

Evolution

Biologie

ABITUR-WISS



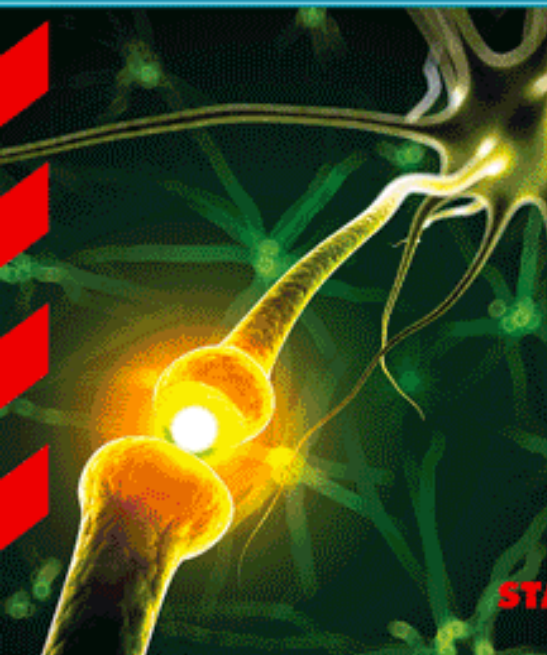
Biologie

MEHR
ERFAHREN

Biologie

Neurobiologie

ABITUR-WISS



Biologie

ABITUR-WISS



STARK

Biologie

Genetik

ABITUR

MEHR
ERFAHREN



STARK

Inhalt

Vorwort

Genetik – eine moderne Wissenschaft	1
Molekulargenetik	5
1 Was ist Leben? – Proteine und Nucleinsäuren	6
1.1 Wie Proteine gebaut sind	6
1.2 Nucleinsäuren – Speicher der genetischen Information	11
1.3 Wie sich die DNA vervielfältigen kann	17
2 Was ist ein Gen?	22
2.1 Genwirkkette	22
2.2 Genmutationen beim Menschen	23
2.3 Die Ein-Gen-ein-Polypeptid-Hypothese	25
3 Vermehrung und Genaustausch bei Prokaryoten und Viren	26
3.1 Wie man mit Bakterien und Viren arbeitet	26
3.2 Vermehrung bei Phagen – Geborgtes Leben	31
3.3 Bakterien und Viren tauschen Gene aus	33
4 Aus Genen werden Merkmale	39
4.1 Wie Proteine entstehen	39
4.2 Der Genetische Code – Die Sprache der Gene	45
4.3 Die Aktivität der Gene muss geregelt werden	46
4.4 Wie Mutationen ausgelöst werden	52
4.5 Arten von Genmutationen	56
4.6 DNA-Reparatur	57
4.7 Bedeutung der Mutationen für die Evolution	58
Zusammenfassung	59
Zytogenetik	61
1 Zelle und Zellkern als Steuerzentrum	62
1.1 Die Bestandteile eukaryotischer Zellen	62
1.2 Bei Eukaryoten befindet sich die Erbinformation im Zellkern	64

Fortsetzung siehe nächste Seite

2	Eukaryoten haben Zellkerne und Chromosomen	66
2.1	Die Mitose – Zellen vermehren sich durch Teilung	66
2.2	Die Chromosomen des Menschen werden sichtbar	68
2.3	Was Chromosomenbestände gemeinsam haben	69
2.4	Chromosomen enthalten DNA und Proteine	70
2.5	Meiose – Voraussetzung für eine geschlechtliche Fortpflanzung	71
2.6	Junge oder Mädchen? – Der kleine Unterschied	75
3	Abweichungen vom normalen Chromosomenbestand	78
3.1	Die Anzahl der Chromosomen kann verändert sein	78
3.2	Autosomale Genommutationen beim Menschen am Beispiel der Trisomie 21 (Down-Syndrom)	78
3.3	Gonosomale Genommutationen beim Menschen	80
3.4	Polyploidie	82
3.5	Die Chromosomenstruktur weist manchmal Fehler auf	84
	Zusammenfassung	86
 Klassische Genetik – Mendelgenetik		87
1	Was GREGOR MENDEL entdeckte	88
1.1	MENDELs erste Kreuzungsversuche	89
1.2	MENDEL erforschte auch die Vererbung mehrerer Merkmalspaare	95
2	Wo die mendelschen Regeln nicht gelten	98
2.1	Genkoppelung und Genaustausch	98
2.2	Aus Chromosomen werden Landkarten	101
2.3	Gene auf Geschlechtschromosomen folgen einem eigenen Erbgang	103
2.4	Extrachromosomale Vererbung	107
3	Auch die Umwelt kann die Merkmalsausbildung beeinflussen	110
3.1	Modifikationen – Einige Beispiele	110
3.2	Variabilität und Erblichkeit	112
3.3	Einfluss von Anlage und Umwelt beim Menschen	114
	Zusammenfassung	116
 Humangenetik – Erbgänge beim Menschen		117
1	Die mendelschen Regeln gelten auch für den Menschen	118
1.1	Einfach beobachtbare Merkmale bei Menschen	118
1.2	Autosomal bedingte Erblichkeit bei Menschen	118
1.3	Die Vererbung der Blutgruppen beim Menschen	121

2	Diagnose von Erbkrankheiten – schon vor der Geburt	125
2.1	Methoden der pränatalen Diagnostik	125
2.2	Genetische Beratung	126
2.3	Exkurs „Eugenik“	128
	Zusammenfassung	129
	Gentechnik – die Arbeit mit Genen	131
1	Genetische Manipulation	132
1.1	Die Werkzeuge der Geningenieure	132
1.2	Klonierung biochemisch rekombinierter DNA	133
1.3	Erforschung von klonierten Genen	135
1.4	Sequenzanalyse der DNA	137
1.5	Polymerasekettenreaktion (PCR)	139
1.6	Genetischer Fingerabdruck und DNA-Analyse	141
1.7	Totalsynthese und Expression eines Gens	143
1.8	Synthese von cDNA (complementary DNA)	144
2	Wie Tiere und Pflanzen gentechnisch verändert werden	145
2.1	Klonen von Säugetieren	145
2.2	Entwicklung transgener Nutzpflanzen	145
2.3	Transgene Tiere	147
3	Anwendung der Gentechnik für den Menschen	148
3.1	Diagnose von defekten Genen	148
3.2	Das Humangenomprojekt	149
3.3	Probleme der Gendiagnostik	150
3.4	Heilen mit Genen	151
3.5	Krebs – noch viele offene Fragen	153
	Zusammenfassung	156
	Stichwortverzeichnis	157
	Abbildungsnachweis	163

Autor: Dr. Albert Kollmann

1 Was GREGOR MENDEL entdeckte

JOHANN GREGOR MENDEL
(1822–1884): Lehrer für
Naturwissenschaften und
Abt im Augustinerkloster
Brünn

Die Gesetzmäßigkeiten bei der Weitergabe von Merkmalen wurden erstmals von dem Augustinerpater J. G. MENDEL beschrieben. MENDEL wollte ursprünglich neue, züchterisch interessante Farbvarianten durch künstliche Bestäubung von Zierpflanzen erzielen. Dabei beobachtete er, dass bei den Nachkommen seiner Kreuzungen bestimmte Farben und Formen in auffallender Regelmäßigkeit wiederkehrten, wenn die Befruchtung zwischen Pflanzen mit gleichen Merkmalen stattgefunden hatte. Da MENDEL hinter diesem regelmäßigen Wiederauftreten eine Gesetzmäßigkeit vermutete, beschloss er, die Frage planmäßig experimentell anzugehen. MENDEL führte die Kreuzungsversuche an verschiedenen Erbsensorten im Garten seines Klosters in Brünn durch.

MENDEL wählte Erbsen als Versuchsobjekte, da diese sich gezielt bestäuben lassen: Um sicher zu sein, dass alle herangezogenen Erbsennachkommen ausschließlich das Ergebnis seiner experimentellen Bestäubungen und nicht etwa einer unkontrollierten Fremdbestäubung waren, erdachte er eine ebenso einfache wie sinnvolle Methode: Aus den noch nicht vollständig entwickelten Blütenknospen einer Erbsenpflanze entfernte er mit einer Pinzette die Staubbeutel. Anschließend wurden die Narben dieser so vorbehandelten „Mutterpflanze“ künstlich mit dem Pollen einer bestimmten „Vaterpflanze“ bestäubt. Auf diese Weise waren die Elternpflanzen und deren Merkmale sicher bekannt.

Mit dieser Methode kreuzte MENDEL Pflanzen mit demselben Merkmal. Traten auch unter den Nachkommen, die er über einen Zeitraum von zwei Jahren wiederholt nachzüchtete, ausschließlich die Merkmale der Elternpflanzen wieder auf, ging er von reinen Linien aus (Reinerbigkeit).

Bestäubung: Übertragung
von Blütenstaub (Pollen)
auf die Narbe des Frucht-
knotens



Abb. 71: GREGOR MENDEL

1.1 MENDELS erste Kreuzungsversuche

Monohybrid: Kreuzung, bei der die Vererbung von einem Allelpaar (für ein Merkmalspaar) verfolgt wird → siehe auch Allel S. 91 f.

Parentalgeneration: Elterngeneration (= P-Generation)

Filialgeneration: Tochtergeneration (= F-Generation)

Bei einem Kreuzungsexperiment ist das Ergebnis umso überschaubarer, je weniger Merkmale man zugleich beobachtet. Deshalb kreuzte MENDEL zunächst Erbsenpflanzen, die sich nur in **einem** Merkmal unterschieden, er führte eine **monohybride** (= monomere) Kreuzung durch.

MENDELS Wahl fiel auf Erbsenpflanzen mit gelber und mit grüner Samenfarbe, wobei er darauf achtete, dass die Eltern reinerbig waren. Die aus dieser **Parentalgeneration** hervorgehenden Nachkommen, die **Filialgeneration 1**, hatten ausschließlich gelbe Samen.

