des röhrenförmigen Nervenstranges befindet sich das Gehirn.

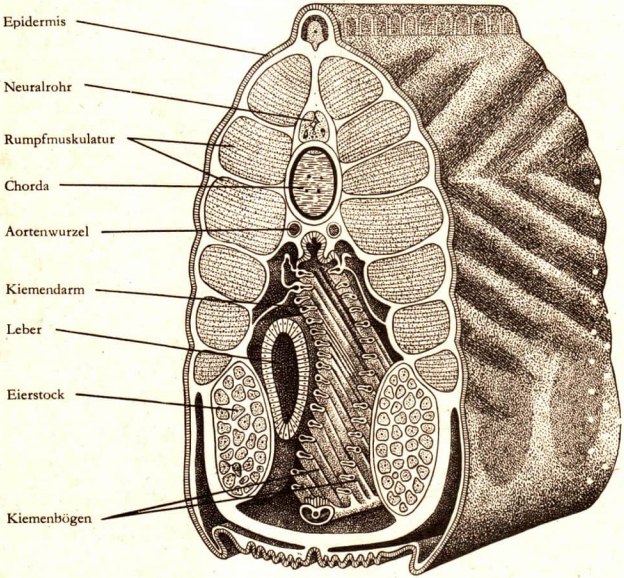


Abb. 72/1 Ausschnitt aus dem Vorderrumpf eines Lanzettierchens

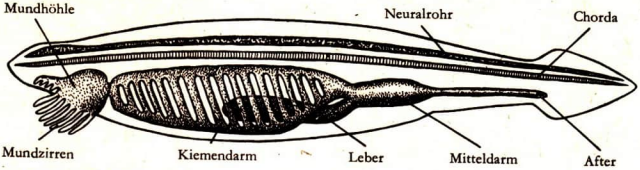


Abb. 73/1 Längsschnitt durch ein Lanzettierchen

Kiemendarm. Der Vorderdarm ist bei den primitiven Formen von zahlreichen, seitlich liegenden Spalten durchbrochen und zu einem Kiemendarm umgebildet. Das durch die Mundöffnung in diesem Darmabschnitt aufgenommene Atemwasser gelangt durch die Kiemenspalten über den Kiemenraum nach außen. Dabei wird der im Wasser gelöste Sauerstoff von den Kiemen aufgenommen. Gleichzeitig dient der Kiemendarm der Nahrungsaufnahme. Das eingestrudelte Wasser wird gefiltert, die zurückgebliebenen Nahrungsteilchen gelangen über eine Flimmerrinne in den Mitteldarm. Bei den höherentwickelten Chordatieren erscheint der Kiemendarm nur noch während der Embryonalentwicklung.

Blutkreislauf. Das Blutgefäßsystem der Chordatiere ist geschlossen. Bei sehr ursprünglichen Formen, wie dem Lanzettierchen *(Branchiostoma lanceolatum)*, wird das Blut durch Kontraktionen bestimmter Gefäßabschnitte in den Arterien und Venen bewegt. Ein Herz fehlt noch.

Einteilung

Stamm: Chordatiere *(Chordata)*		
Unterstamm: Manteltiere *(Tunicata)*	Unterstamm: Schädellose *(Acrania)*	Unterstamm: Wirbeltiere *(Vertebrata)*

✦ Die im Meer lebenden Manteltiere *(Tunicata)* zeichnen sich durch eine mantelförmige Hautbildung aus, die eine zelluloseähnliche Substanz enthält. Auch die Schädellosen leben im Meer. Bekanntester Vertreter ist das Lanzettierchen, welches wegen seiner primitiven Merkmale verschiedentlich als Urtyp der Wirbeltiere bezeichnet wird. ✦

Wirbeltiere (*Vertebrata*)

Der im allgemeinen gestreckte Wirbeltierkörper ist in Kopf-, Rumpf- und Schwanzregion gegliedert. Diese einzelnen Körperabschnitte können allerdings vielfach abgewandelt sein.

Wirbelsäule. Charakteristisch für die Wirbeltiere ist die Ausbildung einer Wirbelsäule. Sie besteht aus einzelnen Wirbeln (Abb. 74/1), die jeweils zwischen zwei Muskelsegmenten an der Chorda dorsalis entstehen. Die zunächst knorpeligen, später meist verknöcherten Wirbel umschließen die Chorda dorsalis und können sie schließlich bis auf geringe Reste verdrängen.

Schädel. In der Kopfregion entwickelt sich bei den Wirbeltieren ein kapselähnliches Knorpel- oder Knochenskelett, der Schädel. Er umschließt das Gehirn, wichtige Sinnesorgane und die Organe der Nahrungsaufnahme.

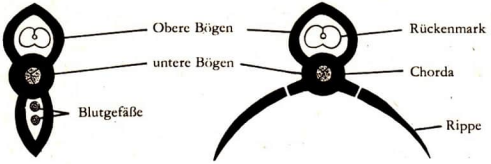


Abb. 74/1 Bau eines Wirbels (schematisch; links Schwanzwirbel, rechts Brustwirbel)

Das Kopfskelett setzt sich aus dem das Gehirn umschließenden Hirnschädel und dem im wesentlichen aus dem Kieferapparat bestehenden Gesichtsschädel zusammen. Beide Schädelteile verwachsen immer stärker miteinander, bis schließlich der Oberkiefer fest mit dem Hirnschädel verbunden ist und nur der Unterkiefer frei bewegbar bleibt.

Neunaugen und Knorpelfische (z. B. Haie, Rochen) haben zeitlebens einen Knorpelschädel. Bei den übrigen Wirbeltieren tritt ein solches Knorpelskelett nur in der Embryonalentwicklung auf. Später verknöchert es und kann sich außerdem durch Auflagerung zusätzlich gebildeter Hautknochen verfestigen.

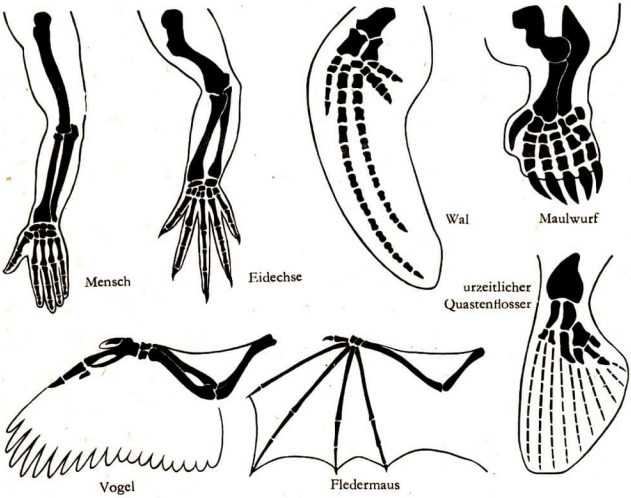


Abb. 74/2 Beispiele für die Umbildung der Extremitäten bei Wirbeltieren

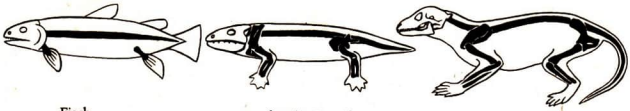


Abb. 75/1 Gliedmaßenskelett mit Schulter- und Beckengürtel

Extremitäten. Ein weiteres wichtiges Merkmal der Wirbeltiere ist das Vorhandensein zweier Gliedmaßenpaare. Sie stehen über den Schulter- bzw. Beckengürtel mit der Wirbelsäule in Verbindung (Abb. 74/2 u. 75/1).

Der Schultergürtel ist bei den Fischen eng mit den Kiemenbögen und damit mit dem Kopfskelett verbunden. Bei den übrigen Wirbeltieren ist der Zusammenhang mit der Wirbelsäule relativ lose, im wesentlichen erfolgt er durch die Muskulatur. In seinem Grundaufbau setzt sich der Schultergürtel aus drei Knochenpaaren zusammen, von denen mindestens die Schulterblätter regelmäßig vorkommen.

Auch der Beckengürtel besteht aus drei Paar Skelettelementen. Nur bei den Fischen ist er unvollständig und wird von einem einzigen Knochenstab gebildet. Die Verbindung zwischen Beckengürtel und Wirbelsäule erfolgt in der Kreuzbeinregion: es können bis zu 23 Wirbel mit dem Darmbein zum Kreuzbein verschmelzen. Auch Schambein und Sitzbein gehen in die Bildung des Beckens ein. Bei Fischen sind die Extremitäten als paarige Brust- und Bauchflossen ausgebildet. Gestützt werden sie durch fächerförmig angeordnete Flossenstrahlen. Die paarigen Flossen dienen schwimmenden Fischen zur Steuerung. Am Boden lebende Fische benutzen sie zum Abstützen oder sogar zur Fortbewegung auf dem Boden. Charakteristisch für die Landwirbeltiere ist die Vierfüßigkeit und die Fünfstrahligkeit der Extremitäten.

Die einzelnen Knochen sind gelenkig miteinander verbunden. Der Grundbauplan der Extremitäten ist je nach Funktion (z. B. Laufen, Klettern, Schwimmen, Fliegen) stark abgewandelt. Es kommt zur Verschmelzung von Knochen, zur Rückbildung, aber auch zur Vergrößerung und Umbildung einzelner Gliedmaßenabschnitte (Abb. 74/2).

Atmungsorgane. Die Wirbeltiere besitzen zwei Typen von Atmungsorganen: Kiemen oder Lungen. Wasserlebende Tiere atmen meist durch Kiemen, landlebende Tiere immer durch Lungen. Beide Organe entstehen als Ausstülpungen des Vorderdarms (/ S. 81 u. Abb. 81/1). Die Kiemen der Wirbeltiere sind meist blattartige, reich durchblutete Hautfalten, die von den Kiemenbögen ausgehen. Außen werden diese Kiemenblätter oft von einem Kiemendeckel überragt, der die Kiemenhöhle abdeckt und die Kiemenblätter gleichzeitig schützt. Das durch die Mundöffnung eingesaugte Wasser strömt an den Kiemenblättchen vorbei und durch einen Spalt am Hinterrand des Kiemendeckels nach außen. Bei den Larven der Lurche kommt es häufig vor, daß die Kiemen über die Körperoberfläche hinausragen (äußere Kiemen).

Die Lungen sind im Körperinneren liegende Atmungsorgane, die über die Luftröhre mit dem Rachenraum in Verbindung stehen (/ S. 79).

Ein Teil des Gasaustausches erfolgt durch die Haut.

Körperbedeckung. Die Außenhaut (Abb. 76/1) der Wirbeltiere besteht aus einer relativ dünnen Oberhaut (Epidermis) und der dickeren Unter- oder Lederhaut (Korium). Den Abschluß der Haut nach dem Körperinneren bildet das vielfach mit Fetteinlagerungen durchsetzte Unterhautbindegewebe (Subkutis).

Fische besitzen eine sehr drüsenreiche Haut. Die Oberhaut der landlebenden Wirbeltiere dagegen weist eine aus verhornten Zellen bestehende Schicht auf, die den Körper weitgehend

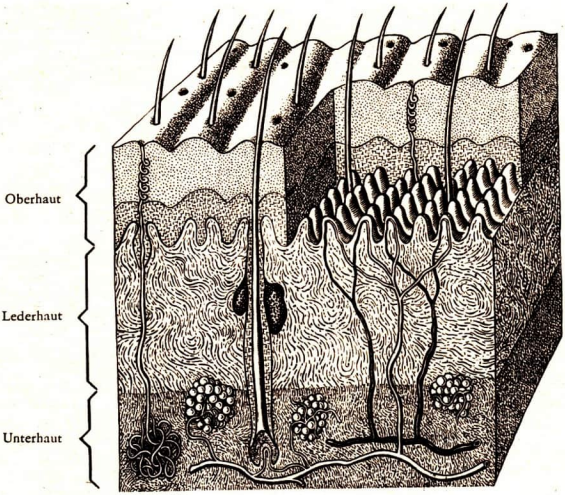


Abb. 76/1 Bau der Haut

vor Austrocknung schützt. Diese Hornhaut wird in Form kleiner Schüppchen (z. B. Kopfschuppen) oder in Fetzen (bei den Reptilien) oder sogar als Ganzes (z. B. Natternhemd der Schlangen) abgestoßen.

Die Lederhaut (Korium) enthält zahlreiche elastische Fasern und Bindegewebsfibrillen. Dadurch erhält sie eine große Elastizität und Festigkeit. Außerdem sind in ihr Blutgefäße, Sinnesknospen und Hautdrüsen eingelagert. Mit einer Vielzahl von Papillen ragt sie in die Oberhaut hinein, so daß eine außerordentlich enge Verbindung mit dieser entsteht. Die Haut bildet oft Anhangsorgane aus (z. B. Schuppen, Krallen, Nägel, Hufe, Hornschnabel, Gehörn, Federn, Haare).

Zentralnervensystem. Das Zentralnervensystem der Wirbeltiere setzt sich aus Gehirn und Rückenmark zusammen.

Das Rückenmark liegt im Wirbelkanal, es erreicht bei niederen Wirbeltieren fast die Länge der Wirbelsäule und übertrifft dadurch an Masse das relativ kleine Gehirn. Bei den höher entwickelten Wirbeltieren ist die Hirnmasse oft wesentlich größer als die des Rückenmarks.

Vom Rückenmark gehen in jedes Körpersegment Nervenstränge ab, die sich meist schon innerhalb des Wirbelkanals zu zwei Spinalnerven zusammenschließen (Abb. 86/2). Die Hauptfunktion des Rückenmarks besteht in der Leitung von Erregungen zwischen Peripherie und Gehirn sowie der Reflextätigkeit.

Je höher die Entwicklungsstufe der Wirbeltiere ist, um so stärker ist die Konzentration des Nervengewebes im Vorderabschnitt des Zentralnervensystems. Es bildet sich ein übergeord-

netes Zentrum – das Gehirn – aus, welches als Steuerorgan für den gesamten Organismus dient.

Wie das Rückenmark ist auch das Gehirn von bindegewebigen Hüllen umgeben.

Innerhalb des Gehirns erweitert sich der Zentralkanal zu blasenartigen Hohlräumen, den Ventrikeln.

Vom Gehirn gehen ebenfalls Nervenstränge zu bestimmten Sinnesorganen, der Kopfmuskulatur und den Eingeweiden ab. Im Unterschied zum Rückenmark liegt die graue Substanz des Gehirns außen. Das Gehirn besteht aus fünf Abschnitten, die bei den einzelnen Wirbeltierklassen unterschiedlich entwickelt sind (Abb. 88/1).

▶ Chordatiere unterscheiden sich von allen anderen Tierstämmen durch das Vorhandensein der Chorda dorsalis, eines Zentralnervensystems in Form von Rückenmark und Gehirn und – wenigstens während der Embryonalentwicklung – von Kiemenspalten. Zu den Chordatieren gehören die Manteltiere, die Schädellosen und die Wirbeltiere.

Alle Wirbeltiere sind bilaterale *Deuterostomia* mit einem Schädel und einem inneren Achsenskelett (Wirbelsäule). Sie pflanzen sich geschlechtlich fort. Der Unterstamm Wirbeltiere umfaßt die Klassen Fische, Lurche, Kriechtiere, Vögel und Säugetiere.

Die wichtigsten Stämme des Tierreiches

Stamm	wichtige Vertreter	Anzahl der Arten
Urtiere *(Protozoa)*	Geißelträger, Wimpertierchen, Wurzelfüßer, Sporentierchen	20 000
Schwämme *(Spongia* oder *Porifera)*	Kalkschwämme, Hornschwämme, Kieselschwämme	5 000
Hohltiere *(Coelenterata)*	Medusen, Korallen, Blumentiere	9 000
Plattwürmer *(Plathelminthes)*	Strudelwürmer, Bandwürmer, Saugwürmer	10 000
Rundwürmer *(Nemathelminthes)*	Fadenwürmer, Spulwürmer, Madenwürmer	11 000
Ringelwürmer *(Annelida)*	Borstenwürmer, Gürtelwürmer	7 000
Gliederfüßer *(Arthropoda)*	Krebstiere, Spinnentiere, Vielfüßer, Insekten	900 000

Stamm	wichtige Vertreter	Anzahl der Arten
Weichtiere *(Mollusca)*	Schnecken, Muscheln, Kopffüßer	120 000
Stachelhäuter *(Echinodermata)*	Haarsterne, Seeigel Schlangensterne, Seesterne	5 000
Chordatiere *(Chordata)*		70 000
Unterstamm Manteltiere *(Tunicata)*	Seescheiden	
Unterstamm Schädellose *(Acrania)*	Lanzettierchen	
Unterstamm Wirbeltiere *(Vertebrata)*	Fische, Lurche, Kriechtiere, Vögel, Säugetiere	

Vergleichende Betrachtung einzelner Organsysteme

Bau und Leistungen der tierischen Organe und Organsysteme, die Lageverhältnisse, Veränderungen in Bau und Funktion sowie die Vielfalt unterschiedlicher Formen von Organen sind am besten zu erkennen, wenn man sie vergleichend anatomisch und vergleichend physiologisch betrachtet. Auf diese Weise ist es auch möglich, verwandtschaftliche Beziehungen zwischen den Organismengruppen nachzuweisen, Entwicklungsabläufe zu erkennen und die Einordnung der Tiere ins System zu begreifen.

Atmungsorgane

Bei der Atmung der Tiere erfolgt der Gasaustausch im wesentlichen an dünnhäutigen Körperstellen, die teilweise zu spezifischen Atmungsorganen umgebildet worden sind.

Hautatmung. Ein Austausch der Atemgase durch die Körperoberfläche erfolgt insbesondere bei kleinen wirbellosen Tieren, wie Hohltieren, Ringelwürmern und Larven von Gliederfüßern, bei denen das Verhältnis der Körperoberfläche zur Körpermasse sehr günstig ist. Hier ist die Haut meist so dünn und zartwandig, daß eine Diffusion der Atemgase gewährleistet ist. Aber auch bei Wirbeltieren kann die Hautatmung noch einen beträchtlichen Prozentsatz der Gesamtatmung betragen. Lurche beispielsweise vermögen nach Ausschaltung der Lungen weiterzuleben, wenn sie über die Außenhaut atmen können, und selbst beim Menschen beträgt der Anteil der Hautatmung am Gesamtgasaustausch noch 1,5 %.

Bei den meisten Tieren sind besondere Atemorgane ausgebildet.

Kiemenatmung. Die Kiemen stellen dünnwandige und besonders reich durchblutete Hautausstülpungen dar, die an den verschiedensten Stellen des Körpers vorkommen können. Die

einfachsten Formen sind blattartige Hautfalten auf der Körperoberfläche (z. B. Hautkiemen bei Ringelwürmern u. Kleinkrebsen).

Bei vielen Tieren ist die Oberfläche der Kiemen stark vergrößert, sie sind zu kompliziert gebauten Atmungsorganen geworden.

Als Fadenkiemen sind sie fädig aufgezweigt (z. B. Büschelkiemen der Krebse), als Blattkiemen (z. B. bei Fischen) setzen sie sich aus mehreren Einzelblättern zusammen. Bei den Larven der Lurche sind die Kiemen reich verästelt, bei Muscheln netzartig durchbrochen. Häufig liegen die Kiemen geschützt innerhalb einer grubenartigen Vertiefung der Körperoberfläche (Kiemenhöhle, Kiemendeckel).

✦ Durch Bewegungen des Körpers oder bestimmter Körperabschnitte leiten die Tiere frisches, sauerstoffreiches Wasser an die Atmungsorgane heran. Diese Ventilation erfolgt im wesentlichen durch Ortsbewegung, Bewegung der Gliedmaßen, Flimmerbewegung und aktives Einsaugen von Wasser. ✦

Lungenatmung. Einen anderen Typ von Atmungsorganen bilden die Lungen der landbewohnenden Wirbeltiere. Ontogenetisch sind die Lungen Ausstülpungen des Vorderdarms. In ihrer einfachsten Form stellen sie sackähnliche Gebilde dar (z. B. bei Lurchen). Durch das Einwachsen von Scheidewänden vergrößerte sich in der weiteren phylogenetischen Entwicklung die Lungenoberfläche immer mehr. Die stark gekammerten Lungen der Säugetiere (Abb. 79/1) weisen eine schwammige Konsistenz auf. Beim Menschen erreicht die Oberfläche der Lungen das 50fache der Körperoberfläche, dagegen beträgt dieses Verhältnis beim Frosch 2 : 3.

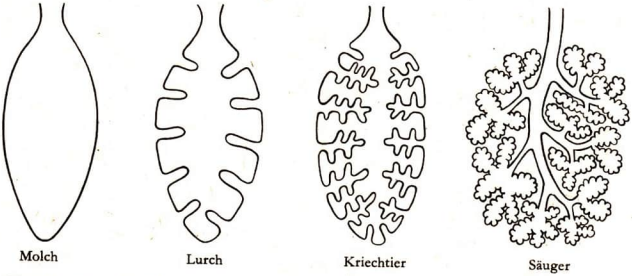


Abb. 79/1 Unterschiedliche Ausbildung der Lungen bei verschiedenen Wirbeltieren

Die Lungen bestehen aus zwei Abschnitten, der luftzuführenden beziehungsweise luftableitenden Region und dem eigentlichen atmenden Abschnitt. Die eingeatmete Luft gelangt über die Luftröhre, die Bronchien und deren Verzweigungen zu kleinen, blind endenden Säckchen, deren Begrenzung halbkugelige Ausstülpungen (Lungenalveolen) bilden. An der Wandung dieser Lungenbläschen findet der Gasaustausch statt. Die Vögel besitzen auf Grund des spezifischen Baues die leistungsfähigsten Lungen bei den Wirbeltieren.

Tracheenatmung. Das Atmungssystem der landbewohnenden Gliederfüßer besteht aus röhrenförmigen Kanälen, den Tracheen (Abb. 80/1), die den gesamten Organismus durchziehen und vielfach miteinander in Verbindung stehen. Sie sind mit einer Chitinmembran ausgekleidet, beginnen an der Körperwand mit Öffnungen (Stigmen, Abb. 69/1) und zweigen sich im Inneren in feinste Kapillaren auf. Bei einigen Sippen sind bestimmte Tracheenabschnitte zu

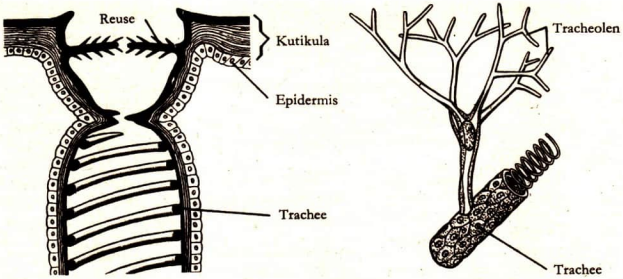


Abb. 80/1 Bau der Atmungsorgane bei Insekten (links Atemöffnung, rechts Endverzweigung der Tracheen)

Luftsäcken erweitert (Abb. 80/2). Im Gegensatz zu den lungen- und kiemenatmenden Tieren, bei denen der Gastransport durch das Blut erfolgt, gelangt die Luft bei den Tracheenatmern (z. B. Insekten) über die Tracheen direkt an die sauerstoffverbrauchenden Organe heran. An den Endverzweigungen diffundiert der Sauerstoff in die anliegenden Gewebe, während Kohlendioxid von diesen abgegeben wird. Pumpbewegungen des gesamten Körpers fördern die Erneuerung der Atemluft im Tracheensystem.

✦ Kleine Abweichungen von diesem Bau zeigen die Tracheenkiemen der wasserbewohnenden Insekten. Sie bestehen aus dünnwandigen Körperanhängen, die reichlich mit Tracheen durchzogen sind. Im Wasser gelöster Sauerstoff diffundiert durch Haut und Tracheenwand in das Innere der Tracheen, die stets mit Luft gefüllt sind. ✦

Ein Vergleich bestimmter morphologischer Strukturen bei Vertretern verschiedener Tiergruppen zeigt oft deutlich, daß gewisse Merkmalsübereinstimmungen vorhanden sind. Organe, die entwicklungsgeschichtlich den gleichen Grundbauplan besitzen, werden als *homologe Organe* bezeichnet, auch wenn sie sich funktionsmäßig voneinander unterscheiden.

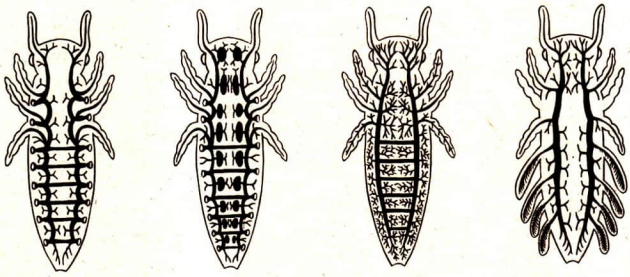


Abb. 80/2 Verschiedene Tracheensysteme bei Insekten

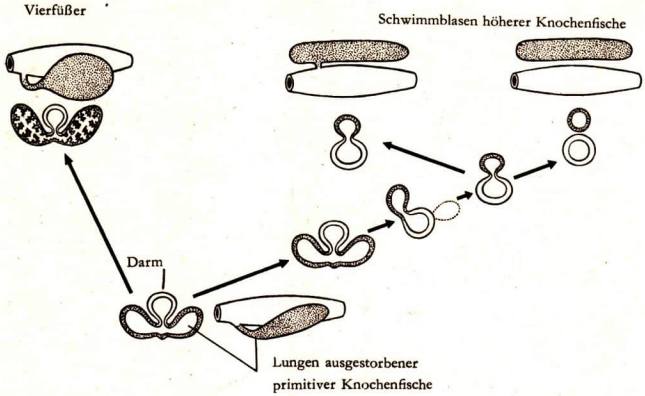


Abb. 81/1 Entwicklung von Lunge und Schwimmblase

Organe, die gleiche Funktion besitzen, sich aber unabhängig von stammesgeschichtlicher Verwandtschaft herausgebildet haben und deshalb auch einen unterschiedlichen Grundbauplan besitzen, sind *analoge Organe*. Die vielfach auftretende Formenähnlichkeit ist durch gleiche Lebensweise, gleiche Umweltbedingungen und gleiche Funktion bedingt (Konvergenz).

Auch bei den Atmungsorganen finden sich Homologien und Analogien. Homologe Organe sind beispielsweise die Lungen der landlebenden Wirbeltiere und die Schwimmblasen der Fische (Abb. 81/1). Beide Organe entstehen durch Ausstülpungen des Vorderdarmes.

✦ Die Annahme, daß sich die Lungen von Schwimmblasen der Fische herleiten lassen, hat sich nicht bestätigt. Viele Befunde deuten darauf hin, daß die Lunge das ursprünglichere Organ war, aus dem sich bei ständig im Wasser lebenden Fischen die Schwimmblase entwickelte. Diese Theorie wird vor allem durch Baueigentümlichkeiten der erstmals 1938 gefundenen *Latimeria*, eines Quastenflossers, gestützt. Die Quastenflosser, die man seit der Kreidezeit für ausgestorben hielt, zeigen durch Lungenanlagen und andere Merkmale Ähnlichkeiten mit primitiven Vierfüßern, so daß sie als Vorfahren der Landwirbeltiere gelten können. ✦

Analoge Atmungsorgane sind die Tracheen der Gliederfüßer und die Lungen der Wirbeltiere. Gemeinsam ist ihnen nur die Atmungsfunktion. Sie unterscheiden sich sowohl in ihrem Bauplan als in ihrer Lage. Auch die Kiemen stellen vielfach analoge Bildungen dar. Sie können an den verschiedensten Körperstellen auftreten und von unterschiedlichem Bau sein.

▶ Atmungsorgane dienen dem Gasaustausch. Sie sind bei verschiedenen Tiergruppen unterschiedlich ausgebildet. Der Gasaustausch kann direkt durch die gesamte Körperoberfläche (bei kleinen wirbellosen Tieren) oder durch Kiemen, Tracheen oder Lungen erfolgen. Kiemen, Tracheen und Lungen sind analoge Organe, die Lungen der landlebenden Wirbeltiere sind homologe Organe.

Kreislaufsystem

Der Transport der Nährstoffe, des Sauerstoffes und der Produkte des Stoffwechsels innerhalb des tierischen Organismus erfolgt in der Regel durch die Körperflüssigkeit.

Nur bei sehr einfach gebauten Tieren (z. B. Hohltiere), ist ein Stofftransport von Zelle zu Zelle möglich. Bei den meisten Tiergruppen ist ein Hohlraumsystem entwickelt, in welchem die Körperflüssigkeit (Blut) zirkuliert. Die darin gelösten Stoffe werden durch Diffusion an die Gewebszellen weitergegeben. Stehen diese Gefäßbahnen mit Hohlräumen der Leibeshöhle in Verbindung, handelt es sich um ein offenes Blutgefäßsystem (z. B. Insekten).

Bilden die Gefäße dagegen ein geschlossenes System von Bahnen, ist das ein geschlossenes Blutgefäßsystem (z. B. Ringelwürmer, Säuger). Von den Hauptgefäßen gehen kleinere Gefäße ab, die sich in den einzelnen Organen und Geweben in Kapillarnetze aufzweigen. Diese Haargefäße sind die Orte des Stoffaustausches zwischen Blut- und Gewebszellen.

Ein sehr ursprüngliches geschlossenes Blutgefäßsystem besitzen die Ringelwürmer (Abb. 82/1). Es besteht aus je einem längsverlaufenden Rücken- und Bauchgefäß, die durch segmental angeordnete, paarige Ringgefäße miteinander verbunden sind. Das in diesem Gefäßsystem zirkulierende Blut wird durch das kontraktile Rückengefäß sowie durch mehrere im vorderen Körperabschnitt gelegene, zu pulsierenden Ringherzen umgewandelte Ringkanäle angetrieben. Der wesentlichste Bestandteil des offenen Blutgefäßsystems der Gliederfüßer ist das Röhrenherz (Abb. 83/1). Es besteht aus einem segmental gekammerten Rückengefäß, welches bei den Insekten hinten blind geschlossen ist. Durch seitliche Öffnungen der Herzwand (Ostien) gelangt das Blut in das Herz. Von hinten nach vorn verlaufende Kontraktionswellen pumpen das Blut durch eine vorn offene Aorta in die Leibeshöhle.

Der Grundbauplan des Kreislaufsystems der Chordatiere soll am Blutgefäßsystem des Lanzettierchens erläutert werden (Abb. 83/2). Das Blutgefäßsystem besteht aus einem in der vorderen Körperhälfte gelegenen Bauchgefäß, der Kiemenarterie, von welchem die paarig angeordneten Kiemengefäße abgehen. Diese Kiemenbogenarterien besitzen kontraktile Anschwellungen, die Kiemenherzen, die zusammen mit anderen pulsatorischen Gefäßabschnitten das Blut vorwärts bewegen. Es durchfließt das Kapillarnetz der Kiemen und gelangt als nunmehr sauerstoffreiches Blut in zwei Aortenwurzeln, die sich schließlich zu einer unpaaren, auf der Rückenseite nach hinten ziehenden Aorta vereinigen. Von ihr gehen Gefäße zum Darm, zur

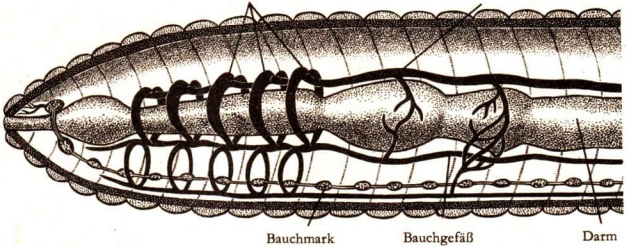


Abb. 82/1 Blutgefäßsystem eines Ringelwurms

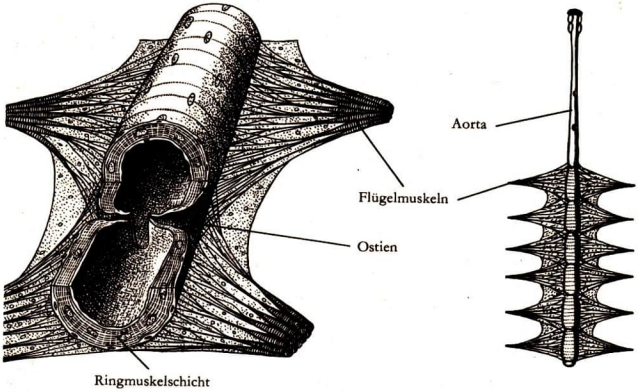


Abb. 83/1 Insektenherz (links stark vergrößerter Ausschnitt)

Muskulatur und den anderen Organen ab. Das aus dem Körper kommende kohlendioxidreiche Blut wird durch zwei Paar Venen gesammelt und über einen rechts und links gelegenen kurzen Gefäßabschnitt in den erweiterten hinteren Abschnitt der Kiemenarterie geleitet.

Bei den Fischen tritt erstmals ein Herz auf, es besteht aus einer Vorkammer und einer Herzkammer (Abb. 84/1). Alle zum Herzen führenden Blutgefäße werden als Venen, alle vom Herzen kommenden Gefäße als Arterien bezeichnet. Aus der Herzkammer tritt ein Arterienstamm aus, von dem vier Paar Kiemenarterien abgehen. Durch diese Arterien gelangt das Blut zu den Kiemenkapillaren und sammelt sich dann als mit Sauerstoff angereichertes Blut in den beiden Aortenwurzeln, die sich zur Aorta vereinigen. Diese versorgt die Mehrzahl der Körperorgane mit sauerstoffreichem Blut. Das aus dem Körpergewebe kommende sauerstoffarme Blut fließt über Venen zum Herzen zurück.

Beim Übergang vom Wasser- zum Landleben kommt es in den anderen Wirbeltierklassen zu einer Umgestaltung des Blutkreislaufes. Die Anreicherung des Blutes mit Sauerstoff erfolgt

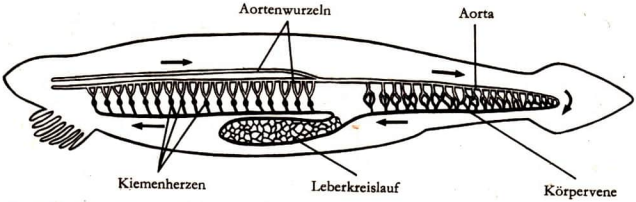


Abb. 83/2 Blutgefäßsystem des Lanzettierchens

in den Lungen. Es bildet sich ein kleiner (Lungenkreislauf) und ein großer Blutkreislauf (Körperkreislauf) aus (Abb. 84/1).

Außer den Blutgefäßen besitzen die Wirbeltiere noch ein Lymphgefäßsystem. Dieses beginnt mit Kapillaren in den Geweben, die sich dann zu Gefäßen zusammenschließen und schließlich in die venöse Blutbahn einmünden.

Vögel und Säugetiere werden als gleichwarme Tiere bezeichnet, weil ihre Körpertemperatur annähernd konstant ist. Sie übersteigt meist die Außentemperatur. Diese Körperwärme wird durch den Energiestoffwechsel gewonnen und durch Einrichtungen des Körpers zum Schutz gegen Wärmeverluste aufrechterhalten. Durch Regelung der Wärmeabgabe und Wärmeerzeugung bleibt die Eigentemperatur des Körpers konstant. Diese größere Unabhängigkeit von der Temperatur befähigt diese Tiere, auch in Gebieten zu leben, deren klimatische Bedingungen ungünstig sind. Auch die niederen Temperaturen im Winterhalbjahr engen die Aktivität der gleichwarmen Tiere kaum ein. Dagegen sind die wechselwarmen Tiere, zu denen alle Wirbellosen, Fische, Lurche und Kriechtiere gehören, von der Umgebungstemperatur stärker abhängig, weil Stoffwechsel, Lebensdauer und Aktivität weitgehend durch die Außentemperatur beeinflußt werden.

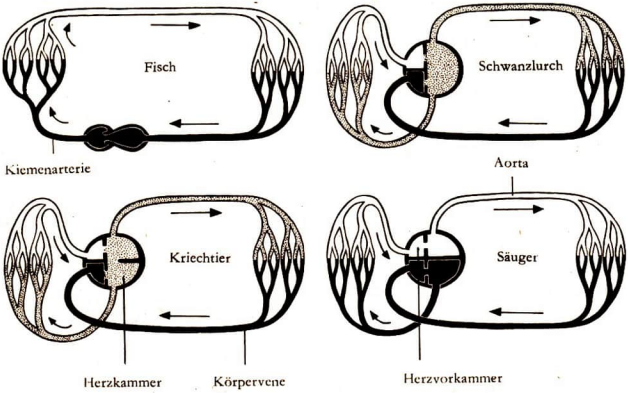


Abb. 84/1 Blutkreislauf bei verschiedenen Wirbeltieren (Vorderansicht)

Unterhalb bestimmter Temperaturen zeigen diese Tiere völlige Inaktivität. Deshalb sind die Angehörigen vieler Tiergruppen nur in den wärmeren Jahreszeiten und in bestimmten geographischen Regionen zu aktivem Leben befähigt.

Einige gleichwarme Tiere (z. B. Insektenfresser, Fledermäuse, Nagetiere) setzen bei ungünstigen Umweltbedingungen ihre Körpertemperatur herab und verlieren an Aktivität. Dieses Verhalten wird als Winterschlaf bezeichnet.

21 22 23 24

Kreislaufsysteme dienen dem Transport von Körperflüssigkeiten und damit von zahlreichen lebenswichtigen Stoffen (z. B. Nährstoffe, Hormone, Atemgase, Abbauprodukte). Kreislaufsysteme werden in der Regel von röhrenförmigen Gefäßen mit kontraktilen Abschnitten gebildet. Sie können offene (z. B. Insekten) oder geschlossene (z. B. Regenwurm, Fisch) Systeme sein. Bei den Wirbeltieren besteht das Kreislaufsystem aus Herz (Pumpenmechanismus), Arterien, Kapillaren, Venen.

Nervensystem

Das Nervengewebe setzt sich im wesentlichen aus Nervenzellen und ihren Fortsätzen zusammen. Durch das Vorhandensein von Sinneszellen und einem Nervensystem werden die tierischen Organismen in die Lage versetzt, äußere Reize wie auch Reize innerhalb des Körpers aufzunehmen und Erregungen an die Erfolgsorgane weiterzuleiten, um diese zu einer entsprechenden Reaktion zu veranlassen. Nach Aufbau und Funktion lassen sich ein netzförmiges (diffuses) Nervensystem und ein zentralisiertes Nervensystem unterscheiden.

Ein *diffuses Nervensystem* ist das Nervennetz der Hohltiere (Abb. 85/1). Es besteht aus Ganglienzellen, die über den gesamten Körper verteilt sind und durch Fortsätze miteinander in Verbindung stehen. Ein von Sinneszellen aufgenommener Reiz wird in eine Erregung umgewandelt, die sich in diesem Nervennetz nach allen Seiten gleichmäßig ausbreitet. Die Erregung nimmt dabei bis zu ihrem völligen Erlöschen an Intensität ab.

Bei *zentralisierten Nervensystemen* (Abb. 85/1) sind die Nervenzellen in Zentralorganen angehäuft. Durch lange Fortsätze der Zellen, die Nervenfasern, stehen sie sowohl mit den Sinneszellen (über sensible Nerven) als auch mit den Erfolgsorganen (über motorische Nerven)

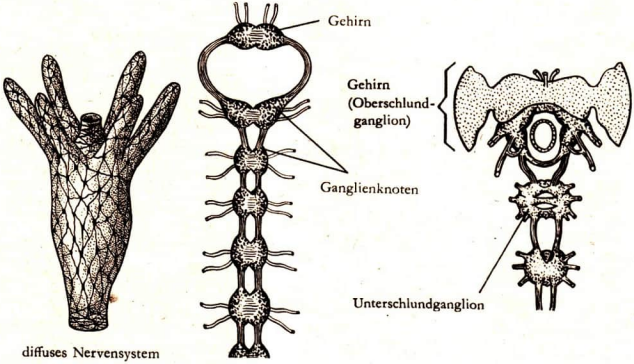


Abb. 85/1 Entwicklung des Nervensystems (links Hydra, Mitte Annelid, rechts Insekt)

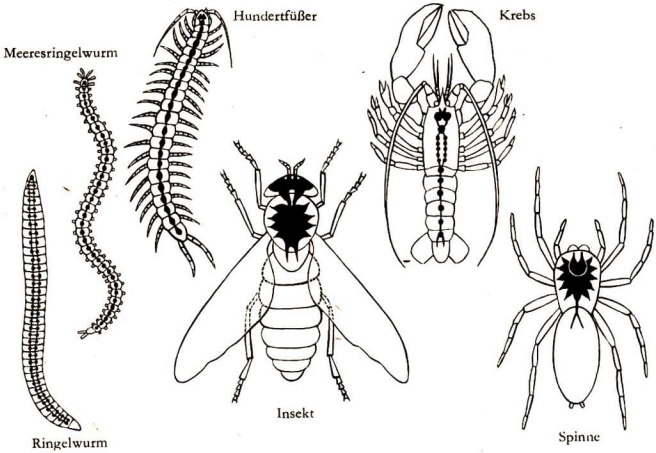


Abb. 86/1 Zunehmende Zentralisierung des Nervensystems bei wirbellosen Tieren

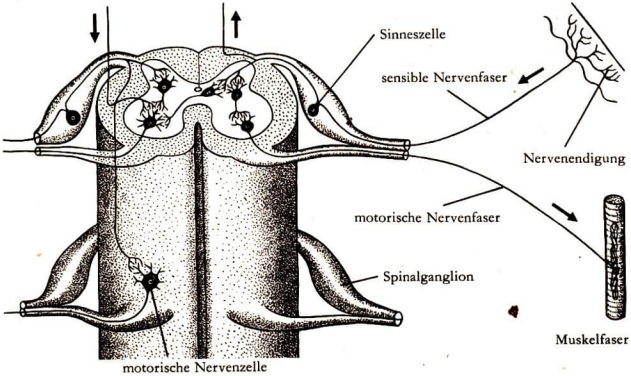


Abb. 86/2 Schema des Reflexbogens eines Wirbeltiers

in Verbindung. In den Nervenfasern verläuft die Erregung nur in einer Richtung und verliert nicht an Intensität.

Das Zentralnervensystem der Gliedertiere (Abb. 86/1) besteht aus dem Oberschlundganglion (Gehirn), den Unterschlundganglien und zwei längs verlaufenden Bauchmarksträngen. In jedem Körpersegment liegen zwei Ganglienknoten, die durch Längsstränge und Querverbindungen miteinander verbunden sind (Strickleiternervensystem).

Den höchsten Grad der Zentralisierung hat das Nervensystem bei den Chordatieren erreicht. Bei den primitiven Formen, wie beispielsweise dem Lanzettierchen, besteht es aus einem auf der Rückenseite des Körpers gelegenen Nervenrohr. Mit der Ausbildung des Kopfes entwickelt sich am Vorderende des Nervenrohrs durch Konzentration des Nervengewebes und Bildung von Nervenzentren das Gehirn. Es übernimmt in zunehmendem Maße die Koordination und Verarbeitung der aufgenommenen Reize.

Das *Rückenmark* läßt noch am ehesten den segmentalen Grundbauplan des Nervensystems erkennen. In jedem Segment gehen von ihm ein Paar sensible und ein Paar motorische Nerven ab. Die Zellkörper der sensiblen Nervenfasern befinden sich in einer Anschwellung des Nervs vor dessen Eintritt in das Rückenmark, dem Spinalganglion. Die Zellkörper der motorischen Nervenfasern befinden sich in der grauen Substanz des Rückenmarks. Über das Rückenmark verlaufen ohne Einschaltung des Gehirns einfache oder unbedingte Reflexe (Abb. 86/2).

Das Rückenmark ist insbesondere bei niederen Wirbeltieren Zentrum von Bewegungsvorgängen (z. B. Laufen, Schwimmen) und von einfachen Abwehrreaktionen.

In der weißen Substanz des Rückenmarks verlaufen Leitungsbahnen, die einerseits Erregungen zum Gehirn leiten und andererseits in umgekehrter Richtung von dort Impulse auf die Erfolgsorgane (z. B. Muskulatur) übertragen.

Das *Gehirn* dient als Steuerzentrum des Gesamtorganismus. Es entwickelte sich ontogenetisch aus einem erweiterten Bläschen am Vorderende des Rückenmarkrohres. Im Verlauf der Stammesentwicklung bildete sich zunächst ein aus zwei und später aus drei Abschnitten bestehendes Organ heraus. Diese Abschnitte werden ihrer Lage entsprechend als Vorder-, Mittel- und Hinterhirn bezeichnet. Die Entstehung dieses dreiteiligen Gehirns verläuft parallel mit der Entwicklung der drei wichtigen Sinnesorgane: Nase, Auge, Ohr. Jedes dieser drei Sinnesorgane hat sein Zentrum in einem der drei Hirnabschnitte (Abb. 88/1).

Durch Differenzierung des vorderen Abschnittes in Groß- und Zwischenhirn und des hinteren Abschnittes in Hinter- und Nachhirn bilden sich zwei weitere Abschnitte heraus, so daß das Gehirn der Wirbeltiere in seiner Endform aus fünf Abschnitten besteht (Abb. 88/1 u. 89/1):
Großhirn (Telenzephalon; auch Vorder- oder Endhirn)
Zwischenhirn (Dienzephalon)
Mittelhirn (Mesenzephalon)
Hinterhirn (Metenzephalon; auch Kleinhirn)
Nachhirn (Myelenzephalon; auch verlängertes Mark)
Innerhalb des Gehirns erweitert sich der mit einer serösen Flüssigkeit gefüllte Zentralkanal zu vier Gehirnventrikeln.

Großhirn. Das Groß- oder Vorderhirn hat im Verlauf der Wirbeltierevolution seine größte Entfaltung erfahren. Ursprünglich nur Zentrum der Geruchsempfindung (Riechhirn), wird es zu dem beherrschenden Hirnteil. Beim Menschen ist diese Entwicklung am weitesten fortgeschritten. Noch bei den Fischen besteht das Vorderhirn nur aus zwei blasenförmigen Anschwellungen, die im Vergleich zu den übrigen Hirnteilen recht klein sind. Diese Hirnteile nehmen von den Lurchen an in steigendem Maße an Mächtigkeit zu und werden bei den Säugetieren und dem Menschen zum dominierenden Teil des Gehirns.

Die Ausbildung von Windungen und Furchen vergrößert die Oberfläche des Großhirns um ein Mehrfaches. In der Hirnrinde ist die graue Substanz, die überwiegend aus Ganglienzellen

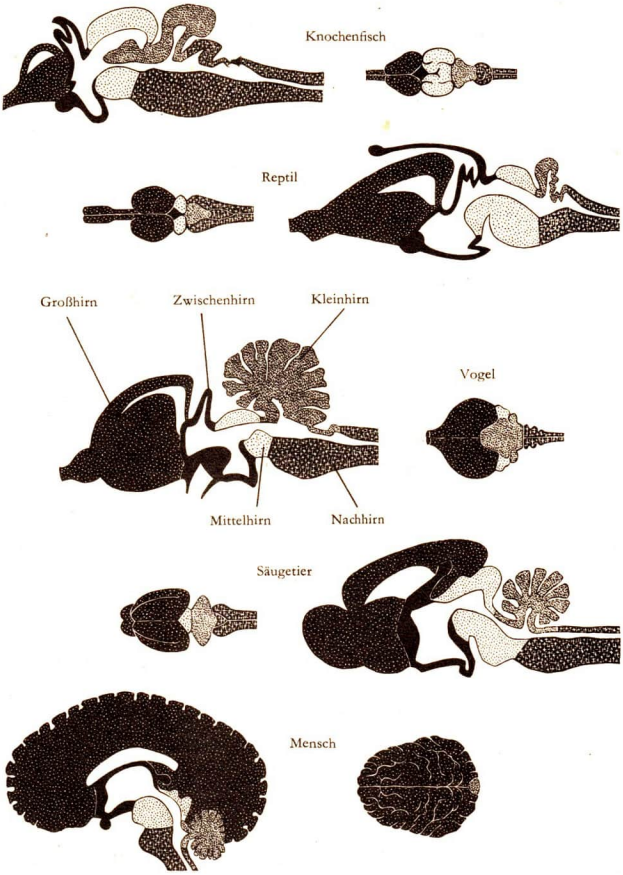


Abb. 88/1 Gehirnentwicklung bei Wirbeltieren

besteht, gelagert. Beim Menschen beträgt die Dicke der Großhirnrinde etwa 3 mm. Beide Hemisphären werden durch Nervenfasern, die Kommissuren, miteinander verbunden.

Zwischenhirn. Das Zwischenhirn liegt dicht hinter beziehungsweise unter dem Großhirn. Es ist eine Schalt- und Kontrollstation, die zwischen dem Großhirn und den nachfolgenden Hirnabschnitten einschließlich Rückenmark vermittelt. Außerdem ist es Zentrum vegetativer Funktionen. Es reguliert beispielsweise den Blutdruck, die Körpertemperatur, den Wasserhaushalt, den Stoffwechsel und die Sexualfunktionen. Es steuert die Instinkthandlungen und die Hormonproduktion. Am Zwischenhirn befinden sich die innersekretorischen Drüsen Hypophyse und Epiphyse. Die Hypophyse als zentrales innersekretorisches Organ regelt unter anderem die Tätigkeit der übrigen innersekretorischen Drüsen.

Mittelhirn. Im Dach des Mittelhirns enden ursprünglich die Sehnerven, so daß es bei den niederen Wirbeltieren ein optisches Zentrum darstellt. Bei den höheren Wirbeltieren, insbesondere den Säugetieren, tritt eine Verlagerung der Sehnerven zur Großhirnrinde ein. Tiere mit gutem Sehvermögen, wie Fische und Vögel, besitzen ein besonders stark entwickeltes Mittelhirndach. Außerdem münden im Mittelhirn, mindestens teilweise, die Nervenfasern des akustischen Sinnesorgans. Als Umschaltstation spielt das Mittelhirn insbesondere bei den niederen Wirbeltieren eine beträchtliche Rolle. Bei den Säugetieren wird diese Funktion größtenteils vom Zwischenhirn übernommen.

Hinterhirn. Aus dem Dach des Hinterhirns geht das Kleinhirn (Zerebellum) hervor, welches das Zentralorgan für Bewegungskoordination, Gleichgewichtsregulation und Muskeltonus darstellt. Außerdem verarbeitet es auch die akustischen Reize. Tiere, die besonders schnelle und komplizierte Körperbewegungen ausführen (z. B. Fische, Vögel, viele Säugetiere), besitzen ein stark entwickeltes Kleinhirn. Bei Lurchen, Kriechtieren und manchen Fischen mit gering entwickelter Ortsbewegung ist es dagegen verhältnismäßig klein.

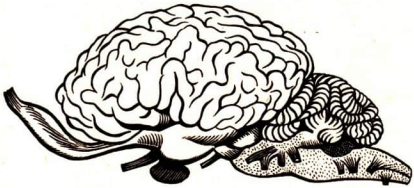


Abb. 89/1 Gehirn eines Säugers (Seitenansicht)

Nachhirn. Das Nachhirn oder verlängerte Mark zeigt als einziger Gehirnabschnitt eine verhältnismäßig große morphologische Übereinstimmung mit dem Rückenmark. Eine besondere Bedeutung kommt dem Nachhirn als Steuerungszentrum der Atmung, des Blutkreislaufes und der allgemeinen Stoffwechseltätigkeit zu. Es ist also ein ausgesprochen lebensnotwendiger Hirnabschnitt. Außerdem stellt es eine Schaltstation zwischen Rückenmark und Großhirn dar. Am Nachhirn entspringen und münden auch die meisten Gehirnnerven, so beispielsweise der Vagusnerv, der zu Lunge, Herz, Darmkanal und Organen mit innerer Sekretion führt. Zentren übergeordneter geistiger Funktionen fehlen dem Nachhirn.

Peripheres Nervensystem. Neben dem Zentralnervensystem (Rückenmark und Gehirn) wird noch ein peripheres und ein vegetatives Nervensystem unterschieden. Das periphere Nervensystem wird von den Nerven gebildet, die Gehirn und Rückenmark mit den übrigen Teilen des Körpers verbinden. Entweder leiten diese Nervenfasern die Erregungen von den reizauf-

nehmenden Organen zum Zentralnervensystem, oder sie übermitteln die Impulse vom Zentralnervensystem zu den Erfolgsorganen (z. B. Muskeln, Drüsen). Morphologisch lassen sich die sensiblen und motorischen Nervenfasern nicht unterscheiden.

Rückenmarksnerven kommen normalerweise in jedem Körpersegment vor. Sie bestehen aus beiderseitig angeordneten oberen und unteren Nervenwurzeln, die sich bei den Fischen außerhalb, bei den übrigen Wirbeltieren innerhalb des Wirbelkanals zu je einem rechten und einem linken Spinalnerven zusammenschließen (Abb. 86/2).

Die *Gehirnnerven* versorgen die unsegmentierten Teile des Körpers. Fische und Lurche besitzen zehn, die höheren Wirbeltiere zwölf Paar Hirnnerven. Das erste und zweite zum Groß- und Zwischenhirn ziehende Nervenpaar besteht aus den Riech- und Sehnerven. Bis auf die vom Mittelhirn ausgehenden zwei Paar Augenmuskelnerven entspringen alle übrigen Nerven am Nachhirn. Zu den wichtigsten Gehirnnerven gehören der Gesichtsnerv, der Gleichgewichts- und Hörnerv, der Geschmacksnerv sowie der Vagusnerv.

Vegetatives Nervensystem. Das vegetative Nervensystem regelt die Tätigkeit der Verdauungsorgane, Geschlechtsorgane, Nieren, Blutgefäße und des Herzens. Bei den Wirbeltieren setzt es sich aus dem sympathischen und dem parasympathischen System zusammen. Vom *Sympathikus* übermittelte Impulse steigern die Körperaktivität, erhöhen die Herzleistung und beschleunigen die Blutzirkulation. Das *parasympathische System*, zu welchem der Vagusnerv gehört, wirkt als Gegenspieler des Sympathikus, er verringert die Herzleistung und die Blutzirkulation, regt die Verdauungsprozesse an und dämpft die Körperaktivität.

Das vegetative Nervensystem des Menschen ist vom Willen nicht zu beeinflussen. Es wird deshalb auch als autonomes Nervensystem bezeichnet.

(25) (26)

► Das Nervensystem dient der Steuerung der verschiedenen Lebensfunktionen (zusammen mit dem Hormonsystem). Es ist als diffuses Nervensystem (Hohltiere) oder als Zentralnervensystem ausgebildet. Zentralnervensysteme sind die Strickleiternervensysteme der Gliedertiere und das aus Gehirn und Rückenmark bestehende Nervensystem der Wirbeltiere. Bei Wirbeltieren ist außerdem noch ein vegetatives (autonomes) Nervensystem ausgebildet.

An den Nervensystemen kann innerhalb der verschiedenen Tierklassen eine zunehmende Differenzierung und Zentralisierung erkannt und damit eine Höherentwicklung nachgewiesen werden.

Ökologie

Wechselwirkungen zwischen der morphologisch-physiologischen Konstitution der Organismen und den Umweltfaktoren

Überblick über die Umweltfaktoren

Die Ökologie beschäftigt sich mit den wechselseitigen Beziehungen zwischen den Organismen oder Organismengemeinschaften und ihrer Umwelt. Alle Tiere und Pflanzen und auch die Lebensgemeinschaften (Biozönosen) stehen in einem gegenseitigen Stoff- und Energieaustausch mit ihrem Biotop. Unter der Umwelt oder dem Biotop der Organismen und Biozönosen werden der Lebensraum und die dort physiologisch wirkenden abiotischen und biotischen Faktoren verstanden.

Die Umwelt der Organismen und Organismengemeinschaften wird geprägt von den Klima- und Bodenfaktoren. Zu den Klimafaktoren gehören beispielsweise Sonnenstrahlung, Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung. Bodenfaktoren sind unter anderem Bodenart, Bodentyp, Humusgehalt, Bodenreaktion, Kalkgehalt und Nährstoffgehalt, aber auch Bodentemperatur, Bodenfeuchtigkeit und die Gestaltung der Bodenoberfläche (z. B. Hanglage, Hangneigung).

In der Kulturlandschaft beeinflußt darüber hinaus der Mensch die Umwelt der lebenden Natur in starkem Maße. So schafft er durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen, durch Düngung und Melioration sowie durch Unkraut- und Schädlingsbekämpfung den Nutzpflanzen optimale Umweltbedingungen. Dabei greift er in das Zusammenspiel der Organismen und Faktoren in den Biozönosen ein. Unkraut- und Schädlingsbekämpfungsmittel (z. B. Herbizide, Insektizide) hinterlassen Rückstände in den Pflanzen und im Boden. Abprodukte der industriellen und landwirtschaftlichen Produktion beeinflussen darüber hinaus, vor allem in intensiv genutzten Kulturlandschaften, in Form von Abgasen und Abwässern sehr stark die Umwelt der Pflanzen und Tiere.

Die einzelnen Boden- und Klimafaktoren und die durch die Produktion bedingten Faktoren wirken in sehr unterschiedlichem Maße auf die Organismen ein, und die einzelnen Organismenarten sind verschieden stark von diesen Faktoren abhängig. So wirkt die Sonnenstrahlung direkt auf die Organismen ein, während die Bodenart beispielsweise vor allem über den Wasser- und Temperaturfaktor die Landpflanzen und Bodentiere beeinflußt. Ein so lebensnotwendiger Faktor wie die Sonnenstrahlung, die die primäre Energiequelle für das gesamte Leben auf der Erde darstellt, ist als Lichtenergie nicht in allen Lebensräumen unmittelbar wirksam. Ständige Bodenbewohner (z. B. Regenwurm), Tiefseebewohner (z. B. Laternenfisch) und Höhlenbewohner (z. B. Grottenolm) benötigen kein Licht, oder es wirkt sich störend aus.

Im Mittelpunkt der ökologischen Betrachtung stehen die Faktorenkomplexe, die physiologisch auf die Organismen wirksam werden. Zu diesen gehören das Licht, die Wärme (z. B. Temperatur der bodennahen Luftschicht und des Bodens), das Wasser (z. B. die den Pflanzen verfügbare Bodenfeuchtigkeit, Sättigungsdefizit der Luft), die chemischen Faktoren (z. B. Sauerstoffgehalt, Stickstoffgehalt, Kohlendioxidgehalt der bodennahen Luftschicht und der Bodenluft, Bodenreaktion, Nährstoffgehalt, Chlorid- und Gesamtsalzgehalt des Wassers, alle

Abprodukte, die in die Luft oder in das Wasser gelangen, die mechanischen Faktoren (z. B. Tritt, Biß, Mahd, Windbruch, Schneeschliff) und biotische Faktoren (z. B. innerartliche und zwischenartliche Konkurrenz, Parasitismus, Symbiose).

Die physiologisch wirkenden Umweltfaktoren besitzen für die Organismen unterschiedliche Funktionen. Sie bilden die Energiequelle (z. B. Licht- und Wärmestrahlung, energiereiche chemische Verbindungen) oder liefern die Stoffe für den Aufbau des Körpers der Pflanze (z. B. Kohlendioxid, Nährstoffe, Wasser). Kohlendioxid und Wasser bilden die Grundlage für die Photosynthese, Sauerstoff für die biologische Oxydation. Die Umweltfaktoren lösen durch Reizwirkung Verhaltensreaktionen bei den Organismen aus (z. B. Licht den Phototropismus, Wasser den Hygrotropismus). Die Umweltfaktoren prägen den Bau, die ablaufenden Prozesse sowie die Leistung und Produktivität der Organismen und ihre Verbreitung auf der Erde im Rahmen der Variationsbreite der Sippen. Eine Reihe von Boden- und Klimafaktoren wirken nur indirekt auf die Organismen ein, indem sie die physiologisch wirksamen Umweltfaktoren prägen und beeinflussen. Ein steil abfallender Hang führt einen großen Teil des Niederschlagswassers oberirdisch ab. An einem Südhang wird infolge der steileren Sonneneinstrahlung und der damit verbundenen stärkeren Erwärmung ein höherer Anteil des in den Boden eingedrungenen Niederschlagswassers verdunstet als auf einer ebenen Fläche oder an einem Nordhang. Dadurch verringert sich nicht nur der den Pflanzen zur Verfügung stehende Bodenwasservorrat, es steigt auch das Sättigungsdefizit der Luft stärker an. Durch die größere Saugkraft der Atmosphäre wird auch die Transpiration der Organismen verstärkt.

Ähnlich modifizierend auf den Wasserfaktor wirkt die Bodenart. Sandige Böden sind mit ihren großen Poren und dem geringen Anteil an Bodenkolloiden sehr wasserdurchlässig. Niederschlag wird deshalb schnell in große Bodentiefen abgeführt, ohne daß sich in den oberen Schichten eine große Menge von Haftwasser bilden kann. In niederschlagsreichen Perioden sind deshalb Sandböden für die Organismen relativ trocken. In Trockenzeiten steigt das tief in den Boden eingedrungene Wasser wegen der geringen Kapillarkraft der Sandböden nur geringfügig in die oberen Bodenschichten auf, so daß es nicht so leicht verdunsten kann und der Sand dann relativ frisch bleibt.

Tonböden besitzen einen hohen Anteil an Bodenkolloiden, die Wasser binden, und sehr kleine Bodenporen. Niederschlagswasser sickert nur schwer in tiefere Bodenschichten ein. Es wird durch die Adhäsion der Kapillarwände in den oberen Partien festgehalten, wodurch der Tonboden bei Niederschlag leicht oberflächlich vernäßt und sogar Oberflächenwasser bildet. In Trockenzeiten entstehen in Tonböden Trockenrisse, so daß dem Tonboden dann auch der Bodenwasservorrat tieferer Schichten entzogen wird. Tonböden sind deshalb in niederschlagsarmen Zeiten trockener als Sandböden.

Die Bodenart wirkt auch über den Wärmefaktor indirekt auf die Organismen ein. Sandböden erwärmen sich recht leicht und kühlen sich auch sehr schnell ab, während Tonböden einen ausgeglichenen Wärmehaushalt besitzen. Das direkte und indirekte Wirken der Umweltfaktoren zeigt beispielsweise die Wirkung des Schnees. Schnee als Niederschlag wirkt nicht nur durch Erhöhung der Bodenfeuchtigkeit über den Wasserfaktor auf die Organismen ein. Die Luft innerhalb der Schneedecke ist mit Wasserdampf abgesättigt, so daß pflanzliche Organismen innerhalb der Schneedecke durch Frosttrocknis (↑S. 97f.) keine Schäden erleiden. Die Schneedecke wirkt auch als Wärmeisolator, so daß sie indirekt den physiologisch wirksamen Wärmefaktor beeinflußt. Bei starker Luftbewegung kommt es vor allem in den Hochgebirgen durch den treibenden Schnee zu Beschädigungen pflanzlicher Organe. Der Schneeschliff wirkt mechanisch auf die Organismen ein. Eine mechanische Wirkung der Schneedecke liegt auch vor, wenn sie die Fortbewegung des Wildes bei der Nahrungssuche oder Flucht behindert, wodurch es nicht selten zur tödlichen Erschöpfung oder Verletzung des Wildes kommen kann.

Die Umweltfaktoren wirken nicht isoliert, sondern im komplexen Zusammenspiel auf die Organismen und Organismengemeinschaften ein. Die Abbildung 94/1 zeigt die Bedingungen und das Beziehungsgefüge des Wasserfaktors. Der Wasserfaktor wirkt über das den Pflanzen verfügbare Bodenwasser (Wasseraufnahme) und das Sättigungsdefizit der Luft (Wasserabgabe) auf die Pflanzen ein. Weitere ökologisch wichtige Teilfaktoren sind darüber hinaus Überflutung, Grundwasser und Kapillarsaum.

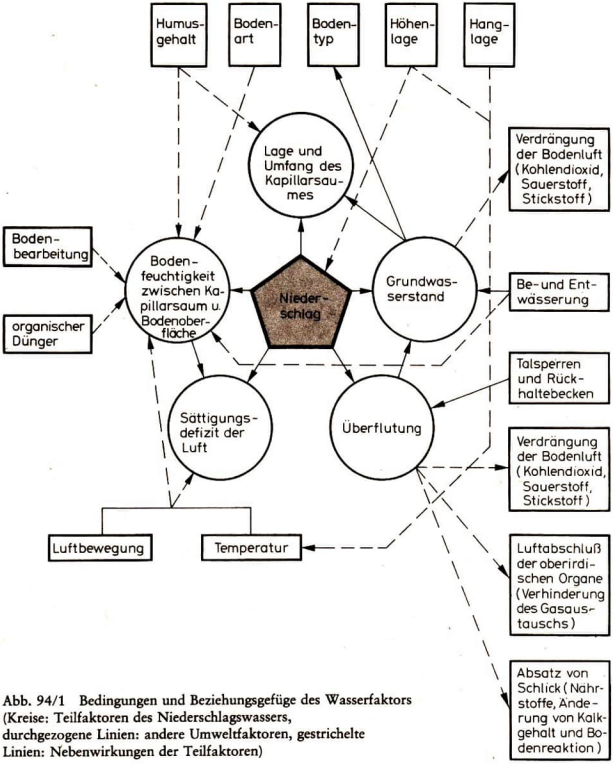


Abb. 94/1 Bedingungen und Beziehungsgefüge des Wasserfaktors (Kreise: Teilfaktoren des Niederschlagswassers, durchgezogene Linien: andere Umweltfaktoren, gestrichelte Linien: Nebenwirkungen der Teilfaktoren)

Die Organismen besitzen gegenüber den auf sie wirkenden Umweltfaktoren eine ganz bestimmte Amplitude, innerhalb der sie ihre Lebensfunktionen aufrechterhalten können. Diese Amplitude wird als *ökologische Potenz* bezeichnet. Die ökologische Potenz der einzelnen Organismenarten ist gegenüber den einzelnen Umweltfaktoren recht verschieden. Sie ändert sich beispielsweise bei den einzelnen Organismen im Verlauf ihrer ontogenetischen Entwicklung oder bei den Bäumen an der Waldgrenze in den einzelnen Jahreszeiten (↑S. 97f.).

Als *ökologische Valenz* wird die Amplitude eines Faktors bezeichnet, innerhalb der überhaupt noch Leben möglich ist. Tierische wie pflanzliche Organismen erreichen bei etwa 50 °C die obere Temperaturgrenze, die gerade noch eine Aufrechterhaltung der Lebensprozesse ermöglicht. Bei höheren Temperaturen fallen die Eiweiße aus, und der Stoffwechsel bricht zusammen. Einige Larven von Insektenarten in den Thermen Islands und Kamtschatkas vertragen allerdings Temperaturen von 55 °C, manche Flechten und Kakteen halten sogar Temperaturen von 60 °C aus.

Viele tropische Arten und Kulturpflanzen aus warmen Herkunftsgebieten (z. B. Tomate, Kürbis, Gurke, Bohne) sterben schon bei Temperaturen wenig über dem Gefrierpunkt ab, während einheimische Getreidearten, besonders aber die Gehölze an der Waldgrenze tiefe Wintertemperaturen ertragen.

Die kälteertragenden Gehölze erleiden im Winter meist nicht Kälteschäden, sie werden durch die Frosttrocknis geschädigt (↑S. 97f.). Da die Gemeine Kiefer und die Gemeine Fichte bereits bei – 2 °C bis – 7 °C assimilieren, sind sie bei gefrorenem Boden und vereisten Gefäßen nicht in der Lage, ihren Wasserbedarf zu decken, so daß es zum Vertrocknen der Pflanzen kommt.

Bei zahlreichen Tierarten hören bei 0 °C die Lebensprozesse auf. Beim Winterschlaf wird die Körpertemperatur auf etwa 4 °C eingestellt. Die Tabelle auf Seite 113 zeigt, welche niedrigen Temperaturen Tiere kurzfristig auszuhalten vermögen. Einige Samen, die extrem wasserarm sind, ertragen Temperaturen bis zu – 200 °C.

① ② ③ ④ ⑤

▶ Die Ökologie ist die Lehre von den wechselseitigen Beziehungen zwischen den Organismen oder Organismengesellschaften und ihrer Umwelt.
Eine Lebensgemeinschaft von Pflanzen und Tieren wird als Biozönose, die Umwelt der Organismen und Biozönosen als Biotop bezeichnet.
Bei den auf die Organismen und Biozönosen wirkenden Umweltfaktoren sind Faktoren mit direkter Wirkung (z. B. Licht, Wasser, Wärme, chemische Faktoren) und Faktoren mit indirekter Wirkung (z. B. Bodenart, Hanglage) zu unterscheiden.
Das Vermögen eines Organismus, innerhalb seines Toleranzbereiches Schwankungen eines Umweltfaktors zu ertragen, wird als ökologische Potenz bezeichnet. Die ökologische Potenz ändert sich im Verlaufe der Individualentwicklung. Je nach Ausdehnung des Bereichs der ökologischen Potenz hat der betreffende Faktor eine kleinere oder größere ökologische Valenz für die betreffende Art.

Biotope mit extremen Umweltbedingungen

Hochgebirge

Selten tritt uns die von der Vegetation geprägte Veränderung der Landschaft so stark vor Augen wie an der Wald- und Baumgrenze im Hochgebirge (z. B. Hohe Tatra, Beskiden, Alpen).

Auf die Waldstufe, die Bergstufe und die „Kampfzone" des Waldes folgt die wald- und baumfreie Hochgebirgsstufe (alpine Stufe), in der die Kombination der Umweltfaktoren einen Baumwuchs nicht mehr zuläßt. Die Hochgebirgsstufe reicht von der Waldgrenze bis zur Grenze des „ewigen" Schnees (nivale Stufe).

Die Vegetationsperiode ist in der Hochgebirgsstufe (Abb. 96/1) kürzer und kälter als in der Bergstufe (montane Stufe). Die geringe Luftschicht führt zu einer intensiven Sonneneinstrahlung, aber auch zu einer starken Ausstrahlung in wolkenlosen Nächten. Starke Temperaturextreme sind für die Hochgebirgsstufe charakteristisch (z. B. Tag, Nacht). Die Temperaturen besonnter Stellen weichen sehr stark von denen beschatteter Standorte ab, und auch der Temperaturunterschied der Luft in Bodennähe und in 2 m Höhe ist bei intensiver Sonneneinstrahlung beträchtlich.

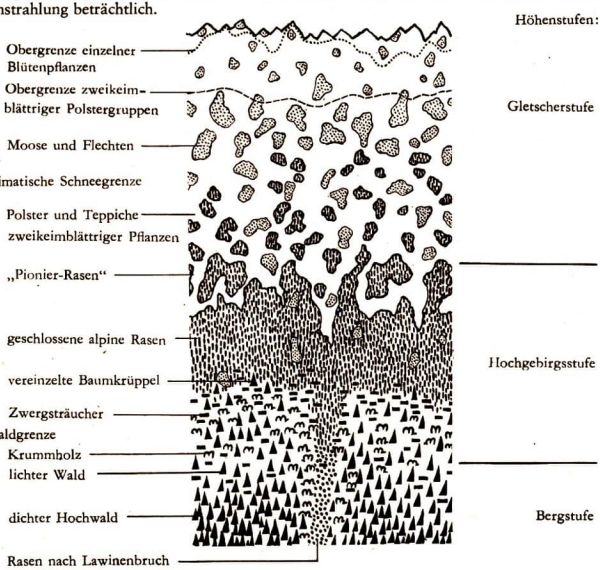


Abb. 96/1 Vegetations- und Höhenstufen des Hochgebirges

Temperaturgegensätze besonnter und schattiger Standorte (in °C)			
Höhenlage	Temperatur in der Sonne	Temperatur im Schatten	Temperatur-differenz
3 000 m ü NN	59,5	6,0	53,5
1 800 m ü NN	44,0	26,5	17,5
20 m ü NN	37,8	32,7	5,1

Der gedrungene, niedrige, oft polsterförmige Wuchs der Pflanzen des Hochgebirges ermöglicht die Nutzung der hohen Erwärmung der bodennahen Luftschicht und des steinigen Bodens. Bezeichnend für die Hochgebirgsstufe sind weiterhin relativ lang andauernde Frostwechselzeiten.

Die stark gegliederten Oberflächenformen mit ihren Steilhängen, Mulden und Rinnen sowie die Dauer der Schneebedeckung schaffen Biotope, die kleinflächig sehr rasch wechseln und zu einer mosaikartigen Ausbildung der Organismengemeinschaften führen.

Unter der Schneedecke sinken die Temperaturen nur wenig unter den Gefrierpunkt. Da die Luft im Schnee eine hohe relative Feuchtigkeit besitzt, leiden die schneebedeckten Pflanzen nicht unter Frosttrocknis, wie etwa die Bäume an der Waldgrenze. Unter Schneedecken von weniger als 20 cm erreichen 2% bis 20% der Sonnenstrahlung diese Pflanzen, so daß sie in den Wintermonaten grün bleiben, assimilieren und den Gemsen und Steinböcken frisches Futter bieten.

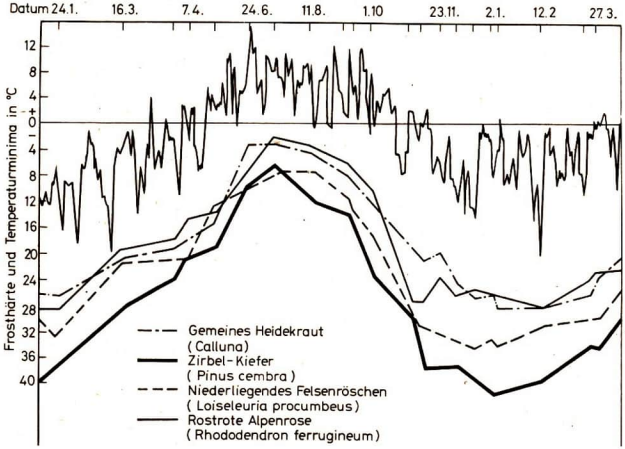


Abb. 97/1 Ausmaß des Frosthärtungsprozesses

Die Böden des Hochgebirges werden durch die hohen Niederschläge stark ausgewaschen und neigen an der Oberfläche zur Versauerung. Die Bodenabtragung durch Wasser und Wind, Schuttrutschungen, Felsstürze und Ströme wasserdurchtränkter Feinerde verhindern an vielen Stellen eine Entwicklung und Reifung der Böden. Auch durch das Bodenfließen, bei dem der an der Oberfläche aufgetaute Boden über dem darunter gefrorenen Boden wegfließt, trägt dazu bei. Auf rohem Gesteinsboden ist die chemische Zusammensetzung des Gesteins für die Vegetation von großer Bedeutung. Die Vegetation zeigt auf kalkhaltigen Böden und auf Urgestein beträchtliche Unterschiede. So besiedelt zum Beispiel die Rauhblättrige Alpenrose Kalkböden, während die Rostrote Alpenrose auf Silikatgestein und sauren Humusböden vorkommt.

Unmittelbar über der Waldgrenze bilden Zwergsträucher (z. B. Alpenrosen, Heidelbeere, Preiselbeere, Zwerg-Wacholder) die Zone zwischen Hochgebirgsstufe und Bergstufe.

Diese niedrigwüchsigen, im Winter unter einer schützenden Schneedecke liegenden Zwergsträucher besitzen als Anpassung an ihren Standort eine geringere Frosthärte als die Gehölze der Krüppelholzzone der oberen Bergstufe, die jedoch stark unter Frosttrocknis leiden (Abb. 97/1).

Die sich anschließende Hochgebirgsstufe wird vor allem von Grasfluren eingenommen, in denen auf Kalkböden das Blaugras und auf Urgesteinsböden das Borstengras und die Gekrümmte Segge hervortreten.

Die Dauer der Schneebedeckung wechselt im Hochgebirge infolge der bewegten Oberflächenformen sehr stark und führt zu einer charakteristischen Vegetationsdifferenzierung.

An Kanten und Windecken wird im Winter durch den Wind häufig der Schnee weggeblasen, so daß die Pflanzen hier der extremen Kälte, der damit verbundenen Frosttrocknis und dem Schneeschliff ausgesetzt sind. Nur wenige Arten, wie die Niederliegende Alpenheide, die Silberwurz und die Polster-Segge trotzen hier dem Sturm. Ihre Polster erscheinen durch die sturmgepeitschten Schneekörner oft wie abgeschliffen. Ihr dichtes Wurzelwerk bietet einen guten Schutz gegen die Bodenerosion. Sie besitzen wie die Zirbel-Kiefer der Krummholzzone eine hohe Frosthärte und als Folge der hier wirkenden Frosttrocknis zeitweilig recht hohe osmotische Werte.

Das andere Extrem bilden die Mulden und Rinnen vor allem der Nordhänge. Hier bleibt der Schnee oft bis in den Juli hinein liegen, so daß diese Standorte nur acht Wochen im Jahr schneefrei bleiben. Diese extrem kurze Vegetationsperiode auf den im Sommer stark durchfeuchteten Standorten ertragen nur wenige Pflanzenarten. Es kommt hier zur Entwicklung der Schneetälchenvegetation, deren wichtigster Vertreter die Kraut-Weide ist (Abb. 98/1). Ihre verholzten Sprosse liegen der Erdoberfläche auf, und nur die Blätter erheben sich etwas über

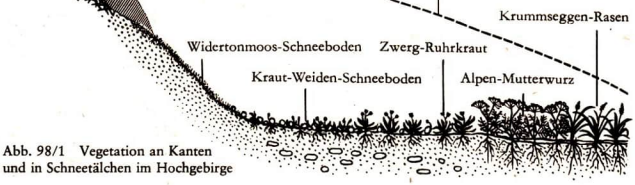


Abb. 98/1 Vegetation an Kanten und in Schneetälchen im Hochgebirge

den Boden. So kann die Wärme an der Bodenoberfläche und in der bodennahen Luftschicht optimal genutzt werden.

In früh schneefrei werdenden Mulden, die auch im Sommer über eine gewisse Feuchtigkeit verfügen, reichern sich durch Wasserzuführung Stickstoff- und Phoshorverbindungen an. Es entwickeln sich üppige Hochstaudenfluren, in denen der Alpenlattich, der Platanenblättrige Hahnenfuß, der Weiße Germer, der Alpen-Milchlattich, Eisenhutarten und Alpendostarten das Bild bestimmen. Auf den Melk- und Ruheplätzen des Weideviehs entwickeln sich durch die düngende Wirkung der Exkremente ebenfalls Hochstaudenfluren, die sogenannten Lägerfluren, in denen der Alpen-Ampfer dominiert.

Biotop Hochgebirgsstufe		
Boden	Klima	Vegetation
starke Gliederung der Oberflächenformen, starke Bodenabtragung und Bodenauswaschung, extreme Hanglagen	kühl, Temperaturextreme, intensive Sonneneinstrahlung, starke Wärmeausstrahlung, lange Frostwechselperioden, starke Luftbewegung	kurze Vegetationsperioden, starke Vegetationsdifferenzierung, Pflanzen mit gedrungenem, niedrigem und polsterförmigem Wuchs

Flachmoore

Der Wurzelraum der Moorvegetation ist völlig von Wasser durchtränkt und sehr sauerstoffarm. Die organische Substanzen abbauenden Organismen finden deshalb im Moorboden ungünstige Lebensbedingungen, so daß es zu einer starken Anreicherung von Humussubstanzen und nur teilweise oder wenig zersetzten Pflanzenrückständen kommt. Diese bezeichnet

Abb. 99/1 Verlandungszone eines eutrophen Sees
Von rechts unten nach links oben:
Armleuchteralgen – Rasen, Laichkrautgürtel, Seerosengürtel,
Schilf-Röhricht, Großseggengürtel, Erlenbuschwald

man insgesamt als Torf. Moorboden besteht deshalb vorwiegend aus organischen Substanzen und ist arm an Mineralstoffen.

Flachmoore oder Niedermoore entstehen vor allem bei der Verlandung von Teichen und Seen. Abgestorbene Tier- und Pflanzenreste sinken auf den Grund der Gewässer und bilden hier eine Schlammschicht. Allmählich erhöht sich dadurch der Teichgrund, so daß im Boden wurzelnde Schwimmblattpflanzen (z. B. Teichrose, Tausendblatt) gedeihen. Besonders stark ist die Stoffproduktion und damit die Aufhöhung des Bodens am Rande der Gewässer. Hier entstehen breite Schilfröhrichte (Schiltorf) und schließlich Seggenrieder (Seggentorf; Abb. 99/1).

Eine weitere Torfanreicherung ermöglicht schließlich die Entwicklung eines Erlenbruch-Waldes (Bruchwaldtorf). Die ebenen, an den Rändern leicht erhöhten Flächen der aus verlandeten Gewässern hervorgegangenen Moore gaben diesem Typ den Namen. Im Gegensatz zu den Flach- oder Niedermooren sind die äußerst nährstoffarmen und extrem sauren Hochmoore im Zentrum uhrglasförmig aufgewölbt.

Die Pflanzen der Flachmoore sind in der Regel Pflanzen mit einem ausgeprägten Luftgewebe in den Wurzeln und Rhizomen.

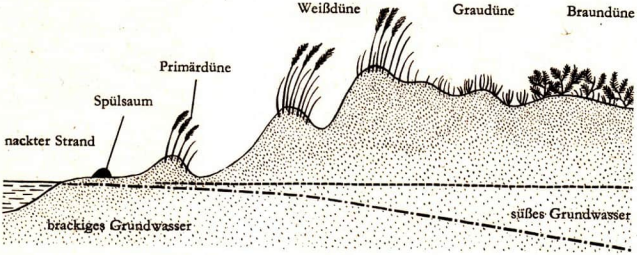
Biotop Flachmoor		
Boden	Klima	Vegetation
hoher Wassergehalt, wenig Sauerstoff; reich an organischen Substanzen, arm an Mineralstoffen	hohe Luftfeuchtigkeit	Pflanzen mit ausgeprägtem Luftgewebe in Wurzeln und Rhizomen

Dünen

Trocknet der durch das Wasser an den Strand geworfene Seesand an der Oberfläche aus, so kann starker Wind die 0,5 mm bis 1 mm großen Sandkörner am Boden vor sich hertreiben; Hindernisse, wie Strandgut oder Strandpflanzen, können den Wind so weit abbremsen, daß sich der Sand wieder ablagert. Diese Sandablagerungen nennt man Dünen. Nicht weit vom feuchten Spülsaum der Küsten entfernt, bilden sich meist an einzeln stehenden salzbodenertragenden Pflanzen (z. B. Salzmiere, Meerstrand-Quecke) kleine Sandanhäufungen (Primärdünen). Die salzbodenertragenden Pflanzen entwickeln ein intensives, den Sand befestigendes Wurzelwerk und durchwachsen ständig die aufgewehten Sanddecken, so daß die kleinen Dünen allmählich höher werden.

Sammelt sich in den auf mehr als einen Meter angewachsenen Primärdünen Süßwasser, so siedeln sich der Gemeine Strandroggen und der Gemeine Strandhafer an, die mit meterlangen Rhizomen den Boden durchziehen und ein ständiges Überwehen mit Sand zum Leben benötigen. Dadurch türmen sich die Dünen zu weißen Strandwällen auf (Weißdünen, Abb. 101/1). Diese Dünenpflanzen bilden die Voraussetzung für das Festhalten des Sandes, für die Dünenbildung an der Küste. Sie dürfen deshalb nicht beschädigt oder entfernt werden, das Betreten der Dünen ist nur an besonders gekennzeichneten Stellen gestattet.

Abb. 101/1 Dünenbildung



Biotop Düne		
Boden	**Klima**	**Vegetation**
sandig, trocken; Primär- und Sekundärdünen nährstoffreich, Grau- und Braundünen nährstoffarm und sauer	starke Luftbewegung, salzhaltige Luft, beträchtliche Schwankungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit	großes Wurzelsystem, teils lange Rhizome; wenige Arten, vor allem Salzmiere, Gräser, später Zwergsträucher

✦ Der Sand der Primär- und Weißdünen ist nährstoffreich (zerriebene Muschelschalen, Nährsalze des Meeres). Niederschläge und nur noch geringe Sandüberwehung führen in Jahrzehnten zur Verarmung und Versauerung der Sandböden. Strandroggen und Strandhafer werden von Kleingräsern (z. B. Rot-Schwingel, Schillergras, Silbergras) verdrängt. Es kommt zur Festlegung des Sandes und zur Humusanreicherung (Graudüne). Die Pflanzen der Graudünen ertragen weder ein Übersanden noch ein Loswehen. Schreitet die Versauerung weiter fort, so besiedeln Zwergsträucher, vor allem das Heidekraut, die Dünen. Der entstehende saure Humus färbt dann die oberste Schicht des Bodens braun (Braundüne; Abb. 101/1). ✦

Die Meerstrand-Quecke ist dem Leben auf den Dünen sehr gut angepaßt. Sie benötigt eine ständige Sandzufuhr, sonst leidet sie unter Nährstoffmangel, kümmert und wird gelb. Stickstoffverbindungen und Phosphate werden durch den starken Wind aus angelandetem Material oder auch direkt durch sprühendes Seewasser herangetragen. Die Dünenpflanzen sind durch eine Nahrungskette mit den verschiedenen Meeresorganismen verbunden. Der Wind bringt die Nährstoffe und baut salzarme Böden auf. Er erschwert aber auch die Lebensbedingungen der Dünenpflanzen beträchtlich. Die oberirdischen Teile sind starken Belastungen ausgesetzt und werden durch den Wind hin- und hergeworfen und häufig mit einer Salzkruste überzogen. Diese extremen Lebensbedingungen können nur wenige Pflanzen ertragen. Die meisten Dünenpflanzen besitzen deshalb ein ausgesprochenes Festigungsgewebe. Die Rollblätter des Strandhafers sind darüber hinaus auch beträchtlichen Schwankungen der Temperatur und Luftfeuchtigkeit ausgesetzt.

Brackwasser

Die Kontaktzone an den Küsten zwischen dem Süßwasser der Flüsse und dem salzigen Meerwasser wird als Brackwasser (niederländisch; brak = salzig) bezeichnet. Dieses schwach salzige, träge fließende, sich im Sommer stärker erwärmende Wasser bietet den Organismen recht extreme Umweltbedingungen. Es stellt in sich keinen einheitlichen Biotop dar, sondern zeichnet sich durch einen unterschiedlichen und zeitweise stark wechselnden Salzgehalt (↑Tab. S. 102 oben) aus.

Salzgehalt der Brackwasserzonen	
Süßwasser	0,5 ‰
salzarmes Brackwasser	0,6 ‰ bis 5 ‰
mäßig salziges Brackwasser	5,1 ‰ bis 18 ‰
salzreiches Brackwasser	18,1 ‰ bis 30 ‰
salziges Meerwasser	über 30,1 ‰

Da nur wenige Süßwassertiere und -pflanzen, aber auch nur relativ wenige Meeresorganismen im Brackwasser leben können, sind die Brackwassergebiete relativ artenarm.

Salzgehalt und Anzahl der Tierarten in einigen Meeren und Seen		
Gewässer	Salzgehalt	Anzahl der Tierarten
Mittelmeer	35 ‰	6 000
Schwarzes Meer	18,6 ‰	1 033
Kaspisches Meer	12,9 ‰	476
Aralsee	16,6 ‰	98
Baikalsee	Süßwasser	1 800

Analoge Erscheinungen gibt es in der Pflanzenwelt. Die Vegetation des Brackwassers ist ebenfalls relativ artenarm, weil nur wenige pflanzliche Organismen des salzigen Meerwassers und des Süßwassers der Flüsse und Binnenseen in dieser Übergangszone leben können. So kommen im salzigen Meerwasser der französischen Atlantikküste 136 Braunalgen- und 299 Rotalgenarten vor, während im brackigen Ostseewasser bei Hiddensee nur 53 beziehungsweise 54 Arten dieser beiden Algengruppen leben. Recht charakteristisch für die Brackwasserregion sind Grünalgen der Sippe Darmtang.

Typisch für die Brackwasserzone ist der rasche Wechsel des Salzgehaltes. Dadurch kommt es jeweils zu einem starken Absterben der in den Brackwasserbereich eingedrungenen Meeresbeziehungsweise Süßwasserorganismen, die zu Boden sinken, Sedimente bilden und den Boden stark verschlammen. Auf diesem Schlamm entwickeln sich in großen Mengen Bodenorganismen. So konnten auf dem Boden am Grund der Elbe bei Hamburg auf 100 cm² 3 076 Individuen des Schlammröhrenwurmes *(Tubifex)* und bis 764 Kugelmuscheln ermittelt werden.

✦ Die Ostsee besitzt Brackwassercharakter. Sie erfuhr im Verlaufe ihrer erdgeschichtlichen Entwicklung verschiedene Phasen der Versalzung und Aussüßung, wobei jeweils die vorhandenen Arten ausstarben und in Anpassung an den veränderten Salzgehalt andere Arten ein-

wanderten. Im Salzgehalt der Ostsee macht sich deutlich ein West-Ost-Gefälle bemerkbar. An den Küsten Südwestschwedens beträgt der Salzgehalt zwischen 17 ‰ und 24 ‰ und reicht fast an den Salzgehalt der Nordsee heran. Bei Hiddensee liegt der Salzgehalt bei 8,6 ‰. Noch niedriger ist er am Westende des Finnischen Meerbusens, während das Wasser im Ostteil des Finnischen Meerbusens salzfrei ist.

Da die Verdunstung an der Wasseroberfläche der Ostsee im Gleichgewicht steht mit den hier fallenden Niederschlägen, müßte der jährlich 472 km³ Wasser betragende Zufluß von Süßwasser aus den in die Ostsee mündenden Flüssen (z. B. Oder, Wisła, Neman) zur Aussüßung führen. Das ist jedoch nicht der Fall, weil bei der ständigen Abgabe von Ostseewasser an die Nordsee in größeren Tiefen schweres Wasser aus der Nordsee in die Ostsee zurückfließt. Da die Ostsee im Bereich der Inseln Rügen und Usedom ein typischer Brackwassersee ist, sind im Greifswalder Bodden nicht nur Meerestiere, sondern auch leichte Versalzung ertragende Süßwasserfische wie Hecht, Barsch und Plötze anzutreffen. Der Greifswalder Bodden ist nicht nur ein Laichplatz für Heringe, hier ist der Hecht der zweithäufigste Wirtschaftsfisch. Dem West-Ost-Gefälle des Salzgehaltes entsprechend, zeichnet sich in der Vegetation der Uferregion an der Ostsee eine deutliche floristische Differenzierung ab. Während in Westschweden, an der Schlei in Schleswig-Holstein und auf der Insel Fehmarn noch fast alle Salzpflanzen und Salzpflanzengemeinschaften der Nordseeküsten vorkommen, bildet bereits in der mittleren Ostsee häufig die Strandsimse als Art der Brackwasserröhrichte die Ufervegetation. ✦

▶ Biotop Brackwasser

Salzgehalt des Wassers	Temperatur	Boden	Organismen
örtlich schwankender Salzgehalt zwischen dem Salzgehalt des Süßwassers und der angrenzenden Meere	durch geringe Tiefe schwankend	schlammig, mit vielen Bodenorganismen, enthält Sedimente	wenige Pflanzen- und Tierarten des Meeres und Süßwassers, die sich den unterschiedlichen Umweltbedingungen anpassen können

6 7 8

▶ Im Hochgebirge, in den Dünen, in den Mooren und im Brackwasser herrschen extreme Umweltbedingungen. Die Werte des Lichtes, der Wärme, des Wassers und der chemischen, mechanischen und biotischen Faktoren weichen von denen der anderen Biotope teilweise stark ab. Vielfach treten innerhalb kurzer Zeiträume starke Gegensätze auf. Nur wenige Organismenarten ertragen die extremen Umweltbedingungen.
Organismen dieser Gebiete sind den extremen Umweltbedingungen angepaßt, ihre ökologische Potenz entspricht den Umweltbedingungen.

Reaktionsweisen der Organismen gegenüber der abiotischen Umwelt

Die abiotischen Umweltfaktoren wirken in mannigfaltiger Weise auf das Leben der Organismen ein. Sie beeinflussen den Bau der Organismen, den Stoffwechsel und die Stoffproduktion sowie ihre Verbreitung auf der Erdoberfläche.

Nach den Umweltfaktoren lassen sich die Organismen ökologischen Arten-Gruppen zuordnen, die sich gegenüber den einzelnen Umweltfaktoren oder auch Faktorenkombinationen gleich oder doch sehr ähnlich verhalten.

9

Licht- und Schattenpflanzen

Das Licht liefert nicht nur die Energie für die Photosynthese der grünen Pflanzen, sondern beeinflußt auch die Geschwindigkeit und die Richtung des Wachstums. Es verursacht Differenzierungsvorgänge in den Zellen und Organen. Die Dauer und der Zeitpunkt der Belichtung wirken sich auf die Entwicklung vieler Organismen aus. Die Pflanzen- und Tierwelt besonnter und schattiger Biotope weichen meist beträchtlich voneinander ab.

Nach ihrem Verhalten gegenüber dem Lichtfaktor lassen sich bei den Pflanzen drei ökologische Typen voneinander unterscheiden. Die Lichtpflanzen gedeihen optimal bei voller Belichtung. Sie besiedeln vor allem niedrige, offene Vegetationsformen, wie Steppen, Wüsten, Tundren, Gesteinsfluren, Wegränder, niedrige Rasenbestände und Schuttplätze. Ihre Blätter besitzen ein tief gestaffeltes Palisaden- und Schwammparenchym (Mesophyll), kleine Blattflächen, enge Interzellularen, eine starke Kutikula und eine relativ geringe Anzahl oft eingesenkter Spaltöffnungen (Abb. 104/1).

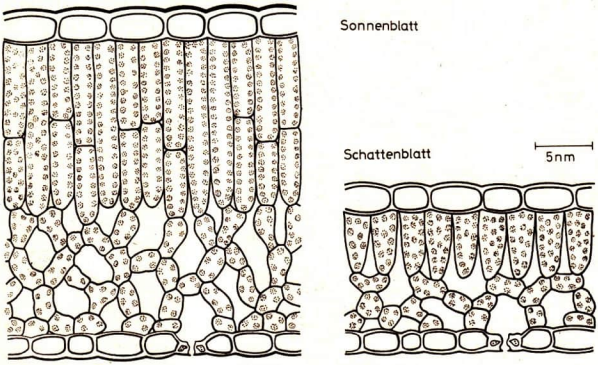


Abb. 104/1 Blattquerschnitt von Licht- (Sonnen) und Schattenblättern

Unterschiede der Licht- und Schattenblätter der Rot-Buche					
Art der Blätter	Blattdicke in μm	Anzahl der Epidermiszellen je mm²		Spaltöffnungen je mm²	Länge der Nervatur je mm² in mm
		Oberseite	Unterseite		
Lichtblatt der Buche	160	1 725	3 000	413	12,2
Schattenblatt der Buche	73	938	1 125	113	8,8

Zu den Lichtpflanzen gehören vor allem die Kulturpflanzen Mitteleuropas, aber auch Unkräuter und Wiesenpflanzen wie Echte Kamille, Spitz-Wegerich, Rot-Klee und Knäuelgras sowie einige Waldbäume.

Licht- und Schattenarten unter den Gehölzen	
Lichtarten:	Robinie, Kiefer, Birke, Lärche
Halblichtarten:	Trauben-Eiche, Esche, Erle, Stiel-Eiche
Halbschattenholzarten:	Hainbuche, Fichte, Linde, Ulme, Berg-Ahorn
Schattenholzarten:	Eibe, Tanne, Rot-Buche

Da viele Unkräuter auch zu den Lichtpflanzen gehören, werden sie durch den dichten, üppigen Wuchs der Kulturpflanzen unterdrückt. Das gilt vor allem für Kartoffel-, Raps- und Hanfkulturen. Durch den höheren Lichteinfluß gedeihen am Rande der Getreidefelder mehr Unkräuter als in der Mitte des Feldes. Eine stärkere Verunkrautung zeigen infolge von sehr starker Trockenheit nur schütter entwickelte Getreidefelder auf der ganzen Ackerfläche.

Die Schattenpflanzen ertragen nicht die volle Belichtung. Sie besiedeln vor allem die Feldschicht der Wald- und Forstgesellschaften, ihre Blätter zeigen den Blattbau von Pflanzen feuchter Standorte. Die Blattflächen sind groß und dünn, besitzen ein flach ausgebreitetes Palisaden- und Schwammparenchym und oft kegelförmige Zellen im Palisadengewebe, die die Lichtstrahlen sammeln. Zu den Schattenpflanzen gehören die Kräuter der Waldgesellschaften, wie Aronstab, Haselwurz, Maiglöckchen, Wald-Veilchen und Sauerklee (Abb. 104/1).

Der Toleranzbereich der Schattenpflanzen gegenüber der Belichtung wird nach oben sehr stark auch durch den Temperatur- und Wasserfaktor bestimmt, weil die volle Belichtung zu einer Anpassung des Wasserhaushaltes führt. Die untere Grenze des Toleranzbereiches ist dagegen vom Lichtfaktor determiniert. Es ist eine Hungergrenze, unterhalb der die entsprechende Art keine photosynthetische Leistung mehr vollbringen kann. Das Lichtgenußminimum, bei dem die Arten gerade noch gedeihen können, zeigt, bezogen auf die volle Belichtung, für einige Gehölze die Tabelle auf Seite 105.

Lichtgenußminimum einiger Gehölze in %					
Lärche	20	Stiel-Eiche	4	Hainbuche	2
Kiefer	10	Fichte	3 bis 4	Rot-Buche	1

Der minimale Lichtgenuß der grünen Gefäßpflanzen liegt bei etwa 1 % der vollen Belichtung. Die Schattenpflanzen meiden Standorte mit voller Belichtung nicht, weil sie dort wegen der hohen Lichtstrahlung nicht gedeihen können, sondern weil an diesen Standorten ein angespannter Wasserhaushalt herrscht, dem die Pflanzen mit ihren zarten, großflächigen Blättern nicht angepaßt sind. Sie erliegen hier sehr schnell der Konkurrenz besser angepaßter Pflanzen. Unterhalb dieses Wertes (1 %) herrscht dunkler Waldschatten, in dem weder eine Strauch- noch eine Krautschicht ausgebildet ist (z. B. dichter Buchenjungwuchs, Fichtenhochwald der Berglagen). Extreme Schattenpflanzen des tropischen Regenwaldes mit geringer Atmung und einem sehr geringen Betriebsstoffwechsel vermögen noch bei einer relativen Belichtung von 0,3 % zu gedeihen. Bestimmte, in Felsspalten lebende Algen kommen bereits mit 0,1 % Belichtung aus.

Neben den Licht- und Schattenpflanzen wird noch eine dritte, ökologisch etwa in der Mitte stehende Gruppe unterschieden, die eine Belichtung von 100 % erträgt, aber auch noch an schattigen Standorten angetroffen wird.

Die Licht- und Schattenpflanzen unterscheiden sich auch hinsichtlich ihrer Assimilationsleistung voneinander. Schattenpflanzen erreichen den Kompensationspunkt bei geringeren Belichtungswerten als die Lichtpflanzen. Unter dem Kompensationspunkt wird die Belichtungsstärke verstanden, bei der die Assimilation der Pflanze und die Atmung gleich groß sind, so daß es weder zur Assimilation von Kohlendioxid noch zu einer Ausscheidung von Kohlendioxid kommt. Positive Stoffbilanzen ergeben sich deshalb bei Schattenpflanzen schon bei niedrigeren Belichtungsstärken als bei Lichtpflanzen. Das Maximum der Stoffproduktion wird allerdings von den Schattenpflanzen bei steigender Belichtung früher erreicht als bei den Lichtpflanzen (Abb. 106/1).

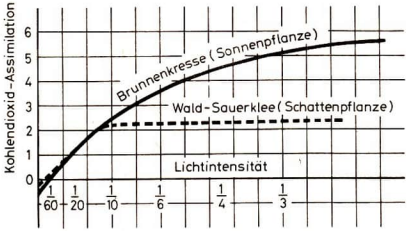


Abb. 106/1 Kompensationspunkt einer Schattenpflanze (Sauerklee) und einer Lichtpflanze (Brunnenkresse)

In den Baumkronen der Gehölze treten an der Peripherie im Bereich der stärksten Belichtung Lichtblätter auf, während im Kroneninneren die Blätter deutliche Schattenblattstrukturen aufweisen. Nimmt bei starker Belichtung im Innern der Baumkrone die relative Luftfeuchtigkeit ab, so reagieren zunächst die Schattenblätter mit dem Schluß der Spaltöffnungen, während die Lichtblätter an der Kronenoberfläche noch weiter assimilieren. Erst wenn der Wasserhaushalt des Bodens eine Anpassung erfährt, schließen sich die Spaltöffnungen auch bei den stärker an die Trockenheit angepaßten Lichtblättern.

Vergleich von Licht- und Schattenpflanzen			
ökologischer Typ	Ansprüche an die Umwelt	Bau der Blätter	einige Vertreter
Lichtpflanzen	benötigen volle Belichtung, besiedeln offene Landschaften	gestaffeltes Palisaden- und Schwammparenchym, kleine Blattfläche, enge Interzellularen, starke Kutikula, eingesenkte Spaltöffnungen	die meisten Kulturpflanzen, Echte Kamille, Rot-Klee, Knäuelgras, Kiefer
Schattenpflanzen	gedeihen nur im Schatten von Bäumen, Sträuchern oder großen Kräutern; benötigen Luft mit hohem Feuchtigkeitsgehalt, vertragen keine extremen Temperaturen	flach ausgebreitetes Palisaden- und Schwammparenchym; kegelförmige Wellen im Palisadengewebe; große und dünne Blattflächen	Aronstab, Haselwurz, Maiglöckchen, Wald-Veilchen, Sauerklee

Das Licht liefert die Energie für die Photosynthese der grünen Pflanzen und beeinflußt die Geschwindigkeit und Richtung des Wachstums.
Stärke, Dauer und Zeitpunkt der Belichtung wirken sich auf die Entwicklung der Pflanzen und der Tiere aus.
Nach dem Verhalten gegenüber dem Licht werden Lichtpflanzen, Schattenpflanzen und Pflanzen, die volles Licht und Schatten ertragen, unterschieden.

Kurz- und Langtagpflanzen

Alle höheren Pflanzen durchlaufen in ihrer Entwicklung eine vegetative Phase, in der Sproßachsen, Wurzeln und Blätter ausgebildet werden, und eine reproduktive Phase, in der sich Blüten und Früchte bilden. Der Übergang von der vegetativen zur reproduktiven Phase ist bei vielen Pflanzen von der täglichen Belichtungsdauer abhängig.

Nach der Dauer der täglichen Belichtungsphase, die notwendig ist, um die Blütenbildung einzuleiten, werden Langtagpflanzen, Kurztagpflanzen und tagneutrale Arten unterschieden. Die Langtagpflanzen (z. B. Roggen, Hafer, Gerste, Weizen, Spinat, Mohn, Möhre, Runkelrübe, Senf, Rot-Klee) gehen erst zur reproduktiven Phase über, wenn die tägliche Belichtung mehr als 12 Stunden andauert. Die Kurztagpflanzen (z. B. Hirse, Reis, Baumwolle, Sojabohne, Hanf,

Abb. 108/1 Langtagpflanze, Gemeiner Tabak (links im Langtag, rechts im Kurztag aufgezogen)

Abb. 108/2 Kurztagpflanze, Hirse (links in 18stündigem Langtag, rechts in 12stündigem Kurztag aufgezogen)

Paprika, Tabak- u. Kartoffelsorten) dagegen setzen nur Blüten an, wenn die tägliche Belichtung 12 Stunden nicht überschreitet (Abb. 108/1 u. 108/2).

Bei den Tagneutralen (z. B. Einjähriges Rispengras, Vogel-Sternmiere, Gemeines Hirtentäschel, Gemeines Kreuzkraut, Sonnenblume) läßt sich eine Beziehung zwischen den beiden Photoperioden und der Blütenbildung nicht feststellen. Unter den Bedingungen der gemäßigten Klimazone bestehen zu Beginn der Vegetationsperiode im Frühjahr und gegen Ende der Vegetationsperiode im Herbst Kurztagbedingungen, während im Sommer Langtagbedingungen existieren. In den Subtropen und Tropen mit einer mehr oder weniger gleichen Dauer der Nacht und des Tages herrschen das ganze Jahr über Kurztagbedingungen. Viele Kurztagpflanzen unter den Kulturarten stammen aus den Gebieten niederer Breiten. Sie haben in der Kultur bei uns in Mitteleuropa ihren erblich fixierten Photoperiodismus beibehalten.

Für die Anregung zur Blütenbildung kommt es nicht so sehr auf die Lichtintensität, sondern auf die Dauer der Belichtung an. Es wirken bereits schwache Lichtintensitäten auf die Blütenbildung ein, die photosynthetisch nicht wirksam werden. Allerdings ist die Empfindlichkeit der einzelnen Arten gegenüber der Belichtungsintensität recht unterschiedlich. Bei wenig empfindlichen Arten wirkt das Dämmerlicht am Morgen und Abend nicht mehr ein, so daß diese selbst bei Vorhandensein von Langtagbedingungen unter Kurztagbedingungen leben.

Die Reizaufnahme erfolgt durch die Blätter. Es wird angenommen, daß die Blütenbildung selbst durch Phytohormone ausgelöst wird.

✦ Langtagpflanzen können beispielsweise durch Gibbereline unter Kurztagbedingungen zum Blühen gebracht werden. Wird ein Reis einer Kurztagpflanze auf eine Langtagpflanze gesetzt, kommt das Reis der Kurztagpflanze auch bei Langtagbedingungen zum Blühen. Umgekehrt veranlaßt ein Reis einer einjährigen Rasse des Bilsenkrautes, das auf die Rosette einer zweijährigen Pflanze gepfropft wird, daß die zweijährige Pflanze bereits im ersten Jahr blüht. Während die Langtagpflanzen durch eine Verlängerung der Belichtungsphase leistungsmäßig profitieren, ist bei den Kurztagpflanzen von einem bestimmten Minimum der Belichtungszeit

an eine abfallende Leistung festzustellen. Wird zum Beispiel die Belichtungszeit bei Soja, einer Kurztagpflanze, sehr stark herabgesetzt, so geht die Pflanze sofort zur Blütenbildung über, ohne vorher ein genügendes Sproßsystem entwickelt zu haben, das für die Photosynthese sehr wesentlich ist. Die Erträge sind dabei deutlich geringer als bei einer längeren Belichtungszeit (von etwa 8 Stunden). ✦

Die Photoperiodizität besitzt für den Gemüse- und Zierpflanzenanbau eine große Bedeutung. Durch die Wahl des Aussaattermins bei Berücksichtigung der normalen Dauer der Wachstumszeit bis zur Entwicklung kräftiger Pflanzen kann man entweder reiche Blüten- und Fruchtbildung oder die starke Entwicklung der genutzten vegetativen Organe wie Blätter, Wurzel- oder Sproßknollen erzielen.

✦ Salat und Radies ergeben als Langtagpflanzen, im Frühjahr oder Herbst gesät, eine gute Blatt- beziehungsweise Knollenentwicklung, ohne daß der Sproß schießt und mit dem Blütenansatz beginnt. Im Frühsommer gesäte Pflanzen gehen dagegen unmittelbar nach der Keimung zum Ansetzen von Blüten über, ohne die gewünschte Blattmasse des Salats oder die Knollen am Radieschen zu entwickeln. Gezüchtete tagneutrale Salatsorten ergeben den Sommersalat, der unter Langtagbedingungen nicht so rasch zur Blütenbildung übergeht. Bei Langtagsorten der erwähnten Gemüsearten kann die Blütenbildung verhindert werden, wenn sie abends und morgens abgedeckt werden, so daß sie auch im Hochsommer unter Kurztagbedingungen leben.

Werden Kurztag-Gemüsepflanzen der gemäßigten Zone in den Tropen angebaut, so durchlaufen sie eine üppige vegetative Entwicklung, ohne Blüten anzusetzen und Früchte oder Samen zu tragen. Das entsprechende Saatgut muß deshalb ständig neu eingeführt werden.

In Gewächshauskulturen ist es möglich, mit vertretbarem Aufwand Kurztagbedingungen durch Abdeckung und Langtagbedingungen durch Zusatzbelichtung zu erzeugen. So lassen sich bei entsprechender Aussaat, Behandlung und Pflege das ganze Jahr über schnittreife Blumen der Chrysanthemen ziehen. Wachsen Chrysanthemen unter Kurztagbedingungen auf, so entwickeln sie buschige Pflanzen mit vielen kleinen Blüten. Werden sie zunächst unter Langtagbedingungen gezogen und dann erst dem Kurztag ausgesetzt, so werden die Pflanzen höher und entwickeln nur einen großen Blütenkopf am Ende des Hauptsprosses.

Will der Gärtner Kurztagpflanzen mit Hilfe von Stecklingen vermehren, so entnimmt er die Stecklinge nicht von Pflanzen, die unter Kurztagbedingungen aufgewachsen sind und zur Blütenbildung ansetzen. Die Pflanzen werden vor der Stecklingsentnahme unter Langtagbedingungen aufgezogen, damit sich die vegetativen Teile recht kräftig entwickeln. ✦

(10)

► Alle höheren Pflanzen durchlaufen in ihrer Individualentwicklung eine vegetative Phase (Ausbildung von Sproßachsen, Wurzeln, Blättern) und eine reproduktive Phase (Blüten- und Fruchtansatz).
Nach der Dauer der erforderlichen Belichtungsphase, die notwendig ist, die Blühphase einzuleiten, werden Langtagpflanzen, Kurztagpflanzen und tagneutrale Pflanzen unterschieden.
Die Erkenntnisse über die Photoperiodizität werden beim Anbau von Gemüse- und Zierpflanzen zur Ertragssteigerung (reiche Blütenbildung oder starke Entwicklung von Blättern, Wurzel- oder Sproßknollen) genutzt.

Lichtintensität und Aktivität der Tiere

Das natürliche Licht, das die Organismen auf der Erde erhalten, stammt fast ausnahmslos von der Sonne. Seine biologische Wirksamkeit hängt von der Qualität, Intensität und der Dauer der Einwirkung ab.

Die *Qualität* wird durch unterschiedliche Absorption der Wellenbereiche in der Lufthülle verändert; die *Intensität* und die *Dauer* seiner Einwirkung auf die Organismen unterliegen, durch die Erdumdrehung bedingt, rhythmischen tages- und jahreszeitlichen Schwankungen.

Die Auseinandersetzung der lebenden Natur mit der auftretenden Lichtenergie erfolgt in Form photochemischer Vorgänge, die bei Einzellern schon starke Wirkung durch Veränderungen des Plasmas erzeugen können, vorwiegend jedoch als Auslöser weiterer biochemisch-physiologischer Prozesse über die nervale und hormonale Regulation wirksam werden.

Die Ansprüche verschiedener Tierarten an das Licht sind sehr unterschiedlich. Im Boden oder in der Tiefsee lebende Tiere kommen ohne Licht aus. Für die meisten Tierarten jedoch übt das Licht auf Körpergestalt, Farbe, Verhalten, Fortpflanzung und Entwicklung unmittelbaren oder steuernden Einfluß aus.

Durch die Änderung der Lichtintensität (hell – dunkel) können bestimmte Aktivitätsformen ausgelöst oder abgeschaltet werden. Die Tatsache, daß bestimmte Tierarten am Tage, in der Dämmerung oder nachts aktiv sind, weist auf eine allgemeine Relation zwischen den jeweiligen Lichtverhältnissen und dem aktiven Verhalten der Tiere hin.

Bei Tieren, deren Aktivität an bestimmte Lichtverhältnisse gebunden ist, muß der durch den Wechsel von Hell und Dunkel gekennzeichnete *Tagesrhythmus* zu einer periodischen Änderung der Aktivitätszustände führen. Dem liegt die während der Stammesentwicklung erworbene und somit endogen bestimmte Eigenschaft zugrunde, daß die Lichtempfindlichkeit des Organismus sich im Verlaufe von 24 Stunden periodisch ändert.

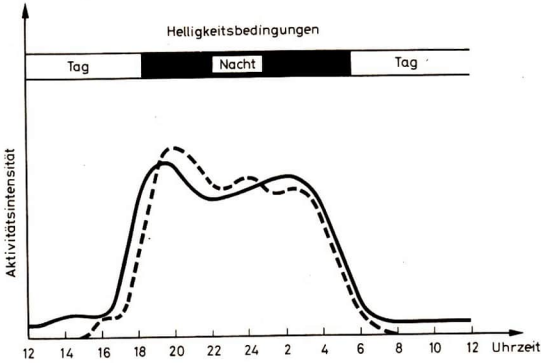


Abb. 110/1 Die Aktivität der Wildkatze (gestrichelte Kurve) und der Waldmaus (ausgezogene Kurve) in Abhängigkeit vom Tag-Nacht-Rhythmus und ihre Übereinstimmungen zwischen Räuber und Beute

Diese endogen bedingte Aktivitätsperiodik wird mit den (exogen) periodisch wechselnden Umweltbedingungen (z. B. Licht) synchronisiert („auf Ortszeit gestellt") und damit der Organismus in den Tagesgang seiner Umwelt eingepaßt. Diese Einpassung gilt besonders für die Beziehungen zwischen den Organismen. Tiere wie Pflanzen sind nur während eines bestimmten Teiles des Tages aktiv. Für die Wechselbeziehungen zwischen Lebensgemeinschaften verschiedener Organismen in ihrer Umwelt ist bedeutsam, daß zu den verschiedensten Tageszeiten ganz verschiedene Organismengruppen aktiv sind und in einem Biotop mehrere, weitgehend unabhängige Verknüpfungsgefüge vorhanden sein können (Abb. 110/1).

✦ Bereits LINNÉ erkannte diese Periodik. Er stellte eine „Blumenuhr" mit tageszeitlich festgelegten Öffnungsbewegungen der Blüten auf. An diese Öffnungszeiten bestimmter Blüten sind wiederum die Aktivitätszeiten blütenbesuchender Insekten gebunden. Ein ähnliches Beispiel des Ineinandergreifens der Aktivitätszeiten verschiedener Organismen ist auch in der Parasitologie zu finden. Die jungen Larven von *Wucheria bankrofti* (Erreger der Elefantiasis) halten sich nur nachts in den Hautkapillaren des Menschen auf. Das ist die Zeit, zu der der Überträger, die Mücke *Culex fatigans*, sticht. Hierbei werden die jungen Larven von der Mücke aufgenommen bzw. entwickelte Stadien aus der Mücke auf Menschen übertragen. ✦

Die periodisch wechselnden äußeren Faktoren sind mit der Periodik innerer Faktoren der Tiere gekoppelt. Dieser Kopplung liegen Zeitmeßvorgänge der Organismen zugrunde. Dadurch stellt sich das Tier bereits vor der Veränderung der Umweltbedingungen auf die künftigen Bedingungen ein und wird so ungünstigen Bedingungen nicht ausgeliefert.

✦ Der Sandlaufkäfer *Cicindela campestris* bewohnt sonnige heiße Heidesandwege. Sein Vorzugsverhalten gegenüber der Wärme liegt bei 35 °C. Gegen Abend sinkt – selbst unter konstanten Bedingungen – die Vorzugstemperatur auf etwa 25 °C bis 26 °C ab. Zugleich ändert sich beim Käfer das Vorzugsverhalten gegenüber dem Licht. Während bisher dunkle Stellen gemieden wurden, sucht der Käfer sie jetzt auf. Hinzu tritt das Bestreben, sich zu verkriechen. So sucht der Käfer noch *vor* einer Änderung der Umweltbedingungen einen günstigen Schlupfwinkel für die Nacht auf. Am Morgen steigen Vorzugstemperatur und Vorzugsverhalten gegenüber der Helligkeit wieder an. ✦

In diesem Zusammenhang ist auch die periodisch wechselnde Tageslichtlänge im Verlauf der Jahreszeiten (Photoperiode) als wichtiger Steuerfaktor im Entwicklungsablauf und im Auslösen der Brunst- und Fortpflanzungszyklen zu verstehen (z. B. Entwicklungsruhe mit herabgesetztem Stoffwechsel, Wechsel zwischen eingeschlechtiger und zweigeschlechtiger Fortpflanzung). Die gezielte Anwendung dieser Erkenntnis ergibt in der Tierhaltung unter künstlichen Lichtverhältnissen die Möglichkeit, größere Produktionsergebnisse zu erzielen (z. B. höhere Legeleistungen der Hennen durch bestimmte Lichtgaben).

(11)

► Die biologische Wirksamkeit des Lichtes hängt von der Qualität, Intensität und der Dauer der Einwirkung ab.
Die Auseinandersetzung der tierischen Organismen mit der Lichtenergie erfolgt in Form von photochemischen Vorgängen, die meist biochemisch-physiologische Prozesse auslösen, die über nervale und hormonale Steuersysteme wirksam werden.
Die innerhalb von 24 Stunden periodisch wechselnden äußeren Faktoren sind mit der Periodik innerer Faktoren gekoppelt. Der Kopplung liegen Zeitmeßvorgänge zugrunde.

Thermoregulation bei Tieren

Tiere besitzen in sehr unterschiedlichem Ausmaß die Fähigkeit zu einer hohen Eigenproduktion an Wärme. Wärmequellen sind dissimilatorische Stoffwechselvorgänge. Nach der Höhe der Produktion an Eigenwärme sowie dem Grad der Wärmeübertragung zwischen Organismus und Umwelt werden die Wechselwarmen und die Gleichwarmen unterschieden. Vögel und Säuger sind Gleichwarme, alle übrigen Tiere sind Wechselwarme. Die Bereiche lebensfördernder Außentemperaturen können bei den einzelnen Arten und Entwicklungsstadien sehr unterschiedlich sein. Innerhalb erträglicher Temperaturgrenzen werden alle im

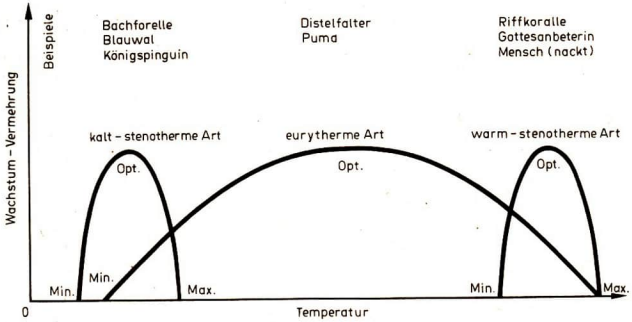


Abb. 112/1 Gedeihkurve von Tieren mit unterschiedlicher Temperaturabhängigkeit

Formen der Wärmeregulation			
Art der Regulation	Mechanismen der Regulation	individuelle Regulation	soziale Regulation
ethologisch	Ausnutzung der Umwelt, Nestbau	Ortsveränderung, Körpereinstellung (Helioregulation)	Zusammenrücken, Nestbau, Isolierung
morphologisch-physiologisch	Änderung von Körperform und -farbe	Körperhaltung, Aufplustern, Farbänderungen	Kompaßnest
physikalisch	Lüftung, Verdunstung	Fächeln, Atmen, Schwitzen	Fächeln
chemisch	Stoffwechsel (Chemoregulation)	Verbrennung	Verbrennung

Körper ablaufenden physiologisch-chemischen Vorgänge vom jeweiligen Temperaturzustand beeinflußt. Auch im biologischen Bereich hat sich die van't HOFFsche Regel bestätigt, wonach eine Erhöhung der Temperatur um 10 °C die Geschwindigkeit der Stoffwechselvorgänge auf das Doppelte bis Dreifache steigert.

Diese Gesetzmäßigkeit besitzt für wechselwarme Tiere Bedeutung, da sie in hohem Maße von der Umgebungstemperatur abhängig sind. Die Temperaturabhängigkeit kann als Kurve dargestellt werden (Abb. 112/1). Der Verlauf dieser Gedeihkurve ist bei den einzelnen Arten entsprechend der unterschiedlichen Zusammensetzung ihrer Eiweiße und ihrer Anpassung an die verschiedenen Lebensräume verschieden.

Verschiedene Möglichkeiten zur Wärmeregulation (↑Tab. S. 112) äußern sich auch in speziellen Anpassungen morphologischer und physiologischer Merkmale der Tiere. So kann eine gesetzmäßige Beziehung zwischen Körperoberfläche und Körpermasse in Abhängigkeit von der Außentemperatur beobachtet werden.

Größenregel: Innerhalb einer Art verfügen die Bewohner der kälteren Klimaregionen über durchschnittlich höhere Körpergröße als die Populationen wärmerer Bereiche. Bei geometrisch ähnlichen Körpern weist der mit dem größeren Volumen die relativ kleinere Oberfläche und damit geringere Wärmeabgabe auf. Rotwild, Bären, Wildschweine beispielsweise nehmen nach dem Norden hin an Größe zu.

Proportionsregel: Die Körperanhänge (z. B. Extremitäten, Schwänze, Ohren, Schnäbel) werden innerhalb einer Art und bei nahe verwandten Arten in wärmeren Bereichen relativ beziehungsweise absolut länger. Besonders die Beschaffenheit der Körperdecke (z. B. Dicke, Fettdepots, Schweißdrüsen, Haar- und Federkleid) als Organ der Wärmeaufnahme und -abgabe beeinflußt die Leistungen der Wärmeregulation. So zeigen alle in den gemäßigten Zonen lebenden Warmblütigen einen regelmäßigen Wechsel ihres Haar- oder Federkleides, das sich in Dichte und Färbung als Sommer- und Winterkleid unterscheidet.

Relativ einheitlich verläuft die obere Grenze der Körpertemperatur. Bei den meisten Vielzellern liegt sie bei etwa + 50 °C, da je nach Tierart bei 40 °C bis 60 °C die ersten Eiweiße ausfallen und der Stoffwechsel gestört wird. Dies führt zu einer Wärmestarre und stets zum Wärmetod des betroffenen Individuums, da die Gerinnung der Eiweiße ein irreversibler Vorgang ist.

Die untere Grenze liegt für Wechselwarme um 0 °C, kann aber auch extrem tiefe Werte bis – 30 °C erreichen. Manche Wechselwarme, vor allem tropische Arten, sterben bei wenig über dem Gefrierpunkt liegenden Temperaturen. Honigbienen sterben schon zwischen – 1 °C und

Minimum der Außentemperatur (Einwirkung der Temperatur kann eine Stunde ertragen werden)		
Art	Außentemperatur (in °C)	Differenz zwischen Außen- und Rektaltemperatur (in °C)
Mensch, nackt	– 1	38
Meerschweinchen	– 15	55
Ratte	– 25	65
Sperling	– 30	70
Kaninchen	– 45	80
Huhn	– 50	90
Eisfuchs	– 80	120
Gans	– 90	130
Ente	– 100	140

– 8 °C, Stubenfliegen bei – 10 °C, amerikanische Schaben bei – 15 °C. Bei 0 °C ist der Stoffwechsel weitgehend stillgelegt. Kälteschäden hängen vor allem vom Wasserhaushalt, der Salzkonzentration, dem Entwicklungsstadium und der Einwirkungsdauer tiefer Temperaturen ab. Sie sind eine Folge von Gewebszerreißungen, die bei der Eisbildung im Körper entstehen. Warmblütige werden bereits geschädigt, wenn die Körpertemperatur auf 15 °C bis 20 °C absinkt.

✦ Untere Grenze der Außentemperatur, die mindestens eine Stunde ohne gefährliches Absinken der Körpertemperatur ausgehalten wird, zeigt die Tabelle auf Seite 113. ✦

(12)

▶ Die Fähigkeit zur Eigenproduktion an Wärme durch dissimilatorische Vorgänge ist bei den Tieren unterschiedlich ausgeprägt. Es gibt wechselwarme und gleichwarme Tiere. Die im Körper ablaufenden physiologisch-chemischen Vorgänge werden vom jeweiligen Temperaturzustand im Tier beeinflußt. Bei einer hohen Temperatur ist die Geschwindigkeit der Stoffwechselvorgänge größer.
Die Körperwärme kann durch individuelle und soziale Regulation verändert werden. Außerdem wird die Körperwärme durch die Art der Körperbedeckung reguliert. Das Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Körpermasse und die Größe der Körperanhänge entsprechen den Temperaturbedingungen der Umwelt.
Zu hohe Temperaturen führen zum Ausfallen der Eiweiße und zu einer Störung des Stoffwechsels, zu niedrige Temperaturen zum Zerreißen der Gewebe.

Xerophyten und Hygrophyten

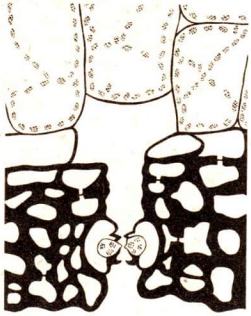
Etwa die Hälfte der Landoberfläche sind niederschlagsarme Gebiete, und auch in den anderen Landschaften sind trockene Standorte häufig. Die Pflanzen haben sich in mannigfaltiger Weise an Wassermangel angepaßt.

Es gibt Pflanzen, die sehr trockene Stellen (sonnige Felsen oder Hügel) bevorzugen. Sie werden als Xerophyten bezeichnet. Pflanzen, die an feuchten und schattigen Stellen wachsen, sind Hygrophyten.

Einjährige und ausdauernde krautige Pflanzen sind den Trockenperioden ihrer Standorte angepaßt. Sie assimilieren bei Niederschlägen recht stark und speichern Reservestoffe. Die Trockenzeiten überstehen sie in Samenform beziehungsweise in Form ihrer im Erdboden liegenden, vor starker Verdunstung geschützten Knollen, Zwiebeln oder Rhizome.

Tiefwurzler können sich in Trockengebieten behaupten, weil ihr Wurzelwerk Anschluß an das Grundwasser erhält (Wurzeltiefgang bis zu 30 m). Diese Arten besitzen meist keine ausgesprochenen morphologischen Anpassungen an die Trockenheit. Sie transpirieren und assimilieren in der Regel sehr stark und weisen eine hohe Stoffproduktion auf (z. B. Oasenvegetation). Sie sind im eigentlichen Sinne keine Trockenpflanzen.

Sukkulente entwickeln ein spezielles Wassergewebe, in dem sie Feuchtigkeit speichern. Riesenkakteen, die eine Höhe von 12 m bis 20 m erreichen, enthalten in ihrem Gewebe über 3 000 Liter Wasser. Sie bestehen zu mehr als 90% aus Wasser. So sind sie in der Lage, ein bis zwei Jahre und noch länger ohne Wasseraufnahme auszukommen. Sie können 60% bis 70% ihres Wassergehaltes verlieren, ohne Schaden zu erleiden. Die starke Reduzierung der transpirierenden Oberfläche (z. B. Kugel- u. Säulenform), eine mehrschichtige, derbwandige Epidermis mit mächtiger Kutikula und einer sehr geringen Anzahl von Spaltöffnungen (↗ Tab.



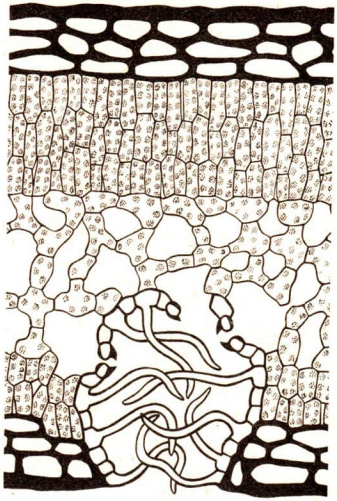


Abb. 115/1 Querschnitt durch die Epidermis einer Kaktee

Abb. 115/2 Querschnitt durch das Blatt einer tropischen Hartlaubpflanze (Oleander)

S. 116), die häufig eingesenkt sind, setzen die Verdunstung stark herab (Abb. 115/1). Ein weit ausladendes, flach unter der Bodenoberfläche verlaufendes Wurzelsystem ermöglicht eine intensive Ausnutzung auch spärlich fallender Niederschläge. Sukkulente bewohnen Gebiete mit starken Trockenzeiten und zeitweiligen, teilweise reichlichen Niederschlägen. Bekannt sind die Kakteenwüsten in Mittelamerika und die Sukkulentenwüste in Südafrika.

Eine starke morphologische und anatomische Anpassung an Trockenstandorte besitzen auch die dürreharten Pflanzen (Xerophyten). Sie zeichnen sich durch ein mächtig entwickeltes Wurzelsystem aus, mit dem sie dem Boden auch geringe Mengen den Pflanzen verfügbaren Wassers entziehen. Die Wurzelmasse ist bei den Xerophyten, verglichen mit den oberirdischen Organen, wesentlich größer als bei den an eine mittlere Luftfeuchtigkeit angepaßten Pflanzen (Mesophyten) und den Hygrophyten. Die Gräser der Steppengebiete entwickeln ein intensives Wurzelsystem, das den Boden durchzieht.

Besonders ausgeprägt sind Einrichtungen zur Herabsetzung und Regulation der Verdunstung. Dürreharte Xerophyten besitzen oft stark reduzierte verdunstende Oberflächen (z. B. kleine nadelförmige, schuppenartige, schmale, borstliche oder zu Dornen umgewandelte Blätter). Das Assimilationsgewebe wird durch eine dickwandige, zuweilen mehrschichtige Epidermis mit einer starken Kutikula abgeschlossen und kann zusätzlich noch eine Wachs-, Harz- oder Kalkschicht tragen.

Dichter Besatz mit abgestorbenen Haaren schafft auf den filzigen Blättern ein Luftpolster, das die Transpiration ebenfalls stark herabsetzt. Die Anzahl der Spaltöffnungen dürreharter Xerophyten ist wesentlich größer als bei Mesophyten und Hygrophyten. Sie liegen aber meist

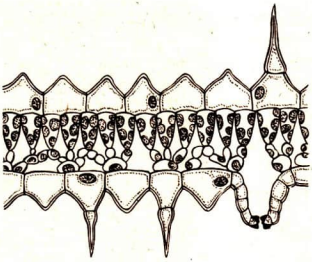


Abb. 116/1 · Querschnitt durch das Blatt einer tropischen Schattenpflanze mit Epidermis, Palisadenzellen, Schwammparenchym und Spaltöffnung

einzeln oder zu mehreren in Gruben eingesenkt, so daß die Wasserdampfabgabe an die Außenluft auch bei geöffneten Spaltöffnungen relativ gering ist (Abb. 115/2). Hinzu kommt, daß vor allem die Steppengräser ihre Blattspreiten zusammenrollen oder falten können, wodurch sie nicht nur die Transpiration noch stärker einschränken, sondern bei Niederschlägen auch recht schnell eine intensive Assimilation aufnehmen können. Recht charakteristisch ist für die dürreharten Xerophyten die Bildung von Festigungsgewebe im Blattgewebe, das die Blätter versteift und äußere Welkungserscheinungen bei starker Austrocknung verhindert.

Anzahl der Spaltöffnungen je mm² bei verschiedenen ökologischen Pflanzengruppen			
Dürreharte Wüstenpflanzen	129	Wasser- und Sumpfpflanzen	61
Hochmoorpflanzen	114	Waldschattenpflanzen	46
Waldrandpflanzen	83	Sukkulente Wüstenpflanzen	45

Pflanzen feuchter und nasser Standorte, vor allem solche, die in einer sehr wasserdampfgesättigten Atmosphäre leben (Unterwuchs des tropischen Regenwaldes), werden Hygrophyten genannt. Sie besitzen Strukturen, die eine Transpiration erleichtern, damit bei dem relativ geringen Sättigungsdefizit der Luft der Stofftransport im Pflanzenkörper aufrechterhalten bleibt. Die Blätter erreichen eine beträchtliche Größe, und zuweilen vergrößern geflügelte Sprosse (z. B. bei Blut-Weiderich, Geflügelte Braunwurz) die transpirierende Oberfläche. Die Kutikula ist stark reduziert, und es kann zur papillenartigen Ausstülpung der dünnwandigen Epidermiszellen und damit zur Vergrößerung der transpirierenden Fläche kommen. Die Spaltöffnungen liegen frei oder sind sogar nach außen vorgewölbt (Abb. 116/1). Das Wurzelsystem der Hygrophyten ist nicht so stark entwickelt wie bei den Xerophyten und den Pflanzen, die an mäßig feuchten Standorten vorkommen.