Anschließend kreuzte er die gelbsamigen Erbsenpflanzen aus der F₁-Generation untereinander. Erstaunlicherweise zeigten die Nachkommen dieser Kreuzung (die F₂-Generation) wieder die Samenfarben der P-Generation, nämlich gelbe und grüne Samen, wobei MENDEL vor allem die auftretenden Zahlen interessant erschienen: von 8 023 Samen der F₂-Generation waren 6 022 gelb und 2 001 grün.

Als MENDEL die beiden Zahlen ins Verhältnis setzte, erhielt er für die Farben gelb:grün ein Verhältnis von 3,01:1, wobei es keine Rolle spielte, ob die Samen- oder die Pollen-spendende Pflanze der P-Generation grün- oder gelbsamig war. Die **reziproke Kreuzung** brachte stets dieselben Farben mit sehr ähnlichen Häufigkeiten unter den Nachkommen hervor. Zum Vergleich führte MENDEL auch Versuche mit anderen Merkmalspaaren durch (z. B. Samenform rund oder kantig, Stellung der Blütenachsen- oder endständig usw.). Immer wieder erhielt er in der F₂-Generation eine starke Annäherung an das 3:1-Verhältnis. Je mehr Nachkommen er auswertete, desto genauer entsprach das Resultat diesem Verhältnis.

Reziproke Kreuzung: Kreuzung mit einer gegenüber der vorausgegangenen Kreuzung vertauschten Elternrolle

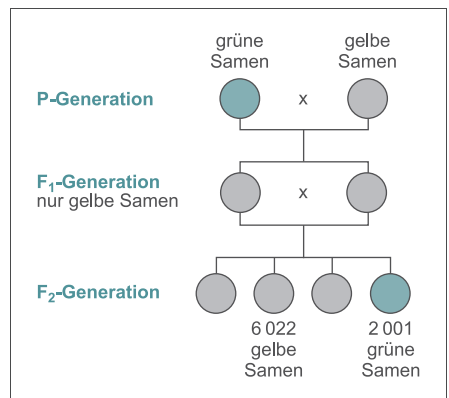


Abb. 72: Ergebnis der Kreuzungsversuche von MENDEL: Es wurden reinerbige Erbsenpflanzen mit grünen und mit gelben Samen gekreuzt (P-Generation).

1 Genetische Manipulation

Unter genetischer Manipulation (engl. *genetic engineering*) versteht man molekularbiologische und genetische Methoden, bei denen gezielt defekte Gene ersetzt oder neue Gene in das Genom einer Zelle oder eines Organismus eingesetzt werden sollen.

1.1 Die Werkzeuge der Geningenieure

Restriktionsenzyme – die DNA-Scheren

Zum Öffnen einer DNA, an der man eine Manipulation vornehmen will, bedient man sich spezieller Enzyme, der sogenannten **Restriktions-Endonukleasen (Restriktions-Enzyme)**. Diese „Scheren-Enzyme“ werden natürlicherweise von Bakterien gebildet, die sich damit gegen eine Infektion mit fremder DNA, namentlich Phagen-DNA, schützen.

Die Restriktions-Endonukleasen lassen sich wegen ihrer hohen Spezifität im Experiment gezielt einsetzen. Die Restriktions-Endonuklease EcoRI (lies: Eco-er-eins) stammt aus dem Bakterium *E. coli*. EcoRI schneidet die fremde DNA an bestimmten Basensequenzen.

Dabei öffnen die Endonukleasen die DNA immer an solchen Stellen, an denen die Basensequenzen in beiden Leserichtungen der DNA gleich sind (Palindromsequenz). EcoRI schneidet an der Palindromsequenz GAATTC jeweils zwischen G und A. Überstehende Einzelstrangenden haben dann die Basensequenz 3' TTAA 5'. Über Wasserstoffbrückenbindungen lassen sich die geöffneten Stellen wieder zusammenschließen, weshalb man sie als „klebrige Enden“ (*sticky ends*) bezeichnet.

Ligase – der DNA-Klebstoff

Ligasen sind Enzyme, die in allen Zellen bei der Replikation oder bei der Reparatur der DNA benötigt werden. Sie dienen dazu, benachbarte Nukleotide (durch Phosphodiesterbindungen) miteinander zu verknüpfen. Die gleiche Reaktion katalysieren sie an DNA-Fragmenten auch

Restriktions-Endonuklease: Enzym, das in der Lage ist, ein DNA-Molekül an einer begrenzten Anzahl von spezifischen Nukleotidsequenzen zu schneiden

Palindrom: Wörter oder Sätze, die vorwärts und rückwärts gelesen denselben Sinn ergeben

Ligase: Enzym, das eine aufgetrennte Phosphodiesterbindung in Nucleinsäuren wieder schließen kann

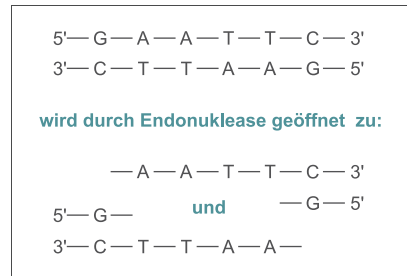


Abb. 103: Öffnung einer DNA durch eine Restriktions-Endonuklease

im Reagenzglas. Auf diese Weise werden z. B. die klebrigen Enden von DNA-Stücken miteinander verbunden. Sogar DNA-Stücke, die aus sehr unterschiedlichen Organismen wie Bakterien, Mäusen oder Menschen stammen, können untereinander mithilfe von Ligasen zusammengefügt werden.

Vektoren – die DNA-Transportmittel

Ein weiteres Werkzeug der Geningenieure sind sogenannte **Vektoren**, die als „Transportmittel“ genutzt werden und dazu dienen, bestimmte Gene in die Wirtszellen zu übertragen. Als Vektoren eignen sich Viren, Phagen oder Plasmide. Am Beispiel eines Plasmidvektors wird das Vorgehen im Folgenden näher beschrieben.

1.2 Klonierung biochemisch rekombinierter DNA

Das grundsätzliche Vorgehen beim Klonieren von DNA läuft folgendermaßen ab (Abb. 104):

- Ein DNA-Stück, das zu klonierende Gen, wird in ein anderes DNA-Molekül, das Vektor-Molekül, eingebaut. Es entsteht ein rekombiniertes DNA-Molekül.
- Dieses rekombinierte DNA-Molekül wird in eine Wirtszelle eingeschleust.
- In der Wirtszelle veranlasst der Vektor die Vervielfältigung des rekombinierten DNA-Moleküls.
- Bei der Teilung der Wirtszelle werden Kopien des rekombinierten DNA-Moleküls an die Nachkommen weitergegeben.

Als **Vektor** für die Fremd-DNA verwendet man häufig das **Plasmid pBR322**. Dieses Plasmid ist replikationsfähig, es besitzt dafür einen Replikations-Startbereich, zusätzlich aber auch noch eine Erkennungs-marke (hier das **Marker-gen** „Ampicillin-Resistenz“) und eine weitere Erkennungsstelle, in der geschnitten werden kann (hier eine Tetracyclin-Resistenz). Das Zerschneiden der Spender-DNA (z. B. auch Säuger-DNA) und das Öffnen des Plasmid-Ringes geschieht durch dieselbe **Restriktions-Endonuklease**, z. B. EcoRI. Die Fremd-DNA lässt sich wegen der übereinstimmenden klebrigen Enden in den geöffneten Plasmid-Ring einfügen. Das geschieht im Reagenzglas durch Mischen und zufällige Rekombination. Nach dem Schließen des Vektor-Ringes durch das Enzym **Ligase** wird die eingeschlossene Fremd-DNA von nun an stets als „Passagier“ mitgenommen.

Einen solchen Vektor mit eingebauter Fremd-DNA nennt man auch

Hybrid-Vektor.

Biologie

Neurobiologie

ABITUR **MEHR**
ERFAHREN



STARK

Inhalt

Vorwort

Sinne	1
1 Reiz-Reaktions-Ketten	2
2 Sinne und Sinneszellen	4
3 Einteilung von Sinneszellen	6
4 Chemische Sinne	8
4.1 Der Geruchssinn – ein Fernsinn	8
4.2 Der Geschmackssinn – ein Nahsinn	8
5 Mechanische Sinne	9
5.1 Der Tastsinn	9
5.2 Der Gleichgewichtssinn von Wirbellosen	10
5.3 Der Schwere Sinn – ein Lagesinn	10
5.4 Der Drehsinn – ein Bewegungssinn	12
5.5 Die Mehrsinnes-Orientierung	12
5.6 Der Gehörsinn	13
6 Lichtsinne	17
6.1 Einfache Lichtsinnesorgane	17
6.2 Das Linsenauge – unterschiedliche Bautypen	18
7 Lichtsinn des Menschen – ein Modell im Vergleich	22
7.1 Bau des menschlichen Auges	22
7.2 Der Sehvorgang im menschlichen Auge	25
7.3 Leistungen des menschlichen Auges	27
Zusammenfassung	35
Neuronen, Synapsen und Gedächtnis	37
1 Neuronen – die Grundbausteine des Nervensystems	38
1.1 Die Bauformen von Neuronen	38
1.2 Die Funktionsweise von Neuronen	39
1.3 Marklose und markhaltige Nervenfasern	40
1.4 Die Nerven	41
2 Bau und Funktion der Biomembran	42

Fortsetzung siehe nächste Seite

3	Membranpotenziale	43
3.1	Methoden der Spannungsmessung	43
3.2	Ruhepotenzial – Entstehung und Aufrechterhaltung	44
3.3	Das Rezeptorpotenzial	48
3.4	Das Generatorpotenzial	48
4	Erregungsleitung am Axon	49
4.1	Verlauf eines Aktionspotenzials	49
4.2	Erklärung eines Aktionspotenzials	51
4.3	Entstehung und Weiterleitung von Aktionspotenzialen am Axon	52
4.4	Die Codierung der Erregung	55
4.5	Effizientere Nervenfasern	55
5	Erregungsleitung an Synapsen	57
5.1	Bau von Synapsen	57
5.2	Chemische Synapsen	59
5.3	Codierung und Codewechsel an Synapsen	62
5.4	Funktionen von Synapsen	63
5.5	Störungen der Synapsenfunktion	66
6	Bau und Funktion der Muskulatur	70
6.1	Der Bau der Muskeln	70
6.2	Die Funktion der quergestreiften Muskelfasern	72
7	Gedächtnis und Gedächtnismodelle	74
7.1	Das Drei-Stufen-Modell	74
7.2	Synapsen – Basis für Lernen und Gedächtnis	75
7.3	Lernen und Gedächtnis	78
	Zusammenfassung	79