Es gibt in der Natur alle Übergänge zwischen den beiden extremen Formen. Sogar am gleichen Baum zeigen die ständig dem Sonnenlicht ausgesetzten Blätter Baueigentümlichkeiten von Pflanzen trockener Standorte, während die beschatteten Blätter im Inneren der Krone oder des Waldes den Blättern der Pflanzen feuchter Standorte ähneln. Häufig unterscheiden sich die Blätter des Stockausschlages an einem Baumstumpf in Größe und Aussehen beträchtlich von den Blättern der Baumkrone des ehemaligen Altbaumes. Sie ähneln den Blättern der Pflanzen feuchter Standorte, weil das beträchtliche Wurzelwerk des Stumpfes große Wassermengen zur Verfügung stellt. Durch Aufzucht von Pflanzen gleicher Arten unter extrem trockenen beziehungsweise feuchten Bedingungen kann die Ausbildung der Blätter und Wurzeln beeinflußt werden (↑Tabelle S. 117 oben).

Verhältnis von Wurzel- und Sproßproduktion bei Anzucht von Inkarnat-Klee auf Böden mit 40% und 80% Wassergehalt in der Zeit vom 1. 8. bis 4. 9.

Pflanzentyp	Gesamtzuwachs (mg)	Blatt (%)	Stengel (%)	Wurzel (%)
Trockenpflanzen	83,60	30,7	27,7	41,7
Feuchtpflanzen	128,70	49,8	21,3	28,9

▶ Xerophyten und Hygrophyten sind durch entsprechenden Bau ihres Organismus an die Umwelt angepaßt. Einjährige und krautige ausdauernde Pflanzen überstehen Trockenzeiten in Form von Samen, Knollen, Zwiebeln oder Wurzeln.

ökologischer Typ	Standorte	Körperbau und Körperform	Vertreter
Xerophyten (trockene Standorte besiedelnde Pflanzen)	Wüsten, Steppen, Felsen	*Sukkulenten.* Wasserspeicherorgane; säulen- oder kugelförmig; derbwandige Epidermis, mehrschichtige dickwandige Kutikula, geringe Anzahl von Spaltöffnungen, Spaltöffnungen häufig eingesenkt. *Dürreharte Pflanzen.* Mächtig entwickeltes Wurzelsystem; Wurzelmasse größer als die der oberirdischen Organe; kleine nadelförmige, schuppenförmige, schmale, borstliche oder zu Dornen ausgebildete Blätter; Blätter dickwandig, mehrschichtige Epidermis, teils mit Wachs-, Kalk- oder Haarschicht, auch direkter Haarbesatz, große Anzahl eingesenkter Spaltöffnungen; Sklerenchym im Blattgewebe verhindert Welkungserscheinungen. *Gräser.* Intensives Wurzelsystem, teils zu-	Kakteen, Hartlaubgewächse, Steppengräser, viele Wolfsmilchgewächse, Heidekraut. Stengellose Distel

ökologischer Typ	Standorte	Körperbau und Körperform	Vertreter
		sammenrollbare oder faltbare Blätter, intensive Assimilation während Regenperioden	
Hygrophyten (feuchte Standorte besiedelnde Pflanzen)	feuchte Standorte mit wasserdampfgesättigter Atmosphäre	Große Blätter mit stark reduzierter Kutikula; dünnwandige Epidermiszellen, teils mit papillenartigen Ausstülpungen; teils geflügelte Sprosse; Spaltöffnungen sind häufig nach außen vorgewölbt; relativ wenig entwickeltes Wurzelsystem	Pflanzen der tropischen Urwälder, Sumpf-Dotterblume, Gilbweiderich; Blut-Weiderich, Geflügelte Braunwurz
Pflanzen mäßig feuchter Standorte (Mesophyten)	mäßig feuchte Standorte	große Blattoberfläche, die weder durchweg behaart noch direkt mit Wachs überzogen ist	Bohne Erbse, Tomate, Sonnenblume

13 14 15 16 17 18 19 20

Feuchtlufttiere und Trockenlufttiere

Abgesehen von Tieren, deren Lebensraum das Wasser ist, dem sie durch vielfältige Körperformen und physiologische Funktionen angepaßt sind (z. B. Fortbewegung, Fortpflanzung, Atmung), müssen alle Tiere ständig Wasser aufnehmen, um ihre Stoffwechselvorgänge aufrechtzuerhalten. Es genügt bereits für viele Tiere, das in der Nahrung enthaltene Wasser zu verwerten. Die Größe des Wasserbedarfs wird unter anderem durch den Wasserverlust bestimmt. Eine ständige Wasserabgabe erfolgt durch Exkretion, Verdunstung und Atmung. Der Wasserverlust wird wesentlich beeinflußt durch die Umgebungstemperatur, die relative Luftfeuchte und durch das physiologische Vermögen, die Wasserbilanz im Körper zu regulieren. Dabei spielt die Beschaffenheit der Körperoberfläche eine besondere Rolle. Entsprechend ihrer Biotopbindung kann zwischen Feucht- und Trockenlufttieren unterschieden werden. Feuchtlufttiere (hygrophile Tiere) können nur in wasserdampfgesättigter Luft existieren. Ihnen fehlt ein Verdunstungsschutz völlig, oder er ist nur schwach entwickelt (z. B. fast alle Bodentiere, manche Insekten, einige Wirbeltiere). Trockenlufttiere halten trotz des starken Feuchtigkeitsgefälles zwischen innerem und äußerem Milieu ihren Wasserhaushalt durch die Wirksamkeit ihres Verdunstungsschutzes und die Drosselung des Wasserverlustes durch Darm und Exkretionsorgane aufrecht. Besonders wirksame Einrichtungen zum Verdunstungsschutz sind Hautverhornung, Chitinpanzer, Gehäusebildungen. Manche Trockenlufttiere sind unabhängig von der Zufuhr flüssigen Wassers. Sie gewinnen es durch die innere Atmung.

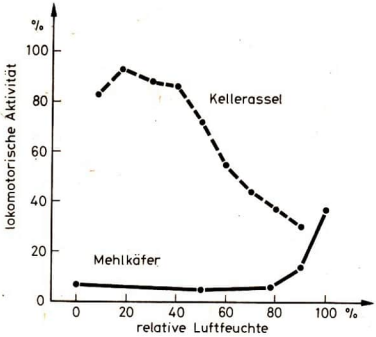


Abb. 119/1 Durch Hygrotaxis ausgelöste Aktivität zum Aufsuchen des Feuchtigkeitsoptimums bei einem Trockenlufttier (Mehlkäfer) und einem Feuchtlufttier (Kellerassel)

Auch die Aktivität vieler auf dem Lande lebender Gliederfüßer wird durch die wechselnde Luftfeuchtigkeit beeinflußt. Durch die im Tagesgang mögliche Änderung der Luftfeuchte am jeweiligen Standort werden diese Tiere durch hygrotaktische Reaktionen zum Aufsuchen eines neuen, ihren Feuchtigkeitsansprüchen entsprechenden Standortes veranlaßt.

So wandern zum Beispiel Feuchtlufttiere in Wiesenbiozönosen während der relativ warmen und lufttrockenen Tagesstunden in untere Grasschichten, während bei gegensätzlichen Bedingungen obere Grasschichten bevorzugt werden.

(21)

Alle nicht dauernd im Wasser lebenden Tiere müssen ständig Wasser aufnehmen. Bei vielen Tierarten reicht das aus der Nahrung verwertete Wasser aus. Der Wasserbedarf wird unter anderem durch die Wasserabgabe bestimmt. Die Wasserabgabe wird durch Umweltbedingungen, Beschaffenheit der Körperoberfläche und das physiologische Vermögen, die Wasserbilanz im Körper zu regeln, beeinflußt.

Trockenlufttiere halten den Wasserhaushalt durch einen wirksamen Verdunstungsschutz (z. B. Hautverhornung, Chitinpanzer, Gehäusebildung und Drosselung des Wasserverlustes) aufrecht.

Feuchtlufttiere leben in wassergesättigter Luft, nur vorübergehender Aufenthalt in trockener Luft ist möglich. Verdunstungsschutz fehlt oder ist schwach entwickelt.

Aerobier und Anaerobier

Die meisten Tiere und Pflanzen sowie auch einige Bakterien decken ihren Energiebedarf durch die Atmung unter Nutzung des Sauerstoffs der Luft. Diese Organismen besitzen eine aerobe Atmung und sind Aerobier. Andere Organismen decken ihren Energiebedarf auf dem Wege der anaeroben Atmung durch Gärungen, bei denen neben Kohlendioxid energiehaltige Endprodukte wie Äthanol, Milchsäure und Butansäure (Buttersäure) entstehen. Sie sind An-

aerobier. Die Gärungsformen werden nach den entstehenden Endprodukten als alkoholische, Milchsäure- und Buttersäuregärung bezeichnet.

✦ Am bekanntesten ist die alkoholische Gärung, bei der Glukosemoleküle durch eine Redoxreaktion gespalten werden. Als Endprodukte treten Kohlendioxid, wie bei der Atmung, und Äthanol auf. Die durch Gärung gewonnene Energie ist wesentlich geringer als bei der Atmung, da im entstehenden Alkohol noch Energie festgelegt ist. Anaerobe Organismen benötigen deshalb eine größere Zuckermenge zur Deckung ihres Energiebedarfs als aerob lebende Mikroorganismen.

Die alkoholische Gärung wird von Hefepilzen der Gattung *Saccharomyces* verursacht. Diese Hefen sowie die Bakterien, die die Milch- und Buttersäuregärung bewirken, sind obligate Anaerobièr, während die Essigsäurebakterien eine aerobe Atmung besitzen. Allerdings verläuft hier der Prozeß so schnell, daß die Oxydation nicht vollständig erfolgt und die Essigsäure als organische Verbindung mit festgelegter Energie entsteht. Eine vorübergehende anaerobe Atmung ist auch in Erbsensamen und Kirschen anzutreffen, in denen es zur Bildung von Äthanol kommen kann. Steht genügend Luftsauerstoff zur Verfügung, wird das entstandene Äthanol abgebaut.

Die Anaerobier besitzen volkswirtschaftlich und im Stoff- und Energiehaushalt der Natur eine große Bedeutung. Aus zerquetschten Trauben, der Maische, wird der Most ausgepreßt und von reinen Stämmen der Gattung *Saccharomyces* zu Alkohol vergoren. Ausgangspunkt für die Herstellung des Bieralkohols ist angekeimte Gerste, das Malz, in dem die Stärke der Körner durch Enzyme während der Keimung in Zucker verwandelt worden ist. Die Milchsäuregärung spielt für die weitere Verwendung der Milch eine große Rolle. Durch diese Gärungsform entstehen aus der Milch Yoghurt und aus Käsestoff die Ausgangsprodukte der Käseherstellung. Milchsäuregärung erfolgt auch bei der Herstellung von Sauerkraut und Silofutter. Anaerobe Organismen erlangen auch bei bodenbildenden Prozessen eine große Bedeutung. So erfolgt zum Beispiel die Zellulose- und Eiweißzersetzung der tierischen und pflanzlichen Überreste unter Beteiligung anaerober Mikroorganismen. Anaerob lebende *Clostridium*-Arten sind wie die Knöllchenbakterien der Leguminosen in der Lage, freien Luftstickstoff zu binden. ✦

Auf vernäßten und deshalb luft- und sauerstoffarmen Waldböden bilden anaerobe Pilze und Bakterien einen schwarzen, kohlig aussehenden Humus. Der kohlige Charakter dieser Humusform kommt zustande, weil die Bodenmikroben ihren Sauerstoffbedarf aus der zersetzten pflanzlichen Substanz decken, wodurch es zu einer Anreicherung von Kohlenstoff kommt. Häufig trocknen diese Standorte im Wechsel mit der Vernässung zeitweilig ab, so daß eine anaerobe und eine aerobe Humusbildung einander ablösen. Dadurch entstehen sehr fruchtbare Waldstandorte. Die einseitig anaerobe Bildung von Humus im ständig vernäßten Boden schafft dagegen wenig fruchtbare Waldböden.

Auch im Tierreich gibt es vor allem bei Protozoen und im Darm lebenden parasitischen Saugwürmern und Bandwürmern anaerobe Lebensweise. Die geringe Energieausbeute bei der anaeroben Atmung und die damit verbundene Umsetzung größerer Mengen organischer Verbindungen wird durch den Überfluß an Nahrung ausgeglichen, die diesen Innenparasiten zur Verfügung steht. Diese Arten sind obligat anaerob und vermögen im vollentwickelten Stadium im Luftsauerstoff nicht zu leben.

Die Fähigkeit zur fakultativen anaeroben Lebensweise ist im Tierreich weiter verbreitet. Sie besitzt vor allem für Organismen ökologische Bedeutung, deren Biotope zeitweilig sauerstoffarm sind. So überleben zum Beispiel Wasserflöhe und Kellerasseln einen 24stündigen Aufenthalt im sauerstofffreien Wasser.

In der Gezeitenzone besteht für die festsitzenden Organismen zweimal am Tage die Gefahr der Austrocknung, vor allem wenn die Sonneneinstrahlung recht intensiv ist. Für Muscheln

würde zum Beispiel das Öffnen der Schalen zur Ebbezeit die Gefahr der Austrocknung mit sich bringen. Bei ihnen ist in diesen Phasen eine anaerobe Atmung möglich. Es bilden sich neben Kohlendioxid niedere Karbonsäuren (Fettsäuren), die bei geschlossener Schale nicht an die Außenwelt abgegeben werden. Die Atmungskohlensäure reichert sich in der Mantelflüssigkeit an und wird durch die Anlagerung an das Kalziumkarbonat unter Bildung von Kalziumhydrogenkarbonat unschädlich gemacht. Dadurch kommt es zu keiner Ätzung der inneren Muschelschalenschicht.

▶ Vergleich von Aerobiern und Anaerobiern

ökologischer Typ	Deckung des Energiebedarfs und Bedeutung	Vertreter
Aerobier (in Gegenwart von Sauerstoff lebende Organismen)	Decken Energiebedarf durch Atmung unter Nutzung des Sauerstoffs	die meisten Pilze und Strahlenpilze, die meisten Organismen des Tier- und Pflanzenreiches
Anaerobier (bei Abwesenheit von Sauerstoff lebende Organismen)	Decken Energiebedarf auf dem Wege der anaeroben Atmung durch Gärung; Endprodukte Kohlendioxid und Äthanol, Milch- oder Butansäure, verursachen alkoholische Gärung, Milchsäure- und Buttersäuregärung. Wirtschaftliche Bedeutung: Herstellung von Wein, Bier, Käse, Joghurt; Bereitung von Sauerkraut und Silofutter; Zersetzung von Zellulose und Eiweißen bei Pflanzen- und Tierresten bei der Humusbildung; Bindung des Luftstickstoffs durch Knöllchenbakterien	viele Bakterien, Pilze, Saugwürmer, Bandwürmer, Protozoen

(22)

Säure- und Kalkzeiger

Die Bodenreaktion ist ein wesentlicher chemischer Standortfaktor, der unmittelbar und mittelbar auf das pflanzliche Leben einwirkt. Sie ist das Ergebnis des Zusammenspiels vieler chemischer, physikalischer und biologischer Prozesse im Boden. Basenreiche, kalkhaltige Gesteine verwittern im Gegensatz zu Silikatgesteinen leicht und bilden tiefgründige neutrale bis basische Böden. Kalkhaltige, basische Böden besitzen ein relativ großes Porenvolumen und

im Zusammenhang damit eine gute Durchlüftung und Wasserführung. In kalkhaltigen neutralen bis basischen Böden bilden sich milder Humus und eine Krümelstruktur. Neutrale bis alkalische Bodenreaktion fördert die Bildung löslicher Phosphate und die Anreicherung von Nitrat im Boden. Schließlich ist eine neutrale bis basische Reaktion die Voraussetzung für ein reges Tier- und Bakterienleben im Boden mit all seinen mannigfaltigen positiven Wirkungen für die Pflanzenernährung.

Da der Optimum-Bereich der Kulturpflanzen hinsichtlich der Bodenreaktion verschieden ist (↑Tab. S. 122), werden in der Landwirtschaft Pflanzenproduktionssysteme für die leichteren sauren und nährstoffärmeren Bodenformen und solche für die Böden mit schwach saurer bis basischer Reaktion aufgestellt. Dadurch lassen sich die Ansprüche der Kulturpflanzen an die Bodenreaktion optimal befriedigen, was zu einer deutlichen Ertragssteigerung auf den Produktionsflächen führt.

Optimale Reaktionsbereiche (*p*h-Wert) landwirtschaftlicher Nutzpflanzen

Pflanzenart	*p*H-Wert	Pflanzenart	*p*H-Wert
Roggen	5,0 bis 7,0	Zuckerrüben	6,0 bis 7,5
Weizen	6,5 bis 7,5	Runkel	6,0 bis 7,5
Gerste	6,0 bis 7,5	Erbsen	6,0 bis 7,0
Hafer	5,0 bis 7,0	Gelbe Lupine	4,0 bis 6,0
Raps	6,0 bis 7,0	Rot-Klee	6,0 bis 7,5
Kartoffeln	5,0 bis 6,5	Luzerne	6,5 bis 8,0

Die Bodenreaktion der Ackerböden steht im Zusammenhang mit dem Kalkgehalt. Kalzium-Ionen treten in Tieren und Pflanzen nicht in organischen Verbindungen auf. Sie wirken in den Zellen entquellend auf das Plasma und sind Gegenspieler der Kalium-Ionen, die zur Quellung des Plasmas führen. Das Zusammenwirken beider Ionenformen führt zu einem mittleren Quellungsgrad des Plasmas, wie er für den Ablauf der Lebensprozesse in der Zelle notwendig ist. Auch an den Humus- und Tonkolloiden des Bodens wirken die Kalium- und Kalzium-Ionen als Gegenspieler. Mit Kalzium-Ionen abgesättigte Bodenkolloide führen zur guten Bodenstruktur mit einem guten Luft- und Wasserhaushalt, während kaliumreiche und kalkarme Böden leicht versauern, verdichten und Bearbeitungsschwierigkeiten bereiten.

Die Bodenreaktion beeinflußt das Vorkommen vieler Pflanzen in der Vegetation. Die Pflanzen werden nach ihrem Verbreitungsschwerpunkt im Hinblick auf die Bodenreaktion in folgende Reaktionsgruppen (R) eingeteilt:

R_1 vorwiegend auf stark sauren Böden,
R_2 vorwiegend auf sauren Böden,
R_3 vorwiegend auf schwach sauren Böden,
R_4 vorwiegend auf schwach sauren bis neutralen Böden,
R_5 vorwiegend auf neutralen bis schwach alkalischen Böden,
R_0 gegenüber Bodenreaktion indifferent.

In der Forstwirtschaft, in der Grünlandwirtschaft und im Ackerbau werden die Arten mit Bindung an stark saure, neutrale oder alkalische Böden als Zeigerpflanzen für die Bodenreaktion benutzt (↑Tab. S. 123).

Die Aussage wird dann recht objektiv, wenn nicht nur einzelne Zeigerpflanzen, sondern die gesamte Pflanzengemeinschaft eines Standortes in Betracht gezogen wird. Jede einzelne Zeigerpflanze spiegelt nur die Bodenreaktion ihres Wurzelraumes wider. Auf tiefgründigem,

✦ Reaktionsgruppen einiger Waldpflanzen	Reaktionsgruppen einiger Wiesenpflanzen	Reaktionsgruppen einiger Ackerunkräuter
Reaktionsgruppe 1	*Reaktionsgruppe 1*	*Reaktionsgruppe 1*
Borstengras Heidelbeere Preiselbeere Heidekraut	Schlängel-Schmiele Herz-Labkraut Borstengras Hasenklee	Kleiner Ampfer Einjähriger Knäuel Acker-Spark Hasenklee
Reaktionsgruppe 2	*Reaktionsgruppe 2*	*Reaktionsgruppe 2*
Schlängel-Schmiele Weiches Honiggras Wald-Ehrenpreis Adlerfarn	Rotes Straußgras Grasnelke Sand-Strohblume Flatter-Binse Hundsveilchen Liegender Dreizahn	Acker-Sinau Niederliegendes Hartheu Hederich Quendelblättriger Ehrenpreis
Reaktionsgruppe 3	*Reaktionsgruppe 3*	*Reaktionsgruppe 3*
Gold-Nessel Echtes Lungenkraut Frühlings-Platterbse Scharbockskraut	Wiesen-Glockenblume Sumpf-Kratzdistel Weicher Pippau Kammgras	Gemeiner Windhalm Purpurrote Taubnessel Echte Kamille Geruchlose Strandkamille
Reaktionsgruppe 4	*Reaktionsgruppe 4*	*Reaktionsgruppe 4*
Großes Springkraut Sterndolde Gemeiner Ziest Ausdauerndes Bingelkraut	Odermennig Wundklee Kohl-Kratzdistel Wiesen-Pippau	Flug-Hafer Sonnenwend-Wolfsmilch Echter Erdrauch Klatsch-Mohn
Reaktionsgruppe 5	*Reaktionsgruppe 5*	*Reaktionsgruppe 5*
Leberblümchen Gelbes Windröschen Hohler Lerchensporn Gefingerter Lerchensporn Zaun-Giersch	Aufrechte Trespe Geknäulte Glockenblume Wiesen-Schlüsselblume Kleiner Wiesenknopf	Rundblättriges Hasenohr Feld-Rittersporn Gemeine Sichelmöhre Erdnuß-Platterbse ✦

an der Oberfläche stark versauertem Kalkverwitterungsboden können deshalb flachwurzelnde „Säurezeiger" und tiefwurzelnde „Kalkzeiger" unmittelbar nebeneinander wachsen.

Eine Standortbeurteilung mit Hilfe der Vegetation sollte deshalb möglichst anhand des gesamten Artenbestandes vorgenommen werden.

23 24

Die Bodenreaktion ist ein wesentlicher chemischer Standortfaktor, der auf das Leben der Pflanzen einwirkt.
Von der Bodenreaktion ist die Bildung von Humus und Krümelstruktur, die Bildung löslicher Phosphate und die Anreicherung von Nitraten, eine günstige Bodenverwitterung, ein reges Tier- und Bakterienleben, die gute Durchlüftung und die Wasserführung im Boden abhängig.
Der Optimum-Bereich der Kultur- und Wildpflanzen hinsichtlich der Bodenreaktion ist verschieden. Durch Beachtung der richtigen Bodenreaktion und Beeinflussung der Bodenreaktion ist eine Ertragssteigerung möglich. Die Bodenreaktion beeinflußt das Vorkommen vieler Kulturpflanzen in der Vegetation. Arten mit Bindung an stark saure, neutrale oder alkalische Böden werden als Zeigerpflanzen für die Bodenreaktion bezeichnet. Das Vorkommen von bestimmten Pflanzen läßt auch Schlüsse auf Faktorenkomplexe zu.

Chloridgehalt des Wassers und Aktivität der Brackwassertiere

Das Brackwasser stellt für viele Meerestiere und Süßwasserorganismen eine deutliche Ausbreitungsbarriere dar. Die Artenzahl der Tiere und Pflanzen ist deshalb im Brackwasser wesentlich geringer als im Salz- und Süßwasser (↑Tab. S. 102). Die Konzentration des Natriumchlorids der Körperflüssigkeit der Meerestiere stimmt mit der des Meerwassers weitgehend überein. Geraten Meerestiere in Bereiche einer geringeren Salzkonzentration, dann nehmen die Körperzellen osmotisch Wasser auf, um das Konzentrationsgefälle des Wassers mit geringerem Salzgehalt zur Körperflüssigkeit auszugleichen. Dieser Vorgang führt schließlich zu einer Zerstörung des Protoplasmas.

Es gibt einige Meerestiere (z. B. Gemeiner Seestern, Miesmuschel), die die Konzentration der Chloride ihrer Körperflüssigkeit den osmotischen Bedingungen des sie umgebenden Wassers angleichen können. Diese Organismen sind im Brackwasser lebensfähig. Allerdings wird hier ihre Größe und auch ihre Aktivität erheblich reduziert.

Andere Meerestiere wie die Strandkrabbe sind in der Lage, ihre Körpersaftkonzentration auch im Wasser mit niedriger Chloridkonzentration aktiv aufrechtzuerhalten. Diese Tiere nehmen im Brackwasser durch ihre Kiemen Chloride auf und können so die Konzentration ihrer Körperflüssigkeit über der des Brackwassers halten.

Die Körperflüssigkeit der Meeresfische enthält nur einen Salzgehalt von 10 ‰ bis 15 ‰. Sie geben deshalb auf osmotischem Wege ständig Wasser nach außen ins Meer ab, das ja eine Salzkonzentration von mehr als 30 ‰ besitzt. Diesen Wasserverlust gleichen die Meeresfische aus, indem sie durch den Darm ständig Wasser aufnehmen und die darin gelösten Salze durch die Kiemen abgeben, so daß sie ihre geringe Konzentration der Körperflüssigkeit gegenüber dem konzentrierten Außenmedium aufrechterhalten können. Die Meeresfische vermögen nur so lange im Brackwasser zu leben, wie ihre osmotische Konzentration im Körperinneren aufrechterhalten werden kann.

Scholle und Flunder sind an das Leben im Brackwasser angepaßt. Die Scholle läßt nur sehr wenig Wasser durch die Haut nach außen. Die Flunder besitzt dagegen eine sehr wasserdurchlässige Haut. Durch das Einstellen des Trinkens und erhöhte Harnabscheidung wird das Einströmen des Wassers kompensiert.

Die Innenkonzentration der Süßwasserfische beträgt 6 ‰ bis 10 ‰. Gegen eine zu starke Wasseraufnahme aus dem Süßwasser mit geringer Salzkonzentration schützen sich die

Organismen durch die Ausscheidung großer Harnmengen. Außerdem sind diese Tiere in der Lage, entgegen dem Konzentrationsgefälle Ionen aus dem Süßwasser aufzunehmen. Geraten Süßwasserfische in Brackwasser mit etwa der gleichen Salzkonzentration, die ihre Körperflüssigkeit besitzt, dann tritt ihr Osmoseregulationsapparat außer Funktion. Es ist deshalb für Süßwassertiere viel schwieriger, ins Brackwasser vorzudringen, als für eine größere Anzahl von Meerestieren mit Anpassungserscheinungen an das Brackwasser.

Als Regel für das Leben von Meerestieren im Brackwasser lassen sich folgende Erscheinungen anführen: Es kommt zu einer beträchtlichen Größenreduktion. Die Schollen, Steinbutte, Heringe und Ohrenquallen der Nordsee sind wesentlich größer als die der Ostsee. Es kommt zu einer Veränderung der Formen. So besitzt die Herzmuschel im Brackwasser weniger Rippen an der Schale, manche Fische weniger Wirbel und manche Wenigborster der Ringelwürmer weniger Borsten als im Meerwasser. Es verschieben sich im Brackwasser die Fortpflanzungszeiten. Im Meerwasser laicht der Seestern von Januar bis März. Die Ohrenqualle wird im Juni bis Juli geschlechtsreif, während das Laichen des zuerst genannten Tieres im Brackwasser erst im Mai bis Juni erfolgt und die Geschlechtsreife der Ohrenqualle erst im August bis September eintritt. Auch bei den Fischen liegt die Laichperiode im Brackwasser später. Weiterhin wechseln Biotop und Aufenthaltsort der Meerestiere im Brackwasser. Während die Herzmuschel in der Nordsee nur Sandböden besiedelt, kommt sie in der Ostsee vorwiegend auf Weichböden vor. Die Miesmuschel besiedelt in der Nordsee nur Flachwasser von 5 m bis 15 m Tiefe, während sie in der Ostsee bis 100 m Tiefe vorkommt. In diesen Tiefen fehlen im artenarmen Brackwasser der Ostsee die Nahrungskonkurrenten, während in der Nordsee in diesen größeren Tiefen Feinde der Miesmuscheln (z. B. Seesterne, Schlangensterne, Muscheln) lauern.

► Die Artenzahl der Tiere und Pflanzen ist im Brackwasser geringer als im Meeres- und Süßwasser.
Durch die veränderten Konzentrationsunterschiede zwischen der Körperflüssigkeit des Organismus und dem umgebenden Wasser wird von den Zellen Wasser aufgenommen und abgegeben. Einige Arten der Meerestiere und nur wenige Arten der Süßwassertiere können sich den veränderten Bedingungen anpassen (z. B. durch Aufnahme von Chloriden durch die Kiemen, Wasseraufnahme auf osmotischem Wege oder durch Trinken, erhöhte Harnausscheidung). Bei höherem Chloridgehalt des Wassers sind die Wasserbewohner aktiver und werden teils größer.

► Die abiotischen Faktoren wie beispielsweise Licht, Wasser, Luftfeuchtigkeit, Sauerstoffgehalt, Höhe des *p*H-Wertes, Chloridgehalt wirken in verschiedener Weise auf das Leben der Organismen ein. Sie beeinflussen den Bau, die Entwicklung, das Wachstum, den Ablauf der physiologischen Prozesse, die Stoffproduktion und die Verbreitung auf der Erde.
Nach dem Verhalten gegenüber den einzelnen Umweltfaktoren und Faktorenkombinationen lassen sich die Organismen ökologischen Artengruppen zuordnen.

Ursachen und Wirkungen der Veränderung abiotischer Umweltfaktoren durch eine Organismengesellschaft

Organismen und Organismengesellschaften sind nicht nur in ihrem Bau, ihren Lebensprozessen und ihrer Verbreitung auf der Erdoberfläche von den Umweltfaktoren abhängig, sie nehmen ihrerseits mehr oder weniger starken Einfluß auf die Ausprägung der Umweltbedingungen in ihrem Lebensraum.

Überall dort, wo zum Beispiel Wald-Biozönosen an Felder, Wiesen und Trockenrasen grenzen, ändert sich nicht nur das Vegetationsbild beträchtlich. Die oft in mehreren Etagen entwickelte Baumschicht und die Strauchschicht schaffen im Wald andere klimatische und auch bodenmäßige Bedingungen als sie in den benachbarten offenen Organismengesellschaften herrschen. Besonders deutlich sind die Ursachen und die Wirkung dieser abweichenden Umweltbedingungen auf die Vegetation zu erkennen, wenn ein naturnaher Hochwald mit einem benachbart liegenden Kahlschlag verglichen wird:

- Die Sonneneinstrahlung auf die Krautschicht im Waldesinneren ist im Vergleich zur offenen Vegetation und zum Kahlschlag stark herabgesetzt.
- Die gedämpfte Einstrahlung verhindert extreme Temperaturerhöhungen am Tage, wie sie in der offenen Vegetation gegeben ist.
- In der Nacht erfolgt wegen des schützenden Kronendaches eine geringere Ausstrahlung, so daß in den Nachtstunden die Temperaturen nicht so stark zurückgehen wie auf einem Kahlschlag, einem Acker, einer Wiese oder einem Trockenrasen. Der Baumbestand einer Biozönose führt also zu ausgeglichenen Tages- und Nachttemperaturen. Er bewirkt ein besonderes Bestandsklima.
- Die relative Luftfeuchtigkeit sinkt wegen der ausgeglicheneren Tagestemperaturen um die Mittagszeit nicht so stark ab wie in der offenen Vegetation. Deshalb sind die Bodenpflanzen des Waldes einer weniger starken Transpirationsbelastung ausgesetzt. Dazu trägt auch die wesentlich geringere Windwirkung im Waldbestand bei. Die Krautschicht des Waldes kann aus diesem Grunde von Schattenpflanzen besiedelt werden.
- Es kommt nicht zu einem so extremen Sättigungsdefizit der Luft im Waldesinneren wie auf dem Kahlschlag, was zugleich die Verdunstung des Bodenwassers und die Transpirationsbelastung der Waldpflanzen herabsetzt. Die geringe Luftbewegung im Walde trägt ihrerseits zur Milderung des Sättigungsdefizites und damit zur Herabsetzung der Verdunstung, der Transpiration des Bodens und der Bodenpflanzen bei.
- Da ein Hochwald etwa ein Drittel der Niederschläge durch Transpiration wieder abgibt (1 ha Buchenwald täglich etwa 30 000 bis 40 000 l), trocknen die Waldböden bis in tiefere Schichten stärker aus als die Böden offener Vegetationsformen.
- Der Aufprall der Niederschläge auf den Boden wird in einer Waldbiozönose, vor allem wenn die Baumschicht reich geschichtet und eine Strauchschicht vorhanden ist, gemildert, und die Nährstoffe schlämmen nur wenig in tiefere Bodenschichten ein. Die Verschlämmung des Bodens ist geringer, so daß es nicht zu Strukturstörungen und Verdichtungen kommt, die die Luft- und Wasserdurchlässigkeit oft behindern.
- Das Klima der bodennahen Luftschicht und des Bodens, vor allem die geringere Erwärmung am Tage, führt in Laubwaldgesellschaften zu einer Anhäufung wertvoller Humusformen. In Nadelwäldern, vor allem, wenn diese außerhalb ihrer natürlichen Verbreitung auftreten, kommt es häufig zur Anreicherung von saurem Rohhumus, der sich ungünstig auf die Bodenreaktion sowie auf die Bodenentwicklung auswirkt und vor allem Säurezeigern unter den Waldpflanzen gute Wuchsbedingungen und Schutz vor anspruchsvolleren Konkurrenten bietet.

- Wald-Biozönosen setzen die Bodenerosion stark herab. Während in alten Laubwaldbeständen praktisch kaum Erdmaterial erodiert, kann beispielsweise eine 18 cm mächtige Krume bei einer Oberfläche ohne Pflanzenwuchs mit einer Neigung von 10° bereits nach 18 Jahren völlig abgetragen werden.
- Zusammenhängende Waldungen beeinflussen den Wasserhaushalt der Landschaften stark. In einem Waldbestand sind die Wasserspeicherung und der unterschiedliche Abfluß wesentlich stärker als in der offenen Vegetation, in der der oberirdische Abfluß höhere Werte erreicht. Bewaldete Gebiete besitzen zwar wegen der starken Transpiration der Baumschicht eine geringere absolute Abflußmenge, in niederschlagsarmen Zeiten geht der Abfluß aber nicht so stark zurück wie in entwaldeten Landschaften. In einem unbewaldeten Gebiet wurde eine um 560% höhere Gesamtabflußmenge gegenüber einem bewaldeten Gebiet ermittelt. Die niedrigsten Tagesabflußmengen lagen im zuletzt genannten Gebiet jedoch um 45% höher als im unbewaldeten.

Die Ursachen, aber auch die Wirkung des Einflusses der Biozönosen auf ihre Umwelt treten uns besonders deutlich entgegen, wenn ein Hochwald abgeschlagen wird. Den Standorten werden nicht nur die in der Holzmasse akkumulierten Nährsalze entzogen. Der Stoffumsatz, das komplizierte Nahrungskettengefüge und damit der bisher in der Biozönose vor sich gehende Energiefluß erfahren eine starke Störung. Durch die Beseitigung des Kronendaches entfällt dessen Wirkung auf das Klima und die Bodenfaktoren. Auf dem Kahlschlag kommt es zu einer völlig anderen Qualität der Umweltwirkungen als im ehemaligen Hochwald. Es tritt dadurch eine völlige Umgestaltung der Vergesellschaftungen der Bodenorganismen und auch der oberirdischen Bereiche der Biozönose ein. Der größte Teil der Schattenpflanzen der Krautschicht ist den extremen Licht-, Temperatur- und Verdunstungsbelastungen nicht gewachsen und geht zugrunde oder erliegt der Konkurrenz besser angepaßter Organismen. Lichtpflanzen, die Trockenheit und Kälte ertragen, stickstoffbevorzugende Elemente und auch einige Nässezeiger bilden die Kahlschlagvegetation. Auf Kahlschlägen sind im Verlaufe der Zeit folgende Entwicklungsstadien (Sukzessionen) zu beobachten: Unmittelbar nach dem Abhieb stellt sich zunächst eine lichtliebende Kahlschlagflora ein, in der das Schmalblättrige Weidenröschen, das Wald-Kreuzkraut und der Rote Fingerhut (die beiden zuletzt genannten im Bergland) hervortreten. Nach zwei bis drei Jahren wird die Krautflur allmählich von Kahlschlaggebüschen wie Himbeere, Brombeere, Holunder und Sal-Weide abgelöst. Über ein Vorwaldstadium, das durch Birken, Espen, Weiden und Erlen geprägt sein kann, stellen sich allmählich wieder die Gehölze des standortbedingten, naturnahen Waldes ein. Es beginnt wieder eine stabile Entwicklung.

(25) (26) (27) (28) (29) (30)

▶ Organismen und Organismengesellschaften sind nicht nur von den Umweltfaktoren abhängig. Sie beeinflussen auch mehr oder weniger stark die Umweltbedingungen in ihren Lebensräumen (z. B. Kahlschlag, Hochwald).
Sie bewirken unterschiedliche Sonneneinstrahlung, Temperaturhöhen und -schwankungen, Luftfeuchtigkeit und deren Schwankungen, mehr oder weniger starkes Sättigungsdefizit der Luft, unterschiedliches Austrocknen der Böden, unterschiedliche Bildung von Boden und Humus, unterschiedliche Erosion und beeinflussen auf großen Flächen den Wasserhaushalt.
Die Zerstörung der Biozönose zieht eine andere Qualität mit einer Veränderung des Energieflusses und der Vegetation nach sich.

Reaktionsweisen der Organismen gegenüber der biotischen Umwelt

Indirekte Beziehungen zwischen Organismen

Neben einer Fülle direkter Beziehungen und Einwirkungen zwischen den Organismen, wie sie uns in jeder Biozönose entgegentritt, kommt es auch zu einer indirekten Einwirkung von Organismen auf andere Organismen. Eine indirekte Einwirkung liegt vor, wenn eine Organismengruppe die Umwelt anderer Organismen verändert. Ein gutes Beispiel dafür bietet eine vielschichtige Waldbiozönose. Die Baumschicht eines Waldes schafft mit ihrem mehr oder weniger dichten Kronenschluß ein ganz spezifisches Bestandsklima mit besonderen Temperatur- und Verdunstungsverhältnissen, mit einer abweichenden Luftfeuchtigkeit und damit einem anderen Sättigungsdefizit. Das Bestandsklima besitzt daneben aber auch eine ganz spezifische Wirkung auf die Bodenentwicklung, vor allem auf die Humusentwicklung und den Wasserhaushalt des Waldbodens.

Durch diese Wirkungen der Baumschicht auf die abiotischen Faktoren an ihrem Wuchsort beeinflußt die Baumvegetation beträchtlich die unter ihrem Schirm wachsende Krautschicht. Die Baumschicht schafft erst die Voraussetzung für das Aufkommen einer besonderen Krautvegetation, die vor allem von Schattenpflanzen gebildet wird.

Direkte Beziehungen zwischen den Organismen

Seit sich Organismen auf unserer Erde entwickelt haben, bildeten sich auf den verschiedensten Organisationsstufen des Lebenden neue biologische Gesetzmäßigkeiten aus, die auch im Zusammenleben der Organismen wirksam werden.

Jeder Organismus tritt im Verlaufe seines individuellen Lebens, und sei es auch nur sehr kurzfristig und locker, in direkte Beziehung zu anderen Organismen. Hierbei können verschiedene Beziehungsformen unterschieden werden.

Direkte Beziehungen zwischen Organismen bestehen dann, wenn Organismen unmittelbar, also nicht über die Beeinflussung des Biotops, auf andere Organismen einwirken. Bei allen Tieren, die sich geschlechtlich fortpflanzen, kommt es zu Beziehungen zwischen beiden Geschlechtern, und sei es nur, daß sich, wie bei vielen festsitzenden Meerestieren (z. B. Seeanemone, manche Muscheln wie Auster) frei in das Wasser abgeschiedene Eier und Spermien vereinen. Intensiver sind die Beziehungen bei Tieren, die sich wenigstens zur Paarung direkt treffen.

Bei einer Reihe von Tierarten bleiben nach der Paarung die Geschlechtspartner zusammen und können in Saisonehe (z. B. Störche) oder in Dauerehe (z. B. Graugans, Tauben) leben und mit ihren Nachkommen Elternfamilien bilden. Aus den Beziehungen der Elterntiere zu ihren Nachkommen ergeben sich verschiedene Formen der Brutfürsorge und Brutpflege.

Gliedern sich nach ungeschlechtlicher Fortpflanzung die Abkömmlinge eines Individuums nicht voneinander ab, kommt es zur Stockbildung, wie bei vielen Hohltieren (z. B. Staatsquallen, Korallen). Viele Tierarten schließen sich zeitweilig zu Gruppen zusammen. So gibt es Überwinterungsgesellschaften bei Marienkäfern und bei Fledermäusen. Saatkrähen, aber auch ungesellige Vögel wie der Zaunkönig bilden im Winter Schlafgemeinschaften.

Die Bildung von Tiergemeinschaften (z. B. Schwärme, Herden) erfolgt vielfach auf Grund gerichteter Reaktion der einzelnen Individuen. So sammeln sich die Springböcke Südafrikas auf der Suche nach Wasser. Die Zugvögel und die Rentiere der Tundra ziehen zu Beginn des Winters nach Süden. Die Suche nach Nahrung kann weite Wanderungen von mehreren 100 km

veranlassen (z. B. Huftierherden, Wolfsrudel). Manche Fische legen weite Entfernungen zu ihren Laichplätzen zurück (z. B. Lachse, Aale). In Herden von Wirbeltieren kommt es häufig zur Ausbildung sehr differenzierter Verhaltensweisen (Führung durch einzelne Individuen – ein weibliches Tier, das Leittier, führt zum Beispiel das Rotwildrudel an; in Affenherden ist eine streng festgelegte Rangordnung ausgeprägt.) Recht kompliziert sind Struktur und Leistung der Tierstaaten, deren Entstehung aus dem Brutpflegeverhalten erklärt werden kann.

Bienen, Ameisen und Termiten bilden Dauerstaaten. Unter den Individuen solcher Dauerstaaten ist eine erstaunlich vielfältige Arbeitsteilung ausgeprägt. Bei Ameisen, Bienen und besonders bei Termiten ist sie noch mit der Ausbildung vielgestalteter Körperformen (Polymorphismus) verbunden.

Das räumliche und zeitliche Zusammentreffen von Individuen mehrerer Tierarten kann sehr vielfältig sein. Es reicht von nahezu neutralem Verhalten über stärkste Förderung oder gegenseitige Schädigung bis zum gegenseitigen Ausschluß.

Das enge Zusammenleben der Pflanzen in der Vegetation führt ebenfalls zu einer gegenseitigen Beeinflussung am Standort, zur Konkurrenz. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Fälle einer noch engeren Abhängigkeit, bei denen sich die Vegetationskörper zweier Pflanzen miteinander verbinden. Aus dem sich daraus ergebenden Verhältnis zieht entweder eine Pflanze einseitig den Nutzen (Parasitismus), oder es stellt sich ein Gleichgewicht zum Nutzen beider Arten ein (Symbiose).

Reaktionsweisen der Organismen	
indirekte Beziehungen	direkte Beziehungen
Einwirkung einer Organismengruppe auf die Umwelt anderer Organismen, zum Beispiel Entstehung einer besonderen Krautvegetation im Schutz von Bäumen durch spezifisches Bestandsklima mit besonderen Temperatur- und Verdunstungsverhältnissen, abweichender Luftfeuchtigkeit, abweichendem Sättigungsdefizit	unmittelbare Einwirkung von Organismen auf andere Organismen, keine Beeinflussung über Biotop; zum Beispiel gemeinsame Brutfürsorge und Brutpflege, Stockbildung, Staatenbildung, Überwinterungsgesellschaften, Schlafgemeinschaften, Tiergemeinschaften, Stoffentzug bei Parasiten und Saprophyten, durch Stoffaustausch bei Symbiose und Keimzellenübertragung, durch Allelopathie

31

Stoffentzug

Tierischer Parasitismus. Parasitismus ist das gegenseitige Verhältnis von Organismen, bei welchem der eine (Parasit) sich auf Kosten des anderen (Wirt) ernährt und ihn mehr oder weniger schädigt. Parasiten können nur eine begrenzte Zeit, nur in einem bestimmten Entwicklungsstadium oder dauernd mit ihrem Wirt zusammenleben.

Parasiten, die außen am Wirt leben, sind Ektoparasiten (z. B. Läuse, Wanzen), solche, die im Wirtskörper leben, sind Entoparasiten (z. B. Bandwürmer, Leberegel). Wie von frei

lebenden Individuen verschiedenste Übergänge zur parasitischen Lebensweise vorkommen, so ist bei parasitischen Formen eine immer festere Bindung an den Wirt zu beobachten.
✦ Die parasitische Lebensweise brachte eine Vielfalt von Anpassungserscheinungen hervor, wie beispielsweise Verlust der Flügel und Ausbildung von Klammerorganen (bei Ektoparasiten: z. B. Läuse, Lausfliegen). Während räuberische Arten gut entwickelte Bewegungs- und Fernsinnesorgane besitzen, sind diese bei Parasiten stark reduziert. Bei Räubern ist die Anzahl der Nachkommen meist gering und die Brutpflege gut ausgebildet. Bei Parasiten ist allgemein die Anzahl der Nachkommen sehr groß. Ein Bandwurmglied des Rinderfinnenbandwurms enthält zum Beispiel 80 000 schlupfreife Eier, und der Bandwurm kann täglich 8 bis 9 solcher Glieder bilden. Dadurch werden die hohen Verluste bis zum Zusammentreffen mit dem Wirt ausgeglichen (Wirtswechsel). ✦

Pflanzlicher Parasitismus. Pflanzliche Parasiten benötigen zu einem optimalen Gedeihen den Anschluß an den Stoffwechsel einer anderen Pflanze, die dadurch Schaden erleidet und sogar absterben kann. Viele Krankheiten, vor allem auch an unseren Kulturpflanzen, werden durch die parasitäre Lebensweise von Bakterien und Pilzen hervorgerufen. Die Hyphen der parasitären Pilze dringen interzellular in das Gewebe der Pflanzen ein und senden Seitenhyphen (Haustorien) direkt in die Zellen.

Es gibt aber auch Sproßpflanzen, die keine eigene Photosynthese ausführen und sich als Parasiten auf Wirtspflanzen heterotroph ernähren, wie die Seidearten, die Sommerwurzarten und die Schuppenwurz. Bei diesen Pflanzen entwickelte sich eine starke Anpassung an den Parasitismus im morphologisch-anatomischen Bau und in der Lebensweise. Da die Plastiden der Zellen ihres Sprosses nur Spuren von Chlorophyll besitzen, sehen sie gelblich-, rötlich- oder bläulich-weiß aus. Ihre Blätter sind zu Schuppen zurückgebildet (z. B. Schuppenwurz) oder fehlen ganz (z. B. Seide), und auch das Wurzelsystem ist stark reduziert. Dafür bilden diese Parasiten Saugorgane aus, die in das Gewebe der Wirtspflanzen eindringen.

Die Plastiden von Halbschmarotzern besitzen Chlorophyll, sind also zur Photosynthese befähigt. Halbschmarotzer entziehen ihren Wirten vor allem Nährsalze und Wasser aus den Gefäßbahnen (z. B. Mistel; Abb. 130/1). Die Nadelholz-Mistel befällt vor allem Fichten und Kiefern, während die Laubholz-Mistel auf Pappeln, Buchen, Kastanien, Ahornen, aber auch auf Obstbäumen schmarotzt. Vögel, besonders Drosseln, fressen die Mistelbeeren und schei-

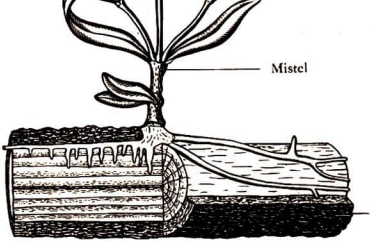


Abb. 130/1 Junge Mistel auf einem Zweig

den die unverdaulichen Samen aus. Diese keimen auf den Zweigen und bilden wurzelähnliche Stränge aus, die zwischen Rinde und Holzteil des Baumes wuchern und mit Senkern zu den Gefäßen vordringen. Stark von Misteln befallene Bäume können absterben, so daß der Parasit seine Existenzgrundlage selbst vernichtet.

Saprophyten. Die Saprophyten decken ihren Nährstoff- und Energiebedarf aus abgestorbenen Tier- und Pflanzenteilen. Sie ernähren sich also wie die Vollparasiten und die chlorophyllfreien Symbioten heterotroph, gehen aber nicht wie diese Organismengruppen unmittelbare Verbindungen mit anderen lebenden Pflanzen ein. Sie beteiligen sich wie die verschiedenartigsten Bodentiere an der Zersetzung der organischen Rückstände im Boden und erfüllen eine besondere Funktion im großen Stoff- und Energiekreislauf der Natur, indem sie ehemals im Tier- und Pflanzenkörper gebundene Stoffe (z. B. Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium) an den Boden und die Luft zurückgeben.

▶ Stoffentzug

Parasitismus. Gegenseitiges Verhältnis von Organismen, bei denen der eine (Parasit) sich auf Kosten eines anderen (Wirt) ernährt und ihn schädigt, Schädigung führt oft zum Tode des Wirts. Dauer: begrenzte Zeit, bestimmtes Entwicklungsstadium oder zeitlebens

Parasitismus bei Tieren	Parasitismus bei Pflanzen
Verlust von Organen, vor allem Bewegungs- und Fernsinnesorgane stark reduziert, große Anzahl von Nachkommen, keine Brutpflege *Ektoparasit:* Parasit, der außen auf dem Tier lebt (z. B. Flöhe, Wanzen) *Entoparasit:* Parasit, der innen im Wirt lebt (z. B. Bandwürmer, Leberegel)	*Schmarotzer:* entnehmen dem Wirt alle zum Leben nötigen Stoffe (z. B. einige Pilze und Bakterien, Schuppenwurz, Hopfenseide) Schmarotzer sind chlorophyllarm oder chlorophyllos, haben ein stark reduziertes Wurzelsystem, keine oder schuppenförmige Blätter, heterotrophe Ernährungsweise, nicht zur Photosynthese befähigt, besondere Saugorgane (Hyphen mit Haustorien) *Halbschmarotzer:* entnehmen dem Wirt vor allem Wasser und Nährsalze, besitzen Chlorophyll, zur Photosynthese befähigt, autotrophe Ernährungsweise (z. B. Misteln)

Saprophyten. Fäulnisbewohner, leben heterotroph, decken ihren Energie- und Nährstoffbedarf aus abgestorbenen Pflanzen- und Tierteilen, gehen keine unmittelbare Verbindung mit anderen lebenden Organismen ein.
Wichtig für Stoff- und Energiekreislauf der Natur, zersetzen organische Stoffe in toten Pflanzen- und Tierkörpern und geben sie als anorganische Stoffe an Boden und Luft ab.
Vertreter: viele Pilze und Bakterien

Eine weitere Form des Stoffentzuges gibt es bei den tierfressenden Pflanzen. Mehr als 400 autotrophe Pflanzenarten besitzen besondere Einrichtungen zum Fang von Tieren und zur „Verdauung" ihrer Weichteile. Diesen Pflanzen steht dadurch eine zusätzliche Stickstoffquelle zur Verfügung, die die Besiedlung recht extremer Standorte (z. B. nährstoffarme Hochmoore, arme Sande) ermöglicht.

(32)

Stoffaustausch

Tierische Symbiosen. Eine große Anzahl von Organismenarten lebt regelmäßig mehr oder weniger eng mit anderen zusammen. Dabei kommt es zu einer gegenseitigen Förderung. Diese Vergesellschaftungen sind oft so eng, daß der eine Partner bei Abwesenheit des anderen nicht mehr lebensfähig ist. Viele Wassertiere (z. B. Protozoen, Schwämme, Nesseltiere) enthalten in ihren Zellen grüne Algen. Sie entfernen stickstoffhaltige Stoffwechselendprodukte.

Sehr verbreitet sind die Symbionten im Darm und seinen Anhängen bei Tieren mit speziellen Ernährungsweisen (z. B. Pansenbakterien bei Wiederkäuern, bei vielen Zellulosefressern).

✦ Interessante Beispiele für symbiotische Lebensweise zeigen Einsiedlerkrebse und Seeanemonen. Einsiedlerkrebse sind relativ schwach gepanzerte Tiere. Sie suchen zum Schutz ihres weichen Körpers leere Schneckenhäuser, in die sie ihren Hinterleib stecken. Sie leben regelmäßig in Symbiose mit einer Seeanemone, die sich auf dem Gehäuse ansiedelt und sich von den Beutetieren des Krebses mit ernährt. Als „Gegenleistung" wehrt die Seeanemone mit ihren Fangarmen Angreifer ab. Wenn der Einsiedlerkrebs durch sein eigenes Wachstum zum Umzug in eine größere Schneckenschale veranlaßt wird, nimmt er die Seeanemone auf das neue Gehäuse mit (Abb. 132/1).

Abb. 132/1 Symbiose
zwischen Seeanemone und Einsiedlerkrebs

Bei einer anderen Art gehen die Beziehungen noch weiter. Hier ist der Krebs nicht mehr gezwungen, wegen seines Wachstums umzuziehen, da die Seeanemone eine kutikuläre Platte abscheidet, die das Gehäuse erweitert. ✦

Pflanzliche Symbiosen. Weit verbreitet in der Natur ist die Symbiose zwischen Pilzen und Pflanzenwurzeln (bei etwa 80% aller Arten), die Mykorrhiza.

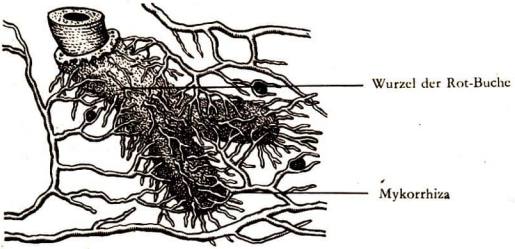


Abb. 133/1 Pilzwurzel einer Rot-Buche (Mykorrhiza)

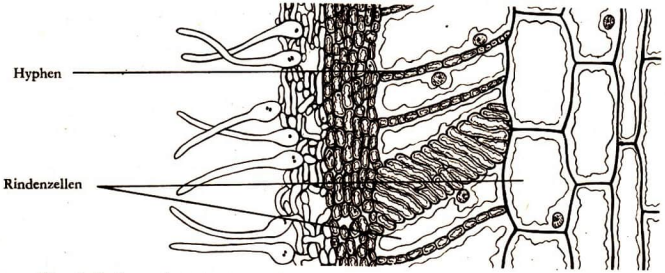


Abb. 133/2 Ektotrophe Mykorrhiza an einer Eichenwurzel (stark vergr.)

Bei der Mykorrhiza bildet sich ein dichter Pilzgeflechtmantel um die unverkorkten Wurzelspitzen des Partners, und Pilzhyphen dringen zwischen die äußeren Zellen der Wurzelrinde ein. Das Pilzmyzel stellt den Kontakt zwischen den Wurzeln und dem Boden her und führt der Pflanze den größten Teil der Mineralsalze, vor allem Phosphat und Stickstoffverbindungen, zu. Die resorbierende Oberfläche der Wurzeln wird durch Mykorrhizabildung um das 100- bis 1 000fache vergrößert (Abb. 133/1 u. 133/2). Die Einzelheiten der symbiotischen Beziehungen sind noch nicht restlos erforscht. Auf Grund von Versuchen ist anzunehmen, daß folgende Wirkungen von der Mykorrhiza auf die Baumarten ausgehen:

- Verbesserung der Aufnahme von Mineralsalzen, vor allem auch von schwer löslichen Phosphaten;
- Verbesserung der Stickstoffversorgung durch den Aufschluß von Humus;
- Lieferung von Wuchsstoffen, die den Stoffwechsel aktivieren.

Die Bedeutung von Mykorrhiza für die Waldbäume zeigt sich bei Aufforstungen von Steppen-, Heide- und Ackerböden. Ein normales Wachstum und ein guter Holzertrag, vor allem der Gemeinen Kiefer, wird hier oft erst nach künstlicher Impfung der Standorte mit myzelhaltiger Walderde erreicht.

Mykorrhizapilze weisen in Reinkultur ein geringes Wachstum auf und bilden keine Fruchtkörper. Diese Mängel werden durch den Zusatz von Wurzelausscheidungen behoben. Die Pilze entnehmen den Baumwurzeln Wuchsstoffe und Kohlenhydrate. Ihr Wachstum, vor allem ihre Fruchtkörperbildung, sind dann besonders intensiv, wenn genügend Kohlenhydrate in den Rindenzellen zur Verfügung stehen. Das ist dann der Fall, wenn eine intensive Photosynthese erfolgt und der Baum genügend Nährsalze erhält. Da eine reichliche Nährsalzversorgung vor allem auf dem Höhepunkt der Vegetationsperiode zu einem starken Verbrauch der Kohlenhydrate durch den Baum selbst führt, treten Pilze bevorzugt auf nährstoffärmeren Standorten auf. Außerdem erscheinen ihre Fruchtkörper, zu deren Bildung viel Kohlenhydrat benötigt wird, vorzugsweise im Spätsommer und Herbst, wenn die Sproßbildung der Bäume abgeschlossen ist.

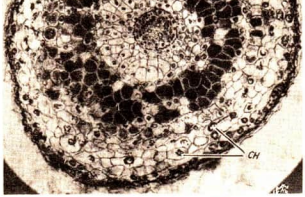


Abb. 134/1 Querschnitt durch ein Wurzelknöllchen der Schwarz-Erle
(B Strahlenpilz, Ch Chromosomen; stark vergr.)

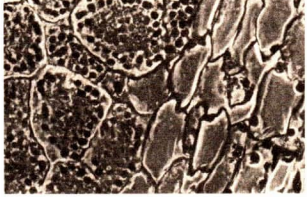


Abb. 134/2 Schnitt durch ein Wurzelknöllchen einer Erle (rechts normale Rindenzellen, links Rindenparenchymzellen mit Strahlenpilzen; an der Peripherie bläschenförmige Gebilde, im Inneren der Zellen Hyphen; stark vergr.)

Eine andere Form von Symbiose besteht bei den Schmetterlingsblütengewächsen (Leguminosen). Die krautigen Schmetterlingsblütengewächse, aber auch die Robinie und der Besenginster besitzen an ihren Wurzeln kleine Knöllchen, die in ihrem Innern dicht mit stickstoffbindenden Bakterien, dem *Bacterium radiciola*, gefüllt sind (Abb. 134/1 u. 134/2). Dieses zunächst freilebende Bakterium wird durch Wurzelausscheidungen der Schmetterlingsblütengewächse in seiner Entwicklung stark gefördert, dringt an der Spitze von Wurzelhaaren oder auch durch junge Epidermiszellen in die Wurzeln ein und veranlaßt die Zellen der Wurzeln der Schmetterlingsblütengewächse zu einem intensiven Wachstum. Dadurch bilden sich die außen an der Wurzel deutlich erkennbaren Wurzelknöllchen aus. *Bacterium radicicola* besitzt eine heterotrophe Lebensweise und ist deshalb auf die organischen Substanzen der Schmetterlingsblütengewächse angewiesen, während es durch die Bindung des Luftstickstoffs den Schmetterlingsblütengewächsen verwertbare Stickstoffverbindungen zur Verfügung stellt. Schmetterlingsblütengewächse sind deshalb in der Lage, stickstoffarme bis stickstofflose Böden mit guter Stoffproduktion zu besiedeln.

Die Symbiose zwischen den Knöllchenbakterien und den Schmetterlingsblütengewächsen besitzt eine große wirtschaftliche Bedeutung. Durch Schmetterlingsblütengewächse als Kulturpflanzen reichern sich im Boden jährlich etwa 100 kg bis 400 kg Stickstoff je Hektar im Ackerboden an. Schmetterlingsblütengewächse, vor allem Lupinen, werden umgepflügt und als Gründung verwendet. Nach Anbau von *Lupinus polyphyllus* unter Kiefern erfolgte im Verlaufe von 25 Jahren eine Akkumulation von 800 kg bis 900 kg Stickstoff je Hektar im Boden. Für die Bodenmelioration, besonders für die Rekultivierung, werden Weiß-Erle und Rot-Erle angebaut, da auch diese Arten Wurzelknöllchen besitzen, in denen Strahlenpilze den Luftstickstoff binden.

✦ Die ungarischen Sandgebiete wurden erfolgreich mit Robinien aufgeforstet, die heute 25 % der Waldbestände dieses Landes bilden. Auf nährstoffarmen Kiefernstandorten Brandenburgs konnten durch Robinienunterbau ein 1,5 m bis 2,0 m größeres Höhenwachstum und ein 5 % bis 20 % stärkerer Umfang in Brusthöhe bei der Gemeinen Kiefer erzielt werden.

Ein weiteres Beispiel für pflanzliche Symbiosen stellen die Flechten dar. In den Flechten haben sich Pilze und Algen zu morphologischen und physiologischen Einheiten zusammen-

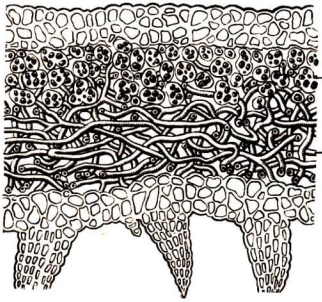


Abb. 135/1 Flechte (Querschnitt, vergr.)

Stoffaustausch	
Symbiose: zeitweilige oder dauernde Verbindung zwischen artverschiedenen Individuen mit gegenseitiger Abhängigkeit und gegenseitigem Nutzen	
Symbiosen bei Tieren	Symbiosen bei Pflanzen
Protozoen, Schwämme, Nesseltiere Algen entfernen giftige stickstoffhaltige Stoffwechselendprodukte im Wirtstier, Alge verwendet Endprodukte beim Stoffwechsel.	*Mykorrhiza* Pilzmyzel stellt Kontakt zwischen Wurzeln der Pflanze und Boden her und führt Pflanze Mineralsalze und Wuchsstoffe zu, Pilz entnimmt Wurzel der Pflanze Kohlenhydrate und Wuchsstoffe.

Symbiosen bei Tieren	Symbiosen bei Pflanzen
Bakterien im Pansen der Wiederkäuer, Insekten, Zellulosefresser Bakterien entnehmen der Zellulose der Zellwände Nährstoffe zum Leben und schließen dabei die Zellwände auf, Wirtstier kann Zellinhalt der Pflanzen verdauen. *Einsiedlerkrebs und Anemone* Anemone ernährt sich von Beutetieren des Krebses mit, Einsiedlerkrebs wird von Seeanemone geschützt.	*Schmetterlingsblütengewächse* Bildung von Wurzelknöllchen durch Knöllchenbakterien, Bakterien leben von organischen Substanzen des Schmetterlingsblütengewächses, Pflanze erhält durch Bindung von Luftstickstoff durch Knöllchenbakterien Stickstoff. *Flechten* Pilz nimmt vor allem Nährsalze für Flechten auf, Pilz entnimmt von Flechte Kohlenhydrate. Flechten können unter extremen Bedingungen leben.

geschlossen (Abb. 135/1). Die Pilzhyphen geben in den meisten Fällen den Flechten ihre krustenförmige (Krustenflechten), gelappte (Laubflechten) oder strauchartige (Strauchflechten) Form.

Flechten dringen am weitesten in die Kältewüsten der Hochgebirge, die Arktis und die Antarktis vor. Sie ertragen Temperaturen von – 196 °C und sind in der Lage, noch bei einer Temperatur von – 24°C zu assimilieren. Die Rentierflechten bilden mit anderen Strauchflechten die Hauptnahrung der Rentiere. Aus nordafrikanischen und kanarischen Flechten (*Reccella*-Arten) wird der Lackmusfarbstoff gewonnen. Die Flechte *Lecanora esculenta,* die in den Steppen Nordafrikas und des Orients vorkommt, dient als Nahrungsmittel. ✦

33 34 35 36 37

Keimzellenübertragung

Durch den Bestäubungsvorgang sind manche Pflanzen zu gegenseitigem Nutzen mit den sie bestäubenden Tieren verbunden. Viele Insekten, vor allem Hautflügler, Zweiflügler und Schmetterlinge, suchen die Blüten auf, um den zuckerhaltigen Nektar (bis zu 76 %) und den öl- und eiweißhaltigen Pollen (etwa 24 %) als Nahrung zu sammeln. Auch bei der Eiablage kann es zur Bestäubung der Blüte kommen. So setzen Aasfliegen zuweilen ihre Eier in Aasgeruch ausströmende Blüten ab.

Der Anlockung der Insekten dienen optische und chemische Reize. Neben Arten mit lebhaft gefärbten Kronblättern gibt es auch Arten mit leuchtenden Kelchblättern (z. B. Busch-Windröschen, Kuhschelle, Trollblume, Eisenhut, Teichrose), mit leuchtenden Hochblättern (z. B. Wolfsmilch, Hain- und Acker-Wachtelweizen) oder Staubblättern (z. B. Weidenarten). Häufig besitzen die Kronblätter am Blüteneingang Saftmale in Form abweichend gefärbter Flecke (z. B. Primelarten, Kapuzinerkresse, Gemeines Labkraut), Striche (z. B. Radieschen, Schwertlilien, Blut-Weiderich) oder Punkte (z. B. Gold-Taubnessel, Roter Fingerhut), oder sie zeichnen sich durch einen lackartigen, seidigen oder samtartigen Glanz (z. B. Hahnenfußarten, Alpenveilchen, Stiefmütterchen, Löwenmaul, Primeln) aus.