Nervensysteme **81**

1	Evolutionsprinzipien	82
1.1	Nervennetze oder diffuse Nervensysteme	82
1.2	Das Strickleiternnervensystem	83
1.3	Das Zentralnervensystem der Wirbeltiere	84
2	Das Rückenmark – ein Teil des Zentralnervensystems	87
2.1	Der Aufbau des Rückenmarkes	87
2.2	Automatismen und Reflexe	89
3	Das menschliche Gehirn	93
3.1	Die fünf Teile des Gehirnes	93
3.2	Unser Großhirn wird erforscht	96
3.3	Sensorische Felder – Entstehung der Wahrnehmung	98
3.4	Motorische Felder – Steuerung der Bewegung	99
3.5	Assoziative Felder – die „ungenutzten Flächen“	100

4	Vegetatives Nervensystem	101
4.1	Der Parasympathikus	104
4.2	Der Sympathikus	104
4.4	Das Nebennierenmark	105
	Zusammenfassung	106

Hormonsysteme	107
----------------------	------------

1	Die Hormone	108
1.1	Methoden der Hormonforschung	110
1.2	Aufbau und Wirkungsweise von Hormonen	111
2	Überblick über Hormonsysteme	115
2.1	Hormone bei Wirbellosen	115
2.2	Hormonsystem des Menschen	116
3	Hormonelle Regulation	119
3.1	Steuerung und Regulation	119
3.2	Regelung wichtiger Hormondrüsen	122
	Zusammenfassung	138

Bewegungen und Hormone bei Pflanzen	139
--	------------

1	Bewegungen bei Pflanzen	140
1.1	Taxien – gerichtete und aktive Fortbewegungen	140
1.2	Tropismen – Wachstums-Bewegungen	141
1.3	Nastien – ungerichtete Bewegungen	142
2	Die Pflanzenhormone	143
	Zusammenfassung	145

Stichwortverzeichnis	147
----------------------	-----

Abbildungsverzeichnis	150
-----------------------	-----

Autor: Dr. Thomas Kappel

Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

noch steht die neurobiologische **Forschung ganz am Anfang**. Die ersten Erkenntnisse der **Neurobiologie** kommen jedoch bereits in den Bereichen Lernpsychologie, Schuldidaktik, Pharmakologie und Medizin zur praktischen Anwendung. Die erfolgreiche Zusammenarbeit von Informatikern und Biologen eröffnet die **Zukunftsvision** einer kommenden „Neuro-Technologie“.

Die Neurobiologie beschäftigt sich mit der **Aufnahme, Weiterleitung und Verarbeitung** von Informationen. Das Bild der Welt wird durch Sinnesorgane bestimmt, die Körperfunktionen werden im Zusammenspiel von Nerven- und Hormonsystem geregelt und Netze aus Nervenzellen bilden die materielle Grundlage für Lernen und Gedächtnis – machen uns zum denkenden Menschen.

Dieses Buch wird Ihnen helfen, sich auf den kommenden Unterricht und die bevorstehenden Prüfungen vorzubereiten:

Eine klare Gliederung und aussagekräftige Überschriften geben Ihnen den **unverzichtbaren Überblick** über die komplexen Inhalte. Die einfache Formulierung des Textes sowie zahlreiche Abbildungen und Tabellen sollen die **Motivation** wecken und erhalten, das **Verständnis** fördern, die Zusammenhänge klären und schließlich **Faktenwissen** kompakt bereitstellen. Das umfangreiche Stichwortverzeichnis und die Randspalte helfen bei der Auffindung und Erklärung der verwendeten **Fachbegriffe**.

Ich wünsche Ihnen unterhaltsame und lehrreiche Lese- und Lernstunden – und vor allem eine erfolgreiche Prüfung!



Dr. Thomas Kappel

1.3 Das Zentralnervensystem der Wirbeltiere

Die Embryonen aller Wirbeltiere (Fische, Lurche, Kriechtiere, Vögel, Säuger) besitzen in frühen Entwicklungsstadien auf ihrer Rückenseite das so genannte Neuralrohr. Dieses flüssigkeitsgefüllte Rohr erweitert sich im Zuge der Emryonalentwicklung zum späteren **Zentralnervensystem** (Abb. 48).

Der **Liquor** ist eine klare, farblose Flüssigkeit in den freien Räumen im Inneren des Gehirns und des Rückenmarks. Diese Flüssigkeit dient als Stütze und Schutzhülle.

Die **Hypophyse** ist die Hirnanhangsdrüse.
→ siehe dazu S. 117 f.

Alle vom Rückenmark ausgehenden Nerven werden als **Spinalnerven** bezeichnet.

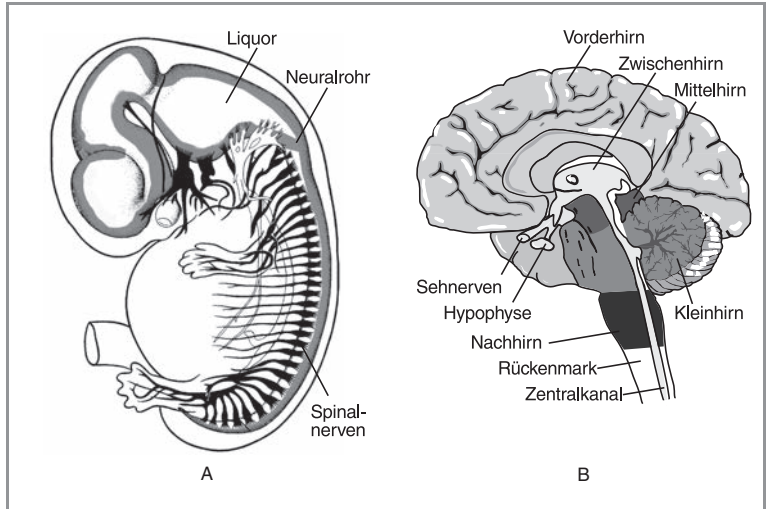


Abb. 48: Entwicklung des Zentralnervensystems beim Menschen: (A) bei einem 2 Monate alten Säugling, (B) bei einem erwachsenen Menschen.

Das **Zentralnervensystem** (ZNS) besteht aus dem Rückenmark und dem Gehirn.

Das **periphere** Nervensystem (PNS) besteht aus afferenten und efferenten Neuronen. Von Sinneszellen ziehen afferente (= sensible oder sensorische) Fasern zum Gehirn. Vom Gehirn ziehen die efferenten (= motorischen) Fasern zum Erfolgsorgan.

Die Zellkörper der afferenten Neurone liegen in Spinalganglien. Die Zellkörper der Efferenzen liegen im Zentralnervensystem oder in Ganglien in der Nähe der Organe.

Beim Menschen enthält das periphere Nervensystem (PNS) nur 1% aller Neurone. Kein anderes Lebewesen besitzt eine vergleichbare Zentralisierung des Nervensystems.

Wirbelsäule, Schädelknochen und **3 Schichten von Hirnhäuten**, nämlich die harte, äußere und die spinnwebig, fasrige sowie die weiche, innere Hirnhaut (Abb. 49) schützen die empfindlichen Strukturen des ZNS während Wachstum und Ausdifferenzierung. Die Rückenmarksflüssigkeit (**Liquor**) umspült das gesamte ZNS und dient wie ein Stoß- und Schlagdämpfer als weiches Lager, als Isolationschicht sowie der Versorgung von Hilfszellen und Neuronen mit Sauerstoff, Ionen und Wasser. Die Blutgefäße im Gehirn besitzen besonders dichte Zell-

Die Gliazellen des ZNS bilden einen Zellverband mit einer Trennungsfunktion zwischen „innen“ und „außen“. Die großflächigen Barrieren trennen Räume mit unterschiedlicher Zusammensetzung ab, so etwa den Extrazellulärraum vom Liquor des Gehirns (**Blut-Liquor-Schranke**) oder den Extrazellulärraum vom ZNS (**Blut-Hirn-Schranke**).

auskleidungen und garantieren so eine dichte Blut-Hirn-Schranke bzw. Blut-Liquor-Schranke. Nur wenige Stoffe sollen, streng kontrolliert, diese Barriere ins Gehirn passieren. Kleine fettlösliche Moleküle z. B. Alkohol und andere Drogen umgehen diese Kontrolle.

Betrachtet man die Gehirnentwicklung der Wirbeltiere, so ist neben den allgemeinen Evolutionsprinzipien „zunehmende Größe, Zentralisation und Differenzierung“ eine allmählicher Bedeutungswandel zu erkennen: Das Vorderhirn der Fische ist ein Organ, das praktisch ausschließlich der Wahrnehmung von Geruchs- bzw. Geschmacksstoffen dient. Aus ihm entwickelte sich das übergeordnete Steuer- und Denkorgan – das Großhirn der Säugetiere (Abb. 50).

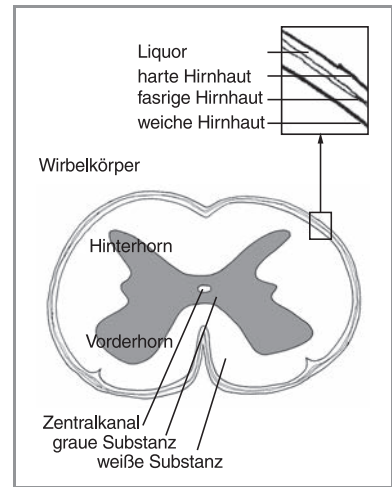


Abb. 49: Querschnitt durch Wirbelsäule und Rückenmark.