✦ In den Tropen führen häufig auch Vögel die Bestäubung aus. Vögel und Blüten besitzen deutliche Anpassungserscheinungen. Die kleinen, farbenprächtigen Kolibris sind schnelle,

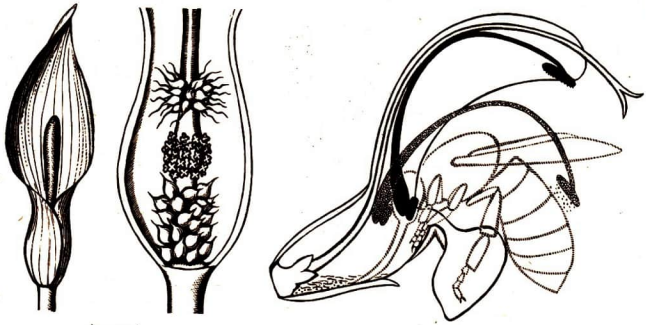


Abb. 137/1 Beispiele für Bestäubungsmechanismen bei Pflanzen

gewandte Flieger, die nicht nur plötzlich die Flugrichtung ändern können, sie fliegen auch rückwärts und nehmen die Nahrung im Schwirrflug, vor der Blüte in der Luft stehend, auf. Der lange, leicht gebogene Ober- und Unterschnabel bildet eine luftdicht schließende Saugröhre, und die röhrenförmige Zunge kann weit vorgestreckt werden.

Eine gewisse Bedeutung erlangen in den Tropen auch Fledermäuse als Blütenbestäuber. Die von diesen bestäubten Blumen blühen nachts. Sie besitzen einen unangenehmen säuerlichen oder muffigen Geruch und einen kräftigen Bau, da sich die Fledermäuse im Gegensatz zu den Kolibris an den Blüten festklammern. Die lange, weit vorstreckbare Zunge der blütenbestäubenden Fledermäuse besitzt an ihrer Spitze nadelförmige Papillen, die wie Kapillaren wirken und den Nektar aufsaugen. ✦

(38)

► Durch den Bestäubungsvorgang sind manche Pflanzen zu gegenseitigem Nutzen mit dem sie bestäubenden Tier (z. B. Insekten, einige Vogelarten, einige Fledermausarten) verbunden. Durch chemische oder optische Reize wird das Tier angelockt, sucht sich zuckerhaltigen Nektar und eiweißreichen Pollen und bestäubt dabei die Blüten. Die Blüten sind der Bestäubung und dem Blütenbesuch angepaßt.

Allelopathie

Unter Allelopathie wird die Beeinflussung der Entwicklung und des Wachstums höherer Pflanzen durch Stoffe, die von anderen Pflanzen ausgeschieden werden, verstanden. Es ist sehr schwierig, in der Natur eine Wurzelkonkurrenz von einer allelopathischen Wirkung zu unterscheiden. Viele Beispiele einer Allelopathie konnten durch spätere Untersuchungen als Konkurrenzwirkung aufgeklärt werden. Um eine allelopathische Wirkung zu erzeugen, genügen nicht die zu beobachtende Ausscheidung hemmender Stoffe und der Laborversuch. In der Natur kommt es auf die toxisch wirkende Konzentration des Hemmstoffes an. Außerdem

werden diese Hemmstoffe durch die Absorptionskräfte des Bodens und durch den Abbau und Umbau durch Mikroorganismen sehr schnell inaktiviert.

Hemmstoffe werden bei manchen Arten in den Blättern gebildet und gelangen bei Niederschlag durch Abwaschung und Auswaschung in den Boden. Andere Pflanzen geben toxisch wirkende Stoffe durch die Wurzeln direkt an den Boden ab. So scheidet der Wermuth aus den Blättern den Bitterstoff Absinthin ab, der unter anderem auf Fenchel, Liebstöckel, Kümmel und Salbei hemmend wirkt. Mit Wasser verrottetes Getreidestroh scheidet Stoffe ab, die im Dezember und Januar besonders konzentriert sind und das Wachstum junger Getreidepflanzen und der Unkräuter beeinträchtigen. Die Fichtennadeln hemmen die Keimung der Pflanzen. Deshalb geht die Krautarmut und Krautfreiheit von Fichtenforsten nicht nur auf den äußerst geringen Lichtgenuß in der Bodenschicht, sondern auch auf allelopathische Erscheinungen zurück.

Die Bodenmüdigkeit, die sich nach wiederholtem Anbau der gleichen Kulturart einstellt, wird ebenfalls allelopathischen Wirkungen zugeschrieben. Selbstunverträglich sind vor allem Lein, Rot-Klee, Steinobst und Kernobst, während Roggen und Kartoffeln wiederholt auf der gleichen Ackerfläche angebaut werden können.

▶ *Allelopathie:* Beeinflussung der Entwicklung und des Wachstums höherer Pflanzen durch toxisch hemmende oder auch fördernde Substanzen, die von anderen Pflanzen ausgeschieden werden.
Bestimmte Substanzen hemmen unmittelbar das Wachstum anderer benachbarter Pflanzenarten oder die Keimung von Pflanzensamen oder bewirken die Bodenmüdigkeit bei einigen Kulturpflanzenarten.

▶ Es gibt direkte und indirekte Beziehungen zwischen den Organismen.
Direkte Beziehungen sind Brutfürsorge und Brutpflege, Stockbildung, Staatenbildung, Überwinterungsgesellschaften, Schlafgemeinschaften, Tiergemeinschaften, Stoffentzug durch Parasiten und Saprophyten, durch Stoffaustausch bei Symbiose und Keimzellenübertragung und durch Allelopathie. Indirekte Beziehungen liegen vor, wenn eine Organismengruppe die Umwelt anderer Organismen verändert.

Abhängigkeit der Populationsdynamik von Schwankungen der Umweltfaktoren

Die Lebewesen eines Biotops sind durch vielfältige Beziehungen sowohl untereinander als auch mit abiotischen Faktoren ihrer Umwelt verknüpft. Sie bilden ein Beziehungsgefüge, die Biozönose, das unter Berücksichtigung ausreichend großer Zeiträume erhalten, das heißt im Gleichgewicht bleibt. Dieses selbstregulatorische Gleichgewicht gilt im allgemeinen als Kennzeichen einer Biozönose. Auch in einer vollständig vom Menschen unbeeinflußten Biozönose ist es nicht statisch, sondern dynamisch. Dieses dynamische Gleichgewicht ist als ein schwingendes System zu verstehen, in dem die Einzelglieder in ihren Lebensprozessen (z. B. Fortpflanzung, Aktivität, Besiedlungsdichte) mehr oder weniger starken Schwankungen unter-

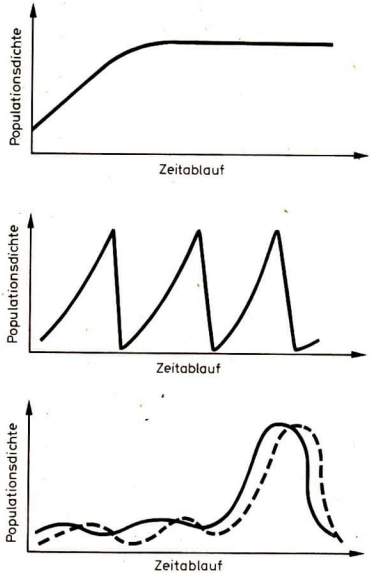


Abb. 139/1 Schematische Darstellung von unterschiedlichen Formen der Populationsschwankungen (gestrichelte Linie dazugehöriger Parasit)

worfen sind. Diese Schwankungen weisen für jede Tierart typische Formen auf und gehören zu den charakteristischen Merkmalen jeder Art (Abb. 139/1).

Erst die Summe der Einzelschwingungen aller in einer Biozönose lebenden Arten läßt nach außen dieses relative Gleichgewicht erscheinen. Dabei wirkt weniger das einzelne Individuum als vielmehr die Population.

Tierpopulationen unterliegen im Gesamtsystem einer Biozönose ähnlich wie die einzelnen Individuen bestimmten Einwirkungen, wobei interne und externe Faktoren eine Rolle spielen. Das Geschehen in einer Population resultiert aus den im Einzeltier ablaufenden Prozessen und seinen Handlungen, die es beispielsweise wachsen beziehungsweise seinen Aufenthaltsort ändern lassen, sowie aus den Zu- und Abgängen von Individuen, sei es durch Geburt oder Tod, sei es durch Ein- und Auswanderung.

Die im Verlaufe der Zeit, wie Tages- und Jahreszyklus, sich ändernde Qualität und Quantität der einwirkenden inneren und äußeren biotischen Faktoren und äußere abiotische Faktoren bedingen eine ständig wechselnde Struktur der Population. Insbesondere folgende Hauptmerkmale unterliegen diesen Einflüssen:

- räumliche Ausdehnung der Population (Größe),
- Bevölkerungsdichte auf der Flächeneinheit (Dichte),
- Grad der Streuung über den bewohnten Raum (Verteilung),

– Produktivität in der Vermehrung (Fortpflanzungspotenz, Geschlechtsverhältnis, Altersstruktur),
– Gesundheitszustand (Konstitution gegenüber Umweltfaktoren, Sterblichkeit, Parasitierung).

Im permanenten Wechselspiel zwischen Umwelt und Population kommt es zu artspezifischen Schwankungen in der Dichte, Größe, Streuung, Produktivität und Sterblichkeit. Dieses ständige Schwingen wird als Populationsdynamik bezeichnet. Die Populationsdynamik ist das Ergebnis einer komplexen Beeinflussung aller auf die Population einwirkenden Faktoren und ist nur unter Berücksichtigung aller Komponenten zu verstehen. Untersuchungen zur Populationsdynamik sind vor allem an Populationen von Schadtieren durchgeführt worden, so daß heute befriedigende Vorstellungen über die Zusammenhänge zwischen inneren und äußeren Einflüssen und der Populationsdynamik bestehen.

Bei Schadinsekten sind die Populationsschwankungen besonders ausgeprägt und lassen die unterschiedlichen Phasen eines Massenwechsels besonders gut erkennen. Eine derartige Kalamität entwickelt sich im allgemeinen aus einem Normalbestand, der keine oder nur geringe volkswirtschaftliche Schäden verursacht, durch einsetzende Massenvermehrung. Diesem

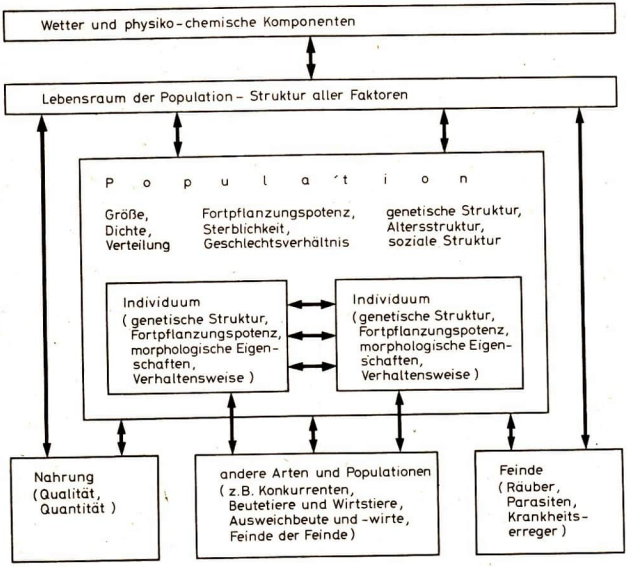


Abb. 140/1 Stellung der Population im Ökosystem

Eruptionsstadium folgt ein unterschiedlich lange anhaltendes Optimum der Populationsdichte, das je nach Art des Schädlings wenige Wochen bis mehrere Jahre anhält. Es folgt dann die Zeit der Krisis, in der die Individuendichte schnell abnimmt. Der Zusammenbruch der Kalamität kann langsam oder auch schlagartig vor sich gehen. Der überlebende Rest an Individuen, der eiserne Bestand, sichert den Erhalt der Population (Abb. 140/1).

Die Individuenzahl einer Population und damit ihre Bevölkerungsentwicklung wird von der Vermehrungspotenz der betreffenden Art und dem ihr entgegenwirkenden Umweltwiderstand bestimmt. Die Vermehrungspotenz einer Art setzt sich aus einer Reihe von Einzelkomponenten zusammen, deren wichtigste die potentielle Nachkommenproduktion eines Weibchens, der Anteil der geschlechtsreifen Weibchen im Gesamtverband, die Geschwindigkeit der Generationsfolge, der Altersaufbau und die Sterblichkeit (Mortalität) sind. Die Nachkommenzahl eines Weibchens liegt je nach Organisationshöhe der Tierart unterschiedlich hoch.

Nachkommenzahlen (abgelegte Eier bzw. geborene Tiere je Jahr und Weibchen)

Tierart	Ei- bzw. Geburtenzahl
Spulwurm	64 000 000
Auster	1 000 000
Karpfen	700 000
Grasfrosch	4 000
Hausbock	400
Frostspanner	350
Nonne	250
Kiefernspinner	150
Kiefernbuschhornblattwespe	150
Kartoffelkäfer	100
Strauß	30
Meise	15
Saatkrähe	5
Uhu	1
Pinguin	1
Schnabeltier	1
Rothirsch	1
Reh	2

Je geringer die Chance der Nachkommen ist, bis zur Geschlechtsreife am Leben zu bleiben und damit die Art zu erhalten, um so größer ist die produzierte Nachkommenzahl und umgekehrt. Produktion der Nachkommen und Sterblichkeit halten sich etwa die Waage, wenn alle übrigen Faktoren der Umwelt und innerhalb der Population (z. B. Lebensdauer, Generationsfolge, Altersaufbau) normale und nicht vom Mittel abweichende Werte einnehmen.

Neben den populationsinternen Faktoren beeinflussen die vielfältigen äußeren biotischen Regelgrößen die Populationsdynamik. Als derartige Regulatoren sind beispielsweise die biotischen Faktoren der Sterblichkeit (Mortalitätsfaktoren), also Parasiten, Räuber und Krankheitserreger zu nennen. Im ausgewogenen Ökosystem schwingt die Populationskurve der letzteren mit ihren Beute- bzw. Wirtstieren, wobei lediglich eine gewisse zeitliche Verzögerung die Regel ist. Augenfällig wird ihre regulatorische Wirkung erst dann, wenn die Regulatoren ausfallen. Bekannt ist als Beispiel die Ausbreitung des Schwammspinners (gefähr-

licher Schädling aller Laubbäume) in Amerika. Von einigen Raupen ausgehend, die von einem Entomologen aus Europa bezogen worden waren und versehentlich ins Freie gelangten, entwickelte der Schädling eine der größten bekannten Insektenkalamitäten. In seiner Heimat wird der Schwammspinner durch Parasiten und Räuber so weit niedergehalten, daß er nur selten und für kurze Zeit zur Übervermehrung neigt. Da es in seinem neuen Lebensraum diese Parasiten und Räuber nicht gab und von den dort heimischen nur wenige auf den Schädling übergingen, konnte dieser sein Vermehrungspotential ungehindert verwirklichen. Dieses Beispiel ist kein Einzelfall. Andererseits ist es mehrfach gelungen, durch nachträgliche Einfuhr und Einbürgerung der Parasiten den eingeschleppten Schädling unter Kontrolle zu bekommen und auf ein wirtschaftlich bedeutungsloses Maß herabzudrücken.

Das Mißverhältnis zwischen Wirtstier und Parasit kann auch dadurch entstehen, daß für den Wirt ungewöhnlich günstige Verhältnisse eintreten (z. B. Nahrung, Witterung), so daß er den nicht in gleicher Weise begünstigten Parasiten in der Vermehrung überflügelt. Die gleichen Folgen kann das Einsetzen ungünstiger Bedingungen für den Parasiten haben (z. B. witterungsbedingte Behinderung der Wirtssuche und Eiablage) oder schließlich das Zusammentreffen beider Möglichkeiten.

Als eine weitere biotische Regelgröße muß die Überschreitung der maximalen Bevölkerungsdichte einer Biozönose betrachtet werden. Als begrenzende Faktoren treten dabei beispielsweise das Angebot an Nahrung und Brutstätten, der Grad der Bewegungsfreiheit und damit der Aktionsradius des Einzeltieres, erhöhte Infektionsgefahr bei ansteckenden Krankheiten, psychische Störungen bei zu hoher Dichte auf. Die genannten Einzelfaktoren wirken entsprechend ihren unterschiedlichen Qualitäten über die verschiedensten Angriffspunkte auf die grundlegenden physiologischen Prozesse im Einzeltier ein. Ihre gleichsinnigen Wirkungen führen dabei in der Regel zu sich lawinenartig ausbreitenden Reaktionen innerhalb der Population und erfassen diese bald ganz. Dabei können die auslösenden Faktoren je nach Zeit und Raum verschieden sein (z. B. Nahrungsmangel durch Übervermehrung oder zu geringes Nahrungsangebot, physische Überbelastung durch Einengung des Aktionsradius). Häufig, besonders aber im Stadium einer Übervermehrung, verursachen andere Faktoren gleichzeitig eine physiologische Schwächung der Tiere. Treten dann noch, bei geminderter Konstitution, Infektionskrankheiten auf, ist der Zusammenbruch einer Population nicht mehr aufzuhalten.

So verläuft zum Beispiel der Massenwechsel der Feldmaus in unserem Gebiet in einem Rhythmus von drei bis vier Jahren, wobei die Kalamitäten im letzten Jahr schlagartig zusammenbrechen. Am Zusammenbruch ist neben den äußeren biotischen Faktoren (z. B. Bussard, Krähe, Fuchs, Katze, Marder, Iltis, Wiesel) ein ganzer Komplex weiterer Regelgrößen beteiligt. Insbesondere Hunger, Degeneration und Raummangel als Folge der Übervermehrung spielen eine dominierende Rolle. Mäusepopulationen reagieren negativ, wenn ein gewisses Maß an Bewegungsfreiheit ohne Störung (z. B. Revierkämpfe) unterschritten wird (Gedrängefaktor). Die Geburtenrate sinkt durch Rückbildung oder Auflösung der Keimlinge, die Anzahl der trächtigen Weibchen geht bis auf Null zurück. Der Rhythmus zwischen Ruhe und Futteraufnahme wird gestört, und der Aktionsradius der Einzeltiere wird immer kleiner. Mit den Unbilden der kalten Jahreszeit treffen Hunger und physische Erschöpfung zusammen und bewirken mit der Vielzahl der Todesfälle den totalen Zusammenbruch.

Von den bereits erwähnten abiotischen Regelgrößen üben besonders die klimatischen Faktoren einen stark gestalteten Einfluß auf die Populationsdynamik aus. Die Temperatur wirkt sich dabei besonders aus. An diesem einen isoliert dargestellten Faktor soll im folgenden die Komplexität des Zusammenwirkens aller Faktoren erläutert werden:

Die Temperatur als ein im Wettergeschehen variabler Faktor wirkt in allen Entwicklungsstadien auf den Organismus ein. So verringert sich bei allen wechselwarmen Tieren die

Embryonal- und Larvenentwicklung mit abnehmender Temperatur und erhöht damit die Angriffszeit für alle möglichen Faktoren der Sterblichkeit. Umgekehrt wird durch eine normale oder unschädliche Steigerung der Temperatur der Stoffwechsel so beschleunigt, daß das Endstadium – das geschlechtsreife und damit fortpflanzungsfähige Tier – früher und von einer größeren Anzahl von Individuen erreicht wird. Bei Insekten konnte nachgewiesen werden, daß sich die Temperaturbedingungen auch auf die Anzahl der im Ovarium heranwachsenden Eier, deren Ablage und das Geschlechtsverhältnis auswirken. Niedrige Temperaturen führen in den Ovarien zu einer geringeren Reifungsgeschwindigkeit und verursachen auf diesem Wege eine geringere Eizahl. Bei niedrigen Temperaturen während der Zeit der Eiablage kann wiederum beobachtet werden, daß nur ein Teil der ablagebereiten Weibchen überhaupt neue Ablageplätze aufsucht, die übrigen dagegen, ohne für Nachkommen Sorge getragen zu haben, absterben.

Umgekehrt erhöht eine optimale Temperatur die Aktivität derart, daß die Mehrzahl der geschlechtsreifen Individuen alle Möglichkeiten der Arterhaltung nutzt. Eine unterschiedliche Beeinflussung des Geschlechtsverhältnisses durch die Temperatur ist von der Nonne, einem gefährlichen Fichtenschädling, bekannt. Herrschen während der Larvalzeit nur Temperaturen von 15 °C, so setzt sich die daraus entstehende Population aus 67 % Männchen und 33 % Weibchen zusammen; herrschen aber 30 °C, so entwickeln sich 37 % Männchen und 63 % Weibchen. Ursache dieser Verschiebung ist eine unterschiedliche Sterblichkeit von männlich und weiblich determinierten Raupen.

Die Temperaturbedingungen sind in der freien Natur stets mit anderen Erscheinungen des Wetterablaufs gekoppelt. Niedrige Temperaturen fallen meist mit erhöhter Luftfeuchte, oft sogar in Form von Gewittern, Platzregen, Stürmen, Kälteeinbrüchen im Frühjahr zusammen und verstärken bei der einen oder kompensieren bei der anderen Art die entstandenen Wirkungen. Auch bei relativ nahe verwandten Arten wurde festgestellt, daß jede Art gegenüber den Umweltfaktoren spezifische Reaktionsweisen besitzt. Diese Kenntnis ist besonders in der Schädlingsbekämpfung von Bedeutung, da erst auf dieser Grundlage eine gezielte Bekämpfung vorgenommen werden kann.

Die Lebewesen eines Biotops sind sowohl untereinander als auch mit abiotischen Faktoren ihrer Umwelt verknüpft.
Die Lebewesen eines Biotops bilden ein Beziehungsgefüge, die Biozönose. Das Beziehungsgefüge bleibt innerhalb großer Zeiträume durch selbstregulatorische Vorgänge im Gleichgewicht erhalten.
Im Wechselspiel zwischen Umwelt und Population kommt es zu zeitweiligen artspezifischen Schwankungen in der Dichte, Größe, Streuung, Produktivität und Sterblichkeit; sie werden als Populationsdynamik bezeichnet.
Die Individuenzahl einer Population und damit die Bevölkerungsentwicklung wird von der Vermehrungspotenz und der Überlebenschance der Nachkommen der betreffenden Art und den ihr entgegenwirkenden Umweltbedingungen bestimmt. Einfluß auf die Populationsdynamik nehmen vor allem Temperatur, Feuchtigkeit und biologische Regelfaktoren (z. B. Parasiten, Räuber, Krankheitserreger). Fällt einer der Regulatoren aus und wird die Bevölkerungsdichte groß oder sind die Verhältnisse für den Wirt günstiger als für den Parasiten oder Räuber, kommt es zu einer Massenvermehrung einer Art.

Das Zusammenwirken von Umweltfaktoren

Bisher wurde die Wirkung von einzelnen Umweltfaktoren auf die Organismen und Organismengesellschaften herausgestellt. Diese Faktoren wirken jedoch in der Natur nicht isoliert auf Tiere und Pflanzen sowie Organismengesellschaften ein. Ein Biotop oder Standort ist ein Komplex von Umweltfaktoren, der in einem komplizierten Gefüge die Lebensprozesse der Organismen beeinflußt und auf die Entwicklung ihrer Strukturen einwirkt. Dabei beeinflussen sich diese Faktoren in ihrer Wirkung auf die Organismen noch in mannigfaltiger Weise. Hinzu kommt, daß die Geländefaktoren die Organismen vielfältig beeinflussen. So kann ein wurzelwirksamer Grundwasserstand eine ähnliche Wirkung auf Biozönosen wie eine höhere Niederschlagsmenge auf grundwasserfreien Böden besitzen. Südexponierte Standorte in einem klimatisch nicht sehr günstigen Gebiet (Bergstufe) werden oft von Pflanzengesellschaften eingenommen, die in warmen Landschaften alle ebene Flächen und die verschiedensten Hangrichtungen besiedeln können.

Einen Eindruck vom Zusammenwirken der Umweltfaktoren geben die physiologische und ökologische Potenz der Organismen, die Verbreitung der Organismen in der Biosphäre und die standortbedingte Vergesellschaftung der wichtigsten Wald-Biozönosen.

Die physiologische und ökologische Potenz der Organismen

Pflanzen einer Biozönose wachsen nicht gemeinsam in einer Organismengesellschaft, weil sie die gleichen Umweltansprüche aufweisen. Am Beispiel der Waldvegetation ist zu erkennen, daß Baumschicht, Strauchschicht und Krautschicht unter durchaus recht verschiedenen Umweltbedingungen im Waldökosystem leben (Binnenklima). Hinzu kommt noch die sehr unterschiedliche Ausprägung des Wurzelsystems der einzelnen Arten in der Biozönose, was zu einer recht verschiedenen Wirkung der an den Boden gebundenen Standortfaktoren (z. B. Nährstoffgehalt, Bodenreaktion, Wassergehalt, Bodentemperatur, Humusverhältnisse, Durchlässigkeit für Luft und Wasser) auf die einzelnen Pflanzenarten der Organismengesellschaft führt. Das gleiche gilt auch für die zoologische Komponente einer Biozönose.

Besonders wichtig für das ökologische Gleichgewicht ist auch die wechselseitige Beeinflussung, die gegenseitige Konkurrenz der Organismen um Energie, Stoffe und Raum. Es entscheidet nicht der wichtige Umweltfaktor oder das Zusammenwirken einer Vielzahl abiotischer Umweltfaktoren über das Vorkommen der Pflanzen in der Natur, über die Bindung an bestimmte Biozönosen. Das Wirken der abiotischen Umweltfaktoren wird stark überlagert von der Konkurrenz.

Im Kampf um Licht, Wärme, Wasser, Nährstoffe und Spurenelemente setzen sich die am Standort konkurrenzstarken Pflanzenarten durch und verdrängen die weniger konkurrenzstarken aus dem Bereich der für sie günstigsten Kombination der Standortfaktoren. Die konkurrenzstarken sind meist die Pflanzen mit langer Lebensdauer, mit einer schnellen Keimungs- und Wachstumsgeschwindigkeit, schnell ablaufendem Entwicklungsrhythmus, weitausladendem Wurzelsystem und starker Vermehrung und Regenerationsfähigkeit.

Abb. 145/1 Fichtensämlinge in einem Birkenbestand (Wurzelkonkurrenz der Waldbäume; links ausgeschaltet, rechts nicht ausgeschaltet

Ein deutliches Bild vom Wirken der Konkurrenz zeigt uns die Abbildung 145/1. Gleichaltrige Fichten wuchsen hier mit und ohne Konkurrenz der Birke im Wurzelraum auf. Die Konkurrenz bewirkt bei vielen Pflanzen eine völlig andere Bindung der Art an bestimmte Umweltfaktoren als in Reinkultur. Sehr deutlich ist das am Beispiel der Gemeinen Kiefer zu erkennen. Wird die Gemeine Kiefer in Reinkultur angebaut, so zeigt sie das beste Wachstum und die beste Stoffproduktion auf tiefgründigen, schwach sauren, sandigen Lehmen und lehmigen Sanden mit guter Nährstoffversorgung. In der Landschaft unter den Bedingungen der Konkurrenz ist die Gemeine Kiefer vorzugsweise auf armen, trockenen Sanden, auf trockenen Kalksteinböden oder auf nassen, sehr nährstoffarmen und sauren Böden anzutreffen, wie sie am Rande von Hoch- und Zwischenmooren gegeben sind. Die Gemeine Kiefer bevorzugt also nicht die extremen sauren, nährstoffarmen Standorte, sondern findet eine optimale Befriedigung ihrer Ansprüche auf relativ guten Böden, sie kann aber auch auf anderen Böden gedeihen.

Das Verhalten der einzelnen Pflanzenarten gegenüber den verschiedenen abiotischen Umweltfaktoren in Reinkultur wird die physiologische Potenz genannt. Das Verhalten dagegen in Mischkultur oder in den Biozönosen am natürlichen Standort eines Organismus wird als ökologische Potenz bezeichnet.

Die ökologische Potenz der einzelnen Arten ist keine feststehende Größe. Sie ist abhängig von der ökologischen Konstitution der Konkurrenten und von der gegebenen Kombination der abiotischen Umweltfaktoren. Die Abbildung 146/1 zeigt die physiologische Potenz und die ökologische Potenz einiger wichtiger Baumarten unter der Bedingung des Klimas einer Bergstufe in Mitteleuropa und unter der Konkurrenz der Buche, die hier ein optimales Gedeihen zeigt.

Als weiteres Beispiel für die Unterschiede der physiologischen und ökologischen Potenz sei das Verhalten der Schlängel-Schmiele dargelegt. In Reinkultur wächst das Gras bei einem

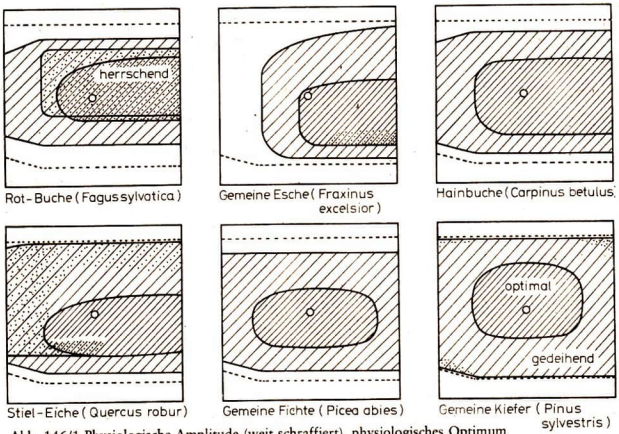


Abb. 146/1 Physiologische Amplitude (weit schraffiert), physiologisches Optimum (eng schraffiert) und ökologisches Optimum (punktiert) einiger Waldbäume im Hinblick auf Bodenfeuchtigkeit und -reaktion unter den Umweltbedingungen der mitteleuropäischen unteren Bergstufe

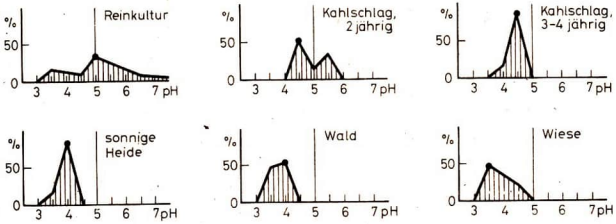


Abb. 146/2 Physiologische und ökologische Potenz der Schlängel-Schmiele unter verschiedener Konkurrenzbedingung

deutlichen Optimum um den *p*H-Wert 5 bei einer weiteren Amplitude der Bodenreaktion. Auf einem jungen Kahlschlag ist durch Konkurrenten die Amplitude des Auftretens gegenüber der Bodenreaktion stark eingeengt. Das Maximum liegt in sauren Bereichen. Auf älteren Kahlschlägen mit einem stärkeren Konkurrenzdruck verschiebt sich die Amplitude und der Maximalwert noch weiter in den sauren Bereich. Auf einer Wiese mit starker Konkurrenz der Gräser und Kräuter tritt die Schlängel-Schmiele nur im stark sauren Bereich auf (Abb. 146/2).

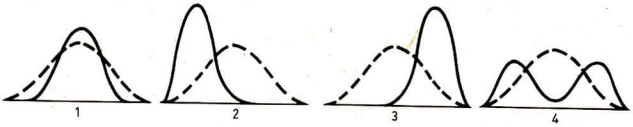


Abb. 147/1 Schematische Darstellung der physiologischen (gestrichelt) und der durch Konkurrenz bedingten Optimumkurven (ausgezogen)

Die möglichen Reaktionsweisen der Pflanzenarten in einer Biozönose gegenüber den Umweltfaktoren unter starkem Konkurrenzdruck gibt die Abbildung 146/1 wieder. Es kann durch die Konkurrenz stärkerer Arten bei konkurrenzschwachen zu einer Einengung der ökologischen Amplitude gegenüber der physiologischen kommen. Die schwächeren Arten können in extreme Bereiche des entsprechenden Umweltfaktors gedrängt werden, wobei die ökologische Kurve eingipflig, aber auch zweigipflig sein kann. Das letztere ist dann der Fall, wenn die Pflanzen nicht nur ins Minimum (z. B. Trockenheit, extrem saure Bodenreaktion), sondern auch ins Maximum (z. B. Nässe, basische Bodenreaktion), gedrängt werden. Ein gutes Beispiel für diesen Fall stellt die oben angeführte Gemeine Kiefer dar. Sie fehlt in der naturnahen Vegetation in den mittleren Säure- und Feuchtigkeitsbereichen und besiedelt trockene und nasse sowie saure und Kalksteinböden.

In einem Biotop oder an einem Standort wirkt ein Komplex von Umweltfaktoren auf die Organismen ein, beeinflußt die Lebensprozesse der Organismen und prägt ihre Strukturen. Für das ökologische Gleichgewicht einer Organismengemeinschaft ist die wechselseitige Beeinflussung, die gegenseitige Konkurrenz, wichtig. Die konkurrenzstarken Pflanzen bleiben erhalten und verdrängen die weniger konkurrenzstarken aus der für sie günstigsten Kombination der Standortfaktoren.
Das Verhalten der einzelnen Pflanzenarten gegenüber abiotischen Umweltfaktoren in Reinkulturen ohne Konkurrenz wird physiologische Potenz genannt.
Das Verhalten in Mischkulturen oder Biozönosen am natürlichen Standort wird als ökologische Potenz bezeichnet.

Das Zusammenwirken der Umweltfaktoren als Ursache für die Ausbildung der Waldgrenze im Gebirge

Die recht unterschiedliche Kombination der Umweltfaktoren auf der Erdoberfläche übt großen Einfluß auf die Verbreitung der Tiere und Pflanzen aus. Sie ist die Ursache für die mannigfaltige Vergesellschaftung der Organismen in Biozönosen und für die Verteilung dieser Organismengemeinschaften über die Erdoberfläche. Recht gut läßt sich die komplexe Wirkung der Umweltfaktoren auf die Ausbildung der Wald- und Baumgrenze studieren. Beim Aufstieg in die europäischen Hochgebirge zeigt sich ein gesetzmäßiger Wechsel der Baumarten. Die Eichen und Hainbuchen der Hügellandschaft werden im Bergland von Buchen und diese in der hochmontanen Stufe von Fichten abgelöst. Über dem geschlossenen Fichtenwald liegt eine Krummholzzone, in der vereinzelt verkrüppelte Bäume stehen.

Obwohl sich die klimatischen Verhältnisse allmählich verändern, kommt es meist zu einer scharf ausgeprägten Wald- und Baumgrenze. Die Ursache ist in einer sehr komplizierten Wirkung der Umweltfaktoren, vor allem des Temperatur- und Wasserfaktors, zu suchen.

Die Vegetationsperiode ist an der Waldgrenze relativ kurz und kühler als in tieferen Lagen. Die geringe Luftdichte und das Fehlen von Dunstschichten ermöglichen eine extrem hohe Einstrahlung, die zu einer starken Erwärmung der Pflanzenteile und der Bodenoberfläche führt. Da auch die nächtliche Ausstrahlung aus den gleichen Gründen beachtlich ist, werden Tagesschwankungen der Bodentemperaturen von – 18 °C bis 80 °C gemessen. Im Frühjahr und Herbst gibt es deshalb lange anhaltende Frostwechselzeiten.

Die winterliche Schneebedeckung führt zu Lawinenschäden und in Verbindung mit den starken Winden zur mechanischen Schädigung junger Sprosse durch Schneeschliff. Bei nassem Schnee werden vor allem Jungbäume durch Pilzbefall in Mitleidenschaft gezogen. Die Schneedecke mildert allerdings die Extreme der Bodentemperaturen und der Temperaturen an den schneebedeckten Pflanzenteilen.

Der Wasserhaushalt der Standorte an der Baumgrenze ist recht ausgeglichen. Im relativ kühlen Großklima der Hochlagen bleibt die Verdunstung gering. Die recht spät im Frühjahr erfolgende Schneeschmelze und das Schmelzwasser aus höheren Lagen führen im allgemeinen während der Vegetationsperiode zu einer ausreichenden Bodenfeuchtigkeit. Nur an windexponierten Standorten mit starker Erwärmung kommt es zu einer angespannten Wasserbilanz.

Nicht einzelne der angeführten Faktoren, sondern ihr Zusammenwirken bedingen die in der Landschaft so ausgeprägte Wald- und Baumgrenze. Eine kurze Vegetationsperiode verhindert den plasmatischen Abhärungsprozeß, ein Ausreifen der jungen Sprosse und die Bildung eines funktionstüchtigen Abschlußgewebes wie Epidermis und Kutikula. Die Gehölze transpirieren deshalb im Frühjahr infolge der beträchtlichen Strahlung bei noch gefrorenem Boden recht stark und vertrocknen (Frosttrocknis). Daß es sich nicht um einen Kältetod, sondern um Frosttrocknis handelt, zeigen die hohen osmotischen Werte der Zellen, die im Frühjahr am höchsten liegen und mehr als 50 at betragen.

Der Krüppelwuchs der Bäume über der Waldgrenze geht auf die Schneebedeckung zurück. Alle über die Schneedecke hinausragenden Zweige und Nadeln sind nicht nur ungehindert der starken Winterkälte ausgesetzt, sie vertrocknen besonders leicht bei einsetzender Frühjahrserwärmung. Für die schneebedeckten, vor extremen Temperaturen geschützten Zweige besteht keine Vertrocknungsgefahr, weil die Luft in der Schneedecke ein geringes Sättigungsdefizit besitzt.

Das Zusammenwirken der Umweltfaktoren in den Biozönosen

In der Natur sind die Einzelpflanzen Glieder meist artenreicher Biozönosen. Sie sind mit vielen anderen Organismen vergesellschaftet. Das Gleichgewicht in den Biozönosen ist das Ergebnis der Wechselbeziehungen zwischen den Organismen und zwischen diesen und den Umweltbedingungen. Auf die Organismengesellschaften wirkt eine Vielzahl von Standortfaktoren ein und bildet den Biotop dieser Organismengesellschaften. Am Beispiel der wichtigsten Waldbiozönosen ist das Zusammenwirken der verschiedensten Umweltfaktoren gut zu erkennen.

Der Fichtenwald

Biozönose. In den Fichtenwäldern (Abb. 149/1) dominiert die Gemeine Fichte stark. Sie bildet

Abb. 149/1 Fichtenwald

Abb. 149/2 Rot-Buchenwald

häufig Reinbestände mit einem dichten Kronenschluß, so daß nur wenig Licht in das Bestandinnere eindringen kann. Es ist deshalb in den meisten Fällen keine Strauchschicht und auch keine Krautschicht entwickelt.

Biotop. Fichtenwälder sind in Landschaften mit einem kühlen Klima anzutreffen. Die Gemeine Fichte ist in Gebieten mit einer kurzen und sehr plötzlich beginnenden Vegetationsperiode den Laubgehölzen überlegen. Sie ist deshalb in Mitteleuropa ein Baum der Gebirge, während sie im gesamten eurosibirischen Raum im Flachland auftritt. Sie besiedelt in der Regel saure Böden.

Verbreitung. Die Fichtenwälder besiedeln wie die Gemeine Kiefer die weiten Flachländer im Norden des eurosibirischen Raumes. In Mitteleuropa sind sie weitgehend auf die Gebirge beschränkt. In der DDR treten naturnahe Fichtenwälder in den Hochlagen des Erzgebirges und östlichen Thüringer Waldes sowie im Brockenmassiv des Harzes auf. Durch die Forstwirtschaft wurde die Gemeine Fichte in den Mittelgebirgen stark gefördert, so daß dort heute ausgedehnte Fichtenforste auf natürlichen Standorten des Buchenwaldes stehen.

Der Buchenwald

Biozönose. Der Buchenwald (Abb. 149/2) besitzt eine dichte, schattige Standorte erzeugende hohe Baumschicht, in der die Rot-Buche vorherrscht und in mehreren Formen die Esche sowie der Spitz-Ahorn und der Berg-Ahorn beigemischt sein können. Im Schatten der Buchenwälder entwickelt sich kaum eine Strauchschicht. Je nach dem Kalkgehalt beziehungsweise der Bodenreaktion lassen sich Buchenwälder auf Kalkunterlage beispielsweise mit der Zahnwurz, dem Ausdauernden Bingelkraut, dem Lungenkraut, dem Sanikel, dem Bärlauch von Buchenwäldern auf schwach saurem Lehm zum Beispiel mit dem Perlgras, der Goldnessel, der Wald-Zwenke, dem Waldmeister sowie einem Buchenwald auf sauren Böden mit der Hainsimse in der Krautschicht unterscheiden.

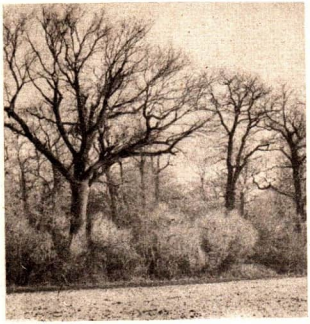


Abb. 150/1 Eichen-Hainbuchen-Wald

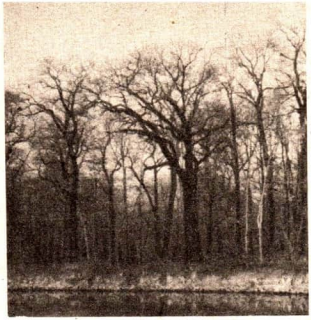


Abb. 150/2 Eichen-Eschen-Ulmen-Wald

Biotop. Die leistungsfähigsten Buchenwälder stocken auf reifen, tiefgründigen Braunerden, die keine Podsolierungserscheinungen aufweisen. Die Böden sind hier nährstoffreich und besitzen eine schwach saure Bodenreaktion. Die Kalkbuchenwälder stocken auf mehr oder weniger mächtigen Braunerden über einer Kalkunterlage. Die Böden sind hier neutral bis basisch. Die sauren Buchenwälder mit der Hainsimse in der Krautschicht stocken auf Böden mit mehr oder weniger deutlichen Podsolierungserscheinungen. Alle Buchenwaldgesellschaften bevorzugen frische Böden ohne Bildung von Oberflächenwasser und besiedeln vor allem die Landschaften mit subatlantischem Klima-Charakter.
Verbreitung. Buchenwälder sind typische Waldgesellschaften West- und Mitteleuropas. Bereits in Ostpolen klingen diese Waldtypen aus. In der DDR werden die gebirgigen Lagen unserer drei Urgestein-Mittelgebirge, des Harzes, Thüringer Waldes und Erzgebirges, vor allem vom Hainsimsen-Buchenwald bestanden. Der Kalk-Buchenwald tritt vorzugsweise auf den Muschelkalkverwitterungsböden im oberen Hügelland des westlichen Thüringer Beckens auf, während der Buchenwald tiefgründiger Lehmböden besonders die nährstoffreichen Moränenböden Mecklenburgs besiedelt.

Der Eichen-Hainbuchenwald
Biozönose. Außerhalb der Flußauen bildet die Eiche mit der Hainbuche und eingestreuten Edellaubhölzern, wie Spitz-Ahorn und Berg-Ahorn, meist üppige, mehrschichtige Waldgesellschaften, den Eichen-Hainbuchenwald (Abb. 150/1). Die dichte Strauchschicht, die bis zu 30% des Bodens decken kann, besteht aus Haselnuß, Pfaffenhütchen, Weißdorn und Holunder. Die Krautschicht wird von Frühblühern, wie Busch-Windröschen, Scharbockskraut, Gelben Windröschen und Aronstab, sowie von einer größeren Anzahl weiterer meist anspruchsvoller Pflanzen, wie Giersch, Große Brennessel, Kleb-Labkraut, Knaulgras, Flatterhirse, Sternmiere und Wald-Zwenke gebildet.
Biotop. Die Waldgesellschaft besiedelt warme Flachlandgebiete, die sich durch eine gewisse Trockenheit auszeichnen. Sie bevorzugt frisch-trockene bis frisch-feuchte Böden mit einem hohen Nährstoffgehalt.
Verbreitung. Die Bäume des Eichen-Hainbuchenwaldes besiedeln warme Tieflandgebiete in

Mittel- und Osteuropa. In den westmitteleuropäischen Landschaften tritt die atlantisch verbreitete Buche als Mischholzart auf, während im Eichen-Hainbuchenwald der kontinentalen Gebiete die Winter-Linde an der Bestandszusammensetzung beteiligt ist. In der DDR treten die Eichen-Hainbuchenwälder im warmen Hügelland Thüringens, im Harzvorland, im sächsischen Hügelland und in den trockenen Gebieten Brandenburgs und Südmecklenburgs mit nährstoffreichen Böden auf.

Der Eichen-Eschen-Ulmenauwald

Biozönose. Die Laubmischwälder der großen Flußauen, die Eichen-Eschen-Ulmenauwälder (Abb. 150/2), gehören zu den produktivsten Ökosystemen der Waldvegetation und weisen eine reiche Schichtung auf. In der oberen Baumschicht stehen Stiel-Eichen, Eschen sowie Feld- und Flatter-Ulmen, die zweite Baumschicht wird von Jungbäumen dieser Arten sowie von Feld-Ahorn und Traubenkirsche gebildet. Die Strauchschicht, die etwa 30% der Fläche bedeckt, besteht aus dem Jungwuchs der angeführten Bäume sowie aus Blutrotem Hartriegel, Pfaffenhütchen, Liguster, Holunder und Weißdorn. Die Krautschicht ist ebenfalls geschichtet. In einer Bodenschicht blühen im Frühjahr Hohler Lerchensporn, Gelbstern, Scharbockskraut und Aronstab. In einer oberen Krautschicht wachsen in den Sommermonaten Flatterhirse, Kleb-Labkraut, Wald-Ziest und Großes Springkraut.

Biotop. Der Boden des Auwaldes besteht aus Aulehm, schwerem tonigen Bodenmaterial, das die Hochwasser angeschwemmt haben. Je nach dem Einzugsgebiet des Flusses ist der Boden kalkhaltig wie an der Saale oder schwach sauer wie an der Elbe und Mulde. In der Regel sind die angeschwemmten Böden nährstoffreich, sie bestehen aus abgeschwemmter Feinerde aus den beackerten Einzugsgebieten der Flüsse. Die Wasserführung des Bodens ist sehr unterschiedlich. Meist sind die Standorte zur Zeit der Schneeschmelze im Frühjahr überflutet, während sie im Sommer bei recht tief liegendem Grundwasser stärker austrocknen.

Verbreitung. Die Eichen-Eschen-Ulmenauwälder gedeihen auf den Böden der Flußauen der großen Ströme Mitteleuropas. In der DDR gibt es Überreste solcher Wälder an der mittleren Elbe und Saale, an der unteren Weißen Elster und an der Oder. Die meisten Auen-Standorte sind eingedeicht und werden durch Ackerbau genutzt. Die heute noch mehr oder weniger regelmäßig überfluteten Auenteile dienen als Grünland.

Der Erlenbruchwald

Biozönose. In den Erlenbruchwäldern (Abb. 152/1) herrscht die Schwarz-Erle vor. Bei mäßiger bis mittlerer Holzqualität besitzt sie hier ihre Massenverbreitung. Sie ist sehr verjüngungsfreudig und erreicht auch in der Strauchschicht neben dem Faulbaum, der Traubenkirsche und der Vogelbeere einen hohen Bestandanteil. Die meist geschlossene Krautschicht wird vor allem von Sumpfpflanzen, wie der Gelben Schwertlilie, dem Sumpfschildfarn und von Großseggen, gebildet. An sehr nassen Standorten stehen die Schwarz-Erlen auf Bulten, zwischen denen sich freie Wasserflächen mit der Wasserfeder bilden. Auf weniger feuchten Standorten sind oft Stickstoffzeiger, wie die Himbeere und die Große Brennessel, anzutreffen.

Biotop. Die Erlenbruchwälder stocken auf von ihnen selbst gebildeten Bruchwaldtorfböden mit hohen und im Verlaufe der Vegetationsperiode nur wenig schwankenden Grundwasserständen. Im Frühjahr bildet sich in den Bruchwäldern meist zeitweilig Oberflächenwasser. Die organischen Naßböden der gut entwickelten Schwarz-Erlenbrüche besitzen eine günstige Bodenreaktion und eine gute Nährstoffversorgung.

Verbreitung. Schwarz-Erlenbruchwälder sind über ganz Europa von der Biskaya bis nach Nordfinnland verbreitet. Sie besiedeln vor allem Talgebiete und Niederungen. In der DDR sind sie besonders in den Urstromtälern des Norddeutschen Tieflandes und zonenförmig um die zahlreichen Seen Brandenburgs und Mecklenburgs anzutreffen.

Abb. 152/1 Erlenbruchwald

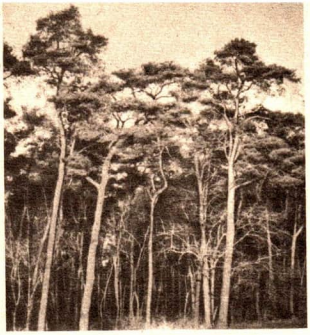


Abb. 152/2 Kiefernwald

Die Kiefernmischwälder

Biozönose. In den Kiefernwäldern (Abb. 152/2) herrscht die Gemeine Kiefer stark vor. Häufig sind der Baumschicht Stiel-Eichen und Rot-Buchen beigemischt. Die Strauchschicht beschränkt sich auf Zwergsträucher, wie Heidelbeere, Preiselbeere und Heidekraut. Am Boden ist eine mehr oder weniger geschlossene Astmoosschicht entwickelt.

Biotop. Die Kiefernmischwälder besiedeln frische bis mäßig trockene Sandböden vom Bleicherdetyp, die einen mäßigen bis mittleren Nährstoffgehalt aufweisen. Auf armen trockenen Sanden der Dünen- und Talsandgebiete erreichen die Gemeinen Kiefern nur eine geringe Wuchsleistung. Hier machen die Zwergsträucher einer niedrigwüchsigen Flechtenschicht Platz. Auf den ärmsten lockeren Trockensanden der Dünenstandorte tritt zu den Flechten häufig noch das Silbergras.

Verbreitung. Kiefernwälder erlangen eine weite Verbreitung im nördlichen Teil des euroasiatischen Kontinents. Diese Waldbiozönose besitzt in Mitteleuropa ihre westlichen Vorkommen. In Westeuropa werden ähnliche Standorte von Eichen-Birkenwäldern eingenommen. Kiefernmischwälder bestimmen das Waldbild im nördlichen Flachland der DDR, in der Lausitz und in Brandenburg. In Mecklenburg, wo die Böden des Jungdiluviums reicher sind und das Klima wegen der Küstennähe atlantischere Züge aufweist, treten Kiefernmischwälder vor den Rot-Buchenwäldern zurück. Die meisten Kiefernmischwälder des nördlichen Flachlandes sind auf besseren Böden künstlich aufgeforstet.

39

Die Einzelpflanzen sind Glieder meist artenreicher Biozönosen und sind mit vielen anderen Organismen vergesellschaftet. Durch Wechselbeziehungen zwischen den Organismen und zwischen den Organismen und den Umweltbedingungen entsteht in den Biozönosen ein Gleichgewicht. Die Vielzahl von Standortfaktoren, die auf die Organismen wirken, bilden den Biotop einer Organismengesellschaft.

Stoff- und Energiestrom in Ökosystemen

Charakterisierung der Ökosysteme

Die in der Natur existierenden Einheiten von Organismen und Organismengemeinschaften und die auf sie einwirkenden Umweltfaktoren einschließlich der Wechselwirkung zwischen den biotischen und abiotischen Umweltfaktoren nennt man Ökosysteme. Die bekanntesten Ökosysteme, auch Biogeozönosen genannt, sind die Biozönosen mit den dazugehörigen Biotopen, einschließlich der darin bestehenden Wechselwirkungen, vor allem des Energie- und Stoffaustausches.

Beziehungen zwischen Biozönosen und Biotopen in Ökosystemen

Eine jede Organismengesellschaft (Biozönose) bildet mit ihrem Standort (Biotop) eine Einheit, ein Ökosystem. In naturnahen Ökosystemen, zum Beispiel in wirtschaftlich wenig beeinflußten Buchenwäldern, Eichenmischwäldern und Fichtenwäldern der Gebirge, befinden sich die Bestandteile des Ökosystems, also alle Organismen und die auf sie komplex wirkenden Umweltfaktoren, in einem dynamischen Gleichgewicht. Besteht ein solches Fließgleichgewicht in einem Ökosystem, dann ändern sich über lange Zeiträume ohne Einwirkung des Menschen oder von Naturkatastrophen das Waldbild, der Pflanzen- und Tierbesatz und die Umweltfaktoren im Durchschnitt gesehen kaum.

Das ist nicht gleichzusetzen mit Stillstand. In einem ausgeglichenen Ökosystem vollziehen sich ständig mannigfaltige, sich überlagernde, schwer zu analysierende und kausal zu erklärende Prozesse, die dem Prinzip der Wirkung und Gegenwirkung folgen. Innerhalb des Biotops, in der Biozönose, aber auch zwischen beiden vollzieht sich ein ständiger Stoff- und Energieumsatz. Die Individuen entwickeln sich und vergehen, die Lebensgemeinschaft aber bleibt in ihrer Struktur erhalten.

Ein Ökosystem ist kein geschlossenes System. Es erhält von außen Energie und Stoffe (z. B. Sonnenstrahlung, Niederschlag, Staub; Abb. 154/1) zugeführt und gibt beides auch wieder ab (z. B. Ausstrahlung, ober- und unterirdischer Wasserabfluß). Durch den Tierwechsel zwischen verschiedenen Ökosystemen kommt es auch zu einem Austausch organischer Substanzen über die Grenzen von Ökosystemen hinweg. Entscheidend für die Stabilität eines Ökosystems ist seine ausgeglichene Stoff- und Energiebilanz. Erste Eindrücke über das Zusammenspiel, die Wechselwirkungen und das sich daraus ergebende Gleichgewicht in einer Biozönose vermittelt die Pflanzengemeinschaft eines Ökosystems.

✦ Die zahlreichen Pflanzenarten eines Eichenmischwaldes zum Beispiel sind in einer Anzahl von Schichten angeordnet. Eine obere Baumschicht ist häufig durch eine untere Baumschicht

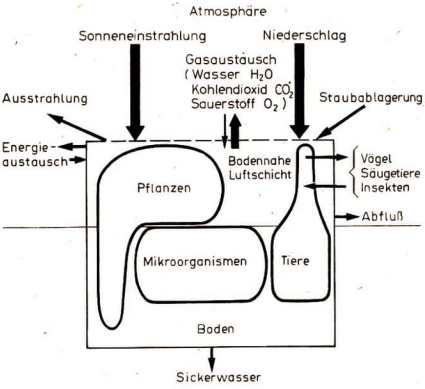


Abb. 154/1
Schematische Darstellung eines Ökosystems als offenes System

mit jüngeren Vertretern der gleichen Art sowie der Hainbuche und dem Feld-Ahorn unterbaut. Eine oft recht dichte Strauchschicht wird beispielsweise durch Haselnuß, Pfaffenhütchen, Weißdorn, Holunder, Himbeere, Wildrosen gebildet. Die Krautschicht ist wiederum in sich in eine obere und eine niedere Krautschicht gegliedert. ✦

Diese Schichtung ist das Ergebnis der artspezifischen Wuchsform, der artspezifischen ökologischen Potenz und des gegenseitigen Einwirkens der Pflanzen. Sie ermöglicht eine optimale Nutzung der Umweltfaktoren und schafft ihrerseits ganz spezifische Umweltbedingungen (z. B. Bestandsklima), ohne die Teile des Ökosystems gar nicht lebensfähig wären (z. B. Schattenpflanzen der Krautschicht).

Die Wurzelsysteme der Glieder eines ausgeglichenen Ökosystems bilden im Boden ebenfalls eine recht charakteristische Schichtung (Abb. 156/1). Die Wurzeln einzelner Gehölzarten (z. B. Eiche, Hainbuche, Haselnuß) dringen tief in den Boden ein, andere (z. B. Rot-Buche, Winter-Linde) durchziehen den Oberboden mit einem dichten Wurzelnetz. Eine ganze Anzahl von Kräutern durchwurzelt nur an der Oberfläche die Mullschicht. So entnehmen die Pflanzen in ganz verschiedenen Bodentiefen Feuchtigkeit und Nährstoffe und nutzen dadurch diese Umweltfaktoren optimal (Abb. 157/1).

Auch die Wurzelschichtung ist im gewissen Sinne der Ausdruck eines Gleichgewichtes, das sich in ständiger Auseinandersetzung herausgebildet hat.

Der jahreszeitliche Rhythmus von der Keimung, der Blüte und der Laubentfaltung über die Fruchtreife bis zum Blattfall beziehungsweise dem Absterben der einjährigen Pflanzen ist ebenfalls fester Bestandteil des biozönotischen Gleichgewichts (Abb. 155/1). Das zeitige Erblühen der Frühblüher, die dann einsetzende Belaubung der Strauchschicht und etwas später der Baumschicht, ausgelöst durch den charakteristischen Wärmeumsatz im Boden und in der bodennahen Luftschicht im Frühjahr, sind ökologisch für diese Pflanzengruppen und für das biozönotische Gleichgewicht sehr bedeutsam. Im Herbst setzt dagegen der Laubfall zuerst in der Baumschicht ein und greift dann auf die Strauchschicht über. Zahlreiche Schattenpflanzen am Waldboden verbrauchen während der vollen Belaubung der Gehölze im Sommer durch

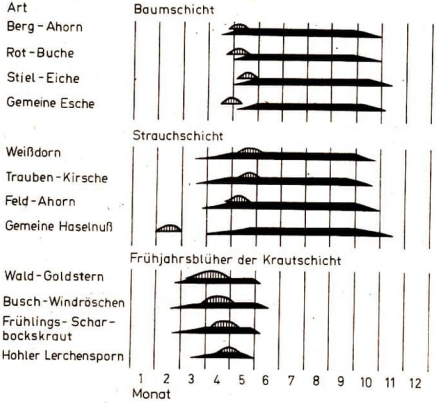


Abb. 155/1 Phänologische Entwicklung einiger Pflanzenarten des Eichenmischwaldes

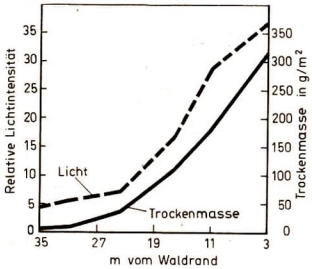


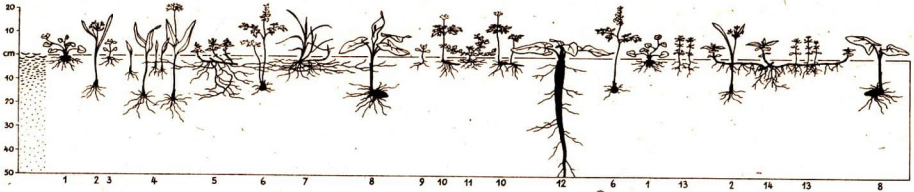
Abb. 155/2 Zunahme der Stoffproduktion von Bodenpflanzen gegen den Waldrand hin

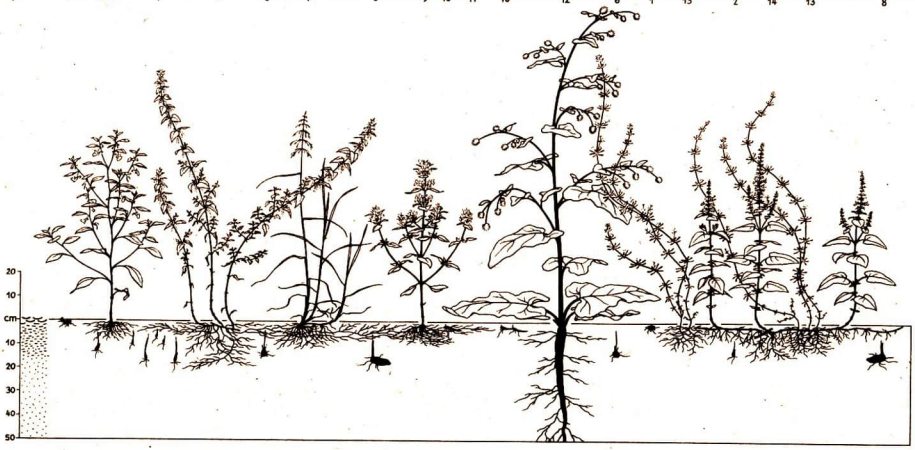
Atmung mehr Kohlenhydrate, als sie infolge der geringen Sonnenstrahlen assimilieren können, sie hungern. Erst mit der beginnenden Auflichtung des Spätsommers und Frühherbstes erreichen sie einen gewissen Assimilationsüberschuß, so daß sie Nährstoffe für die nächstjährige Vegetationsperiode speichern können. Diese Arten zeigen gegen den Waldrand hin eine bessere Entwicklung (Abb. 155/2).

In den Ökosystemen unserer naturnahen Wälder prägt der Pflanzenbestand in starkem Maße das Bild und die Struktur der Biozönosen. Der Mengenanteil der Tiere, nicht dagegen ihre Arten- und Individuenzahl sowie ihre Bedeutung für das biozönotische Gleichgewicht, sind, verglichen mit der pflanzlichen Masse, recht gering. Die oberirdische pflanzliche Biomasse ist beispielsweise in den osteuropäischen Eichenwäldern 1000mal höher als die tierische. Auf einem Hektar Wald bilden pflanzenfressende Säugetiere, vor allem Huftiere

Abb. 156/1 Profil durch einen Eichenmischwald mit Pflanzen der Baum- und Strauchschicht (1 Rot-Buche, 2 Winter-Linde, 3 Trauben-Eiche, 4 Gemeine Haseinuß, 5 Gemeine Hainbuche)

Abb. 157/1 Pflanzen der Krautschicht eines Eichenmischwaldes Oben: Im Frühjahr, unten: im Herbst (1 Frühlings-Scharbockskraut, 2 Wald-Goldstern, 3 Echtes Springkraut, 4 Bären-Lauch, 5 Große Brennessel, 6 Hohler Lerchensporn, 7 Wald-Flattergras, 8 Gefleckter Aronstab, 9 Bunter Hohlzahn, 10 Busch-Windröschen, 11 Efeublättriger Ehrenpreis, 12 Hain-Klette, 13 Kletten-Labkraut, 14 Wald-Ziest)


20
10
cm
10
20
30
40
50
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 10 12 6 1 13 2 14 13 8


20
10
cm
10
20
30
40
50

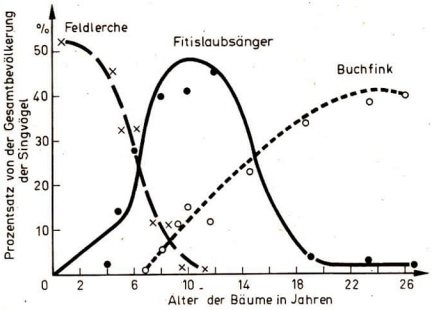


Abb. 158/1 Veränderung der Populationen einiger Singvögel im heranwachsenden Kiefernwald

und Nagetiere (2,2 kg), Raubtiere (0,1 kg) und Vögel (0,2 kg) insgesamt nur eine Biomasse von 2,5 kg. Die Masse der unterirdisch lebenden Tiere, insbesondere der Bodenorganismen, erreicht in Waldbiozönosen dagegen häufig 100 kg/ha.

Auch die Tierwelt zeigt wie die Pflanzenwelt der Biozönosen eine gewisse Bindung an Schichten und eine zeitliche Differenzierung, die sich in den Entwicklungsphasen der Tiere und in der Entwicklung von Populationen widerspiegelt (Abb. 158/1 u. ↑S. 138ff.). Die innige und mannigfaltige Verflechtung tierischer und pflanzlicher Organismen bildet eine wesentliche Grundlage für das biozönotische Gleichgewicht. Tiere dienen als Bestäuber der Blüten und Verbreiter der Samen (↑S. 136f.). Pflanzenfressendes Wild vernichtet bei zu starkem Besatz ebenso wie das in den vergangenen Jahrhunderten im Wald weidende Vieh den Jungwuchs und verhindert dadurch ein kontinuierliches Nachwachsen des Gehölzbestandes der Biozönosen, was zum Verschwinden einzelner Gehölzarten oder gar zur Waldvernichtung führt.

40 41 42 43 44 45 46

► Ökosysteme (Biogeozönosen) sind die in der Natur existierenden Einheiten von Organismengesellschaften und den auf sie einwirkenden biotischen und abiotischen Umweltfaktoren einschließlich deren Wechselwirkungen. Die Bestandteile eines naturnahen Ökosystems befinden sich in einem dynamischen Gleichgewicht.

Ein Ökosystem ist ein offenes System. Die Stabilität eines Ökosystems hängt von seiner ausgeglichenen Stoff- und Energiebilanz ab. Die Pflanzengemeinschaften und teils auch die Tiergemeinschaften eines Ökosystems weisen oberirdisch und unterirdisch eine Schichtung auf. Dadurch ist eine optimale Nutzung der Umweltfaktoren möglich, und es entstehen spezifische Umweltbedingungen (Bestandsklima).

Nahrungsketten und Nahrungskettensysteme

Der innere, auf mannigfaltigen Wechselbeziehungen beruhende Zusammenhang aller Organismen einer Biozönose wird durch komplizierte Nahrungsketten hergestellt, die bei den Produzenten der organischen Substanz, bei den autotrophen Pflanzen, ihren Anfang nehmen und bei den Reduzenten, den Mikroorganismen des Bodens, enden (Abb. 159/1). Diese mineralisieren die zu wiederholten Malen von den unterschiedlichen Konsumenten umgebauten organischen Substanzen und stellen diese den Produzenten wieder als Nährstoffe für einen erneuten Kreislauf zur Verfügung.

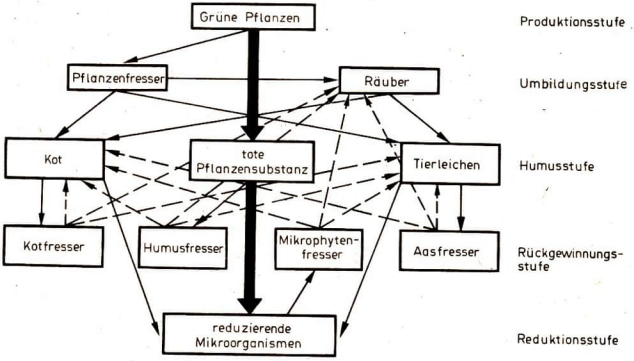


Abb. 159/1 Stoffumsatz in einem terrestrischen Ökosystem. Dieses Nahrungskettengefüge existiert in der Biozönose sowohl überirdisch als auch unterirdisch

Die Pflanzenfresser ernähren sich von lebenden Bestandteilen der Pflanzen. Sie werden von Räuberorganismen als Nahrung gefressen, die selbst wieder anderen Rauborganismen als Nahrung dienen. Diese Tiergruppen scheiden Kot ab und hinterlassen tierische Leichen, und die Pflanzen bilden in Form von Streu und abgestorbenen Wurzelteilen tote pflanzliche Substanzen. Diese tierischen und pflanzlichen Rückstände nehmen die Aasfresser und Humusfresser, Saprophagen genannt, auf. Diese Tiergruppen bilden ihrerseits wieder Kot und Tierleichen. Die tierischen und pflanzlichen Rückstände werden schließlich auch von den Mikroorganismen mineralisiert, in anorganische Verbindungen übergeführt. Aber auch die Mikroorganismen dienen ihrerseits anderen Lebewesen als Nahrung (Mikrophytenfresser).

Die Produzenten binden bei der Photosynthese Strahlungsenergie der Sonne und verwandeln sie durch die Bildung von Kohlenhydraten in potentielle chemische Energie. Die von den Produzenten gebildeten Stoffe und gespeicherten Energien nutzen die verschiedenartigsten Konsumenten und auch die Reduzenten zur Bildung von Körpersubstanzen und zur Deckung ihres Energiebedarfs beim Baustoff- und Betriebsstoffwechsel. Da die Energie im Nahrungskreislauf von Stufe zu Stufe geringer wird, bestehen die meisten Nahrungsketten aus zwei bis

vier Konsumentengliedern. So werden die Kohlenhydrate der Kartoffelblätter mit der darin festgelegten Energie von Kartoffelkäfern gefressen, die wiederum Raubwanzen zum Opfer fallen. Diese Raubwanzen werden von Singvögeln vertilgt, die ihrerseits den Greifvögeln als Nahrung dienen.

Die Nahrungsketten sind oft recht kompliziert. Sie gehen häufig weit über die Grenzen der Biozönosen hinaus und verbinden sich zu mannigfaltigen Nahrungskettensystemen.

Einzellige grüne Planktonalgen mitteleuropäischer Tümpel beispielsweise assimilieren Kohlendioxid und binden auf dem Wege der Photosynthese Sonnenenergie. Sie bilden die Nahrungsgrundlage der Stechmückenlarven. Die geschlechtsreifen Stechmücken werden von Schwalben gefressen, die in den Herbstmonaten bis ins tropische Afrika fliegen. Dort werden sie häufig Opfer tropischer Räuber, wie des Afrikanischen Falken. Diese Falken verzehren auch Heuschrecken, die von tropischen Gräsern leben. Von diesen Gräsern leben aber auch die Antilopen, die den Großraubtieren zum Opfer fallen. Was diese an Resten der Antilopen übriglassen, verzehren Hyänen, Schakale und Geier. Es bestehen hier drei Nahrungsketten,

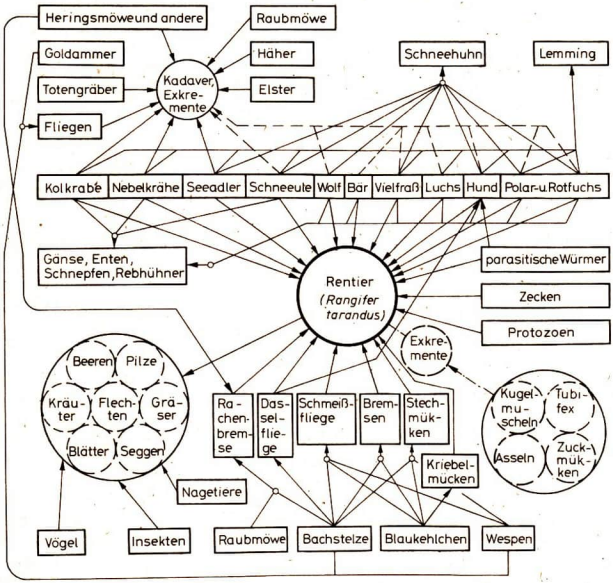


Abb. 160/1 Nahrungskettensystem des Ren

von denen eine im mitteleuropäischen Tümpel beginnt, während die beiden übrigen ihren Anfang im afrikanischen Grasland nehmen. Alle drei sind durch Knotenglieder miteinander verbunden.

Die Abbildung 160/1 zeigt, wie kompliziert die Nahrungskettensysteme in Wirklichkeit sind. Im Mittelpunkt dieses Systems steht das Ren der arktischen Gebiete, das sich von Natur aus durch einen geringen Artenbestand auszeichnet. Das Ren ernährt sich von pflanzlichen Produkten und dient selbst den Raubtieren der Tundra und Taiga und auch der Schnee-Eule, dem Seeadler, der Nebelkrähe und dem Kolkraben als Nahrung. Diese Räuber fressen auch andere Säugetiere und Vögel. Das Ren wird auch von einer größeren Anzahl von Parasiten belästigt, die wiederum Vögeln als Nahrung dienen. Die Selbstregulation der Ökosysteme beruht in starkem Maße auf der Komplexität der Nahrungsketten und Nahrungskettensysteme. In unausgeglichenen artenarmen Pflanzengemeinschaften, wie in Pioniergemeinschaften der Pflanzen oder in Monokulturen, bilden nur eine Art oder sehr wenige Arten die einzelnen Glieder der Nahrungsketten. Fällt durch Umwelteinflüsse oder durch Schädigung der Biozönose mit dieser einen Art ein ganzes Glied in der Nahrungskette aus, so kommt es zu beträchtlichen Umschichtungen in der Organismengemeinschaft, und es gelangen einzelne Arten zu einer starken Vermehrung. Handelt es sich bei diesen Arten um Schädlinge unserer Kulturpflanzen, so kommt es zu beträchtlichen Schäden in den landwirtschaftlichen oder forstwirtschaftlichen Kulturen.

Eine stabile Biozönose ist, von extremen Standorten abgesehen, in der Regel recht artenreich. Jedes Glied des Nahrungskettensystems wird hier nicht nur von einer Art, sondern von einer Vielzahl von Arten gebildet. Wenn in dieser Organismengesellschaft durch extreme Witterungseinflüsse oder sonstige Schädigungen einzelne Arten stark zurückgedrängt werden, übernehmen andere zum gleichen Glied der Nahrungskette gehörende Organismen deren Funktion, so daß sich nur eine geringe Verschiebung der Massenanteile der einzelnen Arten ergibt.

In den artenarmen arktischen Gebieten kommt es deshalb viel häufiger zum Massenwechsel einzelner Arten, während in den Tropen die Biozönosen recht stabil sind. Die Monokulturen unserer Äcker sind ebenfalls recht unstabil. Erleiden das Getreide oder die Hackfrüchte wegen großer Trockenheit oder strenger Spätfröste Schäden, so gelangen, wenn keine Maßnahmen dagegen getroffen werden, Ackerunkräuter zur Vorherrschaft. In einer ausgeglichenen Wiesenbiozönose mit einer großen Anzahl von Futterpflanzen wird die ungünstige Wirkung von extremer Trockenheit, starken Spätfrösten oder Überstauungen durch relativ geringfügige, ohne exakte Untersuchungen kaum feststellbare Massenverschiebungen einzelner Arten ausgeglichen.

47

Der innere, auf mannigfaltigen Wechselbeziehungen beruhende Zusammenhang aller Organismen einer Biozönose wird durch komplizierte Nahrungsketten mit Produzenten, Konsumenten und Reduzenten hergestellt.
Fällt durch Umwelteinflüsse oder Schädigung der Biozönose in der Nahrungskette eine Art aus, kommt es zu einer Umschichtung in der Organismengemeinschaft. Es vermehren sich einige Organismenarten besonders stark (Massenwuchs).
Nahrungsketten gehen häufig weit über die Grenzen der Biozönose hinaus und verbinden sich zu Nahrungskettensystemen.

Energiefluß in Ökosystemen

Den im Rahmen der Nahrungsketten in den Ökosystemen vor sich gehenden Fluß der Energie gibt Abbildung 162/1 am Beispiel einer Weide wieder. Es werden bei der Photosynthese von den Weidepflanzen täglich auf einem Quadratmeter 16 700 Kalorien in den Assimilaten chemisch gebunden. Davon veratmen die Weidepflanzen etwa ein Sechstel, nämlich 2 400 Kalorien. Ein Viertel (4 300 cal) etwa nehmen das Weidevieh und die anderen Pflanzenfresser des Graslandes auf, während 10 000 Kalorien in Form toter Pflanzenmasse anfallen. Von den 2 000 Kalorien beziehungsweise 2 300 Kalorien, die die Rinder beziehungsweise die anderen Pflanzenfresser aufnehmen, werden 670 beziehungsweise 770 veratmet. Die restlichen rund 1250 Kalorien beziehungsweise 1430 Kalorien fallen in Form von Exkrementen und toter tierischer Substanz an. Dem Menschen stehen in Form der Fleischnahrung, der Milchprodukte nur noch 80 Kalorien zur Verfügung, von denen er 74 Kalorien veratmet, während die verbleibenden 6 Kalorien durch Ausscheidung anfallen.

Von den 16 700 Kalorien, die durch Photosynthese an einem Tage auf einem Quadratmeter von den grünen Weidepflanzen gebunden werden, fallen etwa drei Viertel als tote organische Substanz an, während ein Viertel durch die Organismen der dargestellten Nahrungskette veratmet wird.

Einen Überblick über den weiteren Abbau und die dabei frei werdenden Energien im Bereich des Bodens vermittelt die rechte Hälfte der Abbildung 162/1.

48

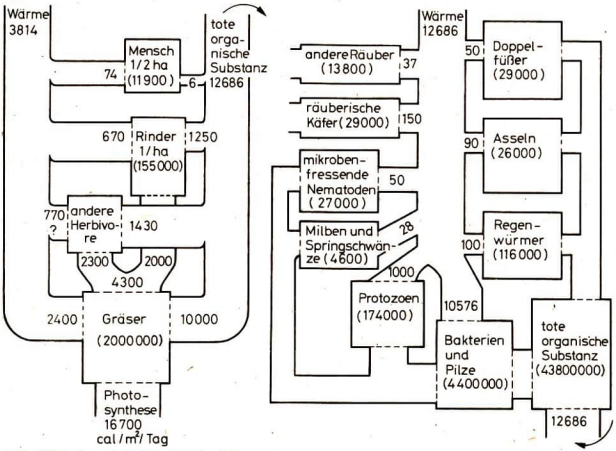


Abb. 162/1 Energiefluß in Grünlandökosystemen
(Zahlenangaben in Klammern bedeuten den entsprechenden Kaloriengehalt des Bestandes)

Beim Energiefluß im Ökosystem einer Weide fallen etwa drei Viertel der erzeugten Kalorien als tote Substanz, teils über den Verdauungskanal eines Lebewesens, an. Etwa ein Viertel der Kalorien wird durch die Organismen veratmet.

Nährstoffkreislauf in Ökosystemen

Eng verknüpft mit dem Aufbau, dem Umsatz und dem Abbau der organischen Masse verläuft im Ökosystem der Kreislauf der mineralischen Stoffe. Herrscht ein ungestörtes Fließgleichgewicht und wird dem Ökosystem keine Biomasse entzogen, so bildet der Mineralstoffkreislauf nahezu ein geschlossenes System.

Derartige Verhältnisse herrschen in den unberührten tropischen Regenwäldern. Ein großer Teil der den Pflanzen verfügbaren Mineralsalze befindet sich hier in der Biomasse. Der Boden selbst ist relativ nährstoffarm. Er erhält die für den üppigen Pflanzenwuchs notwendigen Nährsalze ständig durch die Mineralisierung abgestorbener Pflanzen- und Tiersubstanzen

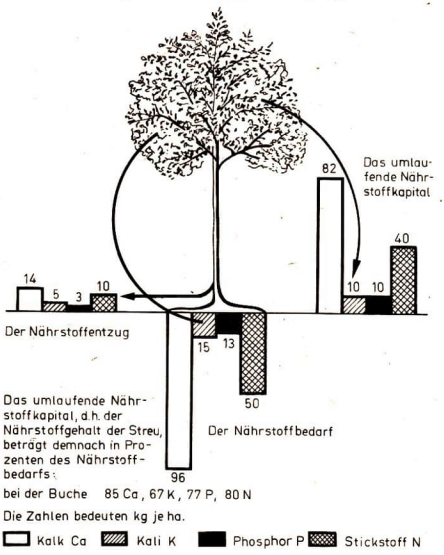


Abb. 163/1 Kreislauf der mineralischen Stoffe im Buchenwald (Zahlenangaben in %)

wieder zugeführt. Wird diesem Ökosystem die produzierte Pflanzenmasse entnommen, so verlieren die Standorte ihre gewaltig erscheinende Produktionskraft.

In unseren annähernd naturnahen Wald-Ökosystemen ist der Mineralstoffkreislauf relativ ausgeglichen (Abb. 163/1). Der weitaus größte Teil der dem Boden entzogenen Mineralsalze wird diesem über die Streu wieder zugeführt. Die mit den Blättern und Zweigen abgeworfene Trockensubstanz ist drei- bis viermal größer als die lebenslänglich von den Bäumen angereicherte Pflanzenmasse. Tiefwurzelnde Bäume erschließen zudem auch Nährsalzreserven tieferer Bodenschichten, so daß der Umsatz bei geregelter Waldnutzung recht ausgeglichen ist. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß der Biozönose nicht durch Streunutzung, Holznutzung der abbrechenden Zweige und Waldweide zusätzlich Nährsalze entzogen werden.

(49)

In einem Ökosystem erfolgt durch Aufbau, Umbau und Abbau der organischen Masse ein Kreislauf der mineralischen Stoffe. Der Mineralstoffkreislauf bildet nur dann ein nahezu geschlossenes System, wenn dem Ökosystem keine Biomasse entzogen wird.

Biologische Stoffproduktion

In den vom Menschen genutzten Ökosystemen kommt der Stoffproduktion eine große Bedeutung zu. Die Primärproduktion organischer Stoffe erfolgt in den grünen Pflanzen und ist hier in der Regel in den Blättern lokalisiert. Die Höhe der primären Stoffproduktion ist deshalb abhängig von der Größe der assimilierenden Blattfläche, von der Intensität der Assimilation dieser Fläche und von der Dauer der photosynthetischen Leistung. Darüber hinaus nehmen abiotische Faktoren, wie die Intensität und Qualität des Lichtes, die Nährstoffversorgung, der Wassergehalt des Bodens und die Temperatur Einfluß auf die Photosynthese.

Die Wirkung der abiotischen Faktoren auf die Photosynthese läßt sich am Beispiel der Temperatur gut erkennen. Bei einer Zunahme der Temperatur um 10°C steigt die Stoffwechselintensität auf das Zwei- bis Dreifache. Die Tabelle auf Seite 164 zeigt die Temperaturabhängigkeit der Assimilation bei einigen Pflanzenarten. Kartoffel, Tomate und Zuckerrübe erreichen ihre höchste Kohlendioxid-Assimilation bei 20°C, während die photosynthetische Höchstleistung der Garten-Bohne bei etwa 30°C liegt.

Assimilationsleistung (mg CO_2/50 cm²) einiger Kulturpflanzen bei unterschiedlichen Temperaturen

Pflanzenart	Temperatur				
	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C
Kartoffel	0,9	4,2	9,5	4,6	negativ
Tomate	3,3	6,0	8,0	3,9	negativ
Zuckerrübe	3,0	6,0	8,5	7,0	3,8
Garten-Bohne	1,6	2,3	4,6	6,5	4,8

Bei 40 °C weisen die Kartoffel und die Tomate eine negative Stoffbilanz auf, das heißt, sie veratmen mehr Energie, als durch die Photosynthese gebunden werden kann.

Bei 45 °C liegt im Durchschnitt gesehen das Temperaturmaximum der Kohlendioxid-Assimilation. Das Temperaturminimum einer positiven Kohlendioxid-Assimilation erreichen viele Pflanzen einige Grade unter dem Gefrierpunkt (↑Tab. S. 165 oben).

Temperaturminimum einer positiven CO_2-Assimilation			
Pflanzenart	Temperatur	Pflanzenart	Temperatur
Zuckerrübe	– 4,2 °C	Fichte	– 2 °C bis – 3 °C
Winterweizen	– 2 °C bis – 3 °C	Schwarz-Kiefer	– 6 °C
Winterspinat	– 2 °C bis – 3 °C	Zirbel-Kiefer	– 5 °C

Eine Erhöhung der Temperatur kann durchaus die Stoffbilanz negativ beeinflussen, während niedrigere Temperaturen zur stärkeren Stoffproduktion führen können. Das Maximum an produzierter Pflanzenmasse liegt zum Beispiel nicht in den heißen Sommermonaten mit den oft schwülen Nächten, sondern im Frühsommer, in der Zeit des Schossens des Getreides, und im Spätsommer, wenn die Hackfrüchte ihre Speicherorgane ausbilden.

Stoffbilanz bei achtstündiger Belichtung		
	Kohlenhydrate in kg/ha	
	Tages- und Nachttemperatur von 20 °C	Tagestemperatur 20 °C, Nachttemperatur 10 °C
Stoffgewinn (Photosynthese)	300	300
Stoffverlust (Atmung)	175	
Atmung am Tage		88
Atmung in der Nacht		44
Stoffüberschuß	125	168

Die durch die Photosynthese erzeugten Assimilate kommen dem nutzbaren Ertrag der Ökosysteme nur beschränkt zugute. Für die Aufrechterhaltung der Lebensprozesse wird Energie benötigt, die der Organismus durch Veratmung von Assimilaten erhält. Große Mengen von Assimilaten werden benutzt, um in Waldgesellschaften die Baumkronen mit ihren vielen Ästen, Zweigen und Blättern und das Wurzelwerk aufzubauen. Äste, Zweige, Wurzeln und Blätter werden zum größten Teil nicht genutzt und verbleiben beim Einschlag in der Biozönose.

Die Zusammenstellung in Tabelle auf Seite 166 macht deutlich, daß im Wald nur ein geringer Teil der Bruttoproduktion tatsächlich als Nutzholz entnommen wird. Der größte Verlustposten ist die Atmung mit 45 %. Ihr Anteil beträgt mehr als die Hälfte der anderen Verluste.

Da die Atmung die Stoffbilanz am meisten belastet, haben alle Maßnahmen der waldbaulichen Bestandspflege auf eine gleichmäßige Ausfüllung des Kronenraumes mit Laub

Durchschnittliche Stoffbilanz mitteleuropäischer Waldbestände	
Assimilierte Substanz	100%
Atmung	45%
Verluste durch Abfall von Laub, Nadeln, Zweigen und Borke	16%
nicht geerntete Wurzelteile	3%
Samen	1%
Verluste durch Fällung, Vermessung und Transport	3%
Tatsächliche Holzernte	32%

höchster assimilatorischer Leistung hinzuwirken. Zu diesem Zweck sind alle Blattmassen, die als starke Atmer auftreten, und die schwächsten Zuwachsträger auszumerzen. Bei Holzartenmischung ist auf eine optimale Lichtposition des Blattwerkes zu achten, um die photosynthetische Aktivität zu steigern. Vor der Forstpflanzenzüchtung steht unter anderem auch die Aufgabe, Sorten zu entwickeln, die sich durch eine große Blattentfaltung und ein günstiges Assimilations-Atmungsverhältnis auszeichnen.

Unter Bruttoproduktion wird die gesamte assimilierte Substanz in einem bestimmten Zeitraum verstanden. Die Nettoproduktion bildet die produzierte Pflanzenmasse nach Abzug der durch Atmung verlorengegangenen Substanz. Der Ertrag forstwirtschaftlicher und landwirtschaftlicher Produktionsflächen darf nicht mit der Nettoproduktion gleichgesetzt werden. Er umfaßt die Masse der nutzbaren Teile (z. B. Nutzholz, Körnerertrag, Knollenertrag).

Ähnliche Verhältnisse der Produktion wie in den Ökosystemen des Waldes liegen auch in den landwirtschaftlichen Kulturpflanzenbeständen vor (↑Tab. S. 166 Mitte).

Stoffbilanz der Gerstenproduktion in t/ha	
Bruttoproduktion	25
Atmung	10
Nettoproduktion	15
Halme	6,0
Körner	6,0
Wurzeln	3,0

Jahresproduktion einiger Gehölze in Festmeter je Hektar			
Fichte	1 474	Birke	854
Buche	941	Eiche	765
Lärche	1 000	Kiefer	887

Der tatsächliche Ertrag an Körnern und Stroh liegt natürlich unter den bei der Nettoproduktion angegebenen Werten, weil die Verluste durch Pflanzenfresser und durch die Ernte nicht in Rechnung gestellt sind. Wie im Beispiel des Buchenwaldes liegt auch bei der Gerste der Betrag für die Atmung recht hoch. Der Anteil des vom Menschen genutzten Erntegutes ist dagegen etwas höher (etwa bei 50%).

Die Tabelle auf Seite 167 oben vermittelt einen Eindruck von der Höhe des Ernteertrages verschiedener landwirtschaftlicher Kulturen. Da nicht nur die Werte für die Niederlande, als eines Landes mit äußerst intensiv betriebener Landwirtschaft, sondern auch die entsprechenden Zahlen ganz Europas, der DDR und der Welt mit aufgenommen sind, zeigt uns die Tabelle auf Seite 167 oben, welche großen Produktionsreserven allein in der Landwirtschaft noch erschlossen werden können, um die rasch steigende Bevölkerung der Erde zu ernähren.

Durchschnittliche Ernteerträge verschiedener landwirtschaftlicher Kulturen

Kulturpflanze	Ernteertrag je ha/dt			
	Niederlande	Deutsche Demokratische Republik	Europa	Welt
Weizen	46,6	36,9	18,4	12,2
Roggen	30,3	23,5	17,6	12,8
Gerste	42,2	33,9	24,5	14,8
Hafer	33,9	29,2	19,3	13,8
Kartoffel	277,0	186,0	156,0	113,0

Von großer Bedeutung für eine weltweite Planung der Ernährungsgrundlagen der Menschheit ist die Ermittlung der Stoffproduktion in den Ökosystemen des Festlandes der ganzen Welt. Die Tabelle auf Seite 167 zeigt eine Schätzung dieser Weltstoffproduktion.

Schätzung der Weltstoffproduktion

Ökosystem	Größe in km²	gebundener Kohlenstoff in t
Wald	43 700 000	8 800 000 000
Kulturland	27 000 000	4 300 000 000
Steppe	31 000 000	1 900 000 000
Ödland	33 000 000	100 000 000

Zur Zeit erfolgt im Rahmen des Internationalen Biologischen Programms eine weltweite Zusammenarbeit von Biologen und Pflanzenproduzenten, um mit den gleichen Methoden die Stoffproduktion der verschiedenen Ökosysteme auf der Erde zu untersuchen.

▶ Die Primärproduktion organischer Stoffe in grünen Pflanzen erfolgt meist in den Blättern. Die Höhe der Stoffproduktion hängt biotisch von der Größe der assimilierenden Blattflächen, von der Intensität der Assimilation dieser Fläche und von der Dauer der photosynthetischen Leistung ab. Von den abiotischen Faktoren beeinflussen vor allem Licht, Nährstoffversorgung, Wassergehalt des Bodens und Temperatur die Stoffproduktion. Durch Anwendung der wissenschaftlichen Erkenntnisse kann beim Anbau, bei der Bestandspflege und Züchtung die Stoffproduktion erhöht werden.

Eingriffe in das ökologische Gleichgewicht zur Steigerung der biologischen Stoffproduktion

Monokulturen

Der durch die Industrialisierung ständig wachsende Holzbedarf führte in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zur Anlage von Nadelholz-Monokulturen. Im Gegensatz zu den naturnahen Waldbeständen stellen die Fichten- und Kiefernforste weniger ausgeglichene Ökosysteme dar. Die biotopbestimmenden Bäume gehören nur einer Art und einer Altersklasse an. Sie besitzen die gleichen Ansprüche an die Umweltfaktoren, bauen in der Regel nur einschichtige Bestände auf und entwickeln eine wenig differenzierte Wurzelsphäre.

In Monokulturen herrscht deshalb oberirdisch, aber auch im Wurzelbereich eine starke Konkurrenz um die Umweltfaktoren. Es fehlt in diesen relativ artenarmen Biozönosen die Mannigfaltigkeit der zwischenartlichen Beziehungen und auch eine optimale Nutzung der gegebenen Umweltfaktoren (Lichtfaktor – Einschichtigkeit, chemische Faktoren und Wasserfaktor – wenig differenzierte Wurzelsphäre). Das Nahrungskettengefüge gestaltet sich wesentlich einfacher als in reichgegliederten Biozönosen. Die Widerstandsfähigkeit gegenüber Schädlingsbefall ist geringer, weil in den Nahrungsketten oft die natürlichen Feinde der Pflanzenschädlinge wegen fehlender Biotope ausfallen. Ein Beispiel dafür ist die Borkenkäfer-Kalamität kurz nach dem zweiten Weltkrieg im Thüringer Wald.

Die anfallende Streu der Nadelhölzer führt zur Rohhumusbildung, die ihrerseits zur Entbasung und Versauerung des Bodens beiträgt. Dadurch verschlechtern sich nicht nur die chemischen Bodeneigenschaften, es kommt auch zu einer starken Umschichtung der Mikroflora und Mikrofauna. Charakteristisch für die sauren Böden der Nadelholz-Monokulturen ist der Rückgang des Bakterienanteils im Boden zugunsten der Pilze.

Führte der Übergang zu Fichten- und Kiefernforsten zunächst zu einer Steigerung der Holzerträge, so erfolgte später ein Absinken der Produktivität der Forststandorte (↗ Tab. S. 168). Eine dauerhafte hohe Produktivität der Waldstandorte läßt sich nur durch eine

Vorrats- und Zuwachsentwicklung in den ehemaligen sächsischen Staatsforsten

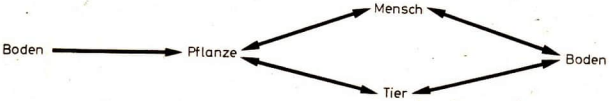
Zeitraum	Vorrat (Festmeter/ha)	Zuwachs (Festmeter/ha) im Jahr	Zeitraum	Vorrat (Festmeter/ha)	Zuwachs (Festmeter/ha) im Jahr
1844 bis 1854	168	–	1884 bis 1893	203	5,4
1854 bis 1863	187	6,1	1894 bis 1903	193	5,1
1864 bis 1873	203	6,8	1904 bis 1913	177	4,4
1874 bis 1883	209	6,6	1914 bis 1923	167	3,9

Mischung verschiedener Gehölze erzielen, wobei neben Wirtschaftsholzarten auch biologische Holzarten (z. B. bodenverbessernde oder die Nährstoffe in tieferen Bodenschichten aufschließende Holzarten) anzubauen sind. Auch die Düngung der Waldstandorte gewinnt in der modernen Forstwirtschaft an Bedeutung, um den durch die Holzentnahme bedingten Nährsalzentzug auszugleichen.

▶ Monokulturen dienen der Ertragssteigerung. Sie stellen Eingriffe in das ökologische Gleichgewicht der biologischen Stoffproduktion dar. Es sind artenarme Biozönosen mit einschichtigen Beständen und wenig differenzierten Wurzelsystemen. In Monokulturen bestehen wenig zwischenartliche Beziehungen, und es kommt zu einem starken Entzug von Nährsalzen. Durch Fehlen der natürlichen Feinde der Pflanzenschädlinge ist die Widerstandsfähigkeit gegenüber einem Schädlingsbefall gering.

Düngung

In den Ökosystemen der landwirtschaftlichen Nutzflächen wie Acker und Grünland kann nur unter Mitwirkung des Menschen ein gewisses Fließgleichgewicht aufrechterhalten werden. Die jährliche Ernte, aber auch die Bodenbearbeitung entziehen den Standorten ständig beträchtliche Nährstoffmengen, die durch die natürliche Verwitterung und die Mineralisation organischer Substanzen nicht ersetzt werden können. Der Nährstoffkreislauf ist offen und vollzieht sich nicht wie in natürlichen oder zum Teil auch noch in naturnahen Waldbiozönosen. In ihn ist der landwirtschaftliche Betrieb mit seiner pflanzlichen und tierischen Produktion und auch der Mensch mit einbezogen.



Ein großer Teil der dem Boden entzogenen Nährstoffe wird ihm in Form von Wirtschaftsdüngern (z. B. Stallmist, Jauche, Stroh, Kompost) wieder zugeführt (Abb. 170/1). Die beim Kreislauf der Stoffe im Betrieb entstehenden Verluste durch die Bodenbearbeitung und Verrottung der Wirtschaftsdünger sowie durch den Verkauf pflanzlicher und tierischer Produkte müssen durch Düngung ausgeglichen werden. Die Produktivität eines landwirtschaftlich genutzten Standortes kann auf die Dauer nur erhalten werden, wenn dem Boden neben Mineraldüngern wirtschaftseigene Dünger und Pflanzen- und Wurzelrückstände zur Verfügung stehen. Ein wesentlicher Faktor für die Bodenfruchtbarkeit sind die Bodenmikroorganismen; diese benötigen zum Körperaufbau und zur Aufrechterhaltung ihrer Lebensfunktionen organische Substanzen.

Düngung kann aber auch zu einer starken Veränderung und Umgestaltung von Biozönosen und zur Entwicklung anderer Ökosysteme führen. Durch Düngung armer Waldstandorte stellen sich beispielsweise in der Krautschicht viele Pflanzen anspruchsvoller Waldbiozönosen

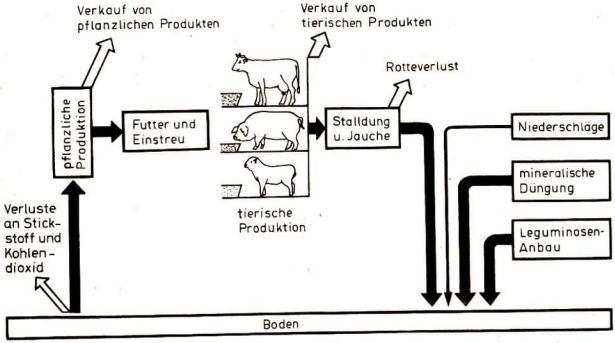


Abb. 170/1 Kreislauf der Stoffe im landwirtschaftlichen Betrieb

Einfluß von Umweltfaktoren auf Pflanzengesellschaften		
Pflanzengesellschaft	Borstengrasrasen, anspruchslose Arten (charakteristisch z. B. Borstengras, Heidekraut, Schlängel-Schmiele, Berg-Wohlverleih, Schaf-Schwingel)	Goldhaferwiese, anspruchsvollere Arten (charakteristisch z. B. Goldhafer, Wald-Storchschnabel, Weicher Pippau, Perücken-Flockenblume, Ährige Teufelskralle)
Umweltfaktoren Wasserfaktor Wärmefaktor	frische Böden keine besonderen Ansprüche	frische Böden keine besonderen Ansprüche
Chemische Faktoren Bodenreaktion Stickstoffbedarf Phosphatbedarf Kalibedarf Humusverhältnisse Mineralisation der erzeugten Pflanzenteile	 stark sauer bis sauer gering gering gering Rohhumus gering	 sauer bis schwach sauer mittel bis hoch mittel bis hoch mittel bis hoch Moder bis Mull mittel bis stark
Wirtschaftlicher Wert Futterqualität Futterertrag	 schlecht gering	 gut mittel bis hoch

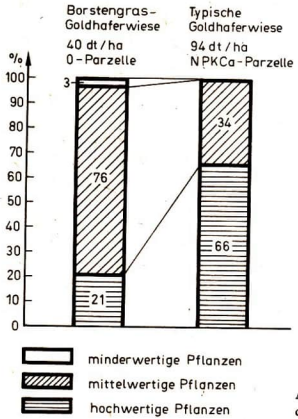


Abb. 171/1 Auswirkung der Düngung auf Biozönosen des Grünlandes

ein. In den mitteleuropäischen Berggebieten können die sauren, nährstoffarmen Borstengrasrasen mit geringen und qualitativ schlechten Erträgen durch Düngung in solche der anspruchsvollen, leistungsstarken Goldhaferwiesen umgewandelt werden (Abb. 171/1).

Wie sich durch die künstliche Nährstoffzufuhr die Umweltfaktoren und auch die Pflanzengemeinschaft verändern, zeigt Abbildung 171/1.

Die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit als Voraussetzung für die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion ist ein wesentliches Vorhaben im Perspektivplan der DDR.

► Ökosysteme der landwirtschaftlichen Nutzflächen haben einen offenen Nährstoffkreislauf. Der Mensch muß durch Düngung die durch die Ernte entstandenen Verluste an Nährstoffen ausgleichen. Die Produktivität eines landwirtschaftlich genutzten Standortes kann neben einer Düngung mit Mineraldüngern nur mit Wirtschaftsdüngern aufrechterhalten werden.

Melioration

Durch die Meliorationen soll die Fruchtbarkeit der pflanzlichen Produktionsflächen verbessert werden. Unter diesem Begriff werden deshalb alle Maßnahmen in der Landwirtschaft zusammengefaßt, die nicht nur auf eine Erhaltung des gegenwärtigen Fruchtbarkeitszustandes abzielen (z. B. Düngung), sondern die Bodenfruchtbarkeit steigern. Zur Melioration gehören

alle Bewässerungs- und Entwässerungsmaßnahmen (Hydromelioration), die Verbesserung der Bodenstruktur (Gefügemelioration), die großen Einfluß auf den Luft- und Wasserhaushalt des Bodens ausübt, aber auch die Verbesserung der klimatischen Bedingungen durch die Anpflanzung von Gehölzen.

Eine große Bedeutung erlangen in der DDR komplexe Meliorationsmaßnahmen zur Rekultivierung der Bergwerkskippen, die Bewässerung landwirtschaftlicher Intensivkulturen und die komplexe Entwässerung der großen Niederungsgebiete, um minderwertiges Grünland in hochproduktive Mähweiden oder auch zum Teil in Ackerland umzuwandeln.

Bei der Gewinnung von Wiesen, Weiden und Ackerflächen auf ungenutztem, feuchtem Grünland hat die Jugend der DDR unter Leitung der Freien Deutschen Jugend bei Meliorationsarbeiten große Leistungen vollbracht. Die Jugend war beispielsweise an der Trockenlegung großer Gebiete der Wische (Bez. Magdeburg) und an der Nutzbarmachung der Großen Friedländer Wiese (Bez. Neubrandenburg), des Rhin-Havel-Luchs und der Lewitz (Bez. Schwerin) maßgeblich beteiligt. Mit großem Erfolg leisteten Jugendliche unter Führung der FDJ einen hervorragenden Beitrag zur Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion.

Meliorationsmaßnahmen stellen meist beträchtliche Eingriffe in bestehende Ökosysteme dar. Eine Grundwasserabsenkung verändert nicht nur den Wasserfaktor der Biozönosen, im entwässerten Wurzelhorizont füllen sich die Kapillaren teilweise mit Luft, so daß ein reger Gasaustausch zwischen Pflanzenwurzeln und Bodenluft (Atmung) ermöglicht wird und die Zersetzung und Mineralisation der organischen Substanzen durch die Mikroorganismen relativ schnell vonstatten geht. Dadurch ändern sich mit der Grundwasserabsenkung auch die chemischen Umweltfaktoren, besonders der Stickstoffaktor.

Die starke Veränderung des Biotops hat zwangsläufig auch eine einschneidende Umbildung der Pflanzengesellschaften zur Folge, so daß es wie bei der Düngung häufig zu einer Umbildung des gesamten Ökosystems kommt. Die Großseggen-Naßwiesen und Kohldistel-Feuchtwiesen im Hügelland und Tiefland gehen bei Grundwassersenkung häufig in Glatthafer-Frischwiesen über. Wasserbedürftige Pflanzenarten (z. B. Groß-Seggen) verschwinden auf den entwässerten Standorten, und Arten frischer Böden siedeln sich an. Häufig entstehen im Grünland durch das Absterben der wasserbedürftigen Pflanzen Lücken, so daß Unkrautarten der Äcker und Schuttplätze vorübergehend Fuß darin fassen können. Da diese Unkräuter meist stickstoffreiche Standorte besiedeln, finden sie auf den entwässerten Wiesenböden mit ihrer starken Stickstoffmineralisation zusagende chemische Umweltfaktoren vor.

Die großen Meliorationsvorhaben in der DDR werden wesentlich zur Verbesserung der Futtergrundlage in der Viehwirtschaft und zur Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion beitragen. Sie stellen jedoch nicht nur technisch komplizierte Aufgaben, sondern verlangen die Berücksichtigung der Umweltbeziehungen der Organismen in den zu bearbeitenden Gebieten.

▶ Meliorationsmaßnahmen sind planmäßige Eingriffe in bestehende Ökosysteme zum Nutzen des Menschen. Bei Melioration wird die Bodenfruchtbarkeit durch Bewässerung und Entwässerung, durch Verbesserung der Bodenstruktur, durch Verbesserung der klimatischen Bedingungen, durch Anpflanzen von Gehölzen und durch Rekultivierung der Bergwerkskippen gesteigert.

Schädlingsbekämpfung – Eingriff in das ökologische Gleichgewicht zur Steigerung der biologischen Stoffproduktion

Natürliche Biozönosen erhalten sich über lange Zeiträume in einem dynamischen Gleichgewicht. Die Zusammensetzung der Arten und ihre Populationsgröße schwingen um ein bestimmtes Niveau.

Das jahrtausendlange Ringen der Menschen mit der sie umgebenden Natur um bessere Lebensbedingungen bedeutete ständige Eingriffe in die natürlichen Biozönosen. Mit der Entwicklung unserer heutigen Kulturlandschaften, vor allem durch den intensiven Anbau von Monokulturen, entstanden neue, „künstliche" Biozönosen, die nur durch ständigen hohen Energieaufwand auf dem erstrebten Niveau ihrer Zusammensetzung und biologischen Stoffproduktion zu erhalten sind. Zunehmende wissenschaftliche Erkenntnisse und ihre gesellschaftlich bedingte optimale Anwendung schaffen die Voraussetzung, alle Naturreichtümer und im besonderen die biologische Produktion von Nahrungsgütern immer sinnvoller zu erhalten, zu nutzen und zu steigern.

Durch den Anbau von Monokulturen über weite Flächen wird das biologische Gleichgewicht einer Biozönose (z. B. Kartoffelfeld) extrem verschoben. Hierbei bleibt immer die Potenz einer natürlichen Gleichgewichtsregulation erhalten. Mit der Vergrößerung einer Population – z. B. Kartoffel – sind auch bessere Vermehrungsbedingungen von Krankheitserregern und Schädlingen gegeben. Nur durch Anwendung von Maßnahmen des Pflanzenschutzes sowie durch acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen ist es möglich, diesen populationsökologisch extremen Zustand einer Monokultur aufrechtzuerhalten und eine optimale Produktion zu sichern.

In der gegenwärtigen Entwicklung unserer Landwirtschaft kann allein durch die Anwendung verbesserter Maßnahmen des Pflanzenschutzes die Pflanzenproduktion in den nächsten Jahren um etwa 20 % erhöht werden. So verhindern heute zum Beispiel die ständigen Bekämpfungsmaßnahmen des Kartoffelkäfers bei starker Vermehrung ein Anwachsen seiner Population.

Ziel der Bekämpfung ist es, die Schädlingspopulation weitgehend zu vernichten, so daß wirtschaftlich ins Gewicht fallende Schäden nicht eintreten. Eine totale Ausrottung der Schädlinge ist mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln nicht möglich. Selbst nach einer erfolgreichen Bekämpfungsaktion wird stets ein geringer Individuenbestand überleben, von dem aus bei Eintritt günstiger Lebensbedingungen sich eine neue, wirtschaftlich bedeutsam werdende Population entwickeln kann.

In der Bekämpfung von Pflanzenschädlingen dominieren heute die verschiedenartigsten chemischen Substanzen, wobei vor allem Insektizide und Akarizide eine hervorragende Rolle spielen. Ihre Nebenwirkungen, wie zum Beispiel mögliche Vernichtung der Nützlingsfauna, Giftigkeit gegenüber Säugetieren und dem Menschen, Anreicherung von Giftstoffen in Nahrungsketten und Entstehung von resistenten Schädlingsstämmen erfordern jedoch eine sorgfältige Prüfung und Kontrolle des Einsatzes. In immer stärkerem Maße gewinnt deshalb eine Schädlingsbekämpfung an Bedeutung, die durch sinnvolle Kombination von chemischer Bekämpfung, ihren abgewogenen Einsatz in Zeit und Umfang und die Anwendung von allen bisher gangbaren Möglichkeiten der biologischen Bekämpfung des Schädlings gekennzeichnet ist. Die Möglichkeiten dieser Maßnahmen reichen von der Züchtung resistenter Pflanzen über die Chemosterilisierung der Schädlinge, den Einsatz von schädlingsvertilgenden Tieren bis zur Ausbringung von Krankheitserregern des Schädlings. Bei sinnvoller Auswahl und sachkundiger Anwendung kann auf diese Weise in Zukunft ein wirkungsvoller Schutz vor Schädlingen gewährt und letztlich die Erhaltung aller natürlichen Ressourcen gesichert werden.

49 50

▶ Der intensive Anbau von Monokulturen bietet Krankheitserregern und Schädlingen der Pflanzen vielfach gute Vermehrungsbedingungen. Durch gezielte und kontrollierte Maßnahmen des Pflanzenschutzes (z. B. Chemosterilisierung, Einsatz von Krankheitserregern des Schädlings, Einsatz von schädlingsvertilgenden Tieren) können bei einem gestörten biologischen Gleichgewicht Schäden verhindert und eine optimale Stoffproduktion erreicht werden.

▶ Durch Eingriffe in das ökologische Gleichgewicht kann der Mensch die biologische Stoffproduktion steigern. Wesentliche Maßnahmen zur Erhöhung der biologischen Stoffproduktion sind Düngung, Schädlingsbekämpfung und Melioration.

Sozialistische Landeskultur

Natur und Gesellschaft

Die Natur ist für den Menschen ebenso wie die Arbeit eine notwendige Existenzbedingung. Sie ist Ursprung der materiellen Güter, Quelle der Gesundheit und Stätte der Erholung.

Im Verlaufe der Jahrtausende hat der Mensch die Natur immer bewußter genutzt und verändert. Er erkannte immer besser die Zusammenhänge in der Natur und gestaltete seinen Lebensraum zunehmend zielgerichteter.

Bereits MARX und ENGELS haben vor mehr als 100 Jahren auf den untrennbaren Zusammenhang zwischen der menschlichen Arbeit und der Natur als Quellen des gesellschaftlichen Reichtums hingewiesen. So betonte Karl MARX in seiner „Kritik des Gothaer Programms", daß der gesellschaftliche Reichtum zwei Quellen hat: die Arbeit und die Natur. LENIN verwies bereits kurze Zeit nach der Oktoberrevolution darauf, daß die Naturschätze, nachdem sie Volkseigentum geworden waren, vernünftig genutzt werden müßten. Dabei betonte er immer wieder, die Natur könne nur dann unerschöpflich sein, wenn die Menschen sie pfleglich nutzen und ihre Gesetze gründlich kennen und berücksichtigen. Den richtigen Weg zum Schutz der Natur sah LENIN vor allem in der rationellen Nutzung der Naturreichtümer nach sorgfältig erarbeiteten wissenschaftlich-technischen Regeln.

Jede Produktion ist eine Aneignung der Natur durch den Menschen. Der Mensch wirkt im Prozeß der Arbeit auf die Natur ein. Dazu entwickelt er Arbeitsmittel (Produktionsinstrumente) wie Werkzeuge und Maschinen. Die entscheidende Produktivkraft im Prozeß der bewußten Veränderung der Natur sind die Menschen. Sie schaffen durch körperliche und geistige Arbeit die Produktionsmittel dazu. Ihre Entwicklung und Nutzung wird in der Geschichte der menschlichen Gesellschaft durch die Verhältnisse bestimmt, die die Menschen im Produktionsprozeß objektiv eingehen. In diesen Produktionsverhältnissen widerspiegeln sich die jeweiligen Klassen- und Machtverhältnisse.

Im Sozialismus übt die Arbeiterklasse alle Macht aus. Sie gewährleistet im Bündnis mit der Klasse der Genossenschaftsbauern, den Angehörigen der Intelligenz und den anderen Schichten der Bevölkerung die Erhaltung und planmäßige Entwicklung des Volkseigentums. Dazu gehören auch die Naturreichtümer, der Boden und die Bodenschätze, die großen Gewässer und die Wälder. Im Interesse des Wohls aller Bürger sorgen der Staat und die ganze Gesellschaft für die planmäßige Nutzung und Erhaltung der Natur. Dabei wird besonderer Wert darauf gelegt, daß die Natur auch für die kommenden Generationen erhalten bleibt.

Im Kapitalismus kommt es durch das Streben nach einem möglichst hohen Profit aus der Nutzung der Natur zu Widersprüchen zwischen Naturnutzung und Naturschutz und damit zu Schädigungen der Natur.

Die Gestaltung der Landschaft als unmittelbare Umwelt des Menschen wird unter kapitalistischen Verhältnissen von Profitstreben, Spontaneität, durch kurzfristige Zielstellung und vorwiegend lokale Maßnahmen geprägt.

Die Entwicklung der Wirtschaft, der Wohn- und Lebensgewohnheiten der Menschen stellt auch die kapitalistischen Länder vor die Notwendigkeit, umfassende Maßnahmen zum Schutz der Umwelt einzuleiten. Dahingehende Forderungen zahlreicher Wissenschaftler und anderer verantwortungsbewußter Bürger wurden jedoch von verschiedenen Unternehmern zum Anlaß genommen, Maßnahmen zum Umweltschutz als neue Quelle für Profit zu nutzen. Es wurden beispielsweise ganze Wirtschaftszweige dafür aufgebaut, „garantiert" reines Trinkwasser wird in Flaschen und Fäßchen zu hohen Preisen verkauft. Maßnahmen zur Reinigung von Abwässern und Abgasen, die finanziell sehr aufwendig sind, werden von den Konzernen vorwiegend dann durchgeführt, wenn sie selbst unmittelbaren Nutzen daraus ziehen können (z. B. Brauchwasseraufbereitung); außerdem werden die entstehenden Kosten von den Steuern abgesetzt. Umfassender Umweltschutz ist in der kapitalistischen Gesellschaftsordnung objektiv nicht möglich.

Naturschutz als wichtiges Anliegen der sozialistischen Gesellschaft

Nach dem zweiten Weltkrieg galt auf dem Gebiet der heutigen Deutschen Demokratischen Republik alle Kraft dem Wiederaufbau der weitgehend durch den Krieg zerstörten Wirtschaft. Von Anfang an war man dabei bestrebt, auch die Schäden in der Natur, die als Folge der kapitalistischen Wirtschaft und der Kriegshandlungen entstanden waren, zu mindern und eine weitere Schädigung möglichst zu verhindern.

In den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts modernisierten die Unternehmer ihre Betriebe oder sorgten für die Instandhaltung ihrer Betriebseinrichtungen, bauten aber keine Anlagen zur Reinigung der Abwässer und der Luft. Umfassende Maßnahmen zum Schutz der Umwelt hätten ihren Profit geschmälert. Bis 1945 wurden Geld, Baustoffe und Forschungsarbeiten überwiegend für rüstungs- und kriegsbedingte Maßnahmen verwendet. Bei der Steigerung der Produktion traten bei höheren Profiten der Unternehmer zunehmend Verschmutzungen der Umwelt und Störungen des Haushalts der Natur auf.

Die veränderten gesellschaftlichen Verhältnisse nach 1945 forderten auf dem Territorium der heutigen Deutschen Demokratischen Republik auch für den Naturschutz neue gesetzliche Regelungen. Für einzelne Gebiete der Umweltgestaltung und des Umweltschutzes wurden Rechtsnormen festgelegt.

Am 4. 8. 1954 wurde das „Gesetz zur Erhaltung und Pflege der heimatlichen Natur – Naturschutzgesetz" durch die Volkskammer beschlossen, das Richtlinien für die Erhaltung der Landschaft mit ihrer Pflanzen- und Tierwelt und ihren Schönheiten für die wissenschaftliche Arbeit, die Förderung der Gesundheit und Erholung der Menschen und für die Bildung und Erziehung zum Inhalt hatte. Im Jahre 1963 folgten der Erlaß eines Wassergesetzes; 1964 wurde eine Verordnung zum Schutz des Bodens erlassen. Maßnahmen gegen die Luftverunreinigung wurden eingeleitet. Bei der Anspannung aller Kräfte für den Wiederaufbau wurde zugleich mit der schrittweisen Beseitigung der Schäden und Rückstände aus dem Kapitalismus auf dem Gebiet der Landeskultur begonnen.

Während der mehr als 15jährigen Wirksamkeit des Naturschutzgesetzes gelang es, in der DDR eine umfassende Naturschutzorganisation sowohl im Bereich der Leitung als auch im Bereich der wissenschaftlich-technischen Beratung und der gesellschaftlichen Mitarbeit aufzubauen.

Das Landeskulturgesetz der DDR

Auf Grund der Erfahrungen in der Naturschutzarbeit und in Realisierung des Artikels 15 der Verfassung der DDR wurde als Bestandteil der entwickelten sozialistischen Gesellschaft von der Volkskammer am 14. Mai 1970 das „Gesetz über die planmäßige Gestaltung der sozialistischen Landeskultur in der Deutschen Demokratischen Republik – Landeskulturgesetz" beschlossen.

Wie viele Gesetze der DDR dient auch das Landeskulturgesetz nicht nur einer detaillierten Regelung der gegenwärtigen Situation in unserer Umwelt, sondern es ist ein auf die Zukunft orientiertes Programm, das Erfahrungen und Traditionen vieler für den Naturschutz tätiger Menschen aufgreift und verwendet und gleichzeitig den Rahmen künftiger Aufgaben für alle, besonders für die verantwortlichen Leiter in Industrie und Landwirtschaft sowie in den örtlichen Verwaltungen absteckt.

Unter *sozialistischer Landeskultur* wird ein Komplex von Maßnahmen zur sinnvollen Gestaltung der natürlichen Umwelt und zum wirksamen Schutz der Natur mit dem Ziel der Erhaltung, Verbesserung und effektiven Nutzung der natürlichen Lebens- und Produktionsgrundlagen der Gesellschaft – Boden, Wasser, Luft sowie Pflanzen- und Tierwelt in ihrer Gesamtheit – und zur Verschönerung der sozialistischen Heimat verstanden. Mit dem Landeskulturgesetz wurde eine neue Qualität des Schutzes der Umwelt des Menschen erreicht. Erst die Kraft der sozialistischen Gesellschaft ist in der Lage, die umfassenden Aufgaben zur planmäßigen Gestaltung und Erhaltung der Natur zu lösen. Gleichzeitig kommt im Gesetz zum Ausdruck, daß in Realisierung des Artikels 15 der Verfassung der DDR die Verwirklichung der Aufgaben der sozialistischen Landeskultur und des Naturschutzes Anliegen aller Mitarbeiter der staatlichen Organe, der Betriebe, Kombinate und Genossenschaften und darüber hinaus aller Bürger und ihrer gesellschaftlichen Organisationen sein muß. Das Landeskulturgesetz regelt umfassend und komplex die Beziehungen des Menschen zu seiner natürlichen Umwelt.

Gliederung des Landeskulturgesetzes
1. Grundlegende Zielstellung und Prinzipien der Planung und Leitung der sozialischen Landeskultur 2. Gestaltung und Pflege der Landschaft sowie Schutz der heimatlichen Natur 3. Nutzung und Schutz des Bodens 4. Nutzung und Schutz der Wälder 5. Nutzung und Schutz der Gewässer 6. Reinhaltung der Luft 7. Nutzbarmachung und schadlose Beseitigung von Abprodukten 8. Schutz vor Lärm

Die Aufgaben des speziellen Naturschutzes sind im Abschnitt 2 des Landeskulturgesetzes (§ 10 bis 16) dargelegt. Als Ergänzung dient die erste Durchführungsverordnung zum Landeskulturgesetz – Schutz und Pflege der Pflanzen- und Tierwelt und der landschaftlichen Schönheiten – (Naturschutzverordnung) von 1970. In den gesetzlichen Festlegungen sind die Schutzobjekte, die Organisation des Naturschutzes und die Verfahrens- und Arbeitsweisen festgelegt.

▶ Ziele des Landeskulturgesetzes

Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen der Bevölkerung
Kontinuierliche Entwicklung der Volkswirtschaft
Schutz der Pflanzen- und Tierwelt und der Schönheiten unserer sozialistischen Heimat

Bereits bestehende und neu zu verabschiedende Bestimmungen regeln Detailfragen. Die komplexen Zusammenhänge zwischen der Nutzung und dem Schutz der Umwelt und der gesellschaftlichen Entwicklung sind ein wichtiger Aspekt des Landeskulturgesetzes. Von besonderer Bedeutung ist die im Gesetz festgelegte Verantwortlichkeit aller staatlichen Organe, aller Betriebe und Kombinate unter Mitverantwortung jedes einzelnen Bürgers. Die Verantwortung des einzelnen für das Ganze wird auch in der sozialistischen Landeskultur sehr deutlich herausgestellt. Ein weiterer Aspekt ist die Nutzung und der gleichzeitige Schutz der Reichtümer der Natur. Zugleich wird die Verantwortung der heute lebenden Generation gegenüber kommenden Generationen bei allen die Natur verändernden Maßnahmen deutlich hervorgehoben. Komplexität, Verantwortlichkeit und Schutz durch rationelle Nutzung grenzen die sozialistische Landeskultur deutlich von den Bestrebungen des Umweltschutzes in kapitalistischen Ländern ab. Nur unter sozialistischen Gesellschaftsverhältnissen sind solche umfassenden Maßnahmen zur Landeskultur möglich. Imperialistische Verhältnisse setzen dem Schutz der Umwelt gesetzmäßig Grenzen (↑S. 175 f.). Zwar zeigen die in einigen kapitalistischen Ländern erlassenen Naturschutzgesetze in Einzelfällen gute Ergebnisse. Sie sind jedoch fast ausschließlich auf den Umweltschutz im Sinne der Verhinderung oder Minderung von Schäden durch Industrie und Zivilisation und die Erhaltung einzelner Naturobjekte oder Organismenarten beschränkt.

In der kapitalistischen Gesellschaftsordnung, in der die herrschende Klasse Aggressionskriege als geeignetes Mittel zur Lösung internationaler Probleme betrachtet und Mensch und Natur durch Kriegshandlungen geschädigt und vernichtet werden, kann das humanistische Anliegen, dem Menschen eine gesunde Umwelt zu erhalten, kein Anliegen der herrschenden Klasse sein.

Die barbarische Kriegsführung der USA in Indochina, wo durch Giftstoffe, Entlaubungsmittel und Bomben die Ausrottung von Menschen, Pflanzen und Tieren umfassend betrieben wird, steht auch im Widerspruch zu den Naturschutzbestrebungen der USA im eigenen Land. Sie entlarvt die Unmenschlichkeit des Imperialismus und ruft den Abscheu und den Protest aller fortschrittlichen und friedliebenden Menschen hervor.

(51) (52)

▶ Die Umwelt des Menschen ist ein Produkt der menschlichen Gesellschaft. Während der vergangenen Gesellschaftsepochen traten zunehmend Schäden in der Natur auf. Erst die sozialistische Gesellschaft ist in der Lage, die natürliche Umwelt des Menschen planmäßig zu gestalten. Das „Gesetz über die planmäßige Gestaltung der sozialistischen Landeskultur in der Deutschen Demokratischen Republik – Landeskulturgesetz" regelt die effektive Nutzung und den gleichzeitigen Schutz des Bodens, des Wassers, der Luft und der Pflanzen- und Tierwelt in ihrer Gesamtheit und fordert Maßnahmen zur Verschönerung der sozialistischen Heimat.

Aufgaben zur Realisierung des Landeskulturgesetzes in der DDR

Die staatlichen Organe, Betriebe und gesellschaftlichen Organisationen haben hohe Anforderungen bei der Bewältigung aller Maßnahmen der sozialistischen Landeskultur zu erfüllen. Jeder einzelne Bürger unserer Republik muß in seiner Funktion und Tätigkeit oder in seiner Freizeit auf die Einhaltung des Landeskulturgesetzes achten.

Der Ministerrat sichert die Einordnung der Leitung und Planung der sozialistischen Landeskultur in das ökonomische System des Sozialismus. Seit dem 1. Januar 1972 besteht ein Ministerium für Umweltschutz und Wasserwirtschaft. Im Beirat für Umweltschutz wirken Vertreter aus verschiedenen Volkswirtschaftszweigen, wissenschaftlichen Einrichtungen und gesellschaftlichen Organisationen mit ihren Erfahrungen und Kenntnissen beratend mit.

In den Bezirken und Kreisen sind ebenfalls entsprechende Arbeitsgruppen tätig, um alle das jeweilige Territorium berührenden Fragen zu koordinieren. Die Mitarbeiter der örtlichen Räte sichern die komplexe Entwicklung der sozialistischen Landeskultur mit einem hohen gesellschaftlichen Nutzeffekt aller Maßnahmen im Territorium. Nur so ist die Möglichkeit gegeben, die umfangreichen und mitunter schwierigen Probleme zu lösen, die sich aus der notwendigen Inanspruchnahme der Reichtümer der Natur ergeben.

▶ Die sozialistische Landeskultur ist ein Bestandteil der entwickelten sozialistischen Gesellschaft. Alle staatlichen Organe, Betriebe und alle Bürger mit ihren gesellschaftlichen Organisationen sind zur Koordinierung und zur Einhaltung aller Maßnahmen der Landeskultur verpflichtet. Beim Ministerrat, beim Ministerium für Umweltschutz und Wasserwirtschaft, in den Bezirken und Kreisen wirken Arbeitsgruppen oder ständige Kommissionen der gewählten Körperschaften als beratende Organe mit.

Nutzung und Schutz des Bodens

Der Boden ist wichtigstes Produktionsmittel der Land- und Forstwirtschaft. Gleichzeitig ist er Baugrund für alle gesellschaftlichen Bauten. In dieser zweifachen Funktion muß er genutzt und geschützt werden. Der Schutz des Bodens ist in der Verordnung zum Schutz des land- und forstwirtschaftlichen Grund und Bodens und zur Sicherung der sozialistischen Bodennutzung – Bodennutzungsverordnung vom 17. Dezember 1964 festgelegt.

▶ Nutzung des Bodens

Produktionsmittel für Landwirtschaft und Forstwirtschaft, Grundfläche für Industrieanlagen, landwirtschaftliche Bauten, Wohnhäuser, Verkehrsanlagen, Schulen, Energietrassen, Staubecken u. a.

Für die pflanzliche Produktion in der Land- und Forstwirtschaft sind in erster Linie die für die Nutzung verfügbare Fläche und die Qualität des Bodens wichtig.

Von den 10 830 393 ha des Gesamtterritoriums der DDR werden 6 286 392 ha, das sind 58 %, landwirtschaftlich genutzt. Von dieser Fläche erfolgt im wesentlichen die Ernährung der Bevölkerung der Republik. Je Einwohner stehen damit nur 0,37 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche für die Ernährung zur Verfügung. Auf dem Gebiet der DDR gibt es nur noch relativ wenig Möglichkeiten, land- und forstwirtschaftlich ungenutzte Flächen (z. B. Ödland) nutzbar zu machen. Deshalb gilt es vor allem, durch geeignete Intensivierungsmaßnahmen die Erträge je Flächeneinheit zu steigern.

Das Landeskulturgesetz berücksichtigt diese Tatsache und legt fest:

1. Für alle sozialistischen Betriebe der Land- und Forstwirtschaft besteht die Pflicht zur Nutzung der Bodenflächen. Der Boden muß mit höchstmöglichem Nutzeffekt bewirtschaftet werden.

Hierin besteht ein großer Gegensatz zur Nutzung des Ackerlandes in den USA und in einigen anderen kapitalistischen Ländern. Um die Preise für bestimmte Agrarprodukte nicht zu senken, werden dort für nicht genutztes Ackerland vom Staat Prämien gezahlt.

2. Ausgehend von den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und den besten Erfahrungen ist durch geeignete Maßnahmen die Erhaltung und Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit in der DDR zu sichern. Zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit werden umfangreiche komplexe Meliorationsmaßnahmen durchgeführt (↑S. 171f.). Eine wesentliche Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit erfolgt bei der Melioration durch kombinierte Be- und Entwässerungsmaßnahmen und durch eine verbesserte Humus- und Düngewirtschaft. Durch Tiefpflügen werden tiefere Bodenschichten gelockert, die Wurzeln der Kulturpflanzen können Nährsalze und Wasser in diesen Schichten erreichen und aufnehmen.

Die genannten Meliorationsvorhaben erfolgen auf großräumigen Flächen und unter steigender Entwicklung industriemäßiger Produktionsmethoden. Nur die Produktionsverhältnisse einer sozialistischen Landwirtschaft mit ihrer Großraumwirtschaft in den LPG und VEG und den vielfältigen Kooperationsbeziehungen der Landwirtschaftsbetriebe ermöglichen so großzügige Meliorationsvorhaben.

3. Durch geeignete Maßnahmen zum Schutze des Bodens, beispielsweise durch richtige Auswahl der anzubauenden Kulturpflanzen, durch natürliche Grenzen berücksichtigende Flächeneinteilung, Anpflanzen von Bäumen und Sträuchern als Schutzstreifen wird eine eventuell auftretende Bodenzerstörung eingeschränkt. Dadurch ist es möglich, die Gefahr einer Bodenerosion zu mindern.

Die Nutzung des Bodens als Baugrund für Objekte der verschiedensten Art bedingt in allen dichtbesiedelten Ländern einen ständigen Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzfläche. In der DDR gingen auf diese Weise in den Jahren von 1950 bis 1970 240 162 ha landwirtschaftliche Nutzfläche verloren, das sind jährlich etwa 12 000 ha. Das zwingt noch stärker zu den obengenannten Maßnahmen der Intensivierung und erfordert beispielsweise eine konsequente Rekultivierung der vom Bergbau in Anspruch genommenen Flächen. Besonders durch Braunkohlentagebaue werden der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung jährlich etwa 2 400 ha entzogen. Aufgabe des Bergbaus ist es, nach erfolgreichem Abbau der Bodenschätze die genutzte Fläche wieder urbar zu machen. Das erfordert die Sicherung des Kulturbodens von der Ackerfläche vor Beginn des Abbaus. Kippen und Halden dürfen nur auf Flächen errichtet werden, von denen vorher der Kulturboden ebenfalls geräumt wurde. Sie sind nach Beendigung des Abbaus wieder einzuebnen, mit Kulturboden zu bedecken und wieder land- oder forstwirtschaftlich zu nutzen (Abb. 181/1).

Seit einigen Jahren werden in der DDR jährlich größere Flächen rekultiviert, als vom Braunkohlentagebau neu der Nutzung entzogen werden.

Unter den Bedingungen der sozialistischen Gesellschaft gelingt es so, allmählich die aus der Vergangenheit herrührenden Schäden auch in diesem Bereich durch unsere Gesellschaft zu

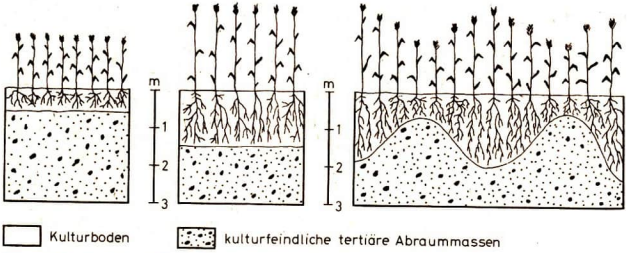


Abb. 181/1 Einfluß der Dicke des aufgetragenen Kulturbodens auf das Wachstum landwirtschaftlicher Kulturpflanzen nach der Rekultivierung von Kippen und Halden

beseitigen. So wurden beispielsweise im Jahre 1972 allein im Braunkohlentagebau Spreetal des VEB Gaskombinat Schwarze Pumpe 350 ha Kippengelände rekultiviert, auf denen in wenigen Jahren wieder Getreide und Bäume wachsen.

In der Lausitz werden die rekultivierten Flächen größtenteils aufgeforstet, im Raum Leipzig–Borna mit günstigen Bodenverhältnissen können diese Flächen fast vollständig der landwirtschaftlichen Nutzung wieder zugeführt werden. Besondere Bestimmungen (Bodennutzungsverordnung von 1964) legen in Ergänzung des Landeskulturgesetzes fest, daß nur in begründeten Ausnahmefällen der Boden der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung entzogen werden darf, wobei vorrangig Boden minderer Qualität in Anspruch genommen werden sollte. Die richtige Wahl der Standorte für Neubauten muß auch diese Seite der sozialistischen Landeskultur berücksichtigen, um die weitere Verringerung unserer Ernährungsgrundlage möglichst in engen Grenzen zu halten.