Das Gehirn von Wirbeltieren besteht aus Vorder-, Zwischen-, Mittel-, Klein- und Nachhirn.

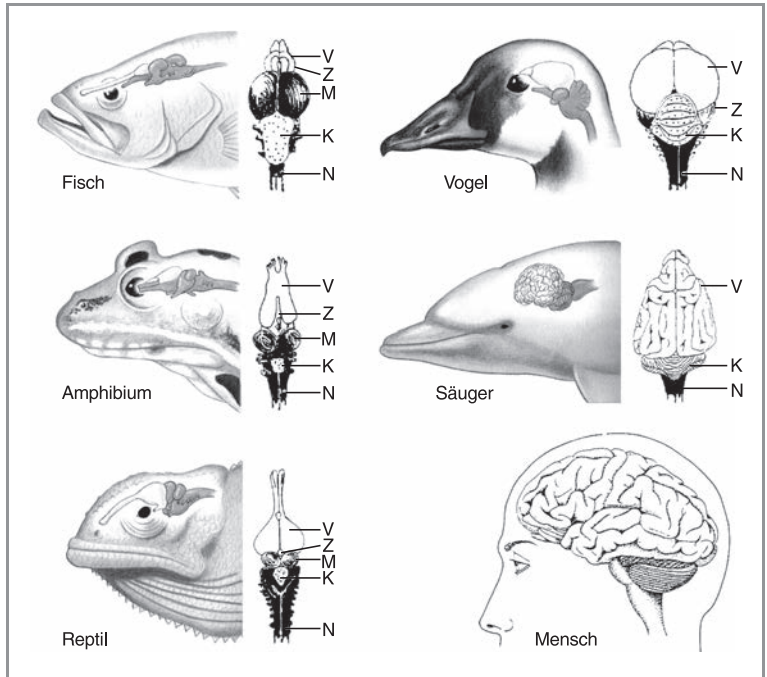


Abb. 50: Vergleich der Gehirne der fünf Wirbeltierklassen: (V) Vorderhirn, (Z) Zwischenhirn, (M) Mittelhirn, (K) Kleinhirn, (N) Nachhirn.

Vergleicht man die Kleinhirne der verschiedenen Wirbeltierklassen, so fällt die starke Ausprägung bei Fischen und Vögeln auf (Abb. 50). Das Kleinhirn dient der Koordination von Bewegungen und verarbeitet Gleichgewichtsinformationen. Schnelligkeit und Bewegung in drei Raumdimensionen selektionierte ein gut ausgebildetes Kleinhirn. Bei den trägeren Lurchen und Kriechtieren fällt das Kleinhirn unauffälliger aus.

Die Fältelung von Hirnrinden vergrößert deren Oberflächen und schafft Platz für mehr Neuronen. So ist z. B. die Kleinhirnrinde von Vögeln und Säugern stark gefaltet. Besonders auffällig ist eine solche Oberflächenvergrößerung bei der Rinde des menschlichen Vorder- oder Großhirns.

Selektion: Auslese im Sinne einer natürlichen Zuchtwahl.

2 Das Rückenmark – ein Teil des Zentralnervensystems

2.1 Der Aufbau des Rückenmarkes

In der knöchernen Wirbelsäule, geborgen im Wirbelkanal, liegt das Rückenmark. Mit einer Länge von ca. 40 cm und einem Durchmesser von ca. 2 cm bildet es die wichtigste Verbindung zwischen Körper und Gehirn. Über die gesamte Länge ist das Rückenmark von einem zentralen Kanal durchzogen. Dieser zentrale Kanal ist ein Überrest des Neuralrohrhohlraumes. Um ihn scharen sich Millionen von Nervenzellkörpern. Sie bilden die graue Substanz, deren Umrisse im Rückenmarksquerschnitt an einen Schmetterling erinnern (Abb. 49). Die weiße Substanz besteht überwiegend aus markhaltigen Axonen mit ihren typischen hellen Myelinhüllen.

Spinalnerven treten zwischen den Wirbeln aus dem Rückenmark aus, beim Menschen sind es 31 Paare. Die vordere und hintere Wurzel eines Spinalnervs bilden kurz einen gemeinsamen gemischten oder antiparallelen Nerv, der sich wieder in Teilnerven, genauer in afferente und efferente Fasern aufzweigt (Abb. 51).

Die afferenten Fasern ziehen vom Körper ins Zentralnervensystem. Sie kommen z. B. von Sinneszellen in der Fußhaut oder in Muskelspindeln und durchziehen von der Rückenseite kommend die hinteren Wurzeln der Spinalnerven. Die Nervenzellfortsätze leiten die Signale der Sinneszellen ins Hinterhorn der grauen Substanz des Rückenmarks und damit ins Zentralnervensystem. Die Zellkörper dieser pseudounipolaren Neurone liegen in den Spinalganglien, die sich beidseitig der Wirbelsäule anschmiegen.

Efferente Axone von Motoneuronen verlassen das Rückenmark über das Vorderhorn und die vorderen Wurzeln der Spinalnerven nach der Bauchseite hin und transportieren Signale vom ZNS in den Körper. Beispielsweise gelangt so ein Signal zur Muskelkontraktion vom Gehirn zum Beugemuskel im Oberschenkel.

Pseudounipolare Nervenzellen mit Zellkörper im Spinalganglion senden Signale der Sinneszellen ins ZNS.

Motoneurone mit Zellkörper im Vorderhorn senden Signale vom ZNS zu Muskeln und Drüsen.

Myelinhülle
→ vgl. S. 40 f.

Pseudounipolare Neurone → vgl. S. 38 (Abb. 23)

Motoneuron
→ vgl. S. 38 f. (Abb. 24)

Biologie

Evolution

ABITUR **MEHR**
ERFAHREN



STARK

Inhalt

Vorwort

Die Arten im Wandel	1
1 Der Evolutionsgedanke – Ein historischer Überblick	2
1.1 Artkonstanz	2
1.2 Die Entwicklung der Arten	3
1.3 Die Selektionstheorie von Darwin	4
2 Das System der Organismen	7
2.1 Die organismische Vielfalt – Die Art als Grundeinheit	7
2.2 Die Gliederung in größere Verwandtschaftsgruppen	9
Zusammenfassung	12
Spurensuche: Belege für die Evolution	13
1 Fossilien – Zeugen vergangenen Lebens	14
1.1 Wie entstehen Fossilien?	16
1.2 Die relative Altersbestimmung	17
1.3 Die absolute Altersbestimmung	18
2 Methoden der Verwandtschaftsforschung	20
2.1 Vergleichend-morphologische Verfahren – Homologie und Analogie	20
2.2 Die biogenetische Grundregel	28
2.3 Rudimente und Atavismen	30
2.4 Die molekulare Strukturverwandtschaft	32
3 Biogeografie	38
3.1 Konvergente Entwicklungen in gleichartigen Lebensräumen	38
3.2 Inseln – Modellbeispiele für Evolutionsprozesse	39
3.3 Die Ursachen disjunkter Verbreitung	41
Zusammenfassung	42
Wege der Stammesentwicklung: Beispiele evolutiver Transformationen	43
1 Die Entstehung des Lebens	44
1.1 Die Anfänge – Die chemische Evolution	44
1.2 Exkurs: Self-Assembly und Hyperzyklus – Selbstorganisation und Reproduktion von biologischen Makromolekülen	46
1.3 Die ersten Schritte der biologischen Evolution	47

Fortsetzung siehe nächste Seite

2	Von der Prozyte zur Euzyte – Die Endosymbionten-Hypothese	49
3	Die Evolution der Blütenpflanzen	52
3.1	Insekten als Bestäuber	54
3.2	Weitere Evolutionsschritte der Angiospermen	54
3.3	Exkurs: Die Evolution der Fortpflanzung im Pflanzenreich	55
4	Beispiele aus der Evolution der Wirbeltiere	57
4.1	Die Eroberung des Festlandes durch die Wirbeltiere	57
4.2	Exkurs: Latimeria chalumnae – Ein lebendes Fossil	59
4.3	Die adaptive Radiation der Reptilien	60
4.4	Sind die Vögel lebende Dinosaurier?	62
4.5	Trends in der Evolution der Pferdeartigen	66
5	Faunenschnitte und die Problematik des Aussterbens	68
	Zusammenfassung	71
Kausalanalyse der Stammesgeschichte:		
Die Evolutionsfaktoren		
1	Von Darwin zur Synthetischen Theorie	74
2	Die Population als Grundeinheit der Evolution	76
3	Populationen sind variabel – Zufällige Änderungen der Genotypen	79
3.1	Die Modifikation	79
3.2	Die Mutation	80
3.3	Die Rekombination – Erweiterung der Variation	83
3.4	Springende Gene	84
3.5	Das Ergebnis der genetischen Variabilität: Populationen sind polymorph	85
4	Selektion – Survival of the fittest	87
4.1	Beispiele für Selektion	88
4.2	Die Wirkungsweisen der Selektion	91
4.3	Fitness und die Evolution sozialer Verhaltensweisen	93
4.4	Beispiele für den soziobiologischen Erklärungsansatz	95
5	Die Gendrift	98
	Zusammenfassung	100
Das Zusammenwirken der Evolutionsfaktoren		
1	Die Theorie der Artbildung	102
1.1	Die allopatrische Artbildung	103
1.2	Die sympatrische Artbildung	108
2	Mimikry – Eine mögliche Form des Schutzes	111