Bei der Planung und beim Bau von Industrieanlagen, landwirtschaftlichen Bauten, Wohnhäusern, Schulen, Straßen werden deshalb mehr und mehr diese Forderungen, möglichst wenig land- und forstwirtschaftlich genutzten Boden der eigentlichen Nutzung zu entziehen, berücksichtigt. Die Bauakademie der DDR arbeitet entsprechende Projekte aus, bei denen Baukosten, Unterbringung von möglichst vielen Einwohnern je Hektar Bodenfläche und gesundes Wohnen in einem gesellschaftlich vertretbaren Verhältnis stehen. Gegenwärtig wird davon ausgegangen, daß auf einem Hektar Bodenfläche 250 bis 300 Menschen wohnen sollen. Diese Fläche umfaßt außer den Wohnbauten auch die gesellschaftlichen Einrichtungen wie Kinderkrippen, Kindergärten, Schulen, Sport- und Spielplätze, Grünflächen, Parkplätze, Straßen und Wege (Abb. 182/1). Der Abstand von Wohnhaus zu Wohnhaus und die Lage des Gebäudes müssen nach den gesetzlichen Festlegungen gewährleisten, daß alle Räume ein Minimum an Sonne erhalten (z. B. am 21. Februar 120 Minuten Besonnungsdauer).

Außer der rationellen Bodennutzung sind beim Wohnungsbau noch zahlreiche andere Gesichtspunkte zu berücksichtigen (z. B. Kosten, Wartung u. Instandhaltung). Gegenwärtig werden deshalb auch viele 5- bis 6geschossige Bauten errichtet. Auch auf dem Lande wird vielfach mehrstöckig gebaut. Die Industrieanlagen werden so angelegt, daß möglichst wenig Bodenfläche benötigt wird.

Die Inanspruchnahme weiterer landwirtschaftlich oder forstwirtschaftlich genutzter Flächen wird ferner dadurch vermindert, daß verstärkt innerhalb der Stadtgebiete gebaut wird. Dabei werden Altbauten so umgestaltet, daß ein gesundes Wohnen gewährleistet ist, und Flächen, auf denen durch den Krieg zerstörte Häuser standen, werden bebaut. Altbauten, die unseren

Abb. 182/1 Neubaukomplex mit gesellschaftlichen Einrichtungen in Halle-Neustadt

Wohnansprüchen nicht mehr genügen und deren baulicher Zustand eine Rekonstruktion nicht gestattet, werden abgerissen und durch Neubauten ersetzt. Zum Schutz vor unnötiger Beanspruchung von Bodenflächen für den Bau von Industrieanlagen und Wohnhäusern, Verkehrstrassen wurde außerdem eine Bodennutzungsgebühr in der DDR eingeführt. Dadurch werden Betriebe und Gemeinden angehalten, möglichst wenig Boden der Land- und Forstwirtschaft zweckentfremdet zu nutzen.

53 54 55 56 57

► Der Boden ist das wichtigste Produktionsmittel der Land- und Forstwirtschaft. Er bildet zugleich die Fläche für alle gesellschaftlich notwendigen Bauten. Die Bodennutzungsverordnung der DDR von 1964 und das Landeskulturgesetz fordern die volle Nutzung aller land- und forstwirtschaftlich nutzbaren Flächen, die Erhaltung und Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit, den Schutz vor Bodenerosion, die Rekultivierung vom Bergbau in Anspruch genommener Flächen, die richtige Wahl der Standorte für Neubauten.

Nutzung und Schutz der Gewässer

Wasser gehört zu den wichtigsten Grundlagen allen Lebens. Menschliches, pflanzliches oder tierisches Leben ist ohne Wasser unmöglich. Wasser gehört außerdem zu den wichtigsten Grundlagen der Produktion materieller Güter.

Die Wassermenge auf unserem Planeten ist annähernd konstant. Sie wird auf 1 327 Mio km³ geschätzt. Die Wasservorräte auf den Kontinenten betragen davon nur 8,3 Mio km³, das sind 0,635 %. Die restlichen Wassermengen sind im Polareis und den Gletschern (2,15 %), als Wasser in der Atmosphäre (0,001 %) und vor allem in den Ozeanen (97,2 %) verteilt.

Eine hochentwickelte Industrie und eine intensive Landwirtschaft benötigen immer größere Wassermengen. Der Bedarf der Bevölkerung an Wasser nimmt ebenfalls immer mehr zu. Die Anzahl der Wohnungen mit guten hygienischen Einrichtungen (z. B. Bad, Dusche) und modernen Haushaltgeräten (z. B. Waschmaschinen) wird immer größer. Dadurch nimmt der Wasserverbrauch der Bevölkerung immer mehr zu. Der in allen Ländern zu beobachtende steigende Wasserbedarf erfordert möglichst genaue Berechnungen zwischen Wasserdargebot und Wasserbedarf.

Die ständige Wasserquelle sind die Niederschläge. Ein großer Teil davon wird durch die Vegetation verdunstet und zum Aufbau biologischer Substanz verbraucht, oder er verdunstet unproduktiv von offenen Wasserflächen oder unbedecktem Boden (Abb. 183/1). Der Rest fließt oberirdisch oder unterirdisch ab. Fallen mehr Niederschläge als Wasser verdunstet oder abfließt, wird Wasser im Boden gespeichert; fallen weniger Niederschläge und mehr Wasser verdunstet, nimmt das im Boden gespeicherte Wasser ab (Abb. 184/1). Das Verhältnis von Niederschlag, Abfluß und Verdunstung differiert bei verschiedenen Witterungsbedingungen und in verschiedenen Landschaften (Abb. 185/1).

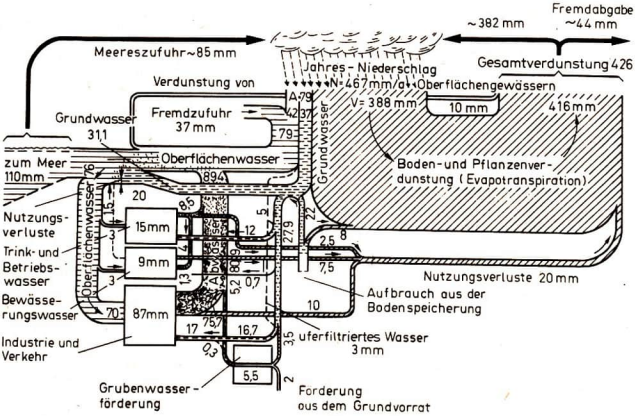


Abb. 183/1 Schema des Wasserkreislaufs

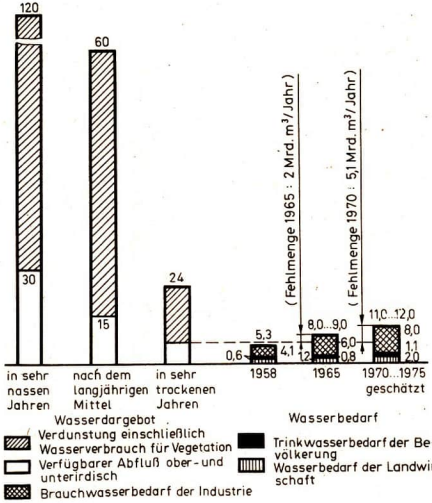
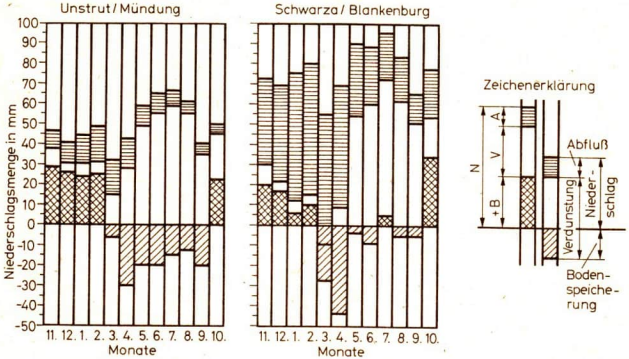


Abb. 184/1 Wasserbilanz

Für das Gebiet der DDR betragen im langjährigen Mittel die Werte: Niederschlag 60 Milliarden m³, Verdunstung 45 Milliarden m³ und Abfluß 15 Milliarden m³ Wasser. Verfügbar sind demnach jährlich nur etwa 15 Milliarden m³ Wasser des Grundwassers, der Seen, Teiche und Flüsse, von denen etwa 8 Milliarden m³ von Industrie, Landwirtschaft und Haushalten gebraucht werden. In Jahren mit ausreichenden Niederschlägen kann der Wasserbedarf gedeckt werden, in Jahren mit geringen Niederschlägen ergibt sich bereits jetzt ein Defizit von 4 bis 5 Milliarden m³ Wasser.

In der Vergangenheit war es eine Hauptaufgabe der Wasserwirtschaft, aus Überschußgebieten das Wasser möglichst schnell und gründlich zu beseitigen. Flußbegradigungen und Entwässerungsanlagen dienten dazu. Heute geht es darum, den Abfluß möglichst zu verzögern, um so eine intensive Nutzung des Wassers zu ermöglichen. Neben dem Bau künstlicher Staueinrichtungen wird die Erhöhung der natürlichen Speicherfähigkeit der Landschaft für diese Zwecke genutzt. Je sorgfältiger die Landschaft im Hinblick auf ihre Wasserbilanz behandelt wird, desto größer ist die zur Verfügung stehende Wassermenge. Durch den Bau von großen Wasserleitungen wird Wasser aus Gebieten mit einem Überschuß an Wasser in Gebiete mit Wassermangel oder in viel Wasser benötigende Industrieanlagen geleitet. Um die Trinkwasserversorgung in großen Städten zu gewährleisten, werden besondere Talsperren für die Trinkwasserversorgung gebaut. Diese Aufgaben wurden bereits in den Jahren des schweren Anfangs nach 1945 in Angriff genommen.

Zahlreiche Objekte wurden durch große Einsatzbereitschaft des sozialistischen Jugendverbandes, der FDJ, realisiert (z. B. Talsperre Sosa, Wasserleitung zur Maxhütte).



(Unstrut: abflußschwaches Gebiet, überwiegend Platten- und Hügellandcharakter, niederschlagsarm;
Schwarza: abflußstarkes Mittelgebirgsgebiet, niederschlagsreich)

Abb. 185/1 Bilanzen des mittleren monatlichen Wasserhaushaltes (1932 bis 1950) im Unstrut- und Schwarzagebiet

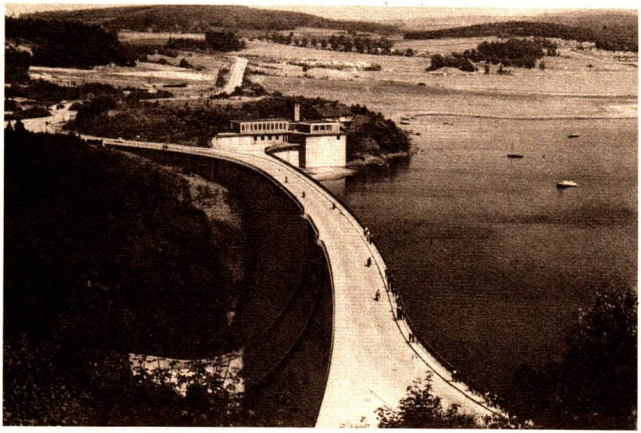


Abb. 185/2 Talsperre Pöhl

Neuerbaute Talsperren seit 1945 mit einem Stauraum von über 5 Mio m³

Flußgebiet	Ort/Kreis	Stauraum in Mio m³	Inbetriebnahme	Zweck
Dobrabach (Schwarze Elster)	Radeburg (Krs. Dresden)	8,6	1951	HWS, B
Kl. Bockau (Mulde)	Sosa (Krs. Aue)	5,9	1952	HWS, T
Pleiße	Witnitz (Krs. Borna)	22,7	1952	HWS, B
Schwarzwasser (Schwarze Elster)	Knappenrode (Krs. Hoyerswerda)	8,4	1953	HWS, B
Weida (Weiße Elster)	Bermichsmühle (Krs. Zwickau)	9,7	1956	HWS, T
Rappbode	Wendefurth (Krs. Wernigerode)	108,5	1959	HWS, B, EL
Pleiße (Weiße Elster Rückhaltebecken)	Serbitz (Krs. Altenburg)	8,4	1960	HWS
Trieb 6 (Weiße Elster)	Pöhl (Krs. Plauen)	62,4	1964	HWS, B
Spree	Spremberg	42,7	1965	HWS, B
Unstrut	Straußfurt (Krs. Sömmerda)	22,1	1965	HWS
Helme	Kelbra (Krs. Sangerhausen)	35,6	1966	HWS
Ohra	Luisental (Krs. Gotha)	18,4	1966	T
Flöha	Rauschenbach (Krs. Marienberg)	15,2	1967	T, B
Bode	Wendefurth (Krs. Wernigerode)	9,8	1967	HWS, EL

HWS = Hochwasserstau, T = Trinkwasserversorgung, B = Betriebswasser oder Niedrigwassererhöhungen, EL = Wasserkraftnutzung für Elektroenergie

Seit Bestehen der DDR wurden 66 Talsperren und Speicherbecken mit einem Stauraum von 456 Mio m³ gebaut. Das entspricht annähernd den insgesamt im Verlauf von 60 Jahren kapitalistischer Entwicklung geschaffenen Anlagen. Bis 1975 wird sich der verfügbare Speicherraum durch den Bau weiterer Anlagen um weitere 200 Mio m³ bis 250 Mio m³ Stauraum erweitern.

Das Landeskulturgesetz berücksichtigt die Wassersituation und verpflichtet die Betriebe, durch geeignete Produktionsverfahren den spezifischen Wasserbedarf zu senken. So ist es möglich, bei gleichbleibendem Wasserdargebot die Produktion und damit den Lebensstandard weiter zu steigern. Durch entsprechende Maßnahmen und wissenschaftliche Untersuchungen müssen immer mehr Möglichkeiten geschaffen werden, den Wasserverbrauch zu senken. Als Ergebnis der Wirksamkeit des Landeskulturgesetzes konnte bereits innerhalb eines Jahres im Bezirk Halle die Wasserentnahme aus dem Oberflächenwasser um 80 Mio m³ gesenkt werden. Die Industrie geht außerdem immer stärker zur Mehrfachnutzung des Wassers über. Die Abwässer der Städte werden mechanisch und biologisch aufbereitet und zur Bewässerung von Ackerflächen der Landwirtschaft und des Gartenbaus verwendet.

Die Verwendbarkeit des Wassers wird in allen Ländern durch starke Verunreinigung der Oberflächengewässer eingeschränkt. Wie in allen Ländern mit hochentwickelter Industrie und mit dichter Besiedlung besteht auch in der DDR die Gefahr zunehmender Verschmutzung der Gewässer durch Abwässer von Industrie und Siedlungen (Abb. 188/2).

Durch das Wassergesetz sind alle Betriebe verpflichtet, die bei ihnen anfallenden Abwässer

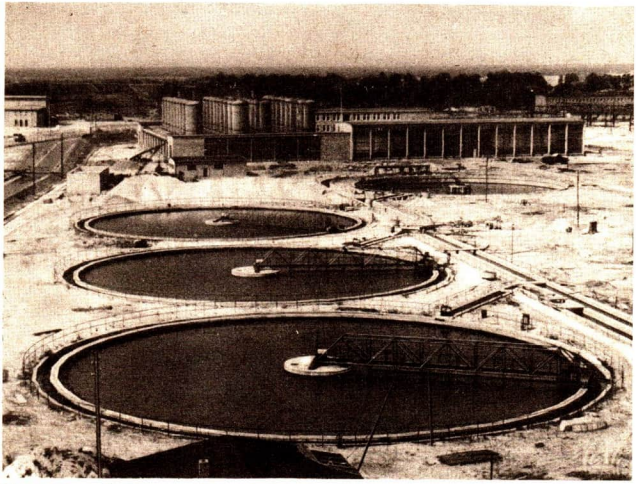


Abb. 187/1 Aufbereitung von Grubenabwässern im Kombinat „Schwarze Pumpe“ (vorn: 3 Absatzbecken, hinten: Filteranlage)

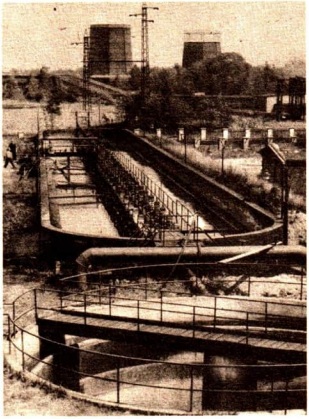


Abb. 188/1 Abwasserreinigung in einer Großkokerei (vorn: Absatzbecken, hinten: Belüftungsbecken)

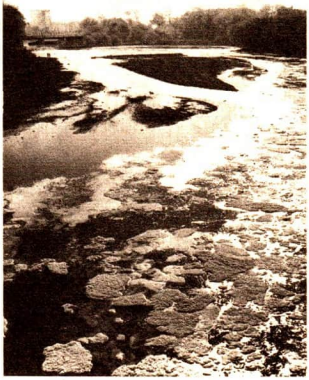


Abb. 188/2 Die Mulde bei Bitterfeld, von Abwässern verunreinigt

von verunreinigenden Stoffen bis zu einem bestimmten Grad zu reinigen, bevor die Abwässer in Gewässer geleitet werden.

Für die überwiegende Mehrzahl der die Abwässer verunreinigenden Substanzen sind heute bereits geeignete Formen der Reinigung bekannt. Feste Stoffe (z. B. Industrieschlamm verschiedenster Art) können beispielsweise in Absatzbecken (Abb. 187/1) oder mit Hilfe von Pendelräumern aus den Abwässern beseitigt werden. Durch weitere Reinigung in Oxydationsgräben oder -teichen wird dann der vorgeschriebene Reinheitsgrad erreicht. Organisch verschmutzte Industrieabwässer müssen beispielsweise nicht nur mechanisch und chemisch, sondern auch biologisch gereinigt werden (Abb. 188/1). Bei der biologischen Reinigung werden die Abbauprozesse verunreinigender Substanzen, die in jedem natürlichen Gewässer durch Mikroorganismen erfolgen, künstlich so stark intensiviert, daß weit stärkere Abbauleistungen in einem sehr kurzen Zeitraum als ohne Intensivierung erreicht werden. Es gibt verschiedene Verfahren der Wasserreinigung. Bei einigen Verfahren rieselt das Abwasser über Schotter oder Schlacke, auf der sich ein schleimiger Belag aus Mikroorganismen bildet. Bei den leistungsfähigeren Verfahren der „Intensivbiologie" wirbeln Kolonien von Mikroorganismen als „Belebtschlamm" im turbulent bewegten Abwasser umher. Die Abbauleistung wird dabei vor allem durch reichliche Sauerstoffzufuhr erhöht.

Durch die genannten und andere Reinigungsverfahren kann Wasser mehrfach genutzt werden. Eine Form der Nutzung vorgereinigter Abwässer, die keine giftigen Substanzen enthalten, ist die Verregnung auf landwirtschaftliche Nutzflächen. Gereinigte Abwässer aus Siedlungen und aus der landwirtschaftlichen Produktion enthalten meist noch Abfallstoffe, wodurch bei einer Beregnung gleichzeitig eine Nährstoffzufuhr für den Boden erfolgt.

Seit der Verabschiedung des Landeskulturgesetzes im Jahre 1970 wurden beachtliche Ergebnisse erreicht. In einem großen Teil der Gewässer ist die Gewässerverschmutzung nicht mehr angestiegen, in anderen bereits stark belasteten Gewässern gelang es, beispielsweise im Kombinat VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" durch intensive Zusammenarbeit des Betriebes, des Amtes für Wasserwirtschaft und anderer staatlicher Stellen, den Grad der Gewässerverunreinigung zu senken.

Die Reinigung der Gewässer und die Reinigung der Abwässer ist nicht nur im Interesse einer gesunden Landschaft, sondern auch im Interesse der Volkswirtschaft notwendig. Alle Industriebetriebe und Gemeinden sind deshalb zur Reinigung der Abwässer verpflichtet.

Werden den Gewässern alle anfallenden Abwässer uneingeschränkt zugeleitet, kommt es zu einer immer stärker werdenden Verödung der Gewässer, die Mikroorganismen und anderen Organismen sterben ab, die Selbstreinigung der Gewässer fällt aus. Eine Wiederverwendung des Flußwassers für Industrie und Landwirtschaft ist dann nicht möglich. In Jahren mit geringen Niederschlägen käme es zu einem unüberbrückbaren Wassermangel.

Im Haushaltsplan der Deutschen Demokratischen Republik werden alljährlich große Summen für die Aufbereitung der Abwässer und für die Beseitigung zusätzlicher Schäden durch verschmutztes Wasser an Bauwerken und Anlagen aufgewendet. Im Bezirk Halle, dem wichtigsten Industriebezirk der DDR, belaufen sich diese Kosten auf etwa 200 Mio Mark jährlich. Der VEB Chemisches Kombinat Werk Buna, Schkopau, reinigt die bei der Produktion entstehenden Abwässer beispielsweise mit sechs Pendelräumern und hält dadurch monatlich 20 000 t Schlamm zurück, die sonst die Saale verunreinigen würden. Darüber hinaus wurde zu Beginn des Jahres 1971 eine Neutralisationsanlage in Betrieb genommen, durch die stündlich 8 500 m^3 Fabrikationsabwasser neutralisiert werden.

Das Problem der Verschmutzung des Wassers besteht in allen hochentwickelten und dichtbesiedelten Ländern. Der Rhein wird bereits als die „größte Kloake Europas" bezeichnet. Allein bei Köln fließen täglich 15 000 Tonnen bis 20 000 Tonnen gelöste Industriesalze mit dem Strom flußabwärts.

Auch bei der Frage der Verunreinigung der Gewässer wirken gesellschaftliche Verhältnisse hemmend oder fördernd.

Im Interesse des maximalen Profits werden in kapitalistischen Ländern nur unumgänglich notwendige Maßnahmen zum Gewässerschutz ergriffen, um die Produktion aufrechtzuerhalten. Die Abwasserbehandlung wird überwiegend von kapitalistischen Betrieben durchgeführt, deren Ziel ebenfalls in der Gewinnung eines möglichst hohen Profits liegt. Die Reinigung erfolgt häufig nur zur Aufrechterhaltung der eigenen Produktion.

Seit Bestehen des Landeskulturgesetzes wurden in der DDR bereits beachtliche Ergebnisse auf dem Gebiet der Reinhaltung des Wassers erreicht. Dennoch sind noch große Anstrengungen notwendig, um trotz steigender Produktion die Verschmutzung der Gewässer nicht zu vergrößern und bereits entstandene Schäden zu beseitigen. Ein langfristig konzipiertes Programm verpflichtet alle Betriebe, eine über viele Jahrzehnte falsch betriebene Behandlung der Gewässer zu korrigieren, entstandene Schäden zu beseitigen und neuen Schäden vorzubeugen. Mitarbeiter der Wasserwirtschaft der DDR entnehmen den Gewässern und Abwässern regelmäßig Wasserproben und kontrollieren das Wasser auf den Grad der Verunreinigung. Viele ehrenamtliche Helfer nehmen an der Kontrolle der Reinhaltung der Gewässer aktiv teil.

Durch gesetzlich festgelegte ökonomische Regelungen werden die Betriebe zur Senkung des Wasserbedarfs und zur Abwasserreinigung angeregt.

58 59 60 61

Leben ist ohne Wasser nicht möglich. Eine hochentwickelte Industrie, eine intensive Landwirtschaft, ein intensiver Gartenbau und der ständig steigende Lebensstandard der Bevölkerung bedingen einen immer höheren Wasserbedarf.
Für die Nutzung als Trink- und Brauchwasser stehen nur die zum Abfluß gelangenden Wassermengen zur Verfügung. Durch Stauanlagen, Bau von Leitungssystemen von Gebieten des Wasserüberflusses in Gebiete mit Wassermangel, Reinigung der Abwässer, Mehrfachnutzung gebrauchten Wassers, Aufbereitung von verschmutzten Abwässern und Senkung des Wasserbedarfs in der Industrie durch geeignete Produktionsverfahren muß der steigende Bedarf an Wasser gedeckt werden.
Das Wassergesetz der DDR verpflichtet alle Betriebe, Kombinate, Städte und Gemeinden zur vorschriftsmäßigen Behandlung der Abwässer.

Nutzbarmachung und schadlose Beseitigung von Abprodukten

Durch die steigende Produktion in Industrie und Landwirtschaft und durch die ständige Verbesserung der Lebensbedingungen entstehen immer mehr Nebenprodukte, die als Abfall oder Abprodukte bezeichnet werden. Dazu gehört auch der in Siedlungen und Wohngebieten anfallende Müll, dessen Menge von Jahr zu Jahr anwächst.

Es gibt feste, flüssige, gasförmige und energetische Abprodukte. Sie wirken meist störend auf den Menschen und seine Umwelt. Ein Teil dieser Abprodukte ist gesundheitsschädigend, andere können den Menschen oder seine Umwelt belästigen oder störend wirken. Auch die Lösung des Problems der steigenden Mengen der Abprodukte ist von den gesellschaftlichen Verhältnissen abhängig. In den sozialistischen Ländern werden vielfältige Formen gesucht, um die anfallenden Abprodukte und durch sie erfolgende Schädigungen von Mensch und Umwelt einzudämmen und zu beseitigen. Im Landeskulturgesetz sind einige Möglichkeiten der Nutzbarmachung und schadlosen Beseitigung des Mülls ausgewiesen. In der Direktive für den Fünfjahrplan von 1971 bis 1975 wird mit allem Nachdruck darauf orientiert, die Methoden der Beseitigung und Nutzbarmachung der Abprodukte planmäßig weiterzuentwickeln.

Gesetzlich sind folgende Maßnahmen festgelegt:

1. Veränderung der Technologien der Produktionsprozesse, um die Entstehung von Abprodukten zu verringern. Die Veränderung der Technologien trifft besonders für die Produktion in der Industrie zu, wo ständig neue Substanzen als Abprodukte entstehen.
2. Wiederverwertung und Nutzbarmachung von Abprodukten aus den verschiedensten Bereichen der Volkswirtschaft. Einesteils kann es sich dabei um Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen handeln, andererseits um Erschließung von Abprodukten für andere wirtschaftliche Zwecke. Zum Beispiel können Filterasche als Zuschlagstoff für Betonbauteile oder eingedickte Sulfitabwässer für die Behandlung von Braunkohlen-Hochtemperatur-Koks verwendet werden. Hier werden durch weitere wissenschaftliche Erkenntnisse sicher noch viele Möglichkeiten erschlossen und wertvolle Rohstoffe gewonnen.
3. Falls absolut unverwertbare Abprodukte anfallen, müssen sie so weit behandelt werden, daß ihre schädliche Wirkung aufgehoben wird und eine planmäßige Ablagerung erfolgen kann. Durch willkürlich abgelagerte Abprodukte wird die Landschaft in hohem Grade verunstaltet oder gar geschädigt. Das trifft in besonderem Maße für Siedlungsabfälle zu. Dazu zählen insbesondere Müll aus den Haushaltungen, Klärschlamm und Fäkalien sowie Sperrmüll und Straßenkehricht. Nach Schätzungen fallen in der DDR jährlich etwa 10 Millionen m³ Haus-

haltmüll und 0,5 Millionen m³ Sperrmüll an. Allein in Berlin, der Hauptstadt der DDR, werden täglich 185 Müllfahrzeuge zum Abholen des Haushaltmülls und 45 Lastkraftwagen zum Abtransport des Industriemülls und des Gerümpels eingesetzt, mit 380 Eisenbahnwaggons wird der Hausmüll von Berlin zu den Ablagerungsorten transportiert. Trotz weitgehender Mechanisierung arbeiten etwa 800 Arbeitskräfte in Berlin an der Beseitigung des Mülls.

Für die Behandlung der Siedlungsabfälle wurde in Ergänzung zum Landeskulturgesetz eine besondere Durchführungsverordnung erlassen, in der die örtlichen Organe der Staatsmacht, aber auch alle Bürger auf ihre Pflichten hingewiesen werden. Jeder Bürger kann seinen Beitrag zum Umweltschutz ohne Investitionen von Geld leisten, indem er wiederverwertbare Altstoffe (z. B. Papier, Flaschen, Metalle, Verpackungen für KIM-Eier) sammelt und den Erfassungsstellen zuführt. Auf diese Weise bleiben der Industrie außerdem wertvolle Rohstoffe erhalten.

Einen Beitrag zum Umweltschutz sollte ein jeder Bürger durch verantwortungsvolles Verhalten beispielsweise auf den Straßen, Bahnhöfen, Parkanlagen und beim Camping leisten (z. B. kein achtloses Wegwerfen und Ablagern von Abfällen, Müll und Sperrgut).

Zur effektiven Verwertung der Abfälle gehört außer der bereits erwähnten Verwertung der Abfälle die Kompostierung oder die Zersetzung in Rottezellen. Der bei der Kompostierung entstandene Rohkompost wird zu einer Aufbereitungsanlage transportiert, wo Eisenteile magnetisch entfernt und durch eine Siebanlage Sperrstoffe wie größere Glasscherben, Grobtextilien und Plaste aussortiert werden. Durch Einsatz des Müllkompostes kann gleichzeitig ein Beitrag zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit in den sozialistischen Landwirtschafts- und Gartenbaubetrieben geleistet werden. Wo diese Möglichkeiten noch nicht vorhanden sind, muß Siedlungsmüll zur Verfüllung von Hohlformen (z. B. alte Braunkohlentagebaue, Senken im Terrain, alte Steinbrüche, Kiesgruben) mit anschließender Abdeckung und Bepflanzung benutzt werden. Eine noch untergeordnete Bedeutung hat die Müllverbrennung, die zunächst in der Hauptstadt der DDR Anwendung finden wird. Ein besonderes Problem stellen zur Zeit noch die Plastabfälle dar, da sich diese Stoffe nicht zersetzen und eine Verbrennung wegen der enthaltenen Chlorverbindungen auch nicht möglich ist.

Gerade bei dem Problem der Abprodukte ist die Koordinierung und Kooperation im Territorium von großer Bedeutung. Abprodukte der Industrie und der Landwirtschaft vermögen in Kombination mit Siedlungsabfällen oft wertvolle Mittel für die Bodenverbesserung abzugeben. Die Suche nach neuen Lösungen für dieses Problem ist eine Form der Mitverantwortung volkseigener und genossenschaftlicher Betriebe, der staatlichen Organe, der wissenschaftlichen Einrichtungen und aller Bürger für die sozialistische Landeskultur.

Das Problem der Beseitigung der Abprodukte ist in allen Ländern aktuell. Im Gegensatz zu den sozialistischen Ländern wird in kapitalistischen Ländern versucht, das Problem der Minderung und Beseitigung der Abprodukte auf Kosten der Bevölkerung zu lösen. Die Kosten werden zum Beispiel auf die Verbraucherpreise aufgeschlagen und die Preise für die Müllabfuhr und für das Wasser erhöht. Zum anderen wird die Einschränkung des Bedarfs und der persönlichen Ansprüche, also eine Senkung des Lebensstandards, propagiert.

► Mit der steigenden Produktion von Industrie- und Nahrungsgütern und der Vergrößerung der Siedlungen und Wohngebiete entstehen zunehmend mehr Abprodukte und fallen größere Mengen an Müll an. Die Verordnungen zum Landeskulturgesetz regeln Maßnahmen zur Verringerung von Abprodukten oder deren Beseitigung durch Veränderung der Technologien der Produktionsprozesse, Wiederverwertung und Nutzbarmachung von Abprodukten, Beseitigung der schädlichen Wirkung von unverwertbaren Abprodukten und ordnungsgemäße Ablagerung oder Verbrennung von Abprodukten und Müll.

Reinhaltung der Luft

Luft gehört ebenfalls zu den Naturreichtümern. Pflanzen, Tiere und Menschen benötigen zum Leben Luft; alle Organismen müssen atmen. Die Industrie verbraucht zur Verbrennung große Mengen Sauerstoff und zur Herstellung vieler Produkte Luft.

Gegenwärtig müssen bereits viele Millionen Menschen Luft einatmen, die durch feste, flüssige und gasförmige Stoffe verunreinigt ist. Tausende von Schornsteinen geben an die Atmosphäre Gase, Ruß und Stäube ab. Kalk- und Zementwerke verunreinigen die Luft durch viele Tonnen Staub, bei der Verbrennung des Kraftstoffs der zahlreichen Kraftfahrzeuge entstehen schädliche Auspuffgase. Die festen und flüssigen Verunreinigungen der Luft lagern sich auf Straßen und Gebäuden, auf Pflanzen, Tieren und dem Menschen ab.

Besonders in Ballungsräumen von Wohnsiedlungen und der Industrie vermögen Verunreinigungen der Luft das Klima zu verändern. Die Sonnenscheindauer und die Intensität der Sonneneinstrahlung, besonders im ultravioletten Bereich, wird verringert, die Anzahl der Nebeltage erhöht sich. In Paris zum Beispiel nahm in den letzten 40 Jahren als Folge der Luftverunreinigung die Sonnenscheindauer um 25 Tage ab, die Anzahl der Nebeltage im Jahr stieg von 90 Tage auf 150 Tage. Die am stärksten an der Luftverschmutzung beteiligten Substanzen sind Staub und Schwefeldioxid. Alljährlich werden auch in der DDR erhebliche Mengen an Staub und Schwefeldioxid von Industrieschornsteinen und Schornsteinen der Siedlungen abgegeben. Durch sie wird vorwiegend die Luft in den Ballungsräumen der DDR verunreinigt.

Neben erheblichen Schäden an Pflanzen und Tieren, an Anlagen und Gebäuden ist besonders die Belästigung und Schädigung des Menschen eine nicht zu unterschätzende Gefahr. Noch sind nicht in jedem Falle schlüssige Beweise für den Zusammenhang zwischen Luftverunreinigung und Erkrankungsrate der Menschen vorhanden, jedoch einige besondere Katastrophenfälle lassen diese Zusammenhänge deutlich werden. Besonders katastrophal ist die Situation beispielsweise in den großen Industriestädten Japans, wie Tokio, Yokohama und Kawasaki. Im Stadtgebiet von Groß-Tokio verpesten Millionen Autos die Luft mit bleihaltigen Abgasen. Die Verkehrspolizisten in der Innenstadt müssen regelmäßig sogenannte Sauerstoffduschen nehmen, um ihren Dienst ordnungsgemäß ausführen zu können. Außerdem gibt es „Frischluft-Automaten" für die Passanten, von denen gegen eine Gebühr reine Luft aus den Automaten eingeatmet werden kann. Bei sommerlichen Temperaturen und geringer Windstärke werden die Bestandteile der in der Luft vorhandenen Industrieabgase durch die ultravioletten Sonnenstrahlen in gesundheitsschädigende Verbindungen, den gefürchteten „fotochemischen Smog", umgewandelt. Unter diesen Bedingungen müssen mehr als 600 Einwohner Tokios, darunter besonders viele Kinder, täglich mit Vergiftungserscheinungen die Krankenhäuser aufsuchen, der Sportunterricht im Freien mußte an den Schulen abgebrochen werden und die Blätter an den Bäumen verdorrten. Seit 1970 tritt in Tokio der „weiße Smog" auf, durch den bis Ende 1971 28 000 Einwohner Kehlkopf- und Augenschäden erlitten; unter den Erkrankten sind 87 % Kinder. Statistisch erfaßt wurde, daß 1970 über dem Stadtbezirk Tagima von Tokio jeden Monat 25,52 t je km² Ruß und Staub aus den Fabrikschornsteinen herabfallen. Aufgrund der Empörung unter der Bevölkerung bildete die Regierung Japans ein Amt für Umweltschutz, und das Parlament verabschiedete 14 Gesetze zu diesem Problem. Aufgrund intensiver Einflußnahme durch die Konzerne und andere besitzende Kreise auf die Regierung wurden viele Gesetze in der endgültigen Fassung zugunsten der Industrie geändert, und die Festlegung, die neue ernsthafte Verschmutzung der Umwelt als Straftatbestand vorsah, wurde völlig gestrichen.

In New York ist der Aufenthalt im Stadtzentrum bei bestimmten Wetterlagen nur mit Atemmaske möglich.

Abb. 193/1 Aufgelockerte Bauweise
mit Grünanlagen im Neubaukomplex im Stadtteil Lütten Klein von Rostock

Die genannten Schäden ließen sich vermeiden, wenn nicht auf Kosten der Werktätigen rücksichtslos und nur auf hohen Profit bedacht produziert würde und dabei der Schutz der Umwelt vor industriellen Abgasen und giftigen Abwässern unbeachtet bliebe.

In den sozialistischen Ländern sind seit langem Grenzwerte für die maximale Verunreinigung der Luft gesetzlich festgelegt. Die Luft darf beispielsweise im Durchschnitt innerhalb von 30 Tagen nicht mehr als 0,15 g/m³ Staub und innerhalb von 24 Stunden durchschnittlich nur 0,15 mg/m³ Schwefeldioxid enthalten. Entscheidend ist jedoch, daß aus der Verpflichtung zur Verwirklichung der Bestimmungen des Landeskulturgesetzes in der DDR alle Anstrengungen unternommen werden, um eine schrittweise Verbesserung zu erzielen. In vielen Städten wurden Meßnetze zur Kontrolle der Luftverunreinigung eingerichtet. In gemeinsamer Abstimmung zwischen örtlichen Organen und Großbetrieben werden geeignete Maßnahmen zur Minderung der Verunreinigung der Luft vorbereitet und durchgeführt. In vielen Großbetrieben sind „Abgas-Beauftragte" oder entsprechende Arbeitsgruppen tätig.

Anlagen, die bisher die Luft verunreinigten, werden schrittweise umgebaut. Feste Verunreinigungen können durch den Einbau geeigneter Filter- und Reinigungsanlagen und deren ständige Benutzung bei regelmäßigem Betrieb weitgehend vermieden werden. Durch den Bau von hohen Schornsteinen können die Abgase wie Schwefeldioxid in höhere Luftschichten geleitet und so besser verteilt werden. Die Schornsteine moderner Heizkraftwerke werden beispielsweise 150 m bis 300 m hoch und mit Filteranlagen gebaut (Abb. 195/1).

Eine Minderung der Luftverunreinigung, auch durch Abgase der Autos, ist durch die

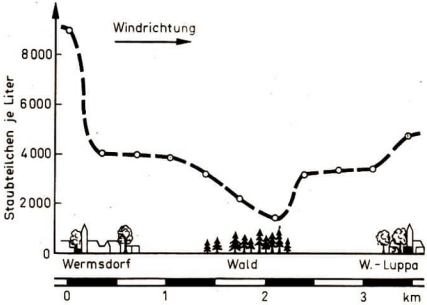
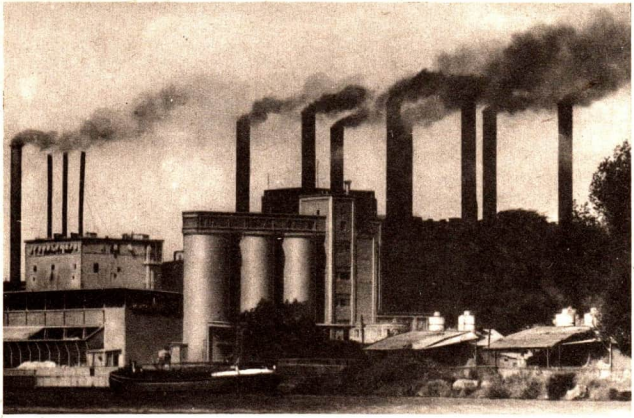


Abb. 194/1 Verringerung des Staubgehaltes der Luft durch den Wald

aufgelockerte Baugestaltung und durch Anlage von Grünflächen mit Gehölzen in Stadtzentren und Ballungszentren möglich (Abb. 193/1). Wälder und Gehölze vermögen verunreinigende Stoffe auszufiltern (Abb. 194/1), Freiflächen bieten gute Abzugsmöglichkeiten für Abgase. Durch Anlage von Straßen, die nur von Fußgängern benutzt werden dürfen und für Kraftfahrzeuge gesperrt sind (z. B. Prager Straße in Dresden, Kröpeliner Straße in Rostock; Abb. 194/2), wird einer Luftverunreinigung durch Kraftfahrzeuge vorgebeugt, und die

Abb. 194/2
Fußgängerstraße (Prager Straße in Dresden)



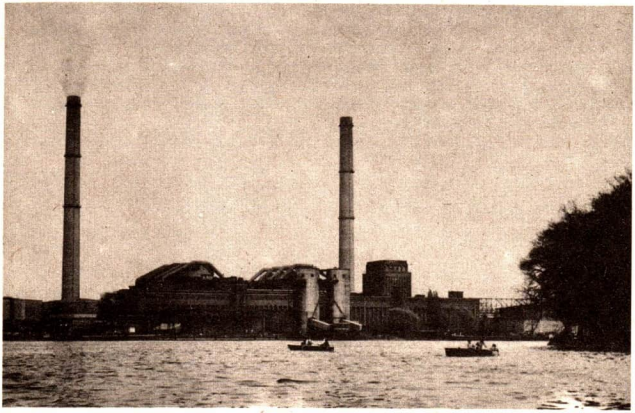


Abb. 195/1 Luftverschmutzung Kraftwerk Klingenberg (oben vor dem Bau neuer Schornsteine, unten nach dem Bau neuer hoher Schornsteine mit Filteranlagen)

maximalen Immission-Konzentrations-Werte werden eingehalten. Weitere Möglichkeiten der Minderung der Luftverunreinigung durch Staub und Abgase von Kraftfahrzeugen sind beispielsweise der Bau von Ring- und Umgehungsstraßen, das Abstellen der Fahrzeuge auf Parkplätzen am Stadtrand, Benutzung der öffentlichen Nahverkehrsmittel und Abstellen der Motore der Kraftfahrzeuge bei längerem Stehen.

Bei der Neuanlage von Industrie- und Wohngebieten werden besonders die Probleme der Luftreinhaltung berücksichtigt. Wetterlagen, Hauptwindrichtungen und ähnliches werden dabei beachtet. Durch die Schaffung von Naherholungszentren und Erholungszentren in Landschaftsschutzgebieten erhalten vor allem die in den Städten lebenden Menschen die Möglichkeiten, sich in sauberer Luft zu erholen.

In der DDR werden die Bemühungen verstärkt, durch Abgase auftretende Luftverunreinigungen schrittweise zu beseitigen. 1973 wurden spezielle Festlegungen dazu getroffen, die das Landeskulturgesetz ergänzen. Dabei geht die Gesundheit der Menschen einem hohen Gewinn vor. Der VEB Elektrokohle in Berlin beispielsweise gibt bis 1975 fast ein Siebentel der Investitionen des Betriebes für Anlagen zur Einschränkung der Luftverschmutzung aus. Die erste Rauchgas-Entleerungsanlage ist fertig, weitere folgen. Im Chemiebezirk Halle, dem an Luftverunreinigungen zur Zeit am meisten belasteten Bezirk der DDR, wurde im Kombinat VEB Chemische Werke Buna, Schkopau, eine Zyklonentstaubungsanlage gebaut. Die alten Karbidöfen werden schrittweise durch voll gedeckte Öfen ersetzt. Dadurch kann die entstehende Staubmenge um 9/10 reduziert werden. Zu diesem Programm der Luftverbesserung gehört auch der Bau eines 150 m hohen Schornsteins mit Filteranlage.

62 63 64

► Durch schrittweise Verwirklichung der Bestimmungen des Landeskulturgesetzes der DDR soll auch eine Verbesserung in der Luftreinhaltung erreicht werden. Das Landeskulturgesetz legt hierzu gesetzlich eine Reihe von Maßnahmen fest (z. B. Reinigung der Abgase, Kontrolle der Abgase, des Rußes und der Stäube durch die Organe der Hygieneinspektion, Zusammenarbeit von Betrieben, staatlichen Organen und gesellschaftlichen Organisationen im Territorium, Rückgewinnung verwertbarer Inhaltsstoffe aus Staub und Abgasen).

Gestaltung und Pflege der Landschaft und Schutz der heimatlichen Natur

Dieser Abschnitt des Landeskulturgesetzes befaßt sich mit einer Reihe von Problemen, die einerseits dem speziellen Naturschutz zugeordnet werden und andererseits zur Landschaftspflege gehören. Es ist gesetzlich festgelegt, auf welche Weise eine sinnvolle und rationelle Nutzung der Naturreichtümer – Boden, Wasser, Luft, Pflanzendecke und Tierwelt – in Verbindung mit der Erhaltung und Pflege der Landschaft in der DDR zu erfolgen hat, wie Landschaft und Mensch vor Abprodukten und Lärm zu schützen sind. Letztlich dienen die Ziele der sozialistischen Landeskultur vor allem der Gestaltung der Kulturlandschaft als einer der sozialistischen Gesellschaft würdigen Umwelt. Für die langfristige Auswirkung aller Maßnahmen ist es notwendig, die verschiedensten Aspekte zu koordinieren und in enger Gemeinschaftsarbeit alle wissenschaftlichen Disziplinen einzubeziehen.

Im Landeskulturgesetz sind Grundsätze für die Gestaltung und Pflege der Landschaft festgelegt:

- alle Maßnahmen, die die Landschaft verändern oder beeinflussen, sind so durchzuführen, daß den Voraussetzungen entsprechend der Landschaftshaushalt nicht gestört wird.
- die Gestaltung und Pflege der Landschaft, einschließlich der Entwicklung der natürlichen Umweltbedingungen in den Städten und Gemeinden, sind langfristig und komplex zu planen,
- Staats- und Wirtschaftsorgane sowie Betriebe sind verpflichtet, bei die Landschaft verändernden Maßnahmen darauf zu achten, daß eine rationelle landschaftsgemäße Flächennutzung gewährleistet wird und der Erholungswert und die Schönheit der Landschaft weitgehend erhalten und nach Möglichkeit gesteigert werden.

Alle landschaftsverändernden Maßnahmen sind so zu lenken, daß eine den gesellschaftlichen Bedürfnissen entsprechende Mehrfachnutzung der Landschaft erreicht wird. Ein Landschaftsschutzgebiet ist möglichst so zu nutzen, daß es beispielsweise der Erzeugung von landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Produkten und gleichzeitig als Erholungsgebiet dienen kann. Auch Industriegebiete sollen zugleich eine land- oder forstwirtschaftliche Nutzung ermöglichen. Naturschutzgebiete dienen in der DDR beispielsweise der Erhaltung der Natur mit ihren Organismen, der Erholung und wissenschaftlichen Untersuchungen.

Durch wirtschaftlich-technische Eingriffe gestörte Landschaften sind so wiederherzustellen, daß ihre gesellschaftliche Nutzung gewährleistet ist und diese Landschaften ihre landeskulturellen Funktionen wieder erfüllen können.

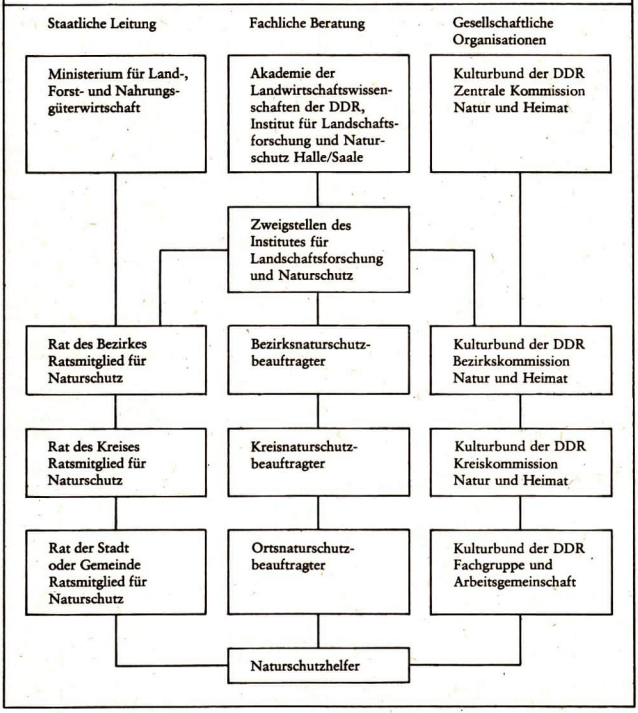
Gestaltung und Pflege der Landschaft dienen der Erhaltung und Verbesserung der gesundheits- und erholungsfördernden, der naturwissenschaftlichen und kulturhistorischen sowie der ästhetischen Werte der sozialistischen Heimat. Landschaften, Landschaftsteile oder einzelne Objekte werden deshalb besonders als Naturschutzgebiete, als Naturdenkmale oder Bodendenkmale geschützt. Gesetzliche Festlegungen zum speziellen Naturschutz erweitern das Landeskulturgesetz. So wurde zum § 13 „Geschützte Landschaften, Landschaftsteile und Objekte" die 1. Durchführungsverordnung zum Landeskulturgesetz – Schutz und Pflege der Pflanzen- und Tierwelt und der landschaftlichen Schönheiten (Naturschutzverordnung) vom 14. 5. 1970 – vom Ministerrat der DDR erlassen. Sie bestimmt die Organisation und die Arbeitsweise des Naturschutzes in der DDR und gibt Auskunft über die einzelnen Schutzobjekte, ihre Bedeutung und ihre Behandlung.

Alle Maßnahmen zur Gestaltung und Pflege der Landschaft sollen bei rationeller und möglichst mehrfacher Nutzung der Natur der Erhaltung und der Verbesserung des Landschaftshaushaltes und der Naturreichtümer Wasser, Luft, Boden, Pflanzendecke und Tierwelt für den Menschen dienen.

Organisation des Naturschutzes in der DDR

Im Naturschutz wurden nach den guten Erfahrungen der Arbeit mit dem Naturschutzgesetz von 1954 die bisherigen Organisationsformen beibehalten. In enger Zusammenarbeit auf zentraler, bezirklicher und auf Kreis- und Gemeindeebene arbeiten jeweils staatliche Leitung, fachliche Beratung und der Kulturbund als gesellschaftliche Organisation in Fragen des Naturschutzes eng zusammen (↑Tab. S. 198).

Schema der Organisation des Naturschutzes in der DDR



1. Die staatliche Leitung erfolgt durch das Ministerium für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft der DDR. Bei den Räten der Bezirke und der Kreise sind jeweils Ratsmitglieder zur Wahrnehmung der Naturschutzaufgaben zu bestimmen. Gleiches gilt für die Städte und Gemeinden. Verantwortlich sind jeweils die örtlichen Räte auf der Grundlage der Beschlüsse ihrer Volksvertretungen.
2. Die wissenschaftliche Beratung wird von Mitarbeitern der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Institut für Landschaftsforschung und Naturschutz Halle, durchgeführt. Die örtlichen Räte berufen ehrenamtliche Bezirks-, Kreis- und Ortsnaturschutzbeauftragte, die gemeinsam mit Naturschutzhelfern die Staatsorgane fachlich beraten und unterstützen.
3. Die Sektion Natur- und Heimatfreunde des Kulturbundes sorgt als gesellschaftliche Organisation für die Breitenarbeit auf dem Gebiet des Naturschutzes. Allein 52 000 Mitglieder wirken in der DDR in dieser Organisation. Die Zuständigen aller staatlichen Leitungen, die fachlichen Berater und der Verantwortliche des Kulturbundes arbeiten auf das engste zusammen. Die Erfahrungen haben gezeigt, daß bei der Vielfalt und dem Umfang der Problematik nur eine konstruktive Zusammenarbeit zu Erfolgen führt.

Die DDR verfügt über eine Zentrale Lehrstätte für Naturschutz in Müritzhof bei Waren (Müritz). Sie ist dem Institut für Landschaftsforschung und Naturschutz angegliedert und dient vorwiegend der Ausbildung und Qualifizierung der ehrenamtlichen Naturschutzmitarbeiter. Auch Gäste aus anderen Ländern, besonders aus unseren sozialistischen Nachbarstaaten, besuchten die Lehrstätte, um hier Anregungen für den Aufbau und die Arbeit ähnlicher Einrichtungen in ihren Ländern zu empfangen.

An Naturschutzobjekten werden nach der Naturschutzverordnung unterschieden:

Naturschutzgebiete (NSG). Naturschutzgebiete sind Landschaften oder Landschaftsteile, die sich durch eine wissenschaftlich oder kulturell wertvolle natürliche Ausstattung auszeichnen oder seltene sowie vom Aussterben bedrohte Pflanzen- und Tierarten aufweisen.

In der DDR wurden bis zum Jahre 1972 655 Naturschutzgebiete mit einer Gesamtfläche von 81 425 ha ausgewiesen, das entspricht etwa 0,7% des Territoriums der DDR.

Die Naturschutzgebiete sind nicht wie in vergangenen Jahrzehnten willkürlich ausgewählt oder von privaten Besitzverhältnissen in ihrer Auswahl eingeschränkt. In der DDR wurden sie nach wissenschaftlichen Prinzipien festgelegt. Diese Auswahl gewährleistet, daß alle charakteristischen Geländeformen, Gewässertypen, Bodenformen, alle kennzeichnenden Pflanzen- und Tiergemeinschaften in den Naturschutzgebieten erfaßt sind. Bei der Auswahl wurde unter anderem darauf geachtet, daß waldbestandene, geologische, botanische, zoologische, hydrologische Gebiete und Gebiete, die alle Typen in einem Komplex aufweisen, als Reservate unter Schutz stehen.

Die Naturschutzgebiete haben folgende Aufgaben:

- Dokumentation repräsentativer Biogeozönosen (Ökosysteme) oder Oberflächenformen heimischer Landschaften für Forschung und Lehre,
- Erhaltung von Zufluchtsorten heimischer Tier- und Pflanzenarten,
- Eignung als „Freilandlaboratorium" für ökologische Forschung,
- Testflächen für Veränderungen in der Biosphäre.

Die überwiegende Mehrzahl (75%) der unter Schutz gestellten Gebiete in der DDR ist kleiner als 100 ha. Die große Anzahl kleiner Naturschutzgebiete ergibt sich aus der intensiven Nutzung der gesamten Landschaft und ihrer dichten Besiedlung. Nur noch kleinste Ausschnitte der Landschaft sind vom Menschen weniger stark beeinflußt.

Da die gesamte Landschaft, also auch die der Naturschutzgebiete, von der menschlichen Wirtschaft geformt ist, hieße ein völliges Einstellen der Einflußnahme eine Veränderung der

Reservate und ihrer Biozönosen in einer der wissenschaftlichen Aufgabenstellung dieser Gebiete nicht entsprechenden Weise. Aus diesem Grunde wurden für alle diese Gebiete Pflegemaßnahmen erarbeitet, die notwendige Eingriffe des Menschen festlegen, um einen bestimmten Zustand zu erhalten. Naturschutzgebiete stellen keine musealen Einrichtungen dar, die unbedingt einen einmal vorhandenen Zustand dokumentieren und sich selbst überlassen bleiben sollen, sondern es ist wichtig, daß der Mensch regulierend in das Geschehen eines Naturschutzgebietes eingreift, um es in einer seiner Aufgabenstellung entsprechenden Richtung zu entwickeln. Nur so ist es möglich, das Reaktionsvermögen der Ökosysteme auf menschliche Einflüsse richtig zu beurteilen und daraus Erkenntnisse für die Steuerung der wirtschaftlich genutzten Ökosysteme abzuleiten. So sind zum Beispiel die Bergwiesen als Mähwiesen mit extensiver Weidewirtschaft und mit mangelhafter oder fehlender Pflege und Düngung entstanden. Diese Wiesen werden künftig entweder intensiv beweidet und gepflegt oder aufgeforstet.

Sollen einzelne Teile der Bergwiesen in ihrem Zustand für wissenschaftliche Zwecke (z. B. Standortmosaik, Weiserpflanzen) erhalten bleiben, werden die Flächen zwar gemäht, jedoch ist von Fachwissenschaftlern der Termin der Mahd genau festzulegen. Trockenrasengebiete, Waldteile oder verlandende Gewässer werden ihren spezifischen Bedingungen entsprechend ebenfalls gepflegt und ihre Biozönosen reguliert.

Landschaftsschutzgebiete (LSG). Landschaftsschutzgebiete sind Landschaften oder Landschaftsteile, die wegen ihrer Schönheit für die Erholung der Bevölkerung besonders geeignet, wegen ihrer Eigenart erhaltungswürdig oder die Beispiele vorbildlicher Landschaftspflege sind. Im Jahre 1971 bestanden in der DDR 405 Landschaftsschutzgebiete mit einer Gesamtfläche von 18 695 km² (= 17,6 % des Territoriums der DDR). Sie können auch als „Freilandsanatorien" bezeichnet werden. Ihre Nutzung muß allerdings auf die Belange des Erholungswesens Rücksicht nehmen und so ausgerichtet werden, daß der Erholungswert derartiger Gebiete nicht geschmälert wird. Die Landschaftsschutzgebiete sollten Beispiele für eine nach landschaftspflegerischen Gesichtspunkten gestaltete und genutzte Kulturlandschaft sein.

Bevorzugte Erholungsgebiete (z. B. Mittelgebirge, Ostseeküste) sind durch die stark angestiegene Anzahl der Erholungsuchenden (z. B. stärkere Belastung, Zivilisationsschäden – aber auch gestiegener Lebensstandard, erhöhte Reisefreudigkeit) überlastet. Als Entlastungsgebiete für die stark überlaufenen Erholungsgebiete an der Küste und im Mittelgebirge wurden weite Teile der mecklenburgischen Seenlandschaft, der Flußauen, der Hügelländer und Mittelgebirgsvorländer zu Landschaftsschutzgebieten erklärt.

Ein Teil dieser Gebiete ist bereits für den Erholungsverkehr erschlossen, weitere werden in den nächsten Jahren folgen. Für die Erschließung, Pflege und Entwicklung der Landschaft für die Erholung wurde zum Landeskulturgesetz im Jahre 1970 die 2. Durchführungsverordnung erlassen. Hier sind die speziellen Aufgaben für die Einrichtung von Erholungsgebieten, auch über die geschützten Gebiete hinaus, dargelegt.

Geschützte Parke. Hierzu gehören die dazu von den Räten der Städte oder Gemeinden durch Beschluß erklärten städtischen oder ländlichen Parkanlagen, die der Erholung der Bevölkerung und auch landeskulturellen Maßnahmen dienen.

Naturdenkmale (ND). Naturdenkmale sind für die Landeskultur wertvolle sowie heimatkundlich und wissenschaftlich bedeutsame Objekte und Gebilde in der Natur. Dazu zählen markante Einzelbäume oder Baumgruppen, Höhlen, Felsbildungen, Findlinge, geologische Aufschlüsse und Kleinstbiotope bis 3 ha Größe als Lebensräume wertvoller oder seltener Pflanzen- und Tierarten.

Geschützte Hecken und Baumreihen. Außerhalb des Waldes gelegene Gehölze, Hecken und Baumreihen können im Interesse der Landeskultur, des Boden- und Klimaschutzes, zur Holzproduktion und Niederwildgehege oder aus ästhetischen Gründen geschützt werden. Besonders in den waldarmen Agrargebieten der DDR müssen solche Restgehölze oftmals die landeskulturellen Funktionen des Waldes übernehmen. Sie stellen wesentliche Elemente zur Bereicherung der Landschaft dar.

Geschützte Pflanzen und Tiere. Wildwachsende Pflanzen sowie wildlebende Tiere können unter Schutz gestellt werden, wenn sie in ihrem Fortbestehen bedroht, volkswirtschaftlich bedeutsam oder für die wissenschaftliche Forschung und die Bildung von besonderem Wert sind. Die geschützten Pflanzen- und Tierarten sind in der „Anordnung zum Schutze von wildlebenden Pflanzen und nichtjagdbaren wildlebenden Tieren vom 6. Juli 1970" aufgeführt. Als besonders gefährdet sind die vom Aussterben bedrohten Tierarten genannt. Dazu gehören: Seehund, Ringel- und Kegelrobbe, Elbebiber und Wildkatze, von den Vögeln alle Adlerarten, Korn- und Wiesenweihe, Wanderfalke, Schwarzstorch, Uhu, Sperlingskauz, Blauracke, Großtrappe und Kranich. Ein Arbeitskreis zum Schutze der vom Aussterben bedrohten Tiere bemüht sich in enger Zusammenarbeit mit den staatlichen Organen um den Schutz dieser Tierarten. Bei den geschützten Pflanzen wird ihre gegenwärtige Verbreitung erfaßt und die Erforschung ihrer Biologie durchgeführt, um aus diesen wissenschaftlichen Erkenntnissen geeignete und wirksame Schutzmaßnahmen ableiten zu können.

Für die Familie der Orchideen erfüllt der Arbeitskreis zur Beobachtung und zum Schutz heimischer Orchideen diese Aufgaben. Wegen der besonderen Bedeutung der Fledermäuse für

Abb. 201/1 Frühlings-Knotenblume ▼

Abb. 201/2 Frühlings-Adonisröschen ▼

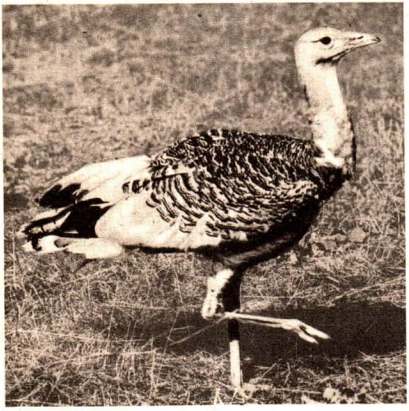


Abb. 202/1 Großtrappe

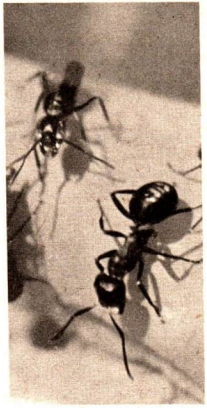


Abb. 202/2 Rote Waldameise

die Vertilgung von Schadinsekten befaßt sich der Arbeitskreis für Fledermausschutz und -forschung mit dieser geschützten Tiergruppe.

Der Naturschutz gehört als ein wesentlicher Bestandteil zur sozialistischen Landeskultur. Das Gesetz zur Regelung des Jagdwesens (1953), das Fischereigesetz (1959) und eine Vielzahl von Verordnungen ergänzen die Maßnahmen zum Schutz der Natur. Die gesetzlichen Bestimmungen über den Küstenschutz und die Kur- und Erholungsorte dienen ebenfalls der Gestaltung und Pflege der Landschaft in der DDR. Sie umfaßt eine Vielzahl von Vorhaben, deren Durchführung die komplexe Planung und auch einen großen Zeitraum erfordern. Das bewußte Einhalten der im Landeskulturgesetz festgelegten gesellschaftlichen Normen durch jeden Bürger unseres Staates trägt zur zielstrebigen Verwirklichung der sozialistischen Landeskultur ausschlaggebend bei.

Geschützte, nichtjagdbare wildlebende Tiere

Es ist nicht gestattet,

- geschützte, nichtjagdbare wildlebende Tiere zu beunruhigen, ihnen nachzustellen, sie zu fangen, zu töten oder in Gewahrsam zu nehmen
- Eier, Larven und Puppen dieser Tiere zu beschädigen, zu zerstören oder wegzunehmen
- Brut- und Wohnstätten dieser Tiere zu beschädigen, zu zerstören oder wegzunehmen sowie deren Lebensräume so zu verändern, daß der Fortbestand dieser Tierarten gefährdet wird
- diese Tiere lebend oder tot in den Handel zu bringen oder zu verarbeiten
- Störungen an Brut- und Wohnstätten der vom Aussterben bedrohten Tierarten, insbesondere durch Fotografieren und Filmen, zu verursachen.

Weichtiere *(Mollusca)*. Weinbergschnecke *(Helix pomatia)* in der Zeit vom 1. März bis 31. Juli eines jeden Jahres, Flußperlmuschel *(Margaritifera margaritifera)*
Kerbtiere *(Insecta)*. Rote Waldameise *(Formica rufa)*, Hirschkäfer *(Lucanus cervus)*, Segelfalter *(Iphiclides podalirius)*, Schwarzer Apollofalter *(Parnassius mnemosyne)*, alle einheimischen Tagfalter *(Rhopalocera)* mit Ausnahme der weißflügligen Weißlingsarten Baumweißling *(Aporia crataegi)*, Kohlweißling *(Pieris brassicae)*, Rübenweißling *(P. rapae)* und Rapsweißling *(P. napi)*; alle einheimischen Schwärmer *(Sphingidae)*, Ordensbänder *(Catocala)* und Bärenspinner *(Arctiidae)*, alle Rosen- und Goldkäfer der Gattungen *Cetonia, Liocola, Potosia*, Mulmbock *(Ergates faber)*, Spießbock *(Cerambyx cerdo)*
Lurche *(Amphibia)*. Laubfrosch *(Hyla arborea)*, Kröten und Unken (alle Arten der Gattungen *Bufo, Pelobates, Alytes* und *Bombina*), Feuersalamander *(Salamandra salamandra)*, Molche (alle Arten der Gattung *Triturus*)
Kriechtiere *(Reptilia)*. Sumpfschildkröte *(Emys orbicularis)*, alle Arten Eidechsen *(Lacertidae)*, Blindschleiche *(Anguis fragilis)*, alle Arten Schlangen *(Colubridae, Viperidae)*
Vögel *(Aves)*. Adler (alle Arten der Gattungen *Haliaeetus, Pandion, Aquila* und *Circaetus*), Wanderfalk *(Falco peregrinus)*, Kornweihe *(Circus cyaneus)*, Wiesenweihe *(C. pygargus)*, Schwarzstorch *(Ciconia nigra)*, Uhu *(Bubo bubo)*, Sperlingskauz *(Glaucidium passerinum)*, Blauracke *(Coracias garrulus)*, Großtrappe *Otis tarda)*, Kranich *(Grus grus)* sowie alle anderen nichtjagdbaren wildlebenden Vögel mit Ausnahme von Saatkrähe *(Corvus frugilegus)*, die jedoch in Brutkolonien geschützt ist; Nebelkrähe *(C. corone cornix)*, Rabenkrähe *(C. corone corone)*, Eichelhäher *(Garrulus glandarius)*, Elster *(Pica pica)*, Haussperling *(Passer domesticus)* und Feldsperling *(P. montanus)*
Säugetiere *(Mammalia)*. Biber *(Castor fiber)*, Wildkatze *(Felis silvestris)*, Seehund *(Phoca vitulina)*, Ringelrobbe *(P. hispida)*, Kegelrobbe *(Halichoerus grypus)*, Mauswiesel *(Mustela nivalis)*, Igel *(Erinaceus europaeus)*, Gartenschläfer *(Eliomys quercinus)*, Siebenschläfer *(Glis glis)*, alle Arten Fledermäuse *(Chiroptera)*, Haselmaus *(Muscardinus avellanarius)*, Ziesel *(Citellus citellus)*, Gemse *(Rupicapra rupicapra)*

Geschützte Pflanzen

Es ist nicht gestattet, wildwachsende geschützte Pflanzen auszugraben oder auszureißen oder Teile davon abzutrennen sowie Standorte geschützter Pflanzen so zu verändern, daß deren Fortbestand gefährdet wird.