3	Koevolution – Beziehungen zwischen Arten	114
3.1	Räuber und Beute	114
3.2	Symbiose zwischen Blütenpflanze und Bestäuber	115
3.3	Pflanzenschutz durch Ameisen	116
4	Die Entstehung evolutionärer Neuheiten	117
4.1	Kontinuität in der Evolution von Merkmalen	117
4.2	Mosaikvolution und Bauplan	119
4.3	Allometrie – Die Entstehung von Neubildungen	121
4.4	Änderungen in der frühen Ontogenese	122
4.5	Ergänzende und alternative Vorschläge zur Synthetischen Evolutionstheorie	123
	Zusammenfassung	125
	Humanevolution	127
1	Die systematische Stellung des Menschen	128
2	Schimpanse und Mensch – Ein Vergleich	129
2.1	Der aufrechte Gang	129
2.2	Schädel und Gehirn	130
2.3	Der Ontogenesevergleich	132
3	Fossile Funde – Die Einordnung in den menschlichen Stammbaum	133
3.1	Steckbriefe von wichtigen Fossilien	133
3.2	Vorfahren oder Seitenzweig? – Hypothesen der menschlichen Stammesgeschichte	137
3.3	Der Ursprung des Homo sapiens – Die Eva-Hypothese	140
4	Die kulturelle Evolution	142
4.1	Die jüngsten Zweige der Humanevolution – Homo sapiens neanderthalensis und Homo sapiens sapiens	142
4.2	Die menschliche Sprache	144
	Zusammenfassung	144
	Stichwortverzeichnis	145
	Abbildungsnachweis	149

Autor: Dr. Henning Kunze

Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Evolution ist ein faszinierendes, aber auch verwirrendes Thema der Biologie. Faszinierend, weil jeder Organismus und jeder Lebensprozess evolutiv entstanden ist und die Evolutionsbiologie daher die Verständnisgrundlage für *alle* biologischen Phänomene bildet. Aus demselben Grunde aber auch verwirrend, da die Fülle der Beispiele und Erklärungsansätze kaum zu überschauen ist. Dieser Band der Reihe Abitur-Wissen versucht, beide Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

Die Auswahl interessanter Evolutionsprozesse sowie die Berücksichtigung neuester Forschungsergebnisse der Paläontologie, Verwandtschaftsforschung und der kausalen Evolutionsforschung fordern zu einer Entdeckungsreise in die Evolution auf. Eine **umfangreiche Bebilderung** verbessert die Anschaulichkeit, wobei der Informationsgehalt der Abbildungen zu vertieftem Studium anregt. Das Verständnis wird zudem erleichtert durch **übersichtliche Schemata**, die die oft komplexen Zusammenhänge auf einen Blick erfassen lassen.

Abweichend von vielen Lehrbüchern ist darüber hinaus die Kapitefolge so angelegt, dass sich ein „roter Faden“ durch das ganze Buch zieht, der sich an drei Grundfragen orientiert:

- Wie lässt sich die **Verwandtschaft der Organismen** und damit die Tatsache der Evolution belegen? (Kapitel 1 und 2)
- Wie lässt sich der **Verlauf der Stammesgeschichte** in wichtigen Etappen rekonstruieren? (Kapitel 3)
- Welche **Ursachen bzw. Mechanismen** liegen **der Evolution** der Organismen zugrunde? (Kapitel 4 und 5)

Die **Evolution des Menschen** wurde in ein eigenes Kapitel an das Ende des Bandes gestellt.

Ich wünsche Ihnen eine das Interesse weckende und das Verständnis fördernde Lektüre!



Dr. Henning Kunze

3 Biogeografie

3.1 Konvergente Entwicklungen in gleichartigen Lebensräumen

Australien ist der Kontinent der Beuteltiere. Obwohl diese Säugetiere im Tertiär noch in Eurasien, Afrika und Amerika weitverbreitet waren, sind sie heute bis auf wenige Arten in Amerika auf Australien und Neuseeland beschränkt. Dieser Rückgang lässt sich mit der Entfaltung der plazentalen Säugetiere und ihrer Konkurrenzüberlegenheit erklären. Nach Australien gelangten nur wenige Plazentalier, z. B. Fledermäuse, sodass sich hier die Beuteltiere frei entfalten konnten. Dabei haben sie in Konvergenz zu den plazentalen Säugetieren viele gleichartige ökologische Nischen mit ähnlichen Lebensformen besetzt.

Die **ökologische Nische** eines Organismus ist die Gesamtheit seiner Ansprüche an die Umwelt.

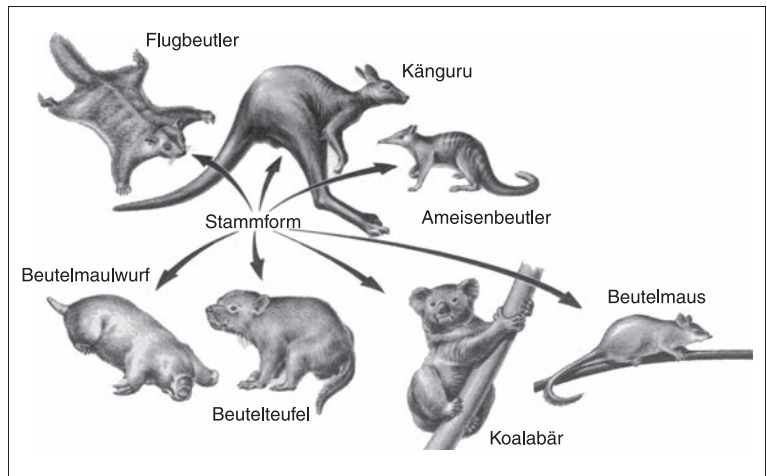


Abb. 36: In Konvergenz zu den plazentalen Säugetieren haben sich bei Beuteltieren gleichartige Lebensformen entwickelt.

Ähnlich haben sich auch nicht verwandte Vogelgruppen wie die Kolibris (Neue Welt) und die Nektarvögel (Alte Welt) an die Erschließung des Blütennektars als Nahrungsquelle konvergent angepasst (Abb. 37). Die Anpassungen umfassen nicht nur die Form und Länge des Schnabels, sondern auch die Ausbildung der Zunge zum Aufnehmen des Nektars. Die Kolibris besitzen lange Zungen, die an der Spitze in zwei dünne, aus Horn gebildete Röhren auslaufen, mit denen der Nektar kapillar aufgenommen wird. Die Nektarvögel haben dagegen eine Pinselzunge, mit der sie den Nektar aufnehmen. Diese unterschied-

Alte Welt bezeichnet die bis zur Entdeckung Amerikas bekannten Kontinente Europa, Asien und Afrika. Die **Neue Welt** umfasst Nord-, Mittel- und Südamerika.

lichen Lösungen desselben Funktionsproblems deuten auch auf die Nichtverwandtschaft und damit Konvergenz beider Gruppen. Interessanterweise haben die Nektarvögel nicht die hoch entwickelte Form des Schwirrfuges erreicht, der die Kolibris befähigt, wie ein Hubschrauber in der Luft zu stehen und fliegend die Blüten auszubeuten. Nektarvögel suchen sich nahe der Blüte eine Sitzgelegenheit beim Blütenbesuch.

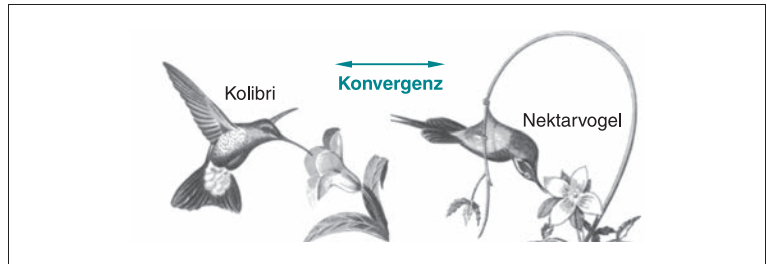


Abb. 37: Nektar als Nahrungsquelle hat bei Kolibris und Nektarvögeln zu konvergenten Formen geführt.

3.2 Inseln – Modellbeispiele für Evolutionsprozesse

Eine wichtige Rolle für die Entwicklung der Evolutionstheorie spielten die Inselfaunen und -flore. Weitab vom Festland liegende Inselgruppen wie Hawaii oder Galapagos beherbergen Pflanzen- und Tierarten, die zwar mit kontinentalen Arten nahe verwandt sind, sich aber auf den Inseln eigenständig weiterentwickelt haben. Die Darwinfinken auf dem Galapagos-Archipel haben sich zu einer nur hier vorkommenden Gruppe von 13 Arten entwickelt. Ihre nahe Verwandtschaft mit Finken auf dem südamerikanischen Festland weist darauf hin, dass einige dieser Finken zufällig auf die Inseln gelangten und die Gründerpopulation der Darwinfinken bildeten. Eine ehemalige Landbrücke zwischen beiden Gebieten ist auszuschließen, da die Inseln vulkanischen Ursprungs sind und über 1 000 km vom Festland entfernt liegen. In Anpassung an verschiedene Nahrungsnischen haben sich insbesondere die Schnabelformen und die Körpergröße der Darwinfinken auseinanderentwickelt. Solche nur in einem begrenzten Gebiet vorkommenden Arten bezeichnet man als **endemisch**.

Die Darwinfinken zeigen im kleinen Rahmen ein Modellbeispiel einer evolutiven Entstehung der Artenvielfalt. Da dies in Anpassung an Umweltverhältnisse geschieht, wird der Vorgang als **adaptive Radiation** bezeichnet (Abb. 38).

Fauna: Alle Tiere eines bestimmten Gebiets oder einer Zeitepoche.

Flora: Alle Pflanzen eines bestimmten Gebiets oder einer Zeitepoche.

Gründereffekt: Kleine auswandernde Populationen enthalten eine zufällige Auswahl der Gene ihrer Ursprungspopulationen.
→ vgl. Gendrift S.98 f.

Endemisch sind Arten, deren Vorkommen auf ein bestimmtes Gebiet begrenzt ist.

Unter **adaptiver Radiation** versteht man die in relativ kurzer geologischer Zeit ablaufende Entstehung vieler neuer Arten aus einer Stammart, wobei die Arten sich durch Anpassung an verschiedene Umweltegebenheiten auseinanderentwickelten.

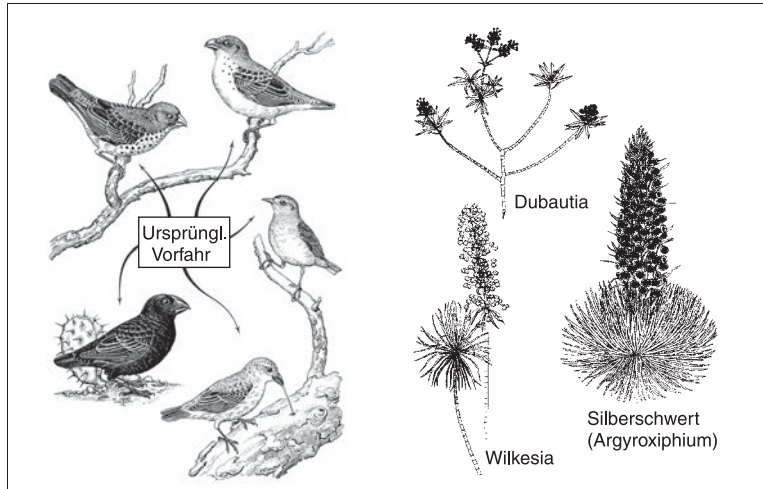


Abb. 38: Adaptive Radiation bei den Darwinfinken auf den Galapagosinseln.

Abb. 39: Differenzierung von nahe verwandten Korbblütlern auf Hawaii.

→ Adaptive Radiation der Reptilien siehe S. 60 f.

Weitere Beispiele solcher adaptiven Radiationen auf Inseln sind die Kleidervögel auf Hawaii (ursprünglich etwa 47 Arten) und die Gattung *Drosophila*, die allein auf Hawaii über 500 endemische Arten hervorgebracht hat. Unter den Pflanzen ist der Silberschwert-Komplex auf den Hawaii-Inseln ein interessantes Beispiel für eine auseinanderlaufende (divergierende) Evolution: die drei Gattungen *Argyroxiphium*, *Dubautia* und *Wilkesia* bilden ganz unterschiedliche Wuchsformen aus – von bodenständigen Rosetten bis zu 3 m hohen baumartigen Gestalten (Abb. 39). Trotzdem hybridisieren sie noch miteinander, was auf ihre enge Verwandtschaft deutet. Der Silberschwert-Komplex ist eng verwandt mit Korbblütlern des kalifornischen Festlandes, von denen er letztlich abstammt.

1 Die Theorie der Artbildung

Ernst Mayr (geb. 1904–2005) war wesentlich an dem Ausbau der Synthetischen Evolutionstheorie beteiligt.

Der Zoologe Ernst Mayr fasste die Bedeutung der Artbildung folgendermaßen zusammen: „Artbildung, die Produktion von neuen Genkomplexen, die ökologische Veränderungen ertragen können, ist die Methode, durch die Evolution voranschreitet. Ohne Artbildung gäbe es keine Diversifizierung der organischen Welt, keine adaptive Radiation und sehr wenig evolutionären Fortschritt. Die Art ist folglich der Grundstein der Evolution.“

Unter **Artbildung** (Speziation) versteht man die Entstehung von genetischen Barrieren gegen den Genaustausch zwischen Populationen. Erst durch eine solche Barriere ist eine Population gegen die andere fortpflanzungsmäßig abgegrenzt und damit eine neue Art.

Grundsätzlich können neue Arten auf zweierlei Weisen in der Evolution entstehen. Im Laufe längerer Zeiträume ändern sich biotische und abiotische Umweltbedingungen, als Folge davon ändern Arten ihr Erscheinungsbild in allmählich fortschreitender Weise. In einigen Fällen gleichmäßiger Bildung von

Sedimentschichten konnte man den kontinuierlichen Wandel von Eigenschaften einer Art am fossilen Material praktisch lückenlos nachweisen, wie das Beispiel der Süßwasserschnecke *Viviparus* zeigt. Solche Formenreihen in der Zeitfolge führen zu dem – ungelösten – Problem, ab wann im Laufe dieser evolutionären Änderungen von einer neuen Art zu sprechen ist. Die Biospezies-Definition kann

nicht angewandt werden, da die Vergleichsart nicht mehr existiert, sie hat sich ja zu der nachfolgenden „Art“ entwickelt. Die Abgrenzung von Arten innerhalb einer in der Zeit ablaufenden **Artumwandlung** muss notgedrungen willkürlich bleiben. Zudem entstehen dabei auch nicht mehr Arten.

→ Biospezies-Definition siehe S. 9

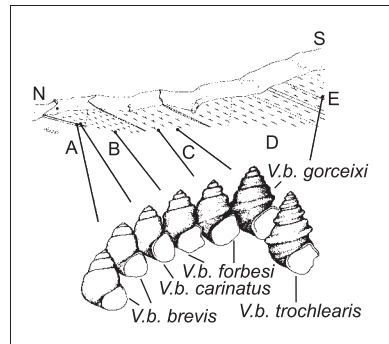


Abb. 84: Artumwandlung der Süßwasserschnecke *Viviparus brevis*.

Artumwandlung: allmähliche, über viele Generationen stattfindende Veränderung einer Art, ohne dass es zu einer Artspaltung kommt.

Allopatrisch bedeutet räumlich getrenntes Vorkommen, **sympatrisch** sind Populationen in einem gemeinsamen Verbreitungsgebiet.

Die Entstehung der Artenvielfalt setzt dagegen eine **Artaufspaltung** voraus, bei der aus einer Ursprungsart zwei oder mehrere neue Arten entstehen. Man unterscheidet zwei Möglichkeiten, wie es zur Artaufspaltung kommen kann: die **allopatrische** und die **sympatrische Artbildung**, wobei der ersten Form die größte Bedeutung zukommt.

1.1 Die allopatrische Artbildung

→ Genfluss siehe S. 78

Die allopatrische Form der Artbildung (Abb. 85) ist bei Weitem die häufigste und wichtigste. Die Theorie geht davon aus, dass innerhalb einer Population aufgrund des Genaustauschs zwischen allen Mitgliedern bei geschlechtlicher Fortpflanzung normalerweise keine Fortpflanzungsbarrieren entstehen können. Auch zwischen verschiedenen Populationen einer Art besteht gewöhnlich ein Genaustausch, z. B. durch Tierwanderungen oder durch Pollenflug bei windbestäubten Pflanzen. Man bezeichnet diesen Genaustausch zwischen Populationen als **Genfluss**.

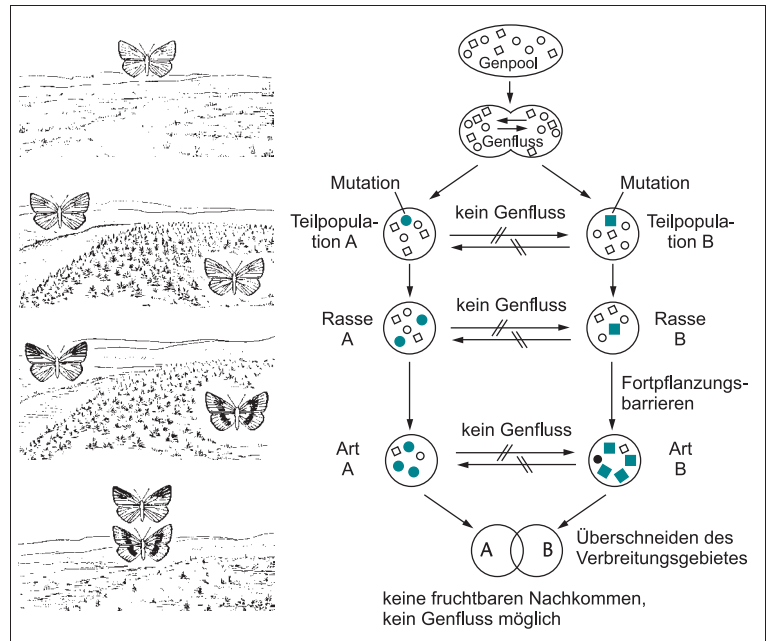


Abb. 85: Modell und theoretisches Schema der allopatrischen Artbildung.

Bei der **allopatriischen Artbildung** entstehen Fortpflanzungsbarrieren in räumlich getrennten (separierten) Populationen einer Ursprungsart.

Damit sich zwei verschiedene Populationen einer Art unterschiedlich entwickeln und letztlich zu zwei neuen Arten umbilden, muss der Genfluss zwischen ihnen unterbrochen werden. Bei der allopatriischen Artbildung geschieht dies durch eine zufällige räumliche Trennung der Populationen, die man als **Separation** bezeichnet. Diese Trennung ist zunächst rein geografisch zu verstehen, die getrennten Populationen gehören noch zur selben Art.

Beispiele für Separation

Klassische Beispiele für Separation sind in der Besiedlung ozeanischer Inseln gegeben. Auf den weit von Kontinenten entfernt liegenden Inselgruppen von Galapagos und Hawaii bildeten jeweils wenige, vom Sturm zufällig dorthin getragene Vogelgruppen die Ausgangspopulation für die Besiedlung. Diese Gründerpopulationen waren damit räumlich vollständig von ihrer Ursprungspopulation getrennt, so dass kein Genfluss mehr stattfand.

Separation kann auch die Folge klimatischer Änderungen sein. In unseren Breiten war während der Eiszeiten das Klima so verändert, dass durch die Vergletscherung viele Populationen auswanderten und in westliche, südliche und östliche Teilpopulationen aufgespalten wurden. Aus einer solchen Separation sind die allopatriischen, nahe verwandten Arten Nachtigall und Sprosser entstanden (Abb. 86).

→ Biogeografie
siehe S. 38 ff.

→ Gründerpopulation
siehe S. 99

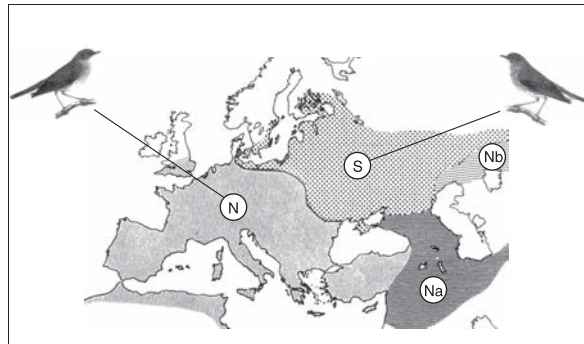


Abb. 86: Nachtigall (N) und Sprosser (S), zwei nahe verwandte Arten. Die Verbreitungskarte zeigt, dass die beiden Arten allopatriisch entstanden sind; sie kreuzen sich an ihrer gemeinsamen Grenze nicht. Na und Nb sind Unterarten der Nachtigall.