Bärlappe *(Lycopodiaceae)*, Straußfarn *(Matteuccia struthiopteris)*, Königs-Rispenfarn *(Osmunda regalis)*, Hirschzunge *(Asplenium scolopendrium)*, Kuhschelle *(Pulsatilla)*, Wald-Windröschen *(Anemone sylvestris)*, Frühlings-Adonisröschen *(Adonis vernalis)*, Seidelbast *(Daphne mezereum)*, Märzbecher *(Leucojum vernum)*, Schlüsselblumen *(Primula)*, Leberblümchen *(Hepatica nobilis)*, Maiglöckchen *(Convallaria majalis)*, Türkenbund *(Lilium martagon)*, Diptam *(Dictamnus albus)*, Gelber Fingerhut *(Digitalis grandiflora)*, Wald-Geißbart *(Aruncus vulgaris)*, Eisenhut *(Aconitum)*, Europäische Trollblume *(Trollius europaeus)*, Akelei *(Aquilegia)*, Sibirische Schwertlilie *(Iris sibirica)*, Große Eberwurz *(Carlina acaulis)*, Berg-Wohlverleih *(Arnica montana)*, Enzian *(Gentiana)*, Weißer Meerkohl *(Crambe maritima)*, Stranddistel *(Eryngium maritimum)*, Sumpf-Porst *(Ledum palustre)*, Birngrün *(Orthilia secunda)*, Wintergrün *(Pyrola)*, Beeren-Eibe *(Taxus baccata)*, Gemeiner Wacholder *(Juniperus communis)*, Stechpalme *(Ilex aquifolium)*, Sonnentau *(Drosera)*, Echtes Fettkraut *(Pinguicula vulgaris)*, Orchideen *(Orchidaceae)*, alle Blüten und Knospen tragenden Zweige der wildwachsenden Weiden *(Salix)*.

Zur Durchführung der Bestimmungen des Landeskulturgesetzes arbeiten staatliche Leitungen, wissenschaftliche Berater und der Kulturbund als gesellschaftliche Institution auf zentraler Ebene, in den Bezirken und den Kreisen eng zusammen. Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, geschützte Parks, Naturdenkmale, geschützte Hecken und Baumreihen und geschützte Pflanzen und Tiere stehen nach dem Landeskulturgesetz und seinen Durchführungsbestimmungen unter besonderem Schutz.
Kur- und Erholungsorte und die Küsten sind ebenfalls unter gesetzlichen Schutz gestellt.

65 66 67 68 69

Landeskultur und Naturschutz in anderen sozialistischen Ländern

In der Sowjetunion wird seit 1917 den Problemen des Naturschutzes große Aufmerksamkeit geschenkt. LENIN wies wiederholt auf die Notwendigkeit des Schutzes der Natur und ihrer Reichtümer hin (↑S. 175).

Die vielfältigsten Probleme des Schutzes der Natur können in der Sowjetunion, die ein Sechstel der Erde umfaßt, nicht in einem einheitlichen Naturschutzgesetz erfaßt werden. Die einzelnen Unionsrepubliken haben deshalb ihre eigenen, speziellen, weitgehend aufeinander abgestimmten Gesetze.

Seit 1960 besteht in der RSFSR ein Gesetz über den Schutz der Natur, das auch Vorbild für unser Landeskulturgesetz ist. Das Naturschutzgesetz der RSFSR zeichnet sich durch seinen komplexen Charakter aus. Es umfaßt alle in den Kreislauf der Wirtschaft einbezogenen sowie alle nicht genutzten Naturreichtümer (z. B. Boden, Bodenschätze, Gewässer, Wälder). Auch dem Schutz der natürlichen Vegetation und der Grünanlagen, typischer Landschaften und bemerkenswerter Naturobjekte und der Erhaltung von Kurortgelände und natürlichen Grüngürteln, der Fauna und der Reinhaltung der atmosphärischen Luft wird besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Staatliche Leitungsorgane arbeiten mit wissenschaftlichen Institutionen und vor allem mit der „Allrussischen Gesellschaft für den Schutz der Natur" zusammen, der über 19 Millionen Mitglieder angehören.

Ähnlich wie in der RSFSR ist der Naturschutz auch in den anderen Sowjetrepubliken organisiert. Überall gibt es „Gesellschaften für Naturschutz", die für Aufklärung und Propaganda und für die Breitenarbeit verantwortlich sind.

In der Sowjetunion bestehen gegenwärtig 75 Naturschutzgebiete, die eine Gesamtfläche von 6,5 Millionen Hektar umfassen. Diese Schutzgebiete sind von jeglicher wirtschaftlicher Nutzung ausgenommen und dienen wissenschaftlichen Aufgaben. In nahezu allen Gebieten bestehen Verwaltungen und wissenschaftliche Institute, die an der Erforschung der Ökosysteme arbeiten oder sich den Aufgaben der Aufzucht und der Akklimatisierung von Pflanzen- und Tierarten in den verschiedenen geographischen Zonen der UdSSR widmen.

Die Sowjetunion, die stärkste Industriemacht des sozialistischen Weltsystems, ist sich ihrer hohen Verantwortung für den Schutz der Umwelt bewußt. Aus dieser Verantwortung heraus

haben das ZK der KPdSU und der Ministerrat der UdSSR beispielsweise am 17. März 1972 beschlossen, über eine halbe Milliarde Rubel bereitzustellen, um die Wolga und die Uralflüsse sauberzuhalten. Wälder und Flüsse Sibiriens und des Fernen Ostens werden nach modernsten wissenschaftlichen Grundsätzen vor Schäden geschützt. Forschungskollektive arbeiten an der Entwicklung abgasfreier Automobile.

Welche große Bedeutung dem Naturschutz in der UdSSR beigemessen wird, zeigt, daß an der Staatlichen Lenin-Universität in Kasan (Tatarische ASSR) ein besonderer Lehrstuhl für Naturschutz eingerichtet wurde, an dem Spezialisten für den Naturschutz ausgebildet werden.

Die Sowjetunion setzt sich auch international aktiv für den Umweltschutz ein.

In anderen sozialistischen Ländern ist der Naturschutz ähnlich wie in der UdSSR und in der DDR organisiert. In der Volksrepublik Polen wird die gesamte Problematik des Schutzes und der Nutzung der Natur und ihrer Reichtümer (z. B. Wasser, Boden, Luft) durch einzelne Gesetze geregelt. Als gesellschaftliche Organisation ist die Liga für Naturschutz mit vielen Millionen Mitgliedern im ganzen Land tätig. Neben zahlreichen kleineren Reservaten bestehen in der Volksrepublik Polen gegenwärtig 11 Nationalparks. Es sind größere Gebiete, die sowohl wissenschaftlicher Arbeit als auch dem Tourismus dienen. Die größten Nationalparks sind der Kampinos-Nationalpark, der Riesengebirgs-Nationalpark und der Nationalpark von Bialowieza, in dem seit einigen Jahren wieder Wisente in freier Wildbahn leben.

In der ČSSR ist der Naturschutz mit der Denkmalspflege und dem Denkmalsschutz vereinigt. Das Naturschutzgesetz enthält ähnliche Festlegungen wie in den anderen sozialistischen Ländern.

Im Jahre 1949 wurde der erste Nationalpark, der Tatra-Nationalpark, gegründet. Zu ihm gehört das gesamte Gebirge der Tatra. Er schließt an den Tatra-Nationalpark in der Volksrepublik Polen an. Auch der Riesengebirgs-Nationalpark erstreckt sich über Gebiete in beiden Staaten. Geplant ist ein weiterer Nationalpark, der das Gebiet der Niederen Tatra und das Slowakische Paradies umfaßt.

In der Volksrepublik Bulgarien wurde 1965 ein neues Naturschutzgesetz erlassen, das im Inhalt und in der Aufgabenstellung dem Landeskulturgesetz der DDR sehr ähnlich ist. In den letzten zehn Jahren wurde in Bulgarien auch eine Reihe von Nationalparken und Naturschutzgebieten eingerichtet.

Auch in der Sozialistischen Republik Rumänien und in der Ungarischen Volksrepublik wird dem Naturschutz verstärkte Aufmerksamkeit geschenkt.

Die gemeinsamen Bemühungen aller sozialistischen Länder um die rationelle Nutzung und den komplexen Schutz der Natur und ihrer Reichtümer zum Wohle des Menschen sind auch in das Programm des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe aufgenommen worden. Hier werden besonders im Bereich der Forschung die Aufgaben zum Schutz der Natur festgelegt.

Bereits Friedrich ENGELS erkannte und formulierte, daß die Herrschaft des Menschen über die Natur darin besteht, daß der Mensch die in der Natur herrschenden Gesetzmäßigkeiten erkennt und sie seinen Zwecken dienstbar macht. Diese Erkenntnis trifft in hohem Maße auch auf die Gestaltung der Kulturlandschaft in den sozialistischen Staaten zu. Die gemeinsamen Anstrengungen des wissenschaftlichen Potentials aller sozialistischen Länder werden erreichen, daß die notwendigen Grundlagen zur weiteren Entwicklung und Gestaltung unserer Umwelt zum Wohle der Menschen erarbeitet und auch verwirklicht werden.

Die umfassende Planung und Organisation des Schutzes der Natur beweist, daß nur unter sozialistischen Produktionsverhältnissen, wo die Natur mit ihren Reichtümern gesellschaftliches Eigentum ist, die Landeskultur in umfassendem Sinne betrieben werden kann. Da im Kapitalismus Profitstreben und Ausbeutung den Charakter der Gesellschaft bestimmen, bleiben einzelne Gesetze kapitalistischer Staaten und Bemühungen verantwortungsbewußter Menschen zum Schutze der Natur nur beschränkt und meist nicht auf längere Zeit wirksam.

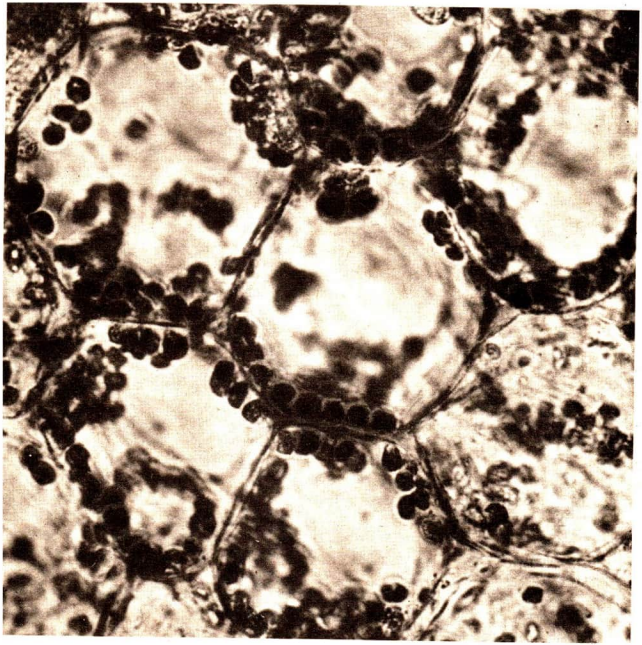
Beim Streben nach einem hohen Profit aus der Nutzung der Natur kommt es zwangsläufig zu Widersprüchen zwischen Naturnutzung und Naturschutz.

Dreieinhalb Milliarden Menschen leben gegenwärtig auf der Erde. Noch sterben täglich Tausende Hungers, jeder dritte Mensch ist nicht ausreichend ernährt. Dieses Problem ist nicht allein von den natürlichen Möglichkeiten der Nahrungsproduktion, sondern in viel stärkerem Maße von den gesellschaftlichen Bedingungen abhängig.

Im Jahre 2000 werden 5 bis 6 Milliarden Menschen die Erde bevölkern. Sie alle haben das Recht auf ein menschenwürdiges Dasein. Mit dem konsequenten Eintreten für den Schutz der menschlichen Umwelt und für deren weitere Gestaltung leisten alle sozialistischen Staaten einen verantwortungsbewußten Beitrag. Alle Maßnahmen zum Schutz der Umwelt sind zugleich Ausdruck eines konsequenten Eintretens für den Frieden. Nicht nur in der Erkenntnis der Notwendigkeit, die natürlichen Grundlagen des menschlichen Daseins zu erhalten und immer wieder herzustellen, sondern auch in der Realisierung dieser Aufgaben zeigt die sozialistische Gesellschaftsordnung ihre Überlegenheit gegenüber dem Kapitalismus.

▶ Dem Schutz der Natur wird in den sozialistischen Ländern große Aufmerksamkeit gewidmet. Die verantwortungsbewußte Umweltschutzpolitik liegt im Wesen des Sozialismus begründet.
Der Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe koordiniert auch die Maßnahmen für den Natur- und Umweltschutz.
Die sozialistischen Staaten treten konsequent für den Schutz der Umwelt ein. Damit leistet die sozialistische Staatengemeinschaft einen international bedeutsamen Beitrag für die Sicherung des Wohlstandes der Menschheit und für den Frieden.

Aus der Physiologie der Pflanzen und Tiere



Einführung in die Physiologie der Pflanzen und Tiere

Die Physiologie beschäftigt sich mit den Funktionen der Lebewesen, ihrer Organe und Zellen; sie erforscht die Lebensäußerungen und Leistungen der Organismen und untersucht die Vorgänge und Reaktionsabläufe, die sich in der lebenden Materie abspielen. Die Physiologie ist im 20. Jahrhundert eines der wichtigsten Teilgebiete der Biologie geworden. Das ist einerseits auf den menschlichen Erkenntnisdrang zurückzuführen, der sich in steigendem Maße nicht mit dem Sichten, Beobachten und Beschreiben begnügte, sondern nach dem Begreifen und Erklären verlangte. Vor allem aber haben die Fortschritte in anderen Wissenschaften (z. B. Physik, Chemie), in der Technik (z. B. wissenschaftliche Geräte) und das gesellschaftliche Bedürfnis, die biologischen Erscheinungen nach dem Willen und zum Nutzen des Menschen zu lenken, dazu beigetragen. Die genaue Kenntnis der Lebensvorgänge ist eine Voraussetzung dafür, Nutzpflanzen und -tiere zu höchsten Leistungen zu führen und so eines der wichtigsten Probleme zu lösen: die Ernährung der Weltbevölkerung zu sichern.

In der Physiologie spielt die Frage nach Ursachen und ihren Folgen die beherrschende Rolle. Das bedeutet, daß in der Physiologie das herrschende Prinzip das der *Kausalität* ist. Ein physiologischer Vorgang kann (im Gegensatz zur Ansicht früherer Forscher) nicht als erklärt gelten, wenn sein Zweck erkannt ist, sondern erst dann, wenn der Mechanismus, die innere Reaktionsfolge aufgeklärt ist.

Die Physiologie ist eine streng *materialistische Wissenschaft,* Spekulationen haben in ihr keinen Platz.

Die Physiologie ist wie die Physik und die Chemie eine Experimentalwissenschaft. Mit diesen beiden Nachbarwissenschaften ist sie nicht nur dadurch verbunden, daß physikalische und chemische Methoden in starkem Maße in die Physiologie Eingang gefunden haben, sondern daß in der Zelle ablaufende chemische und physikalische Prozesse die Grundlage des physiologischen Geschehens bilden. Die *Gesetze der Chemie und der Physik* gelten auch für die lebende Materie; einige haben sogar für die Physiologie besondere Bedeutung, beispielsweise das Gesetz von der Erhaltung der Masse, das Massenwirkungsgesetz, der 1. und 2. Hauptsatz der Wärmelehre. Die engen Beziehungen zur Chemie und Physik werden durch die wachsende Bedeutung der Grenzgebiete Biochemie und Biophysik dokumentiert.

Über die chemischen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten hinaus gelten für die lebende Materie *spezifische biologische Prinzipien,* die in der nichtlebenden Natur keine Gültigkeit haben. Vor allem sind das die Prinzipien der Ordnung und der Regulation.

Das *Prinzip der Ordnung* beherrscht den Aufbau der Organismen und den Ablauf der Lebensvorgänge bis hinab in die kleinsten Bausteine und Teilvorgänge. Jeweils in bestimmter Ordnung sind die Lebewesen aus Organen zusammengefügt, die Organe aus Geweben, diese aus Zellen, diese wieder aus protoplasmatischen Bestandteilen wie beispielsweise Zellkern, Plastiden, das Protoplasma aus Eiweißen und die Eiweiße schließlich ebenfalls in genau fixierter Ordnung aus Aminosäuren. Diese räumliche Ordnung steht mit einer genauso präzisen zeitlichen Ordnung der Reaktionsabläufe in Zusammenhang. Die Atmung zum Beispiel kann nur dann funktionieren, wenn die beteiligten Einzelreaktionen in bestimmter Reihenfolge aufeinander abgestimmt sind.

Auch das *Prinzip der Regulation* setzt sich auf den verschiedenen Größenebenen durch. Ein Organ steuert (reguliert) die Tätigkeit eines anderen; und das Geschehen in der Zelle wird vom Zellkern aus kontrolliert. Diese Regulationen sind nicht starr, sondern in Grenzen anpassungsfähig.

Für die Lebewesen charakteristische Erscheinungen sind Stoffwechsel, Fortpflanzung, Vererbung, Wachstum, Entwicklung, Bewegung und Reizbarkeit.

Unter Stoffwechsel versteht man den Austausch von Stoffen zwischen dem Organismus und der Umgebung sowie den Transport und die Umsetzungen dieser Stoffe im Organismus. Mit diesen Lebensvorgängen beschäftigt sich die *Stoffwechselphysiologie*. Wachstum ist eine Vermehrung der Körpersubstanz. Es ist mit Zellteilungen und Zellvergrößerungen verbunden. Handelt es sich dabei auch um qualitative Veränderung, so spricht man von Entwicklung (z. B. Umbildung einer Larve zu einem fertigen Insekt, Entstehung von Blüten an vorher vegetativen Pflanzen). Trennen sich nach vollzogener Zellteilung Zellen vom Mutterorganismus, um Ausgangspunkt für einen Tochterorganismus zu werden, erfolgt Fortpflanzung. Mit all diesen Lebensvorgängen beschäftigt sich im weiteren Sinne die *Entwicklungsphysiologie*. Die lebende Materie kann auf Umweltreize reagieren (Reizbarkeit). Oft ist die Reaktion ein Bewegungsvorgang. Bewegungen können aber auch ohne äußeren Anlaß ausgeführt werden. Mit diesen Lebensvorgängen beschäftigt sich die *Reiz- und Bewegungsphysiologie*.

1 2 3

Die Zelle als morphologische und physiologische Grundeinheit des Lebens

1665 entdeckte der englische Forscher Robert HOOKE die Zellen im Flaschenkork. Der lebende Inhalt der Zellen wurde viel später entdeckt; erst 1839 wurde er von dem tschechischen Physiologen PURKINJE Protoplasma genannt. Durch genaue Untersuchung wurde erkannt, daß alle Zellen im Prinzip die gleichen Bausteine und den gleichen Aufbau besitzen. Das Studium einzelliger Lebewesen führte zu der Erkenntnis, daß eine einzelne Zelle alle Lebensfunktionen ausüben kann. Dagegen läßt sich eine Zelle nicht weiter zerlegen, ohne daß das Leben vernichtet wird. Die Zelle ist also die Grundeinheit aller Organismen.

Übersicht über den submikroskopischen Bau und die Funktionen der Zellstrukturen

Zwischen *Struktur (Bau) und Funktion,* zwischen räumlicher und zeitlicher Ordnung, *bestehen enge Zusammenhänge.*

Die besondere Struktur der Nervenzellen ist zum Beispiel die Grundlage für schnelle Erregungsleitungsvorgänge, und in den Pflanzen ist die Assimilation des Kohlendioxids (Photosynthese) an die spezifische Struktur der Chloroplasten gebunden. Im submikroskopischen Bereich (unterhalb des Auflösungsvermögens des Lichtmikroskops) wird die Grenze zwischen Struktur und Funktion unscharf; Vorgänge können als Strukturänderungen der ausführenden Zellbestandteile sichtbar werden. Im molekularen Bereich sind Struktur und Funktion nicht mehr zu unterscheiden; ein Eiweißmolekül von bestimmter Struktur ist ein Eiweißmolekül von bestimmter Funktion, eine Strukturänderung wäre eine Funktionsänderung; und jeder Stoffwechselprozeß ist gleichzeitig eine Strukturänderung.

Zur Untersuchung der Feinstruktur in der Zelle reicht das Auflösungsvermögen des Lichtmikroskops nicht aus. Dafür steht eine Reihe anderer *technischer Hilfsmittel* zur Verfügung; einige davon sollen besprochen werden.

✦ **Elektronenmikroskopie.** Im Elektronenmikroskop wird statt der Photonenstrahlung (Lichtmikroskop) die kurzwelligere Elektronenstrahlung verwendet; dadurch wird das Auflösungsvermögen vertausendfacht (Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops 300 nm, des Elektronenmikroskops 0,3 nm). Statt optischer Linsen werden elektrische oder magnetische Felder verwendet. Die zu betrachtenden Objekte müssen extrem dünn sein (zwischen 30 nm und 100 nm); dafür gibt es sogenannte Ultramikrotome, die das Untersuchungsmaterial 1 000fach dünner schneiden, als ein Blatt Schreibmaschinenpapier ist. Die Kontraste im Objekt können (wie in der Lichtmikroskopie durch Färben) durch Einlagerung schwerer Atome erhöht werden, dazu benutzt man beispielsweise Osmiumtetroxid oder Uranylsalze.

Röntgenanalyse. Die Röntgenanalyse beruht darauf, daß Röntgenstrahlen an regelmäßig angeordneten Atomen, etwa an Kristallen, gebeugt werden, sie werden in bestimmten Richtungen durch Interferenz verstärkt. Durch das Objekt auf einen Röntgenschirm oder eine Photoplatte fallende Röntgenstrahlen verursachen dort charakteristische Beugungsbilder (Röntgendiagramme). Aus der Art der Diagramme kann man die Größe, Form und Lage von Kristallen und kristallähnlichen Strukturen erschließen.

Fraktionierte Zentrifugation. Die fraktionierte Zentrifugation dient dazu, die einzelnen Zellbestandteile voneinander zu isolieren, um sie getrennt elektronenoptisch oder physiologisch zu untersuchen. Dazu werden zunächst die Zellen zum Beispiel durch Schlagmühlen zerstört. Das Homogenat (die zerkleinerte Masse) wird in einer Zentrifuge mit sehr hoher Umlaufgeschwindigkeit, der sogenannten Ultrazentrifuge, zentrifugiert. In Abhängigkeit von ihrer Größe und Dichte sedimentieren die einzelnen Zellbestandteile verschieden schnell. Man beginnt mit geringen Umdrehungszahlen und trennt die sich absetzenden Bruchstücke pflanzlicher Zellwände ab, bei erhöhter Umdrehungszahl folgen die Zellkerne, bei weiterer Steigerung die Plastiden usw. ✦

Die Bestandteile der Tier- und Pflanzenzellen. Am wichtigsten ist der lebende Inhalt der Zelle, das *Protoplasma* (charakteristische Substanz: Eiweiß). Eine äußere, zum Protoplasma gehörende Schicht bildet bei den Tieren die Abgrenzung zur nächsten Zelle; bei Pflanzen ist

Die wichtigsten Bestandteile der Zelle					
Zellwand	Protoplasma				Vakuole
	Zellkern: Chromatingerüst, Nukleoli, Kerngrundplasma	Zytoplasma			
		Zytoplasmaorganellen: Plastiden, Mitochondrien, Ribosomen	Membransysteme: endoplasmatisches Retikulum, Plasmalemma, Tonoplast, Zellmembran	Grundplasma	

außerdem eine dickere, stofflich verschiedene, im ausgewachsenen Zustand tote Begrenzung vorhanden, die *Zellwand* (charakteristische Substanz: Zellulose). In den meisten pflanzlichen und einigen tierischen Zellen finden sich außerdem größere Hohlräume, die *Vakuolen,* die mit dem Zellsaft gefüllt sind (charakteristische Substanz: Wasser). Vakuolen gehören nicht mehr zum lebenden Teil der Zelle.

Der *Zellkern* (Nukleus) ist deutlich vom übrigen Teil des Protoplasmas, dem Zytoplasma, zu unterscheiden. Im Zytoplasma sind verschiedene Zytoplasmaorganellen und Membransysteme zu erkennen, die in eine selbst elektronenoptisch nicht mehr auflösbare Grundmasse, das Grundplasma, eingebettet sind.

Grundplasma

Das Grundplasma ist die Grundsubstanz des Zytoplasmas. Sein Hauptbestandteil sind (abgesehen vom quantitativ überwiegenden Wasser) die *Eiweiße.* Die Eiweißmoleküle haben zumeist eine aufgeknäuelte, kugelige Gestalt. Sie sind locker untereinander verbunden und bilden ein dreidimensionales *Maschenwerk.* Die Bindungen werden ständig gelöst und neu geknüpft; dabei gleiten die Moleküle aneinander vorbei und können das ganze Protoplasma in Bewegung halten. Die Bewegung kann man erkennen, da mikroskopisch sichtbare Bestandteile (z. B. Plastiden) mitgerissen werden. Die Mechanik dieser Plasmaströmung ist noch nicht restlos geklärt.

Die Eiweiße im Grundplasma sind zum großen Teil *Enzyme,* das heißt Katalysatoren spezieller Stoffwechselschritte. Das Grundplasma ist ein *kolloidales System.* Es kann zähflüssig (Sol-Zustand) beziehungsweise mehr oder weniger verfestigt (Gel-Zustand) sein; letzteres trifft unter anderem für trockene Samenkörner zu.

In einem kolloidalen System sind die gelösten Teilchen 1 nm bis 100 nm groß, größer als die Teilchen einer echten Lösung (z. B. Salz- oder Zuckerlösungen), aber kleiner als die Teilchen einer Aufschwemmung, so daß sie sich nicht von selbst von der umgebenden Flüssigkeit trennen (als Bodensatz oder Rahm).

Die Flüssigkeit, welche die kolloiden Teilchen umgibt, ist Wasser mit darin echt gelösten Salzen und anderen Substanzen. Sie (und damit das ganze Protoplasma) reagiert schwach basisch. Die kolloidalen Teilchen sind die Eiweißmoleküle. Sie tragen *elektrische Ladungen.* Diese entstehen durch Dissoziation der Eiweißmoleküle an den Karboxylgruppen und Aminogruppen. Die Karboxyl- und Aminogruppen befinden sich auf den Seitenketten der Eiweißmoleküle.

Eine kolloidale Lösung läßt sich herstellen, indem Tischlerleim mit Wasser verrührt wird. Dieses Beispiel zeigt eine wichtige Kolloideigenschaft: Je nach dem *Wassergehalt* sind sie Sole oder Gele. Die Kolloidteilchen (im Plasma die Eiweißmoleküle) können nämlich Wassermoleküle binden. Im Gel-Zustand sind alle Wassermoleküle durch die Bindung (Quellung) festgelegt; im Sol-Zustand gibt es zwischen den Kolloid-Teilchen noch „freies" Wasser.

Durch seine besondere Struktur (instabiles Maschenwerk), die Plasmaströmung und die dabei ständig ablaufenden kolloidchemischen Prozesse ist das Grundplasma ein *dynamisches System,* das in ununterbrochener Bewegung ist. Viele chemische Umsetzungen des Stoffwechsels spielen sich im Grundplasma ab.

Zellkern

Im Zellkern (Nukleus) sind neben den Eiweißen die *Nukleinsäuren* von außerordentlicher Bedeutung. Sie sind mit bestimmten Farbstoffen gut färbbar; deshalb werden die nukleinsäurehaltigen Bezirke des Zellkerns *Chromatin* genannt.

Das Chromatin kann in der Form knäuelartiger Gerüste, größerer Klumpen oder kleiner Körnchen auftreten (Abb. 212/1).

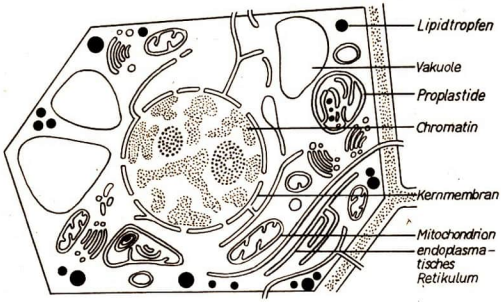


Abb. 212/1 Schematische Darstellung einer jungen Pflanzenzelle (elektronenmikroskopische Beobachtung)

Außerdem gibt es im Zellkern rundliche Gebilde mit abweichenden Färbeeigenschaften, die *Kernkörperchen* (Nukleoli). Sie enthalten ebenfalls Nukleinsäure, die aber chemisch und funktionell von der des Chromatins abweicht.

Im Chromatin befindet sich DNS, in den Nukleoli RNS.

Chromatin und Nukleoli sind in eine nicht färbbare Grundsubstanz eingebettet, die dem Grundplasma vergleichbar ist und als *Kerngrundplasma* (Kernsaft) bezeichnet wird. Den ganzen Zellkern umgibt die Kernmembran (↑S. 214).

Die Hauptfunktion des Zellkerns ist die *Regulation*.

Der Zellkern enthält *Informationen* für das Geschehen in der Zelle. Der Informationsträger ist die *Nukleinsäure*. Da alle Informationen lebensnotwendig sind, müssen sie vor jeder Zellteilung verdoppelt werden (Kernteilung). Das ist die zweite wichtige Funktion des Zellkerns, die *Replikation*. Dadurch erhält jede Zelle den gleichen kompletten Satz von Informationen. Wenn sich eine Zelle vom Mutterorganismus als Keimzelle für einen Tochterorganismus löst (Eizelle, Spermazelle), bringt sie diesem alle Informationen mit.

Der Zellkern hat also Bedeutung für die *Zellteilung, Fortpflanzung* und *Vererbung*.

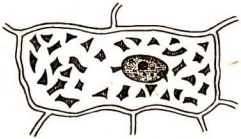
Während der Kernteilung bildet sich das Chromatin zu *Chromosomen* um. Chromatin als Funktionsform und Chromosomen als Transportform sind zwei verschiedene Erscheinungsformen derselben Substanz.

✦ Kernlose Zellen können eine begrenzte Zeit leben und mitunter wichtige Funktionen ausüben. Kernlose rote Blutkörperchen der Säugetiere transportieren den Sauerstoff. Solche Zellen können sich nicht mehr teilen. Bakterien und Blaualgen haben statt echter Zellkerne membranlose Nukleoide aus DNS, welche die Rolle von Zellkernen übernehmen. ✦

Zytoplasmaorganellen

Plastiden. Plastiden sind die größten Zytoplasmaorganellen. Sie kommen nur bei Pflanzen vor. Es gibt grüne Chloroplasten, rote bis gelbe Chromoplasten und farblose Leukoplasten. Alle Plastiden entstehen aus sehr kleinen, schon in der embryonalen Zelle vorhandenen Vorstufen, den Proplastiden (Abb. 213/1).

Chloroplasten können von verschiedener Form sein, bei Algen beispielsweise platten-, becher- oder spiralbandförmig. Bei höheren Pflanzen sind sie linsenförmig („Chlorophyllkörner") und 3 μm bis 8 μm groß. Dagegen ist die innere Struktur einheitlich. Grüne *Membranen* sind dicht übereinandergeschichtet. Es sind in sich geschlossene, flächige Doppelmembranen. Sie sind in eine farblose Grundmasse eingebettet, die dem Grundplasma vergleichbar ist.



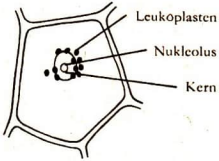


Abb. 213/1 Beispiele für Plastiden in Pflanzenzellen. Links Chloroplasten in einer Moosblattzelle, Mitte Chromoplasten in Zellen der Blüte von Kapuzinerkresse, rechts Leukoplasten in der Nähe des Zellkerns einer Zelle aus der Oberhaut (Epidermis) von *Rhoeo discolor*

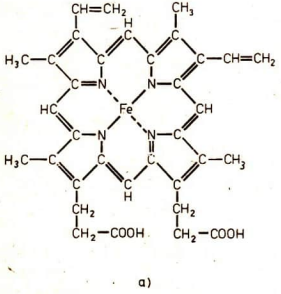
Der ganze Chloroplast ist von einer *Doppelmembran* umgeben.

Die Chloroplasten dienen der *Photosynthese,* sie produzieren mit Licht als Energiequelle aus Kohlendioxid und Wasser Kohlenhydrate. Dabei wandeln sie die Strahlungsenergie des Lichts in die chemische Energie der Kohlenhydrate um, sind also Orte der Energieumwandlung. Diese sehr komplizierte Funktion ist an die komplizierte Struktur gebunden.

Die Membranen bestehen aus Proteinen und Lipoiden. Sie enthalten die *Photosynthesepigmente* (Chloroplastenfarbstoffe), das Chlorophyll als Haupt- und die Karotinoide als Hilfspigmente. Das *Chlorophyll* besteht aus einem Ringsystem mit Magnesium sowie einem ungesättigten, langkettigen Alkohol ($C_{20}H_{39}OH$, Abb. 213/2). Die *Karotinoide* sind ungesättigte Kohlenwasserstoffverbindungen mit 40 Kohlenstoff-Atomen im Molekül. Man unterscheidet die meist roten Karotine von den meist gelben Xanthophyllen.

Chromoplasten sind Plastiden ohne Chlorophyll, aber mit Karotinoiden. Sie sind nicht zur Photosynthese fähig. Sie färben zahlreiche Blüten (z. B. Kapuzinerkresse), Früchte (z. B. Tomaten) und Wurzeln (z. B. Möhren) gelb bis orangerot.

Leukoplasten enthalten keine Pigmente. Sie finden sich vor allem in Teilen der Pflanzen, die nicht vom Licht getroffen werden, aber beispielsweise auch in der Oberhaut der Pflanze.



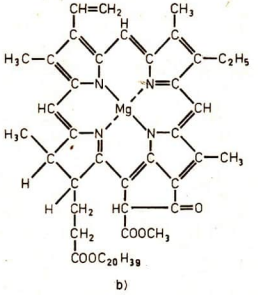


Abb. 213/2 Vergleich der Strukturformeln von a rotem Blutfarbstoff (Häm) und b Chlorophyll

Meist dienen sie der *Speicherung*, vor allem von Stärke. Dabei bildet jeder Leukoplast ein Stärkekorn (Kartoffelknolle, Getreidekorn).

Mitochondrien. Mitochondrien kommen in allen Zellen vor. Sie sind kugel- oder stäbchenförmig, wie die Chloroplasten von einer Doppelmembran umgeben, aber wesentlich kleiner (Durchmesser 0,5 µm bis 1,5 µm).

Ihre Hauptfunktion ist die *Atmung*. Sie setzen durch Oxydation organischer Substanzen diejenigen Energiemengen frei, welche die Zelle für alle Lebensvorgänge braucht. Wie die Chloroplasten sind sie demnach Orte der *Energieumwandlung*.

Der ähnlichen Funktion von Mitochondrien und Chloroplasten entspricht ihre ähnliche Struktur. Wie bei Chloroplasten sind im Innern der Mitochondrien *Doppelmembranen* ausgebildet; sie entstehen durch Einstülpung und können verschiedene Form haben.

Ribosomen. Ribosomen sind winzige, kugelförmige Gebilde von größter Bedeutung. Sie haben einen tausendfach geringeren Durchmesser (etwa 1,5 nm) als Mitochondrien und kommen in großer Vielzahl vor. Ihre Funktion ist die *Biosynthese der Eiweiße* (und damit aller Enzyme) unter Auswertung der aus dem Zellkern stammenden Information. Sie enthalten *Nukleinsäure*.

Zentralkörperchen. Das Zentralkörperchen ist ein färbbares Körnchen in der Nähe des Kernes tierischer Zellen. Es wirkt bei der Kernteilung mit und hat für die Bildung von Schwanzfäden und beweglichen Geißeln der Spermien Bedeutung.

Membransysteme

Die Zelle und verschiedene Zytoplasmaorganellen sind von Membranen umgeben.

Elementarmembran. Alle Membranen bestehen aus Proteinen und Lipoiden. Für ihre Struktur sind die Proteine sowie von den Lipoiden die Phosphatide (z. B. Lezithin, Abb. 215/1) entscheidend.

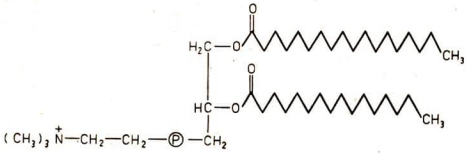
Die meisten Membranen im Plasma scheinen Elementarmembranen (Abb. 215/1) zu sein. Diese sind nicht starr; sie können zerreißen und sich wieder schließen und durch Anlagerung weiterer Lipoidmoleküle „wachsen".

Endoplasmatisches Retikulum. Das endoplasmatische Retikulum durchzieht röhren- bis segelartig das Zytoplasma. Es ist labil und für die Plasmaströmung kein Hindernis. Für den *Transport* gelöster Substanzen ist es bedeutsam; die weit ausgebreiteten Doppelmembranen gestatten eine schnelle Diffusion. Das ist um so wichtiger, als das endoplasmatische Retikulum durch die Verbindung von Zelle zu Zelle, die Plasmodesmen, hindurchzieht.

✦ Die Zellkernmembran ist eine Ausbildung des endoplasmatischen Retikulums und steht mit diesem in Verbindung. Nach der Kernteilung wird durch das endoplasmatische Retikulum die aufgelöste Kernmembran neu gebildet.

Durch die inneren Membranen (endoplasmatisches Retikulum, Plastiden-, Mitochondrienmembranen) wird das Protoplasma in viele Reaktionsräume getrennt, da viele gelöste Substanzen die Membranen nur schwer passieren können. Das ist wichtig für den Stoffwechsel, da sich so in einer Zelle gleichzeitig die verschiedensten chemischen Reaktionen getrennt voneinander vollziehen können. ✦

Plasmalemma, Tonoplast. Das Plasmalemma bildet in der Pflanzenzelle die Abgrenzung des Protoplasmas gegen die Zellwand; der Tonoplast bildet die Abgrenzung gegen die Vakuole.



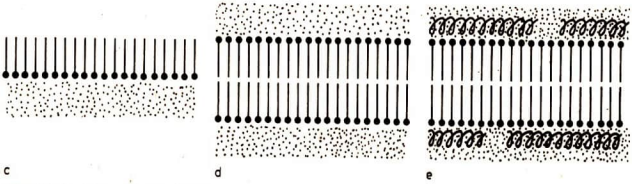


Abb. 215/1 Konstruktion der Elementarmembran
a Molekül des Lezithins, Mitte Glyzerin (Propantriol) verestert mit 2 Molekülen Fettsäure (Monokarbonsäure, Zickzacklinien) und 1 Molekül Phosphorsäure (P), dieses zusätzlich verestert mit dem Aminoalkohol Cholin (links hydrophiler Pol, rechts wasserabstoßender Pol), b vereinfachtes Modell eines Phosphatidmoleküls, z. B. des Lezithins (Punkt hydrophiler Pol, Strich wasserabstoßender Pol), c Phosphatidfilm auf einer Wasseroberfläche, d Phosphatiddoppelfilm in Wasser, e Modell der Elementarmembran (die Schrauben stellen Eiweißmoleküle dar)

In der tierischen Zelle ist das Plasmalemma die äußere Zellbegrenzung und wird Plasma- oder auch Zellmembran genannt. Plasmalemma und Tonoplast können als Elementarmembran ausgebildet werden; sie können auch dicker sein und offenbar mehrere Elementarmembranen enthalten.

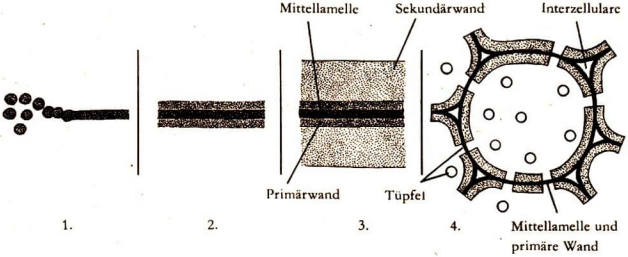
Plasmalemma und Tonoplast sind halbdurchlässig. Das ist die Eigenschaft, bestimmte Stoffe leicht durchzulassen (z. B. das Wasser), dem Durchtritt anderer aber großen Widerstand entgegenzusetzen (z. B. Salzen, Zuckern). Auf diese oder andere Weise regeln diese Membranen den Stoffaustausch mit der Vakuole und mit den Nachbarzellen oder der Umwelt.

Die Zellwand der Pflanzenzelle

Feste Zellwände besitzen Algen, Pilze, Moose und höhere Pflanzen; sie fehlen im gesamten Tierreich. Die Zellwand ist ein Ausscheidungsprodukt des Zytoplasmas. Sie besteht aus mehreren Schichten, die nacheinander gebildet werden (Abb. 216/1).

Mittellamelle. Nach der Zellteilung werden die neuentstandenen, jungen Zellen durch eine sehr dünne Wand aus *Pektinstoffen* und anderen Kohlenhydraten, die Mittellamelle, getrennt.

Primärwand. Auf die Mittellamelle werden beiderseits die Primärwände aufgelagert. Sie bestehen aus einem lockeren Netz verflochtener Zellulosemikrofibrillen, dessen Maschen mit anderen Kohlenhydraten, Wasser, Zytoplasma u. a. gefüllt sind. Die Primärwände sind noch dehnbar und formbar; sie bilden die Wand wachstumsfähiger Zellen.



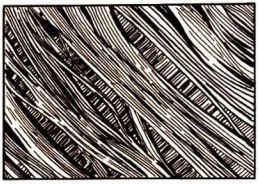


Abb. 216/1 Entwicklung der Zellwand mit dem Wachstum der Zelle. 1. Bildung der Mittellamelle am Ende des Zellteilungsvorganges, 2. Auflagerung der Primärwand, 3. Auflagerung der in sich geschichteten Sekundärwand, 4. Zelle im Verband

Abb. 216/2 Zellulosemikrofibrillen in der Sekundärwand. In den verschiedenen Schichten wechselt die Richtung des Mikrofibrillenverlaufs, dadurch wird die Festigkeit erhöht (nach einer elektronenmikroskopischen Photographie)

Sekundärwand. Auf die Primärwand ausgewachsener Zellen werden mehr oder weniger dicke Schichten dichtgepackter Zellulosemikrofibrillen aufgelagert, die festen Sekundärwände.

Die Mittellamelle ist durchlöchert, da bei ihrer Entstehung einzelne Stränge des endoplasmatischen Retikulums nicht durchbrochen werden. Die ausgespart bleibenden plasmatischen Verbindungen von Zelle zu Zelle heißen *Plasmodesmen*, sie werden vom endoplasmatischen Retikulum durchzogen. Bei der Bildung der Sekundärwand bleiben über einzelnen Plasmodesmengruppen unverdickte Stellen bestehen, die *Tüpfel* (Abb. 216/1). Bei sehr dicken Zellwänden sehen sie wie Kanäle aus („Tüpfelkanäle"). Durch Tüpfel und Tüpfelkanäle verlaufen die Plasmodesmen. Sie sind für den Stoffaustausch von Bedeutung.

Die Zellwand ist für Wasser mit den darin gelösten Substanzen *durchlässig*, solange sie nur aus Pektinstoffen und Kohlenhydraten (einschl. Zellulose) besteht. In die Zellwände können Stoffe eingelagert werden. Bei Einlagerung von Korkstoff (Suberin) werden die Zellwände wasserundurchlässig (Borke). Sind die Zellulosemikrofibrillen in Holzstoff (Lignin) eingebettet, so entsteht das dauerhafte, druck- und zugfeste *Holz*. Zellwände können mit Gerb- und Farbstoffen imprägniert sein. Auf die Zellwände der pflanzlichen Oberhaut (Epidermis) ist eine Schicht aus *Kutin*, die sogenannte *Kutikula*, aufgelagert, die widerstandsfähig und relativ undurchlässig ist.

Das Pflanzenprodukt Zellulose hat erhebliche *wirtschaftliche Bedeutung*. Gewebe pflanzlicher Herkunft (z. B. Hanf, Leinen, Baumwolle) bestehen aus Zellulose. Zellstoff und Papier sind Zelluloseprodukte; billiges Papier enthält noch Lignin (Zeitungspapier), gutes Papier ist holzfrei; Zellstoff ist fast reine Zellulose. In früheren geologischen Formationen sind aus Zellulose Torf und Braun- und Steinkohle entstanden. Damit liefert die pflanzliche Zellwand Massenprodukte, deren Gewinnung und Produktion an erster Stelle im Weltmaßstab stehen.

Vakuole und Zellsaft

Vakuolen sind aus zwei Gründen für Pflanzen besonders wichtig. Einerseits hat die Pflanze kein Exkretionssystem; so kann die nur indirekt am Stoffwechsel beteiligte Vakuole überflüssige Stoffwechselendprodukte aufnehmen. Andererseits erhalten unverholzte pflanzliche Gewebe ihre *Festigkeit* zum großen Teil durch einen hohen Innendruck in den Zellen, der diese fest gegeneinanderpreßt. Dieser Turgordruck ist an das Vorhandensein einer großen Vakuole gebunden (↑S. 220/1). Außerdem dient die Vakuole noch der Stoffspeicherung.

Embryonale Zellen haben sehr kleine Vakuolen (Abb. 212/1); in ausgewachsenen Pflanzenzellen nehmen diese dagegen den größten Teil des Innenraumes ein. Der Vakuoleninhalt heißt *Zellsaft*. Darin sind vor allem Salze, Zucker und Säuren gelöst, aber auch Farbstoffe, Gerbstoffe, wasserlösliche Vitamine und Alkaloide.

✦ Der Inhalt von Nahrungsvakuolen vieler Protozonen ist dagegen direkt am Stoffwechsel beteiligt. Hier wird die aufgenommene feste Nahrung in einen bläschenartigen Hohlraum eingeschlossen, in dem Verdauungsenzyme die Nahrung auflösen, die dann in das Zytoplasma aufgenommen wird. ✦.

④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ↓1 ↓2 ↓3

Alle Lebewesen bestehen aus Zellen.
Der Zellkern ist der Informationsträger der Zelle.
Das Zytoplasma ist durch Membranen in verschiedene Reaktionsräume unterteilt.
Das Zytoplasma enthält verschiedene Organellen, u. a. Mitochondrien zur Energiefreisetzung, Ribosomen zur Proteinsynthese, bei grünen Pflanzenteilen auch Chloroplasten zur Photosynthese.
Pflanzenzellen haben außerdem stabile Zellwände aus Zellulose und große, zellsaftgefüllte Vakuolen.

Die pflanzliche Zelle als osmotisches System

Stoffaustausch

An die lebende Zelle werden *zwei widersprüchliche Forderungen* gestellt. Da sie eine andere stoffliche Zusammensetzung als die Umwelt hat, ist einerseits eine Abgrenzung nötig, die einen Stoffverlust durch Ausgleichsvorgänge (Diffusion) verhindert. Andererseits erfordert der Stoffwechsel einen Austausch mit der Umgebung; notwendige Nährstoffe müssen aufgenommen und andere Substanzen abgegeben werden. Die Lösung dieses Problems geschieht mit Hilfe der Plasmamembranen.

Die *Plasmamembranen* (Membransysteme) sind *semipermeabel* (halbdurchlässig). Wasser kann ungehindert passieren. Für die meisten anderen Stoffe, selbst die Ionen anorganischer Stoffe, sind die Membranen ein Austauschhindernis. Die erforderlichen Transportvorgänge (Stoffaufnahme und -abgabe) werden durch besondere physiologische Vorgänge unterhalten. Diese sind energiebedürftig und können mit der Arbeit von Pumpwerken verglichen werden: Es wird von *aktivem Transport* gesprochen (aktiv = energiebedürftig). Im Gegensatz zu den komplizierten Mechanismen des aktiven Transports sind diejenigen, die der Wasseraufnahme und -abgabe zugrunde liegen, besser überschaubar: Es sind Diffusion und Osmose.

Diffusion und Osmose

Die Grundlage der Diffusion ist die *molekulare Bewegungsenergie,* eine thermische Erscheinung. In Gasen und Flüssigkeiten befinden sich die kleinsten Teilchen (Moleküle oder Ionen) in Abhängigkeit von der Temperatur in ständiger Bewegung.

✦ Diese Molekularbewegung ist nicht sichtbar, kann aber indirekt sichtbar gemacht werden. In Flüssigkeiten suspendierte Teilchen, die gerade oberhalb der Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops liegen, geraten in eine zitternde Bewegung. Diese „Brownsche Molekularbewegung" im Zytoplasma ist beim Mikroskopieren kaum zu übersehen. ✦

In Gasgemischen oder in Lösungen kommt es durch die Bewegung der Moleküle beziehungsweise Ionen mit der Zeit zu einer statistischen Gleichheitsverteilung; jedes Gas, jede gelöste Substanz verteilt sich allmählich gleichmäßig in dem zur Verfügung stehenden Raum. Diesen Vorgang nennt man *Diffusion.*

✦ Wird in einem geschlossenen Raum für einige Zeit ein Gashahn geöffnet, so verteilen sich die im ausströmenden Gas vorhandenen Moleküle durch Diffusion gleichmäßig im ganzen Raum. Wird eine gefärbte Lösung vorsichtig mit Wasser überschichtet, so ist das Fortschreiten der Diffusion daran zu erkennen, daß sich allmählich im ganzen System eine homogene Färbung einstellt. ✦

Die Diffusion geschieht stets entlang einem *Konzentrationsgefälle.* Das Gefälle wird dabei ausgeglichen.

Die *Diffusionsgeschwindigkeit* ist abhängig von dem Konzentrationsgefälle, von der Temperatur und von der Art der diffundierenden Substanz. Sie ist nicht konstant, sondern nimmt mit der Wurzel der Zeit ab.

Der Raum (das Gefäß), in dem sich die Diffusion abspielt, kann durch eine *permeable* (durchlässige) *Wand* unterteilt sein, beispielsweise durch eine poröse Tonwand oder eine pflanzliche *Zellwand.* Dann ändert sich im Diffusionsgeschehen nichts. Die permeable Wand wird von den Molekülen durch ihre Molekularbewegung passiert. Solange die Diffusion im Gange ist, wird sie je Zeiteinheit von mehr Molekülen der diffundierenden Substanz in der Diffusionsrichtung durchtreten als in der entgegengesetzten Richtung. Nach Erreichen der Gleichverteilung geht die Molekularbewegung weiter; aber je Zeiteinheit wird eine (vorhandene oder gedachte) permeable Wand in beiden Richtungen von der gleichen Anzahl von Teilchen passiert.

Für das Verständnis der Osmose ist es wichtig zu beachten, daß in einer Lösung nicht nur die Teilchen der gelösten Substanzen, sondern *auch die Teilchen des Lösungsmittels diffundieren.* Wo eine hohe Konzentration gelöster Substanzen herrscht, sind relativ weniger Wassermoleküle vorhanden (niedrigere „Wasserkonzentration"); dorthin diffundieren die Wassermoleküle vom Ort der höheren „Wasserkonzentration" (niedrigere Konzentration gelöster Substanzen), also entgegengesetzt der Diffusionsrichtung der Moleküle der gelösten Substanzen.

Osmose tritt dann auf, wenn die verschiedenen konzentrierten Lösungen durch eine *semipermeable* (halbdurchlässige) *Membran* getrennt sind. Dann können die Wassermoleküle ungehindert passieren, aber die Moleküle der meisten gelösten Substanzen nicht.

Die *Pfeffersche Zelle* wurde als Modell der pflanzlichen Zelle konstruiert. Die semipermeable Membran besteht aus schwerlöslichem Kupferhexazyanoferrat(II) $Cu_2[Fe(CN)_6]$, das die Poren eines porösen Tonzylinders ausfüllt. Bei der in Abbildung 219/1 dargestellten Anordnung befindet sich die semipermeable Membran in den Poren eines Glasfiltertiegels, der mit Zuckerlösung (z. B. 20% Zucker, 80% Wasser) gefüllt ist und in ein Gefäß mit reinem Wasser eintaucht. Die Zuckermoleküle können die Zelle (Glasfiltertiegel) nicht verlassen. Außerhalb

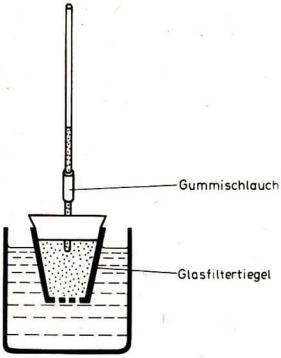


Abb. 219/1 Osmometer

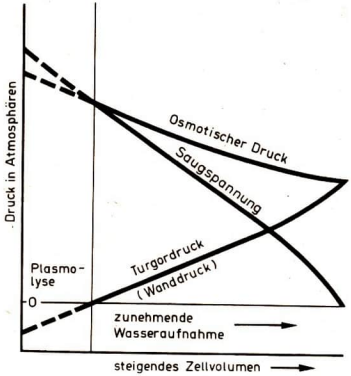


Abb. 219/2 Veränderung der osmotischen Zustandsgrößen bei der osmotischen Wasseraufnahme in die Zelle

der Zelle herrscht aber eine höhere „Wasserkonzentration" (100%) als innen (80%); diesem Gefälle folgend dringt Wasser ein. Der entstehende Überdruck wird durch das angeschlossene Manometer gemessen; durch das Manometer wird die Pfeffersche Zelle zum *Osmometer* (Abb. 219/1).

Je konzentrierter die Lösung im Innern des Osmometers ist, desto mehr Wasser kann aufgenommen werden und desto höheren Druck wird das Manometer anzeigen. Das Maß für die Intensität, mit der eine Lösung durch eine semipermeable Membran Wasser aufnehmen kann, heißt *osmotischer Druck*. Er ist mit Hilfe des Osmometers in Atmosphären meßbar.

Da Lösungen verschiedener Substanzen, aber gleicher molarer Konzentration die gleiche Anzahl gelöster Moleküle je Volumeneinheit enthalten, ist der osmotische Druck abhängig von der *Konzentration gelöster Teilchen*, unabhängig von der Art der Teilchen.

✦ Es ist zu beachten, daß bei der osmotischen Wasseraufnahme die Wassermoleküle die aktiven Teilchen sind, nicht die Teilchen der gelösten Substanz. Das Wasser dringt entlang seinem eigenen „Konzentrationsgefälle" ein, es wird nicht in die Zelle gesogen. ✦

Die osmotischen Vorgänge in der Pflanzenzelle

In der Pflanzenzelle ist der *Zellsaft* in der Vakuole die *osmotisch wirksame Lösung*. Das gesamte, die Vakuole umgebende *Protoplasma* ist die *semipermeable Membran*, wobei die Semipermeabilität vor allem auf das Plasmalemma und den Tonoplast zurückzuführen ist. Die Zellwand spielt infolge ihrer Permeabilität keine Rolle.

Befindet sich die Zelle in einer *hypotonischen Umgebung*, so dringt Wasser in sie ein, ebenso wie in die Pfeffersche Zelle (Abb. 219/1), weil die „Wasserkonzentration" außerhalb der Zelle größer ist als im Zellsaft.

Durch die osmotische Wasseraufnahme in die Vakuole vergrößert sich deren Volumen. Das plastisch verformbare Protoplasma kann der Volumenvergrößerung unbegrenzt folgen, nicht

aber die stabile Zellwand. Daher wird ein Druck des Zellinhalts auf die Zellwand ausgeübt, der *Turgordruck*. Durch den Turgordruck wird die Zellwand bis zu einem gewissen Grade elastisch gedehnt. Die gedehnte Zellwand drückt, wie die Blase eines aufgepumpten Fußballs, auf den Zellinhalt zurück. Diesen Druck nennt man *Wanddruck*. Da nach einem physikalischen Prinzip Druck gleich Gegendruck ist, ist der Wanddruck ebenso hoch wie der Turgordruck.

Der Turgordruck ist für die Pflanze von großer Bedeutung. Durch ihn werden die Zellen, und damit die Gewebe, elastisch gespannt und erhalten auf diese Weise ihre Festigkeit. Davon kann man sich an einer welkenden Pflanze überzeugen: Abgeschnittene, nicht in Wasser gestellte Zweige verlieren durch Verdunstung Wasser, so daß der Turgordruck nachlassen muß, und die Pflanze wird schlaff.

Wenn sich die Zelle in einer hypotonischen Umgebung befindet, aber infolge hohen Turgordrucks die Zellwand bereits elastisch gedehnt ist, wirkt der Wanddruck einer weiteren osmotischen Wasseraufnahme entgegen. Das Maß für die Intensität, mit der die Zelle osmotisch Wasser aufzunehmen vermag, wird als *Saugspannung der Zelle* bezeichnet. Sie ist gleich dem osmotischen Druck vermindert um den Wanddruck (oder Turgordruck, da Wand- und Turgordruck gleich groß sind). Alle diese Größen werden in Atmosphären angegeben.

Befindet sich eine Zelle in *hypertonischer Umgebung*, so dringt Wasser aus der Zelle nach außen, weil die „Wasserkonzentration" im Zellsaft größer ist als außerhalb der Zelle. Dabei verkleinert sich ihr Volumen, und die Zellwand wird entspannt.

Wenn durch diesen Wasserverlust noch keine Konzentrationsgleichheit zwischen Zellsaft und Umgebung erreicht wurde, geht der Wasserverlust der Zelle weiter. Das verformbare Protoplasma folgt der sich verkleinernden Vakuole, die stabile Zellwand ist dazu aber nicht in der Lage; und so löst sich das Protoplasma von der Zellwand ab. Diesen Vorgang nennt man *Plasmolyse*. In der Natur kommt es selten zur Plasmolyse; aber im Experiment kann sie durch Einlegen eines Gewebes in ein hypertonisches Medium, das Plasmolytikum, leicht erzielt werden (Abb. 219/2).

✦ Die in lebenden Zellen gemessenen osmotischen Drücke sind sehr unterschiedlich. Sie betragen in Wurzelzellen im allgemeinen 5 at bis 15 at, in Blattzellen 30 at bis 40 at. Bei Wüstenpflanzen kommen osmotische Drücke von über 100 at vor; das wird mit der dort herrschenden Trockenheit und der daraus folgenden Wasserarmut der Zellen erklärt. Die hohen osmotischen Drücke bei Wüstenpflanzen sind notwendig, sonst könnten die Pflanzenzellen dem trockenen Boden nicht die mit großer Kraft (Bodensaugspannung) festgehaltenen geringen Wassermengen „entreißen". Die Bodensaugspannung beruht auf der Quellung der Bodenkolloide, dem osmotischen Druck der Bodenlösung und der Kapillarwirkung der Bodenteilchen. ✦

Durch die Osmose nimmt die Pflanze nicht nur das Wasser aus dem Boden auf. Auch der *Wassertransport von Zelle zu Zelle* erfolgt osmotisch. Benachbarte Zellen geraten zwangsläufig in ein osmotisches Gleichgewicht: Das Wasser dringt aus der Zelle mit der niedrigeren Saugspannung in die Zelle mit der höheren Saugspannung ein.

Auch *Zellen ohne Vakuole* haben die Fähigkeit zur Osmose. Das ist für die junge, embryonale Pflanzenzelle wichtig, aber auch für die tierische Zelle. Als semipermeable Membran wirkt dann das Plasmalemma bzw. die tierische Zellmembran und als osmotisch wirksame Lösung das Protoplasma.

Keine der plasmatischen Membranen ist ideal semipermeabel. Das soll heißen, daß keine absolute Durchlässigkeit für Wassermoleküle und vor allem keine absolute Undurchlässigkeit für die darin gelösten Substanzen vorliegt. Es handelt sich nur um Geschwindigkeitsunterschiede.

Auch die gelösten Substanzen diffundieren, wenn auch sehr langsam, durch die plasmatischen Membranen.

✦ Die Geschwindigkeiten, mit denen die gelösten Substanzen durch Diffusion eindringen, sind von Substanz zu Substanz außerordentlich verschieden. Im allgemeinen sind sie unter natürlichen Bedingungen so gering, daß die Diffusion der gelösten Teilchen nicht Schritt hält mit dem Transport dieser Teilchen durch die Membranen mit Hilfe der bereits erwähnten aktiven (= energieverbrauchenden) Transportprozesse (↑ S. 218). Die Richtung des aktiven Transports ist nicht abhängig vom Konzentrationsgefälle, sondern wird von der Zelle bestimmt. ✦

Die plasmatischen Membranen sind *nur im lebenden Zustand* semipermeabel. Beim Tod der Zelle brechen die Plasmagrenzschichten zusammen und werden voll permeabel. Eine tote Zelle läßt sich deshalb nicht plasmolysieren. Daher kann mit Hilfe eines Plasmolyseversuches entschieden werden, welche Zellen in einem Gewebe lebend und welche tot sind.

⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ↓4 ↓5 ↓6

▶ Osmose ist Diffusion durch eine semipermeable Membran.
Durch Osmose wird Wasser aufgenommen und von Zelle zu Zelle transportiert.
Durch osmotische Wasseraufnahme entstehen der Turgordruck und der gleichgroße Wanddruck.
Die Saugspannung der Zelle ist gleich dem osmotischen Druck minus Turgordruck.

Aufgaben und Fragen

Aus der Systematik der Pflanzen und Tiere

1. Begründen Sie, weshalb die Viren nicht zu den Lebewesen gerechnet werden!
2. Erläutern Sie, wodurch sich die Bakterienzelle von der Zelle einer Grünalge unterscheidet!
3. Worauf beruht die Bedeutung der saprophytischen Bakterien für den Stoffkreislauf in der Natur?
4. Nennen Sie einige industriell erzeugte Produkte, die unter Verwendung von Bakterien hergestellt werden! Beurteilen Sie ihre Bedeutung für die Volkswirtschaft.
5. Begründen Sie, weshalb die morphologischen Typen der rezenten Grünalgensippen als Beispiele für die Stufenfolge der phylogenetischen Entwicklung im Bereich der Grünalgen angesehen werden können!
6. Nennen Sie die gemeinsamen Merkmale von Grünalgen und grünen Landpflanzen!
7. Begründen Sie, weshalb die Flechten als selbständige systematische Gruppe angesehen werden können!
8. Erläutern Sie die Begriffe Kernphasenwechsel und Generationswechsel!
9. Erläutern Sie die Merkmale der Farnpflanzen, die ihre Angepaßtheit an das Landleben demonstrieren!
10. Vergleichen Sie den Generationswechsel bei Tüpfelfarn und Schwimmfarn! Stellen Sie besonders die Entwicklungstendenzen heraus!
11. Welche fossilen Formen der heute bei uns vorkommenden Farnpflanzen sind Ihnen bekannt? Welche wirtschaftliche Bedeutung kommt den Ablagerungen fossiler Farnpflanzen zu?
12. Erläuterni Sie, welche Kennzeichen der Höherentwicklung bei nacktsamigen Pflanzen gegenüber Sporenpflanzen auftreten!
13. Begründen Sie, daß die Fortpflanzungsverhältnisse der Samenpflanzen Anpassungen an das Landleben darstellen!
14. Erläutern Sie anhand des Baues der Fortpflanzungsorgane bei Nacktsamern und bei Bedecktsamern die wesentlichsten Unterschiede zwischen beiden Sippen!
15. Nennen Sie Beispiele für die Beziehung zwischen dem Bau der Fortpflanzungsorgane bei Samenpflanzen und der Art der Bestäubung!
16. Stellen Sie eine Übersicht der Pflanzenfamilien zusammen, die Sie insgesamt im Biologieunterricht kennengelernt haben! Nennen Sie zu jeder Familie mindestens drei Vertreter mit großer wirtschaftlicher Bedeutung!
17. Kennzeichnen Sie die Unterscheidungsmerkmale von Thallophyten und Kormophyten!
18. Geben Sie einen tabellarischen Überblick über die zunehmende Gewebedifferenzierung bei Pflanzen beim Übergang vom Wasser- zum Landleben! Wählen Sie besonders typische Sippen als Beispiel aus!
19. Erläutern Sie an Beispielen die Zunahme der relativen Umweltunabhängigkeit bei Pflanzen!
    Begründen Sie, warum es sich nur um eine relative Unabhängigkeit handeln kann!

(20) Erläutern Sie die homonome und die heteronome Segmentierung bei Gliedertieren an Beispielen!
(21) Setzen Sie die Unterschiede des Blutkreislaufes von Anneliden, Fischen, Lurchen und Säugern in Beziehung zu ihrer Lebensweise!
(22) Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen dem Bau der Atmungsorgane und dem Blutkreislauf bei Insekten!
(23) Stellen Sie eine Tabelle auf, in der Sie die Atmungsorgane der Tiere als homologe und analoge Organe einordnen! Begründen Sie!
(24) Stellen Sie die Beziehungen zwischen dem Bau der Atmungs- und Kreislauforgane und der Körpertemperatur bei Wirbeltieren dar!
(25) Erläutern Sie an einem Beispiel die Veränderungen in Bau und Funktion der Organe beim Übergang vom Wasser- zum Landleben!
(26) Setzen Sie bei Hohltieren, Gliedertieren und Wirbeltieren den Bau der Nervensysteme in Beziehung zum Leistungsvermögen (Reizreaktion)!