Auch geologische Ereignisse wie die Bildung der Landbrücken zwischen Nord- und Südamerika oder die Entstehung des Grand Canyon führten zur Trennung von Populationen und damit zur Unterbindung des Genflusses zwischen ihnen. Durch die Landbrücke wurden pazifische Populationen von atlantischen vollständig abgeschnitten.

Biologie

Ökologie

ABITUR **MEHR**
ERFAHREN



STARK

Inhalt

Vorwort

Grundlagen der Ökologie	1
1 Ein historischer Überblick	2
2 Abiotische Faktoren – Wechselwirkungen zwischen Organismen und ihrer unbelebten Umwelt	5
2.1 Licht- und Wärmestrahlung – das Sonnenlicht ist die Energiequelle	9
2.2 Chemische Faktoren	22
2.3 Ionen	29
2.4 Mechanisch-physikalische Faktoren	33
3 Biotische Interaktionen – Wechselwirkungen zwischen Organismen	34
3.1 Konkurrenz – Wettbewerb führt zur Nischenbildung	35
3.2 Parasitismus und Symbiose	38
3.3 Nahrungsbeziehungen transportieren Stoffe und Energie	42
3.4 Organismengemeinschaften	42
Zusammenfassung – Grundlagen der Ökologie	47
Populationsökologie	49
1 Populationsstruktur – wie lassen sich Populationen beschreiben?	50
1.1 Populationsgröße und Populationsdichte	51
1.2 Altersstruktur und Geschlechterverhältnisse von Populationen	53
2 Allgemeine Gesetze der Populationsdynamik	55
2.1 Welche Größen steuern die Entwicklung von Populationen?	55
2.2 Formen des Wachstums	56
3 Kulturlandschaften – besondere Bedingungen für Populationen	64
Zusammenfassung – Populationsökologie	67
Ökosysteme	69
1 Merkmale von Ökosystemen	70
1.1 Die räumliche und zeitliche Struktur von Ökosystemen	70
1.2 Die Stoffkreisläufe in Ökosystemen	73
1.3 Der Energiefluss – mit organischen Stoffen wird Energie übertragen	82
1.4 Die Produktion von Ökosystemen – Zuwachs an organischer Substanz	84
1.5 Selbstregulation im biologischen Gleichgewicht	85
1.6 Ökosysteme verändern sich – Sukzession	85

Fortsetzung siehe nächste Seite

2 Das Ökosystem Wald	87
2.1 Waldtypen	87
2.2 Der Stockwerkbau mitteleuropäischer Wälder	88
2.3 Beispiele für Lebensgemeinschaften in einem europäischen Laubwald	92
2.4 Der immergrüne tropische Regenwald	96
2.5 Die Funktion der Wälder	99
3 Das Ökosystem See	102
3.1 Seen besitzen eine typische Gliederung	103
3.2 Jahreszeitliche Veränderungen – die zeitliche Struktur eines Sees	108
3.3 Stoffhaushalt – Verteilung und Entstehung	111
3.4 Seentypen – Ordnung nach der Produktivität	118
3.5 Seenalterung – aus Seen entstehen Moore	120
Zusammenfassung – Ökosysteme	122
 Ökosysteme werden belastet	 123
1 Die Einflüsse des Menschen auf die Biosphäre	124
1.1 Wälder sind bedroht	127
1.2 Gefährdung der Gewässer	130
1.3 Saubere Luft?	139
1.4 Bodenbelastung	143
1.5 Biodiversität geht verloren	146
2 Natur- und Umweltschutz	148
3 Bioindikation – Verfahren zur Umweltüberwachung	151
Zusammenfassung – Ökosysteme werden belastet	159
 Stichwortverzeichnis	 161
 Abbildungsnachweis	 168

Autor: Dr. Ole Müller

Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

... Öko-Papier, Öko-Sandalen, ökologische Nahrungs- und Waschmittel, ökologischer Wein, Öko-Diesel und Öko-Strom, ökologisches Wohnen, ökologisch verträgliches Reisen ...

Ist „Ökologie“ ein Modewort?

Wir leben in einer Zeit des scheinbar unbegrenzten Wachstums. Fast alles ist machbar, alles lässt sich kaufen, nahezu alles ist gerechtfertigt. Dabei bestimmt vorwiegend die Ökonomie das Handeln der Menschen, die stärker denn je auf die erschöpflichen Rohstoffe zurückgreifen und die Schädigung der Natur forcieren. Diese gefährliche Entwicklung bedroht den über Millionen von Jahren fein regulierten Naturhaushalt und damit unsere eigene Existenzgrundlage. Ohne das **Wissen über die Zusammenhänge dieses Naturhaushaltes** lässt sich die gegenwärtige Entwicklung nicht bremsen.

Die **Ökologie** ist die Teildisziplin der Biologie, die sich mit den Wechselwirkungen zwischen **Organismen** und ihrer **Umwelt** beschäftigt. Die auf diesem Gebiet gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse helfen uns dabei, die Auswirkungen des menschlichen Handelns auf die Natur besser zu verstehen und negative Folgen zu minimieren. Daraus ergibt sich der hohe Stellenwert der Ökologie im Biologie-Unterricht, der sich in der großen **klausur- und abiturrelevanz** der Inhalte widerspiegelt.

Dieses Buch dient Ihnen zur **Orientierung im Unterricht**, zur **Vorbereitung auf Klausuren und die Abiturprüfung** sowie vielleicht als Anregung für vertiefende Studien. Die komplexen Zusammenhänge werden durch eine umfangreiche Bebilderung und die Anwendung auf konkrete Beispiele veranschaulicht.

Viel Erfolg bei Ihren Prüfungen und denken Sie ökologisch!



Dr. Ole Müller

1 Merkmale von Ökosystemen

Das Beziehungsgefüge zwischen Organismen und der abiotischen Umwelt sowie die Wechselwirkungen der Lebewesen untereinander charakterisieren ein **Ökosystem**. Da sowohl die biotischen als auch die abiotischen Faktoren in einer Landschaft variieren, gibt es auch viele verschiedene Typen von Ökosystemen (Abb. 56).

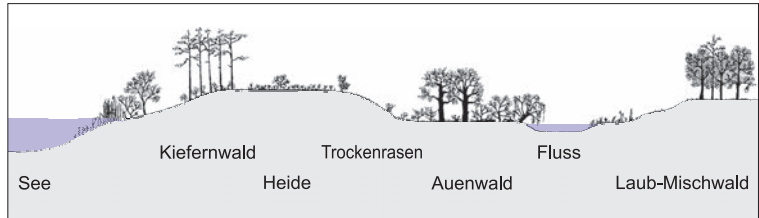


Abb. 56: Einige verschiedene Ökosystemtypen in Europa

Ein **Ökosystem** ist das Beziehungsgefüge der Lebewesen untereinander (**Biozönose**) und mit ihrem Lebensraum (**Biotop**).

Ökosysteme sind durch folgende Merkmale charakterisiert:

- räumliche und zeitliche Struktur
- stoffliche und energetische Wechselbeziehungen der Elemente des Systems in Form von Stoff- und Energieflüssen
- Stabilität durch Selbstregulation
- stofflich und energetisch offen gegen angrenzende Systeme
- Entwicklung des Systems

1.1 Die räumliche und zeitliche Struktur von Ökosystemen

In einem Regenwald bilden die Pflanzenarten verschiedene Etagen (Abb. 57). Das Lichtangebot nimmt von der oberen zur unteren Etage beständig ab, denn von den Blättern wird ein Teil des Lichtes absorbiert. Am Boden kann in manchen Regenwäldern auch an wolkenlosen Tagen Dämmerlicht herrschen. Die Verteilung des Lichtes ist ein Resultat der Vegetation und sie beein-

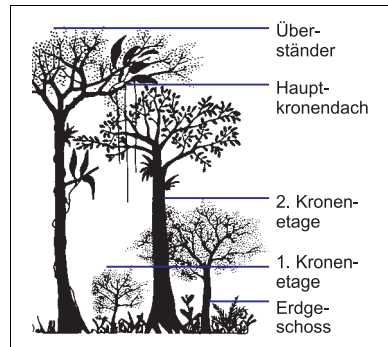


Abb. 57: Beispiel Regenwald

Gradient: lat. *gradatio*
Steigerung, Gefälle; hier:
die Veränderung der Inten-
sität eines Faktors in ei-
nem Raum oder auf einer
Fläche

flusst wiederum, welche Arten in den verschiedenen Etagen leben. Auf diese Weise ist der Regenwald räumlich strukturiert. In jedem Ökosystem ergibt sich eine räumliche Struktur aus der unterschiedlichen Intensität wirksamer Faktoren in verschiedenen räumlichen Bereichen des Systems und der daraus resultierenden Veränderung der Artenzusammensetzung. Je nach Ausrichtung von **Faktorengradienten** oder Ausbildung von Lebensgemeinschaften ist das System **horizontal** (Abb. 58) oder **vertikal** gegliedert (Abb. 57). Die vertikale Gliederung wird häufig als **Schichtung** bezeichnet.