Ökologie

(1) Stellen Sie die wichtigsten chemischen Umweltfaktoren der Pflanzen in Ihrer unmittelbaren Umgebung zusammen!
(2) Stellen Sie die wichtigsten mechanisch auf die Organismen wirkenden Faktoren zusammen!
(3) Stellen Sie die wichtigsten biotischen Faktoren zusammen, die auf die Lebewesen Ihrer Umgebung wirken!
(4) Stellen Sie den Unterschied zwischen abiotischen und biotischen Faktoren heraus!
(5) Ordnen Sie die Umweltfaktoren eines Organismus nach Faktoren des Bodens, des Wassers und des Klimas!
(6) Stellen Sie die Umweltfaktoren zusammen, durch die sich die Hochgebirgsstufe von der Berg- und Hügellandstufe unterscheidet!
(7) Stellen Sie Anpassungserscheinungen der Pflanzen an Niedermoor-, Hochgebirgs- und Dünenstandorte zusammen!
(8) Begründen Sie, warum die Ostsee durch ihre großen Zuflüsse (Oder, Wisła, Neman) nicht ausgesüßt wird!
(9) Definieren Sie folgende Begriffe: Großklima, Mikroklima, Lebensraum, Standort, Biotop, Areal, Bioregion (Wiederholung Klasse 9)!
(10) Säen Sie Langtag- und Kurztagpflanzen im Schulgarten vom zeitigen Frühjahr bis in den Frühherbst hinein im vierzehntägigen Abstand aus! Notieren Sie die Anzahl der Tage von der Aussaat bis zur Keimung und Blütenbildung! Stellen Sie fest, ob die Blütenbildung unter Langtag- oder Kurztagbedingungen erfolgte!
(11) Beobachten und protokollieren Sie zwei bis drei Wochen Beginn, Häufigkeit und Ende des Gesanges verschiedener Vogelarten! Welche Schlußfolgerungen ziehen Sie aus Ihren Beobachtungen für Beziehungen zwischen Licht und Aktivität der Tiere?
(12) Stellen Sie die Formen der Wärmeregulation bei Tieren zusammen!
(13) Betrachten Sie unter dem Mikroskop Spaltöffnungen in der Aufsicht und an einem Blattquerschnitt!
(14) Stellen Sie Blattquerschnitte von Pflanzen trockener Rasen und von Kräutern im Waldschatten her! Betrachten Sie diese unter dem Mikroskop! Stellen Sie die Unterschiede im Bau heraus!

(15) Stellen Sie Querschnitte von Blättern aus dem Kroneninneren und von der Peripherie der Krone auf der Südseite eines Baumes her! Vergleichen Sie die Querschnitte! Was stellen Sie fest? Begründen Sie Ihre Beobachtung an den Querschnitten!

(16) Stellen Sie in einer Tabelle die verdunstungshemmenden und die verdunstungsfördernden Einrichtungen der Xerophyten und Hygrophyten zusammen! Bringen Sie die vorhandenen Einrichtungen mit dem Standort in Zusammenhang!

(17) Betrachten Sie unter dem Mikroskop Blattquerschnitte von krautigen Pflanzen der Trockenrasen und der Sümpfe und Teichränder! Zeichnen Sie Ausschnitte! Erläutern Sie die Unterschiede! Berichten Sie über die Anpassungserscheinungen!

(18) Untersuchen und zeichnen Sie Wurzelsysteme einiger Stauden der nassen (z. B. Sumpf-Dotterblume, Gilb-Weiderich), feuchten (z. B. Brustwurz, Kohl- und Sumpf-Kratzdistel), frischen (z. B. Bärenklau, Wiesen-Kerbel, Wilde Möhre) und trockenen (z. B. Odermennig, Kleine Bibernelle, Stengellose Distel) Standorte! Vergleichen Sie die Wurzelsysteme und begründen Sie die Unterschiede!

(19) Herbarisieren Sie einige Stauden der unter Aufgabe 18 angeführten Standorte!

(20) Ziehen Sie in Blumentöpfen Bohnen und gießen Sie je drei Töpfe mit unterschiedlichen Wassergaben! Drei Blumentöpfe werden nicht gegossen! Messen Sie täglich das Höhenwachstum der Pflanzen! Stellen Sie nach drei bis vier Wochen die Masse der oberirdischen und unterirdischen Teile fest!

(21) Stellen Sie eine Übersicht über die Einrichtungen des Tierkörpers zusammen, die Wasserverluste verhindern!

(22) Zeigen Sie die wirtschaftliche Bedeutung anaerober Mikroorganismen an Beispielen auf!

(23) Ermitteln Sie die Reaktionszahlen einiger Waldpflanzen, Wiesenpflanzen und Unkräuter! Untersuchen Sie den Boden der Fundstellen auf *ph*-Wert und Kalkgehalt! Vergleichen Sie Reaktionszahl und *ph*-Wert sowie Kalkgehalt!

(24) Ordnen Sie Ihnen bekannte Pflanzenarten ökologischen Typen wie Xerophyten und Hygrophyten sowie Kalk- und Säurezeigern zu!

(25) Ermitteln Sie die Temperaturen in 5 cm, 15 cm und 25 cm Bodentiefe, an der Bodenoberfläche, in 10 cm, 50 cm und 200 cm Höhe sowie die Luftfeuchtigkeit in einem Wald, auf einem Kahlschlag oder in der benachbarten offenen Wiesen- oder Ackervegetation! Vergleichen Sie die ermittelten Werte! Begründen Sie!

(26) Stellen Sie die wichtigsten klimatischen und bodenmäßigen Unterschiede zwischen einem Hochwald und einem Kahlschlag zusammen!

(27) Ermitteln Sie die Pflanzen der Krautschicht an einer lichten und einer stark schattigen Stelle eines Waldstückes! Vergleichen Sie die Artenzusammensetzung beider Orte! Begründen Sie Ihre Feststellungen!

(28) Ermitteln Sie die Bodenpflanzen in einer Schonung, im Stangenholz und in einem Artbestand der gleichen Baumart! Vergleichen Sie den Bestand der drei Orte miteinander! Begründen Sie Ihre Feststellungen!

(29) Ermitteln Sie mit einem Belichtungsmesser einmal in jedem Monat während eines Jahres bei Sonnenschein die Beleuchtung des Bodens in einem Laubwald an genau markierten Stellen! Vergleichen Sie das Ergebnis der Messung mit den phänologischen Beobachtungen (Abb. 155/1)!

(30) Ermitteln Sie den Tagesgang der Beleuchtungsstärke, der Boden- und Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit und den Jahresgang der Bodenfeuchtigkeit auf einem Kahlschlag und in einem benachbarten Waldstück! Stellen Sie die Ergebnisse graphisch dar! Begründen Sie die Unterschiede!

(31) Geben Sie einen Überblick über die Beziehungen zwischen Tieren und zwischen Pflanzen in einem Biotop!

32 Stellen Sie eine Sammlung pflanzlicher Parasiten beziehungsweise ihrer Schadbilder (z. B. Brandpilze, Rostpilze, Falscher Mehltau, Kartoffelfäule, Schorfkrankheit, Mutterkorn, Schuppenwurz, Sommenwurz, Klappertopf-, Läusekraut- und Augentrostarten, Mistel), von Seidenarten oder von Zweigen (Hexenbesen, Mistel, Kiefernblasenrost) zusammen! Berichten Sie über die Bedeutung der von Ihnen gewählten Beispiele!

33 Präparieren Sie feine Wurzeln von Nadelhölzern, Eichen, Rot-Buche oder Hainbuche heraus! Betrachten Sie mit der Lupe die Mykorrhiza!

34 Präparieren Sie feine Wurzeln von krautigen und holzigen Leguminosen und von Erlen! Betrachten Sie die Wurzelknöllchen! Fertigen Sie eine Zeichnung an!

35 Betrachten Sie die Wurzelknöllchen unter der Lupe und unter dem Mikroskop!

36 Lassen Sie in einem Blumentopf Bohnen keimen! Entnehmen Sie die Bohnenpflanzen, nachdem sie etwa 20 cm hoch geworden sind, dem Topf und betrachten Sie die Wurzelknöllchen!

37 Nennen Sie pflanzliche Parasiten und Symbionten! Charakterisieren Sie deren unterschiedliche Lebensweise!

38 Legen Sie Herbarblätter mit Pflanzenteilen an, die der Anlockung von Bestäubern dienen (z. B. Kronblätter, Kelchblätter, Staubblätter)! Begründen Sie Ihre Auswahl!

39 Suchen Sie einen Wald in der Nähe Ihres Wohnortes auf und stellen Sie fest, welcher Waldbiozönose dieser Wald zuzuordnen ist! Überprüfen Sie, ob die angegebenen Biozönose- und Biotopmerkmale zutreffen!

40 Definieren Sie die Begriffe Biozönose, Biotop und Ökosystem! Begründen Sie, warum ein jedes Ökosystem ein offenes System darstellt!

41 Erläutern Sie, wodurch das dynamische Gleichgewicht, die Stabilität eines ausgeglichenen Ökosystems zustande kommt!

42 Ermitteln Sie die verschiedenen Schichten eines naturnahen Waldbestandes in der Umgebung des Heimatortes! Ermitteln Sie die Höhe der Schichten und stellen Sie diese in einer schematischen Zeichnung dar!

43 Präparieren Sie das Wurzelsystem einiger Sträucher und Pflanzen der Krautschicht heraus! Ermitteln Sie den Tiefgang, die Durchwurzelungsintensität und den Wurzelverlauf! Stellen Sie die Schichtungen fest! Zeichnen Sie ein Wurzelprofil!

44 Erläutern Sie die Auswirkung einer oberirdischen und einer unterirdischen Schichtung der Biozönose im Hinblick auf Wärmefaktor, Wasserfaktor, Lichtfaktor, chemische Faktoren und biotische Faktoren!

45 Beobachten Sie in einer ausgeglichenen Wald-Biozönose folgende phänologische Stadien: Blütezeit der Frühjahrsblüher, Blattentfaltung der Straucharten und Baumarten, Blattfärbung, Zeit funktionstüchtiger Blattorgane von Frühblühern; Blattentfaltung von Strauch- und Baumarten, Blütezeit von Sommerblühern, Zeit funktionstüchtiger Blattorgane von Sommerblühern; Blattfärbung und Blattfall von Strauch- und Baumarten!

46 Stellen Sie die Ergebnisse der Beobachtungen aus Aufgabe 45 ähnlich wie in Abbildung 155/1 graphisch dar! Begründen Sie die Zweckmäßigkeit der zeitlichen Beziehungen zwischen diesen Arten im Hinblick auf das dynamische Gleichgewicht der Biozönose!

47 Erläutern Sie an Hand der Abbildung 160/1 das Nahrungskettengefüge eines ausgeglichenen Ökosystems!

48 Erläutern Sie den Energiefluß in einem Grünland-Ökosystem! Benutzen Sie bei der Erläuterung die Abbildung 162/1! Schlußfolgern Sie daraus, was zur Ertragssteigerung beiträgt!

49 Erläutern Sie den Mineralstoffkreislauf im Wald! Benutzen Sie dabei die Abbildung 159/1!

50 Ermitteln Sie die Maßnahmen zur Schädlingsbekämpfung landwirtschaftlicher Betriebe oder des Forstwirtschaftsbetriebes Ihres Heimatortes!

51 Formulieren Sie anhand des Landeskulturgesetzes der DDR vom 14. 5. 1970 die Hauptaufgaben der sozialistischen Landeskultur in der DDR! Lesen Sie dazu im Gesetzblatt der DDR, Teil 1, Nr. 12 vom 18. Mai 1970 nach!

52 Erläutern Sie, welche Beziehungen zwischen den gesellschaftlichen Verhältnissen und der erfolgreichen Durchsetzung des Umweltschutzes bestehen!

53 Erläutern Sie, welche Maßnahmen unter dem Begriff Melioration verstanden werden!

54 Ermitteln Sie, wo in der Nachbarschaft (im Kreisgebiet) komplexe Meliorationsmaßnahmen durchgeführt werden!
Vergleichen Sie die Verhältnisse vor den Meliorationsmaßnahmen mit den erzielten Ergebnissen!

55 Untersuchen Sie, ob landwirtschaftlich genutzte Flächen Ihrer Umgebung durch Erosion geschädigt oder gefährdet sind! Schildern Sie, welche Maßnahmen gegen Erosionsschäden getroffen werden können! Erläutern Sie, welche Maßnahmen in Ihrer Umgebung getroffen, geplant oder noch notwendig sind!

56 Ermitteln Sie beim Liegenschaftsdienst Ihres Kreises, ob in Ihrem Kreis die landwirtschaftliche Nutzfläche in den vergangenen Jahren zurückgegangen ist! Ergründen Sie die Ursachen! Welche Maßnahmen wurden in Ihrer Umgebung festgelegt, um einem weiteren Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzfläche entgegenzuwirken? Überlegen Sie, ob noch andere Maßnahmen getroffen werden könnten!

57 Welche Flächen wurden in den letzten Jahren in Ihrer Umgebung rekultiviert? Wie ist der Erfolg? Wo gibt es auch kleinere, zur Rekultivierung geeignete Flächen?
Interpretieren Sie die wichtigsten Gesichtspunkte der Bodennutzungsverordnung von 1964!

58 Beschreiben Sie den Kreislauf des Wassers in der Natur! Welche Wassermengen des Kreislaufs stehen dem Menschen davon zur Nutzung zur Verfügung? Welche Schlußfolgerungen ergeben sich daraus für den Verbrauch?

59 Erläutern Sie, welche Maßnahmen in der DDR ergriffen wurden und geplant sind, um den steigenden Bedarf an Wasser für Industrie und Haushalt zu sichern!

60 Erläutern Sie an Beispielen, bei welchen Maßnahmen zur Wasserversorgung und Melioration die Angehörigen der Freien Deutschen Jugend sich durch besondere Initiative auszeichneten!

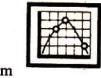
61 Erkunden Sie notwendige oder durchgeführte Maßnahmen der Abwasserreinigung in Ihrer Umgebung!

62 Erkunden Sie, wo in Ihrer Umgebung große Mengen an festen Abprodukten anfallen! Wie werden sie verwertet oder deponiert? Welche Möglichkeiten ihrer Verwertung oder besseren Lagerung sehen Sie?

63 Berichten Sie, wie Sie beispielsweise auf Straßen, in Parkanlagen, öffentlichen Verkehrsmitteln, beim Baden und auf Campingplätzen mithelfen können, die Bestimmungen des Landeskulturgesetzes zu verwirklichen!

64 Nehmen Sie Verbindung zum Beauftragten für Abgase eines Betriebes auf und informieren Sie sich über geplante, eingeleitete oder bereits durchgeführte Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft!

65 Erkunden Sie, ob beim Rat des Kreises, der Stadt oder Gemeinde eine Arbeitsgruppe für sozialistische Landeskultur besteht! Welche Aufgaben stellt sich diese Arbeitsgruppe? Wie wirken gesellschaftliche Kräfte mit?



66 Nehmen Sie Verbindung mit dem zuständigen Naturschutzbeauftragten oder mit dem Kulturbund der DDR auf und informieren Sie sich über die Möglichkeiten der Mithilfe!

67 Erkunden Sie, welche Naturschutzgebiete in Ihrer Umgebung liegen! Wie werden sie für Forschung oder Lehre genutzt? Gibt es Veröffentlichungen über diese Naturschutzgebiete? Befragen Sie dazu den Kreisnaturschutzbeauftragten!

68 Welche Landschaftsschutzgebiete liegen in Ihrer näheren Umgebung? Wie werden sie für Erholungszwecke genutzt oder entwickelt?

69 Ermitteln Sie gemeinsam mit dem zuständigen Naturschutzbeauftragten Naturdenkmale im Kreis! Erkunden Sie ihren gegenwärtigen Zustand und eventuell notwendige Pflegemaßnahmen! Erkunden Sie das Vorkommen geschützter Pflanzen- oder Tierarten in Ihrer Umgebung! Wodurch werden sie gefährdet, und was kann dagegen unternommen werden?

Aus der Physiologie der Pflanzen und Tiere

1 Welche Bedeutung hat das Kausalitätsprinzip in der Physiologie?

2 Schildern Sie die Bedeutung der Physik und Chemie für die Physiologie!

3 Nennen Sie Besonderheiten der lebenden Materie!

4 Wiederholen Sie Ihre Kenntnisse aus dem Physikunterricht über Röntgenstahlen und das Elektronenmikroskop und wenden Sie sie auf biologische Untersuchungsmethoden an!

5 Vergleichen Sie die pflanzliche und die tierische Zelle! Erläutern Sie!

6 Fertigen Sie ohne Vorlage eine schematische Skizze vom submikroskopischen Bau einer Zelle an!

7 Erläutern Sie, welche kolloidalen Eigenschaften im Protoplasma eine Rolle spielen!

8 Inwiefern ist das Protoplasma ein dynamisches System?

9 Schildern Sie die Bedeutung des Zellkerns für den Zellstoffwechsel, die Fortpflanzung und die Vererbung!

10 Welche Zusammenhänge bestehen zwischen Zellkern und Ribosomen?

11 Vergleichen Sie Chloroplasten und Mitochondrien in ihrem Bau und ihrer Funktion!

12 Weshalb kann die Diffusion für den Wassertransport über größere Strecken (z. B. von der Wurzel in das Blatt) keine Rolle spielen?

13 Weshalb kann man die Durchwanderung durch eine semipermeable Membran als „behinderte Diffusion" bezeichnen?

14 Die Wassermoleküle dringen durch ihre eigene Diffusion in eine Pfeffersche Zelle (oder eine Pflanzenzelle) ein, sie werden nicht durch die Zuckerlösung (den Zellsaft) hineingesogen. Welche Rolle spielen dann die Zuckermoleküle (die gelösten Teilchen im Zellsaft)?
Suchen Sie beim Osmometer das Äquivalent für den Wanddruck der Pflanzenzelle!

15 Interpretieren Sie ausführlich die Abbildung 219/2!

Versuche

1 **Beobachtung lebender und gefärbter Zellen, Protoplasmaströmung**

Untersuchungsmaterial: Sprosse der Wasserpest *(Elodea canadensis* oder besser *E. densa),* Küchenzwiebeln.

Geräte und Reagenzien: Mikroskop, Objektträger, Deckgläser, Pinzette, Schere, Küchen- oder Taschenmesser, neue Rasierklinge, Glasschälchen, Glasstab, Uhr mit Sekundenzeiger oder Stoppuhr. – 96%iges Äthanol, Methylgrün-Fuchsin (0,5%ige wäßrige Methylgrünlösung mit 5%iger Fuchsinlösung im Verhältnis 4 : 1 gemischt).

Dauer: 45 min

Durchführung:

a) Vorbereitung der Blätter der Wasserpest

Jüngere, saubere, algenfreie Blättchen abzupfen (Pinzette) und quer halbieren (Schere), Blatthälften für einige Zeit in Wasser legen. Durch die Verletzung wird die Plasmaströmung gefördert.

b) Untersuchung der lebenden Zwiebelzelle

Eine Zwiebel durch 2 Längsschnitte in 4 Teile teilen. Eine Zwiebelschuppe herauslösen. Mit der Rasierklinge die obere (konkave) Epidermis kreuzweise einschneiden, so daß Quadrate von 2 bis 3 mm Seitenlänge entstehen. Ein Quadrat abziehen (Pinzette) und auf einen Objektträger bringen, Wassertropfen und Deckglas aufsetzen. Mikroskopieren.

Beobachten: Zellwand, Vakuole (nimmt fast den ganzen Innenraum ein), Zellkern (eine Zelle wählen, in der der Kern einer seitlichen Zellwand anliegt!), Protoplasma (als dünner Wandbelag nur deutlich in der Nähe des Kerns zu erkennen).

c) Färben der Zwiebelzellen

Einige Epidermis-Quadrate für etwa 10 min in Methylgrün-Fuchsin legen.

d) Beobachten der Protoplasmaströmung bei der Wasserpest

Eine Blatthälfte mit der Blattoberseite nach oben auf einen Objektträger legen, Wassertropfen und Deckglas aufsetzen. Mikroskopieren.

Beobachten: Wandern der von der Protoplasmaströmung mitgerissenen Chloroplasten (am besten in der Nähe der Schnittfläche und der Blattmittelrippe). Für einen Zellumlauf benötigte Zeitdauer abstoppen.

e) Beobachten der gefärbten Zwiebelzelle

Gefärbte Quadrate mehrmals abwechselnd in Wasser und Äthanol waschen. Auf Objektträger bringen, 96%iges Äthanol und Deckglas aufsetzen. Mikroskopieren. Zellwände und Zellkerne blaugrün, Plasma rot.

Aufgabe: Zeichnungen der beiden Objekte anfertigen!

2 **Beobachtung der Zellwandschichtung und Tüpfelkanäle bei Steinzellen**

Untersuchungsmaterial: eine reife, möglichst holzige Birne.

Geräte und Reagenzien: Mikroskop, Objektträger, Deckgläser, Küchen- oder Taschenmesser, neue Rasierklinge, Gläser mit Leitungswasser und Glasstab.

Dauer: 15 min

Durchführung: Birne aufschneiden, mit der Rasierklinge dünne Schnitte aus dem Fruchtfleisch anfertigen und auf Objektträger bringen. Das Gewebe darf beim Schneiden zerrissen werden. Wassertropfen aufsetzen. Wenn die Schnitte zu dick sind, kann man sie zwischen 2 Objektträgern zerquetschen. Deckglas aufsetzen. Mikroskopieren. Gewebe nach dickwandigen Steinzellen durchsuchen, die in auffälligen Nestern zu mehreren vereinigt sind. Beobachten: Zellwandschichtung und Tüpfelkanäle (↑Abb. 216/1).

Aufgabe: Zeichnung anfertigen!

3 ▼ **Nachweis verholzter Zellwände (Ligninnachweis) mit Phlorogluzin-Salzsäure**

Untersuchungsmaterial: Holzwolle oder Hobelspäne, holzfreies (Filtrierpapier) und holzhaltiges (Zeitung) Papier, verschiedene Papiersorten, Stengel von Mais *(Zea mays)*.

Geräte und Reagenzien: Mikroskop, Objektträger, Deckgläser, Pinzette, scharfes Küchen- oder Taschenmesser, neue Rasierklinge, Glasschälchen, Glasstab. – Phlorogluzin-Salzsäure: Stark verdünnte Lösung von Phlorogluzin (1,3,5-Trihydroxybenzol; Spuren genügen) vermischt mit konzentrierter Salzsäure im Verhältnis 1 : 2.

Dauer: 25 min

Durchführung: Holzwolle, Papier usw. mit Phlorogluzin-Salzsäure befeuchten; sofortige Rotfärbung zeigt das Vorhandensein von Lignin an.

Querschnitt durch Maisstengel anfertigen: Mit scharfem Messer eine glatte Schnittfläche anlegen, mit der Rasierklinge mehrere möglichst dünne Querschnitte anfertigen (den 1. Schnitt verwerfen), für kurze Zeit in Phlorogluzin-Salzsäure legen (wenige Sekunden bis Minuten, je nach Schnittdicke). Nicht auswaschen, auf Objektträger bringen, Wassertropfen und Deckglas aufsetzen. Mikroskopieren.

Vorsicht: Nie Salzsäure an die Optik oder andere Teile des Mikroskops bringen!

Aufgabe: Betrachten Sie ein Leitbündel! Begründen Sie die Erscheinungen!

4 ▼ **Plasmolyse**

Untersuchungsmaterial: Blätter von *Rhoeo discolor*, Küchenzwiebeln *(Allium cepa)*.

Geräte und Reagenzien: Mikroskop, Objektträger, Deckgläser, Pinzette, Küchen- oder Taschenmesser, neue Rasierklinge, Glasschälchen, Glasstab, Streifen aus Filtrierpapier. – 0,6 mol Rohrzuckerlösung, 0,6 mol Kaliumchloridlösung, 0,01%ige Neutralrotlösung.

Dauer: Je nach Ausführung, mit oder ohne Deplasmolyse, 15 bis 45 min

Durchführung:

a) Ausführung mit *Rhoeo discolor*

Rhoeo ist wegen des violett gefärbten Zellsaftes (Anthozyan) besonders geeignet. Nicht zu dünne Flächenschnitte der unteren Epidermis herstellen (Rasierklinge), auf einen Objektträger bringen, Wasser und Deckglas aufsetzen. Mikroskopieren.

Lebende Zellen beobachten (geschädigte Zellen sind am Verlust des violetten Zellsaftes zu erkennen)! An einer Kante des Deckglases einen Tropfen Rohrzuckerlösung zusetzen, an der gegenüberliegenden Kante das Wasser mit Filtrierpapier wegsaugen. Beobachten der allmählich fortschreitenden Plasmolyse. Nach beendeter Plasmolyse die Rohrzuckerlösung auf dieselbe Weise, aber langsam, durch Leitungswasser ersetzen (Deplasmolyse).

b) Ausführung mit *Allium cepa*

Die Zellen der Zwiebelepidermis sind ungefärbt, daher ist der Plasmolyseverlauf nicht so gut zu beobachten. Quadrate aus der oberen Epidermis der Zwiebelschuppe nach Versuch 1 isolieren. Im übrigen wie bei *Rhoeo* verfahren. Man kann statt der Rohrzuckerlösung Kaliumchlorid verwenden, da durch eindringende Kalium-Ionen das Protoplasma quillt und besser zu erkennen ist.

c) Ausführung mit gefärbten *Allium*-Zellen

Eine dem Plasmolyse-Versuch vorangehende Lebendfärbung ermöglicht auch bei Zwiebelzellen eine gute Beobachtung. Quadrate aus der Epidermis (s. Ausführung b) in ein Schälchen mit Neutralrotlösung übertragen. Nach 15 min in einem Schälchen mit Wasser auswaschen. Auf Objektträger bringen, Wasser und Deckglas aufsetzen. Mikroskopieren.

Anschließend plasmolysieren und deplasmolysieren wie in Ausführung a und b.

Aufgabe: Zeichnen Sie den Plasmolyseverlauf (Umrißzeichnungen von Zelle und Vakuole)!

5 ▼ **Nachweis der Saugspannung pflanzlicher Gewebe**

Untersuchungsmaterial: Kartoffelknollen

Geräte und Reagenzien: Reagenzglasständer, Reagenzgläser, Pipette, Messer oder Rasierklinge, Millimeterpapier oder Lineal, evtl. Korkbohrer. – Destilliertes Wasser, Rohrzuckerlösung.

Dauer: Ansatz 20 min, Wartezeit 3 h, Auswertung 5 min

Durchführung: Mit Korbohrer 11 gleichstarke, zylindrische Stifte aus dem Kartoffelgewebe ausstechen oder (ohne Korkbohrer) 11 gleichstarke Stifte von quadratischem Querschnitt ausschneiden. Stifte auf genau 5 cm Länge zuschneiden. Je 1 Stift in ein Reagenzglas stellen und sofort mit Rohrzuckerlösungen abgestufter Konzentration übergießen, die durch Mischen von destilliertem Wasser mit 1 mol Rohrzuckerlösung hergestellt wurden.

Nach 3 h Kartoffelgewebe herausnehmen und Länge messen. In verdünnten Lösungen haben sich die Stifte verlängert, in konzentrierten Lösungen verkürzt. Der Stift ohne Längenänderung befand sich in einer Zuckerlösung, deren osmotischer Druck genau so groß ist wie die Saugspannung des Kartoffelgewebes (beides in Atmosphären).

Aufgabe: a) Erklären Sie, warum Verkürzungen und Verlängerungen der Stifte stattgefunden haben! b) Stellen Sie die Längenänderung der Stifte in Abhängingkeit von der Konzentration der Zuckerlösung graphisch dar!

Reagenzglas-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Rohrzucker-Konzentration (mol/l)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1 molare Zuckerlösung (ml)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
destilliertes Wasser (ml)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

6 ▼ **Nachweis des Turgordrucks pflanzlicher Gewebe**

Untersuchungsmaterial: frische Zweige beliebiger Pflanzen.

Geräte: Bechergläser, scharfes Messer oder Rasierklinge, Uhr.

Dauer: wenige Minuten. Wartezeit: mehrere Stunden.

Durchführung: Zweige teils in Gefäße mit Wasser, teils ohne Wasser einstellen; beim Einstellen in Wasser Stengel unter Wasser um mehrere Zentimeter kürzen. Zeitdauer bis zum Welkwerden der Pflanzen ohne Wasser feststellen (meist mehrere Stunden, je nach Pflanzenart). Angewelkte Zweige in Wasser stellen, Stengel unter Wasser um mehrere Zentimeter verkürzen. Zeitdauer feststellen bis zur Wiederherstellung des Turgordrucks (gleiches Aussehen der erholten Zweige wie der Kontrollpflanzen, die von Anfang an in Wasser standen).

Aufgabe: Protokollieren Sie die Zeitdauer bis zum Verlust und bis zur Wiederherstellung des Turgordrucks in Abhängigkeit von der untersuchten Pflanzenart!

Worterklärung

abiotisch: nicht lebend, ohne Leben; Gegensatz biotisch
Analogie: Übereinstimmung von Organen hinsichtlich ihrer Funktion, unabhängig von ihrem Ursprung und ihrer Struktur
Antheridium (Pl. Antheridien): spezielles Organ der Moose und Farne, in dem die Spermatozoiden gebildet werden
Antibiotika (Sing. Antibiotikum): vorwiegend von Mikroorganismen gebildete Substanzen, die bestimmte andere Mikroorganismen in ihrer Entwicklung hemmen, sie schädigen oder töten
Archegonium (Pl. Archegonien): spezielles Organ der Moose und Farne, das die Eizelle enthält und in dem die Befruchtung stattfindet
Askomyzeten (Sing. Askomyzet): Schlauchpilze, Klasse innerhalb des Stammes der Pilze *(Mykophyta)*
Areal (Pl. Areale): Siedlungsgebiet einer Sippe von Organismen
Assimilation: Angleichung; Aufbau von körpereigenen, organischen Substanzen aus körperfremden anorganischen Stoffen; man unterscheidet autotrophe A. und heterotrophe A. Die Produkte der A. heißen Assimilate.

Basidiomyzeten (Sing. Basidiomyzet): Ständerpilze, Klasse innerhalb des Stammes der Pilze *(Mykophyta)*
Biokatalysator: in allen Lebewesen die Lebensvorgänge steuernder Wirkstoff (Enzym, Hormon, Vitamin)
Biosphäre: Teil der Erdoberfläche, in dem das Leben existiert und der sich deshalb durch eine besondere geologische und physiko-chemische 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
Biotop: natürlicher Lebensraum, der einer bestimmten Pflanzen- und Tiergemeinschaft entsprechende Lebensbedingungen bietet
Biozönose: Lebensgemeinschaft von Organismen in einem ↑Biotop

Desoxyribonukleinsäure DNS: hochmolekulares Polynukleotid, das sich als Nukleoproteid im Chromatin des Zellkerns befindet
Diffusion: wechselseitige Durchdringung gasförmiger, flüssiger oder fester Stoffe, die miteinander in Berührung stehen. D. bewirkt Konzentrationsausgleich der Stoffe
DNS: → Desoxyribonukleinsäure
Dissimilation: Abbau von Nähr- und Reservestoffen zur Energiegewinnung in Organismen unter Mitwirkung von Biokatalysatoren

Ektoderm: äußeres Keimblatt, aus dem die Oberhaut mit ihren Drüsen und Anhängen, das Nervensystem und die Sinneszellen entstehen
Endosperm (Pl. Endosperme): Nährgewebe, das aus dem Embryosack hervorgeht
Entoderm: inneres Keimblatt, welches im wesentlichen Teile des Darmes und dessen Anhangsdrüsen liefert
Enzym: → Biokatalysator
Epidermis: Abschlußgewebe; umgibt Sproß und Wurzel der Pflanzen als einschichtige Hülle. Oft von einer → Kutikula überzogen. Typische Bildungen der E. sind die Spaltöffnungen
Epithel: flächenhaft ausgebreitetes, äußere und innere Oberflächen des tierischen Körpers bekleidendes Gewebe
Eukaryont: Organismus, dessen Zellen im Gegensatz zu den Prokaryonten einen echten Zellkern mit echten, durch Mitose oder Meiose verteilten Chromosomen besitzen
Evaporation: Verdunstung

fertil: fruchtbar, Fortpflanzungsorgane bzw. Fortpflanzungszellen tragend
Fortpflanzung: Fähigkeit der → Lebewesen, den Eltern weitgehend gleichende Nachkommen hervorzubringen. Die Fortpflanzung kann geschlechtlich oder ungeschlechtlich erfolgen

fossil: aus vergangenen geologischen Zeiten erhalten (z. B. versteinert), Gegensatz rezent

Gametangium (Pl. Gametangien): spezifische Zelle bzw. Organ, in dem die ♀ oder ♂ Gameten gebildet werden (bei Algen und Pilzen)
Gametangiogamie: geschlechtliche Vermehrung durch Verschmelzung der vielkernigen ungeteilten ♀ und ♂ Gametangien, ohne Ausbildung von Gameten; kennzeichnend für Askomyzeten
Generationswechsel: gesetzmäßige Folge verschiedener Fortpflanzungsarten, z. B. Wechsel zwischen einer sich geschlechtlich und einer sich ungeschlechtlich fortpflanzenden Generation
Geophyten: ausdauernde krautige Pflanzen, die ungünstige Lebensbedingungen mittels unterirdischer Organe überdauern können, z. B. Rhizom-, Knollen-, Zwiebel- und Rübengeophyten
Gewebe: Verbände von gleichartig ausgebildeten Zellen

halbdurchlässig (semipermeabel): einseitig durchlässig; hier Membranen, durch die gelöste Stoffe nicht in gleicher Weise diffundieren können wie das Lösungsmittel
Heterogonie: Form des Generationswechsels im Tierreich, bei der zweigeschlechtliche und eingeschlechtliche Fortpflanzung alternieren
Heterozygotie: Ungleicherbigkeit, auf Vereinigung von Gameten zurückzuführen, die sich in Qualität und Quantität oder Anordnung ihrer Gene unterscheiden
Homologie: Übereinstimmung von Organen hinsichtlich ihrer Lage, Struktur und Entwicklungsgeschichte
Hormone: körpereigene, bei Tieren in Hormondrüsen gebildete Wirkstoffe; sie sind wirk-, aber nicht artspezifisch. H. steuern die Vorgänge des Stoffwechsels, des Wachstums und der → Fortpflanzung
Humus: organische Substanz aus abgestorbenen Pflanzen, Tieren oder Mikroorganismen in und auf dem Boden. Der Humusgehalt des Bodens beeinflußt wesentlich seine Fruchtbarkeit
Hydrokultur: erdelose Kultur für die Aufzucht von Pflanzen in Nährlösung. Kies oder Kunststoffe dienen als Träger
Hydrophyten: Wasserpflanzen
Hydroponik: erdelose Kultur für die Aufzucht von Pflanzen in Nährlösung ohne Trägersubstanz
Hygrophyten: Landpflanzen, die an ständig feuchten Standorten vorkommen und an diese angepaßt sind

Imago: voll entwickeltes Insekt
Interzellulare: Zwischenzellräume
intrazellulär: im Inneren der Zelle

Knöllchenbakterien: bestimmte Bakterien, die durch die Wurzelhaare bis in die Rinde der Wurzeln von Schmetterlingsblütengewächsen eindringen. Durch Zellteilungen des Rindengewebes entstehen Wucherungen (Wurzelknöllchen). Die in den Wucherungen lebenden Knöllchenbakterien nehmen molekularen Stickstoff aus der Bodenluft auf und bilden organische Verbindungen. Nach dem Absterben der K. kann der gebundene Stickstoff von der Pflanze aufgenommen werden
Kolonie: dauernde Vergesellschaftung von Individuen einer Art
Konjugation: besondere Form der Befruchtung bei Ziliaten. Während einer vorübergehenden Vereinigung der Partner wird über eine Plasmabrücke Kernsubstanz (Wanderkerne) ausgetauscht. Die Konjugation ist nicht mit einer Vermehrung verbunden
Konvergenz: Formähnlichkeit bei nicht näher verwandten Lebewesen oder ursprünglich verschieden aussehenden Organen auf Grund der Anpassung an gleiche Lebensweise und Funktion
Kopulation: 1. Begattung ; geschlechtliche Vereinigung von zwei verschiedengeschlechtigen (bzw. zwittrigen Individuen. Bei der Kopulation wird der männliche Samen in die weiblichen Geschlechtsorgane übertragen. 2. Verschmelzen zweier geschlechtlich differenzierter Gameten zu einer diploiden Zelle (Zygote)
Kormus: Pflanzenkörper, der in Wurzel und Sproß (Sproßachse und Blätter) gegliedert ist
Kutikula: von → Epidermis abgeschiedene Schutzschicht bei Tieren und Pflanzen, für Wasser kaum durchlässig

Leibeshöhle: Hohlraum im Körper der Tiere; primäre Leibeshöhle ist der Hohlraum zwischen Ekto- und Entoderm; sekundäre Leibeshöhle → Zölom, tertiäre Leibeshöhle → Mixozöl
Lignin: Holzstoff, wesentlicher Bestandteil des Holzes

Membranen: Grenzschichten des Protoplasmas, die die Zelle nach außen und die einzelnen Bestandteile der Zelle gegeneinander abgrenzen
Melioration: Verbesserung; hier Bodenverbesserung (z. B. durch Be- oder Entwässerung)
Mesoderm: mittleres Keimblatt; aus ihm gehen Bindegewebe, Muskeln, Innenskelett und Ausscheidungsorgane hervor.

Mesophyten: Landpflanzen, die an mäßig feuchten Standorten vorkommen und zwischen → Hygrophyten und → Xerophyten vermitteln
Mikroorganismen: Kleinlebewesen, meist nur mit dem Mikroskop sichtbar (z. B. Viren, Bakterien, niedere Pilze, tierische Einzeller). Im Stoffkreislauf der Natur bauen sie abgestorbene organische Stoffe zu anorganischen Stoffen ab, die den autotrophen Organismen wieder als Nährstoffe dienen können
Mixozöl: zwischen Darm und Epidermis gelegene Leibeshöhle der Arthropoden; sie entsteht durch Verschmelzung der primären mit der sekundären Leibeshöhle; eine epitheliale Auskleidung fehlt
monophyletisch: einstämmig; Abstammung einer Organismengruppe von gemeinsamen Ahnen bzw. aus einer gemeinsamen Urform, Gegensatz polyphyletisch
Morphologie: Wissenschaft von der Gestalt und vom Bau der Organismen
Mykorrhiza: das enge Zusammenleben von Pilzen mit den Wurzeln höherer Pflanzen (meist zum gegenseitigen Nutzen)

Ökologie; Lehre von den Wechselbeziehungen zwischen den Organismen und ihrer Umwelt
ökologische Potenz: Toleranzbereich einer Art gegenüber einem Umweltfaktor im Verlaufe der Individualentwicklung
ökologische Valenz: Amplitude eines Umweltfaktors, innerhalb der noch Leben möglich ist
Ontogenese: individuelle Entwicklung eines Tieres oder einer Pflanze vom Keim bis zur Fortpflanzungsreife
Organell: Differenzierung des Zellplasmas, das eine besondere Struktur hat und eine bestimmte Funktion ausübt
Osmose: Eindringen einer Flüssigkeit in eine andere durch eine halbdurchlässige Scheidewand. Bedeutend für Wasseraufnahme bei Pflanzen und Stoffaustausch zwischen den Zellen

Parasitismus: Schmarotzertum, Deckung des Bedarfs eines Organismus an körperfremden Stoffen ganz oder teilweise auf Kosten eines anderen Organismus
pathogen: krankheitserregend
Phänologie: Lehre von den Eintrittszeiten bestimmter Lebenserscheinungen bei Pflanzen und Tieren im Verlaufe eines Jahres in Abhängigkeit von der Witterung
Photosynthese: Form der autotrophen Assimilation, Bildung von Kohlenhydraten in grünen Pflanzenteilen aus Kohlendioxid, Wasser und Sonnenenergie unter Abgabe von Sauerstoff (↑ Assimilation). Sonnenenergie wird mit Hilfe des Chlorophylls in chemische Energie umgewandelt
Physiologie: Lehre von den Lebensvorgängen in den Organismen
Pflanzenschutzmittel: Produkte der chemischen Industrie mit einem oder mehreren Wirkstoffen zur Bekämpfung von Krankheiten und Schädlingen bei Pflanzen, z. B. Herbizide (gegen Unkräuter), Insektizide (gegen Insekten), Fungizide (gegen Pilze)
Plastiden: Im Zytoplasma autotroph lebender Pflanzen liegende Zellorganellen
Population: Gesamtheit der Individuen einer Art, die in einem natürlich oder künstlich abgegrenzten Lebensraum lebt, beispielsweise alle Kiefernspanner eines Kiefernwaldes, alle Guppys in einem Aufzuchtbecken
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
Protoplasma: Gesamtbegriff für den lebenden Zellinhalt (Zellplasma, Zellkern, Chloroplasten, Mitochondrien, Membran)

Regeneration: die Fähigkeit eines Organismus, verletzte, abgestorbene oder verlorengegangene Körperteile mehr oder weniger vollständig zu ersetzen
Reiz: Einwirkung auf lebende Zellen, Gewebe oder Organe, die Erregungen und als Folge davon Reaktionen des Organismus bewirkt
Reizbarkeit: die Eigenschaft der Organismen, auf Einwirkungen der Umwelt mit bestimmten Reaktionen zu antworten
rezent: in der geologischen Jetztzeit lebende Tiere und Pflanzen; Gegensatz fossil
Ribonukleinsäure (RNS): hochmolekulares Polynukleotid, das ähnlich wie → Desoxyribonukleinsäure aufgebaut ist, anstelle von Desoxyribose jedoch Ribose und im Basenanteil statt Thymin Urazil enthält.
RNS: → Ribonukleinsäure

Semaphoront: raum-zeitlicher Ausschnitt aus dem Lebensablauf eines Organismus, der unmittelbares Objekt der Forschung ist. Kann im Grenzfall entweder unendlich klein gedacht werden oder mit der Lebensdauer eines Individuums zusammenfallen
Standort: Lebensraum einer bestimmten Pflanzengemeinschaft (Pflanzenarten mit ähnlichen ökologischen Potenzen)

steril: unfruchtbar, keine Fortpflanzungsorgane bzw. Fortpflanzungszellen tragend
Sukkulenten: krautige Pflanzen mit besonderen Speichergeweben zur Wasserspeicherung; besiedeln oft trockene Standorte
Symbiose: zeitweilige oder dauernde Verbindung zwischen artverschiedenen Individuen mit gegenseitiger Abhängigkeit und gegenseitigem Nutzen
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), geschlossene Systeme, offene Systeme, kybernetische Systeme usw.

Taxon (Pl. Taxa): Bezeichnung für eine systematische Einheit unabhängig von ihrer Kategorie (z. B. Familie, Gattung, Art usw.)
Taxonomie: Teilbereich der Biologie, hat die Aufgabe, die Lebewesen zu beschreiben, zu benennen und nach ihren verwandtschaftlichen Beziehungen zu ordnen
Toleranz: zulässige Abweichung vom vorgegebenen Wert
Toleranzbereich: Erträglichkeitsbereich einer Art gegenüber der Wirkung eines Umweltfaktors. Der Toleranzbereich weist ein Optimum auf und wird durch einen Minimum- bzw. Maximumwert begrenzt

Umwelt: Gesamtheit aller auf einen Organismus einwirkenden äußeren Faktoren

Vegetationszeit: Zeitraum, in dem die Pflanze wächst, blüht, fruchtet und reift
Verbreitungsgebiet: geographisch abgegrenzter Lebensraum einer Art. Jede Art hat ein bestimmtes natürliches Verbreitungsgebiet
Verwesung: durch die Einwirkung von Bakterien unter Sauerstoffzutritt stattfindende Zersetzung von Eiweiß abgestorbener Organismen.

Wirtswechsel: ein im Verlauf der Entwicklung eines Organismus erfolgender Übergang von einem Wirt auf den anderen; vielfach mit Formwechsel verbunden
Wuchsstoffe: organische Verbindungen; Wirkstoffe, die in geringen Konzentrationen das Pflanzenwachstum beeinflussen (→ Biokatalysator)

Xerophyten: Pflanzen, die an trockene Standorte angepaßt sind

Zeigerpflanzen: Organismen mit kleinem Toleranzbereich gegenüber einem Umweltfaktor. Das Vorkommen der Art läßt auf bestimmte Standortmerkmale schließen (z. B. Säuregehalt, Kalziumgehalt des Bodens)
Zellulose: Kohlenhydrat mit der Bruttoformel $(C_6H_{10}O_5)_n$, wichtigste pflanzliche Gerüstsubstanz, Bestandteil der Zellwand
Zölom: ein von mesodermalem Epithel ausgekleideter Hohlraum im Körper der Tiere; Leibeshöhle

Register

*Abbildungshinweis

Abdomen 69*
Abgase 192, 193* ff.
Abprodukte 190 f.
Abwässerreinigung 187*, 188* f.
Aerobier 119 ff.
Aktivität, Tiere 110* f.
Algen 20 ff.*, 27, 29
Allelopathie 137 f.
Amoebe 54*
Anaerobier 119 ff.
analoge Organe 81
Anisogamie 24 f., 32
Anneliden 59, 62*, 64*, 65
Antheridien 33*, 35*
Aorta 65, 82, 84*
Archegonien 33*, 35*, 41, 43
Arthropoden 64 f.*, 67 ff.*
Assimilation 106*, 164 f., 209
Assimilate 165
Atmung 214
Atmungsorgane 75, 79*, 80*, 81*
Augentierchen 50, 53*
Ausscheidungsorgane 61*
Außenskelett 64*

Bakterien 12 f., 16*, 17*, 18 ff.
Bakteriophagen 12, 13*, 14
Bärlappgewächse 36, 37*
Bärlappbäume 36*
Bauchmark 61*, 63, 69
Bauchmarktiere 59* f.
Becherkeim 55
Beckengürtel 75*
Bedecktsamer 38, 42 ff.*, 47*
Bestandsklima 128
Bestäubungsmechanismus 137*
Bewässerung 172
Bewegungsenergie, molekulare 218
Bewegungsphysiologie 209
Beziehungen zwischen Organismen 128 ff., 138
Beziehungsgefüge 94, 143
Bilateria 59
biologisches Gleichgewicht 173
Biozönose 95, 143 f., 152 ff.
biozönotisches Gleichgewicht 154, 158
Biotop 95, 143, 147, 153 ff., 172
Blutgefäßsystem 60, 62*, 73, 82* ff.
Blutkreislauf 84*
Böden 121 ff.
Bodendenkmale 197
Bodenerosion 180
Bodenfaktoren 92
Bodenfruchtbarkeit 171, 180
Bodenkolloide 220
Bodennutzungsverordnung 179, 182
Bodenreaktion 124
Bodensaugspannung 220
Brackwasser 102 f., 124 f.
Brackwassertiere, Aktivität 124 f.
Bronchien 79
Brownsche Molekularbewegung 218
Bruttoproduktion, Pflanzenmasse 166
Buchenwald 149* f.

Chemosynthese 19 f.
Chitinkutikula 28, 64*, 67, 71
Chlorella 20, 21*, 25
Chloridgehalt, Wasser 124 f.
Chlorophyll 212, 213*
Chloroplasten 20, 26, 209, 212, 214, 217
Chorda dorsalis 27 f., 74*, 77
Chordatiere 72 f., 77 f., 82
Chromoplasten 212 f.
Chromosomen 212 f.
Chromatin 211, 212*

Darm 62*
Dauersporen 18
Deuterostomia 59* f., 77
Diffusion 217 f., 218 ff.
DNS 12, 14, 15 f., 20
Doppelmembran 213 f.
Dünen 100, 103
Düngung 169, 170*, 171*

Eichen-Eschen-Ulmenwald 150*, 151
Eichen-Hainbuchenwald 150* f.
Eizelle 41*, 43*
Ektoderm 55, 57*, 59, 72
Elektronenmikroskopie 210
Elementarmembran 214
Embryo 9, 45
Embryonalentwicklung 73
Embryosack 41* ff., 45
Endosperm 9, 38, 45, 47*
Energieumwandlung 214
Entoderm 55, 56*, 59
Entwicklungsphysiologie 209
Enzyme 211
Epidermis 26, 33, 61*, 64*, 64
Epithelmuskelzellen 55* f.
Epithelschicht 55, 60
Epithelzellen 56*
Erlenbruchwald 100, 151, 152*
Ernteerträge 167
Ertragssteigerung 109, 122, 124, 169, 170*, 171*
Extremitäten 60, 63, 64*, 66, 69*, 74*

Fächerlungen 65
Fächertracheen 65 f.
Fadengeflecht 31*
Faktoren 93, 95, 125, 170
Faktorenkomplexe 92
Farne 31, 34*, 35
Farnpflanzen 33, 38, 46*
Festigungsgewebe 33
Feuchtlufttiere 118, 119*
Fichtenwald 148, 149*
Flachmoore 99*

Flagellaten 20, 30, 50, 52*
Flechten 135* f.
Fledermausforschung 202
Flimmerepithel 61
Foraminiferen 54*
Fortpflanzung 54, 212
Frosttrocknis 93, 95, 97 f., 148
Frostwechselzeiten 148
Fruchtblätter 38, 39*, 40
Fruchtknoten 42, 43*, 45
Fruchtkörper 28
Funktionsteilung 30 f.

Gameten 24, 31* ff., 39*, 42*, 46*
Gametophyten 33*, 35*, 37 f., 42*, 46*
Ganglionknoten 62*, 69*, 85* f.
Gastralraum 55, 56* f.
Gasaustausch 65, 79, 81
Gehirn 62*, 63, 74, 76 f., 87, 88* f.
Geländefaktoren 144
Geleitzellen 40, 45
Geißeltierchen 53 f.
Generationswechsel 32, 33*, 35, 37 f., 54, 57
geschützte Baumreihen 201
geschützte Hecken 201, 205
geschützte Parke 200, 205
geschützte Pflanzen 201* f.
geschützte Tiere 201 f.
Gewebedifferenzierung 26, 28
Ginkgo 40*
Gliederfüßer 60, 63 f., 64*, 65*, 66*, 67* ff., 77, 79
Gliedertiere 60, 65, 71, 77, 86* f.
Glockentierchen 53
Größenregel, Tiere 113
Großhirn 87, 88*, 89*
Grünalgen 20, 21*, 22*, 23*, 27, 30, 37
Grundplasma 211

Halbdurchlässigkeit 215
Hautatmung 78
Hautmuskelschlauch 61*, 71
Herz 69*, 73, 83*, 84*
Hirnschädel 74
Hochgebirge 96*, 103
Hochgebirgsstufe 96 ff.
Hohltiere 55* ff., 59, 62*, 77 f., 85*
Homologie 10, 79*, 80 f.
Hundertfüßer 67*
Hydrotaxis 119*
Hygrophyten 114* ff.

Individualentwicklung 109
Individuenzahl 143
Insekten 64*, 67, 68* ff.
Insektenherz 83*
Insektizide 173
Innenskelett 60, 73* ff.
Internationales Biologisches Programm 167
Interzellulare 104, 216
Isogamie 24 f., 32
Isosporen 33*, 46*

Kahlschlagvegetation 127
Kalkzeiger 121 ff.
Karotinoide 213
Keimblatt 59
Keimzellenübertragung 136, 137*
Kernkörperchen 212
Kernmembran 212*
Kernphasenwechsel 32
Kiefernmischwälder 152*
Kiemen 62*, 65, 73, 81 f.
Kiemendarm 72* f.
Klimafaktoren 92
Knöllchenbakterien 134* f.
Knorpelskelett 74
Knospung 50, 57
Kohlendioxidassimilation 164 f.
Koloniebildung 31
Konjugation 54
Konkurrenz 145* ff., 147
Konsumenten 159, 161
Konzentrationsgefälle 218
Korallentiere 57, 59
Kormophyten 31, 36, 38
Körperbedeckung 64*, 75, 76*
Krebstiere 66* f., 71
Kreislaufsystem 62*, 82*, 83*, 84*, 85
Kulturbund 198 ff.
Kurztagspflanzen 107, 108* f.
Kutikula 33, 37, 60, 61*, 64*, 104, 216

Landeskultur 177, 202 ff.
Landeskulturgesetz 177 ff., 179 ff., 197
Landschaft, Gestaltung und Pflege 196 f.
Landschaftsschutzgebiete 200, 205
Langtagpflanzen 107, 108* f.
Lanzettiercheu 72 f.*, 83*
Laubmoose 26* f.
Lebermoose 26*
Lederhaut 75, 76*
Leibeshöhle 59, 61*, 62*, 65, 82
Leukoplasten 212 ff.
Lichtfaktor 104
Lichtintensität 110* f.
Lichtmikroskopie 210
Lichtpflanzen 104* ff., 107
Lipoide 213 f.
Luft, Verunreinigung 192 ff., 194*, 195* f.
Lungen 75, 79*, 81*
Lymphgefäßsystem 84

Makrosporangien 35*
Makrosporen 35*, 41
Manteltiere 73, 77
Meduse 57*
Megaprothallium 42, 46*
Megasprorangien 35, 47*
Megaspore 35, 46*
Melioration 171 f., 180
Membran 212*, 214, 218, 221
Membransysteme 211, 214, 217
Merkmalskomplex 8 f.
Mesosomen 17*, 59, 62*, 71 f.
Mikroprothallium 46*
Mikrospore 35, 46*
Mikrosporangien 35*, 47*
Milchsäurebakterien 19
Mitochondrien 31, 212*, 214, 217
Mittellamelle 215, 216*
Monokulturen 161, 168 f., 173
Moore 103
Moose 26*, 27*
Mosaikkrankheit 12
Mykorrhiza 133*, 134*, 135 f.

Nachkommenzahlen, Organismen 141
Nacktsamer 38* ff., 42, 45, 47*
Nacktsprosser 36*
Nährstoffkreislauf 163* f., 169, 171
Nahrungsketten 159*, 160* ff.
Nahrungskettengefüge 127, 168
Nahrungsvakuolen 49*, 51, 53*
Narbe 42*, 43*, 44*, 47*

Nationalparke 205
Naturdenkmale 197, 200, 205
Naturschutz 176, 198* ff., 202, 206
Naturschutzgebiete 197, 199 f.
Naturschutzhelfer 198 ff.
Naturreichtümer 197
Nervensystem 55, 60*, 63, 85* f.
– autonomes 90
– diffuses 55, 85, 90
– peripheres 89
– zentrales 72, 85
Nesselkapseln 55, 56*
Nesseltiere 56 f., 59
Nesselzellen 55, 56*, 59
Nettoproduktion, Pflanzenmasse 166
Neumundtiere 59* f.
Niederschläge 94*, 183
Nierenkanälchen 61*
Nierenkörperchen 61*
Nukleinsäuren 211 ff.
Nukleoid 18, 20
Nukleolus 212, 213*
Nutzung des Bodens 179 f., 181* f.
Nutzung und Schutz der Gewässer 183

Oberhaut 75, 76*
Oberschlundganglion 63, 86*, 87
Ökologie 95
ökologische Potenz 95, 145*, 146* f.
ökologische Valenz 95
ökologisches Gleichgewicht 144, 173 f.
Ökosysteme 153, 154*, 155*, 156*, 157*, 158*, 162*, 163*, 200
Ogamie 25, 32
Organellen 50* f., 54, 217
Organismengesellschaft 126 f.
Osmometer 219
Osmose 217, 219 ff.
Osmoseregulationsapparat 125
osmotischer Druck 221

Palisadengewebe 104
Pantoffeltierchen 49*
Parapodien 62*, 64*
Parasiten 18, 20, 28, 58
Parasitismus 129, 130* f.
Papillen 76*
Permeabilität 218 f.
Pfeffersche Zelle 218
Pflanzengesellschaft 170
Pflanzenzelle 210 ff.
phänologische Entwicklung 155*
Photoperiodismus 108 f.
Photosynthese 18, 20, 164 f., 209, 213*, 217
Phylogenese 25, 28
Phylogenie 24
physiologische Potenz 145, 146*
Phytohormone 108
Pilze 28 f., 31
Pilzhyphen 133*, 135*, 136
Pilzmyzel 133*, 135
Plasmagrenzschichten 221
Plasmalemma 214 f.
Plasmamembran 217
Plasmaströmung 211
Plasmodien 54
Plasmolyse 220
Plastiden 212 f.
Pollen 38, 41 f.
Pollensäcke 38, 47*
Polyp 57*, 59
Population 113, 139*, 140* ff., 158*, 173
Populationsdynamik 138, 7 139* ff.
Populationsgröße 173
Produzenten 159, 161
Prokaryonten 31
Proplastide 212*
Proportionsregel, Tiere 113
Proteine 213 f.
Proteinsynthese 217
Prothallien 33*, 35*, 37, 46*
Protoplasma 210, 214, 220
Protostomia 59, 60*, 63
Protozoen 49*, 50* ff.

Quallen 57*, 59
Quastenflosser 81

Reaktionsgruppen 122 f.
Reduktionsteilung 32, 35, 41
Reduzenten 159, 161
Reflexbogen 86*
Regenerationsvermögen 56
Rekultivierung 172, 180, 181*
Replikation 212
reproduktive Phase 107
Retikulum, endoplasmatisches 212*, 214, 216
Rhizoide 22*, 23, 26, 28
Rhynia 36*
Ribosomen 214, 217
Ringelwürmer 60, 61*, 62*, 63, 71, 78, 82*
Ringgefäße 61*
Rippenquallen 57
RNS 12, 14 ff.
Röhrenbäume 36
Rotalgen 31
Rückenmark 74*, 76 f., 86*, 87
Rückenmarktiere 60*, 72

Salzgehalt, Fische 124 f.
Salzgehalt, Wasser 102 f.
Samen 47*
Samenanlagen 38, 41* ff., 45, 47*
Samenpflanzen 31, 38* ff., 47*
Saprophyten 18 f., 20, 28 131
Saugspannung 220 f.
Säurezeiger 121 ff.
Scenedesmus 22*
Schachtelhalm 37*
Schädellose 73, 77
Schädlingsbekämpfung 173
Schattenblätter 104* ff.
Schattenpflanzen 104* ff.
Scheinfüßchen 51, 52*, 54*
Schirmquallen 59
Schneeschliff 98
Schneetälchenvegetation 98*
Schultergürtel 75*
Schwärmspore 33, 35*
Schwimmfarn 35*, 46*
Segmentanhänge 60, 62*, 65* ff.
semipermeabel 217, 219, 221
Siebröhren 23, 40, 45
Siegelbaum 36*
Sippe 8 ff., 22, 24 f., 28 f., 31
Spaltpflanzen 16*, 17*, 18
Spermatozoiden 7, 41 f.
Spermazellen 41, 43
Spinnentiere 65* f., 71
Sporangien 24, 33*, 46
Sporen 24, 32 f., 46*, 54
Sporenkapsel 33*, 35*
Sporentierchen 53 f.
Sporophylle 36
Sporophyten 32* ff., 37* f.
Standort 147
Standortfaktor 121
Staubblätter 38, 39*, 40
Stoffaustausch 132*, 133*, 134* f., 217

Stoffbilanz 166
Stoffentzug 129, 130* f.
Stoffkreislauf 170*
Stoffproduktion 164 ff.
Stofftransport 82
Stoffumsatz 127
Stoffwechselphysiologie 209
Strahlentierchen 52* ff.
Strickleiternervensystem 60, 62*, 63, 65, 69, 71, 85*, 87
Strudelwürmer 55
Stützlamelle 55, 56*, 57, 59
Sukkulente 114* f., 117
Symbionten 19, 54
Symbiosen 29, 132, 133*, 134* ff.
Systematik 8, 10 f., 31, 62*

Tabak-Mosaik-Virus 12*, 14
Tagesrhythmus, Tiere 110*
tagneutrale Pflanzen 108
Talsperren 185* ff.
Tausendfüßer 67*
Temperaturmaximum 165
Temperaturminimum 165
Tentakel 55 f.*
Thallophyten 31
Thallus 31
Thermoregulation, Tiere 112* ff.
Thorax 69*
Tiergemeinschaften 128
Tierzelle, Bestandteile 210 ff.
Tonoplast 212 f.
Toleranzbereich 95, 105
Torf 27, 100, 216
Tracheen 33, 45, 65 f., 69, 80* f.
Tracheenatmung 79
Tracheenkiemen 80
Tracheiden 33, 40
Troekenlufttiere 118, 119*
Trompetentierchen 52*, 76*
Trypanosomen 54
Tüpfel 216
Tüpfelfarn 33, 46*
Turgordruck 220 f.

Überwinterungsgesellschaften 128
Umweltbedingungen 103
Umweltfaktoren 93, 94*, 104, 125 ff., 138 ff., 143 f., 145* ff., 170 f.
Unterhaut 75, 76*
Unterschlundganglion 65, 87
Urmundtiere 59, 60*, 63
Urtierchen 52*, 53 f., 77

Vakuolen 211, 212*, 217, 219 f.
Vegetation 96 ff., 101*
Vegetationsformen 104
Vegetationskörper 26, 29, 31*
vegetative Phase 107
Vererbung 212
Vermehrung 23, 24 f., 28 f., 30, 32, 50
Vermehrungspotenz 141, 143
Verschmutzung der Gewässer 187, 188* f.
Vielfüßer 67*, 71
Viren 12 f., 15 f.
Viruskrankheiten 15
Volvox 22, 23*, 24, 31

Wachstum 209
Waldgrenze 96* f., 147 ff.
Wärmeregulation 112 f.
Wasserbedarf 183, 184*
Wasserdargebot 183, 184*, 187
Wassergesetz 176
Wasserkreislauf 183*
Wimpern 49*, 50 f.
Wimpertierchen 49*, 51*, 52*, 53 f.
Wirbelsäule 73, 75
Wirtswechsel 54
Wurzelfüßer 53* f.
Wurzelknöllchen 134 f.
Wurzelsysteme 154, 156*, 157*

Xerophyten 114* ff.

Zapfenblüten 39*, 40*
Zeigerpflanzen 122 f.
Zelldifferenzierung 45
Zelle 217 ff.
Zellkern 211, 217
Zellkolonien 30 f.
Zellorganellen 20, 25, 30 f., 49*, 50*, 51
Zellsaft 217, 219
Zellstrukturen 209
Zellteilung 212
Zellulose 211, 216 f.
Zellwand 211, 215 ff., 220
Zentralkörperchen 214
Zentralnervensystem 60, 61* f., 69*, 71 f., 85* ff.
Zerebralganglion 65
Zölom 59, 61*, 71 f.
Zölenteraten 62*
Zygote 24, 32, 35, 46*, 47*
Zytoplasma 211, 214 f., 217 f.

Abbildungsnachweis

Zeichnungen: H.-J. Behrendt, Grünheide (Abb. 16/1, 21/1, 22/1, 22/2, 23/3, 26/1, 30/1, 33/1, 34/1, 35/1, 36/1, 37/1, 38/1, 38/2, 39/1, 40/1, 42/1, 44/1, 46/1, 49/1, 50/1, 52/1, 53/1, 54/1, 56/1, 56/2, 57/1, 60/1, 61/1, 62/1, 62/2, 62/3, 64/1, 64/2, 65/1, 66/1, 67/1, 67/2, 69/2, 70/1, 72/1, 73/1, 74/1, 74/2, 75/1, 76/1, 79/1, 80/1, 80/2, 81/1, 82/1, 83/1, 83/2, 84/1, 85/1, 86/1, 86/2, 88/1, 89/1, 96/1, 98/1, 99/1, 101/1, 108/1, 115/1. 115/2. 116/1. 130/1. 132/1. 133/1. 133/2. 135/1. 137/1, 145/1); G. Mörchen, Halle (Abb. 156/1, 157/1); I. Schäfer, Berlin (Abb. 13/2, 24/1, 46/1, 94/1, 97/1, 104/1, 106/1, 110/1, 112/1, 119/1, 139/1, 140/1, 146/1, 146/2, 147/1, 154/1, 155/1, 155/2, 158/1, 159/1, 160/1, 162/1, 163/1, S. 169, Abb. 170/1, 171/1, 181/1, 183/1, 184/1, 185/1, 194/1, 212/1, 213/1, 213/2, 215/1, 216/1, 216/2, 219/1, 219/2).

Fotos: Archiv Bauinformation bei der Deutschen Bauakademie, Baum (Abb. 195/1 unten), Fiebig (Abb. 185/2), Ziegler (Abb. 182/1); E. Buschmann, Dresden (Abb. 194/2); R. Gilsenbach (Abb. 187/1, 188/1, 188/2, 195/1 oben); Prof. Dr. R. Hundt, Halle/Saale (Abb. 149/1, 149/2, 150/1, 150/2, 152/1, 152/2); D. Kühlmann, Berlin (Abb. 58/1); H. Theuerkauf, Gotha (S. 7, Abb. 23/1, 23/2, 27/1, 27/2, 39/2, 39/3, 41/1 bis 41/4, 43/1 bis 43/4, 49/2, 61/2, 61/3, 68/1 bis 68/4, 69/1, S. 91, Abb. 201/1, 201/2, S. 207).

Reproduktionen(Abb. 13/1 A.-Ziemsen-Verlag, Wittenberg-Lutherstadt, Abb. 17/1 Prof. Dr. Taubeneck, Jena, Abb. 134/1, 134/2 aus H. Lyr, H. Polster, H. J. Fiedler, Gehölzphysiologie. VEB Gustav Fischer, Jena 1967.

Kurzwort: 01 11 60 Lehrb. Biolog. Kl. 11
Schulpreis DDR 4,–