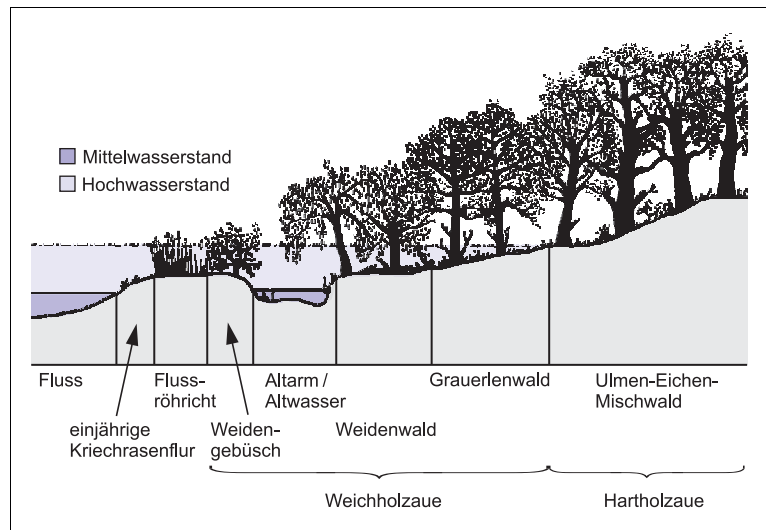


Abb. 58: Eine Flusslandschaft – ein Beispiel für die horizontal-räumliche Strukturierung

Die Laubwälder Mitteleuropas verändern sich im Jahresverlauf. Sichtbares Zeichen dafür ist z. B. der herbstliche Laubfall. Die Jahreszeiten mit ihrem unterschiedlichen Lichtangebot und den daraus resultierenden unterschiedlichen Temperaturen zwingen dem Ökosystem eine zeitliche Struktur auf. Nahezu alle Ökosysteme sind über die Veränderungen von Faktoren mehr oder weniger stark zeitlich strukturiert. Als Zeitgeber wirken Licht, Temperatur, Gezeiten, Niederschlag und andere abiotische Faktoren. Die zeitliche Struktur ist in solchen Ökosystemen besonders ausgeprägt, in denen die Zeitgeber große Schwankungen zeigen. In einem feuchten Eichen-Hainbuchen-Wald Mitteleuropas z. B. treten einzelne Pflanzengesellschaften deshalb in einem strengen zeitlichen Muster auf (Abb. 59).

Zeitgeber
→ vgl. S. 21

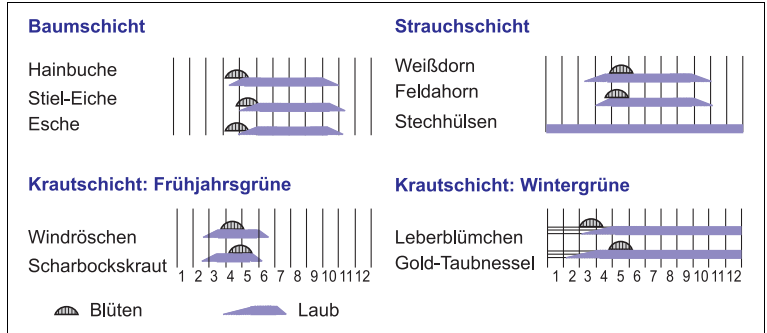


Abb. 59: Jahreszeitliche Entwicklung einiger Pflanzen in Eichen-Hainbuchen-Wäldern

Die zeitliche Struktur eines Ökosystems kann sich in verschiedenen Erscheinungen äußern.

In Abbildung 60 sind die Flugaktivitäten einer Libellenart im Jahres- und Tagesverlauf dargestellt. Insekten sind wechselwarme Tiere. Deshalb ist es auch verständlich, dass die meisten Arten der gemäßigten Breiten nur in der warmen Saison aktiv sind. Aber auch im Tagesverlauf sind zeitliche Muster zu erkennen. Sie werden wahrscheinlich vom Verlauf von Temperatur und Luftfeuchte, den Lichtverhältnissen und dem Versorgungszustand mit Nahrung mitbestimmt.

Versuchen wir uns vorzustellen, als Taucher die Bodenstruktur in einem Fluss zu erfassen. Wir tauchen und untersuchen Proben auf die Korngrößen der Bodenpartikel. Im Laufe des Jahres hat der Fluss die Partikel entsprechend ihres spezifischen Gewichtes und der Kräfte des fließenden Wassers in bestimmten Mustern abgelagert. Das gleiche Prinzip ist auch von den Stränden an der Nord- und Ostsee bekannt, an denen sich Steine, Muschelschalen

Wechselwarm
 → vgl. S. 12

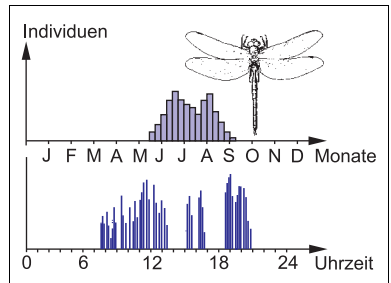


Abb. 60: Jährliche (oben) und tageszeitliche (unten) Aktivitäten von Imagines der Braunen Mosaikjungfer an einem Waldsee im Uferbereich. Die Balken zeigen die Häufigkeit der Sichtung von flugfähigen Imagines an.

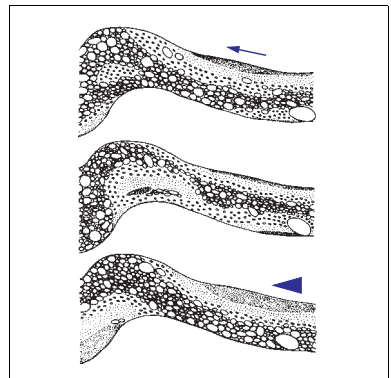


Abb. 61: Jahreszeitliche Veränderung der Korngrößenzusammensetzung in einem Fließgewässer; Pfeil: Fließrichtung des Wassers; Keil: Hochwasserdurchlauf

3.1 Seen besitzen eine typische Gliederung

Seen zeigen eine ausgeprägte räumliche Gliederung. Als Lebensräume werden die Freiwasserzone, das **Pelagial**, und die Bodenzone, das **Benthalthal**, unterschieden. Das Benthalthal ist vertikal weiter untergliedert in die Tiefenzone, das **Profundal**, und die Uferzone, das **Litoral** (Abb. 86).

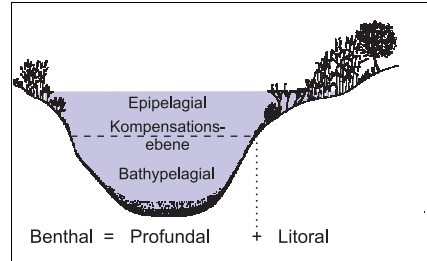


Abb. 86: Räumliche Gliederung eines Sees

Pelagial: griech. *pelagos*
Meer

Benthalthal: griech. *benthos*
Tiefe, Meerestiefe

Profundal: lat. *profundus*
tiefgründig

Litoral: lat. *litus* Ufer,
Küste

Kompensation: Ausgleich, Aufhebung von
Wirkungen einander entgegengesetzter Ursachen

Genese: griech. *genesis*
Entstehung, Entwicklung;
trophogen bezieht sich auf
die Entstehung organischer
Stoffe durch Fotosynthese

Lyse: griech. *lyein* Auflösung;
tropholytisch bezieht sich auf
den Abbau organischer Stoffe

Chemoautotrophie
→ vgl. S. 74, 81, 116

Die Gewässertiefe, in der wegen des Lichtmangels keine Fotosynthese mehr stattfindet, markiert die Grenze zwischen Litoral und Profundal. Da diese Grenzschicht, die **Kompensationsebene**, in ihrer Lage jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen kann, ist die räumliche Gliederung des Benthalthals jahreszeitlich variabel. Produktionsbiologisch lässt sich der Wasserkörper in zwei Schichten gliedern. In der lichtdurchfluteten **trophogenen** Schicht (Litoral und Epipelagial) findet der Hauptanteil der Primärproduktion statt. Daran sind fotoautotrophe Algen des Pelagials ebenso beteiligt wie höhere Pflanzen des Litorals. In der trophogenen Schicht siedeln auch Konsumenten und Destruenten. Unterhalb der Kompensationsebene schließt sich die **tropholytische** Schicht (Profundal und Bathypelagial) an, in der aus Lichtmangel keine fotoautotrophe Assimilation mehr möglich ist. Auch wenn in dieser Schicht die Abbauvorgänge durch Mikroorganismen bei Weitem überwiegen, leisten dort vorkommende **chemoautotrophe** Bakterien doch einen Teil der Primärproduktion des Gewässers.

Das Pelagial – Freiwasser

Die für den Stoffhaushalt der meisten Seen bedeutendste Lebensgemeinschaft bildet das Plankton des Pelagials.

Plankton ist die Sammelbezeichnung für eine aquatische Lebensgemeinschaft schwebender Organismen mit fehlender oder gering ausgebildeter Eigenbewegung.

Es wird häufig nach Zooplankton (tierische Organismen) und Phytoplankton (Pflanzen) gegliedert. In der Praxis ist diese Gliederung nicht günstig, da Bakterien und Pilze damit nicht erfasst werden. Eine Reihe von Tieren lebt nur zeitweise in Form von Larvenstadien planktisch.

Alle Planktonorganismen haben ein gemeinsames Problem: Sie können nur passiv durch Wasserströmungen bewegt werden oder selbst nur kleinste Strecken durch Eigenbewegung zurücklegen. Grünalgen z. B. benötigen zur Aufrechterhaltung ihrer Lebensprozesse Licht bestimmter Wellenlänge, mit dessen Hilfe sie organische Stoffe assimilieren. Sie vermehren sich im Wesentlichen durch Zellteilung während der warmen Jahreszeiten in den oberen, lichtdurchfluteten Bereichen von Süßgewässern. Nach ihrer Entstehung durch Teilung sinken die Algen beständig nach unten, bis sie Seeschichten erreichen, in die zu wenig Lichtenergie vordringt. Die Zellen zehren letzte Speicherstoffe auf und sterben dann ab. Die Lebensdauer einer solchen Grünalge ist also entscheidend von der Sinkgeschwindigkeit abhängig. Bei planktischen Organismen entwickelten sich deshalb Anpassungen zur Verminderung der Sinkgeschwindigkeit (Abb. 87). Einige häufige Anpassungen sind:

- Verringerung der Gesamtdichte des Organismus durch Einlagerung von Stoffen mit geringerer Dichte als Wasser (Öle, Fette, Gase)
- Erhöhung des Wassergehaltes der Gewebe zugunsten eines größeren Auftriebes
- Vergrößerung der relativen Oberfläche des Organismus durch Fortsätze zur Erhöhung des Formwiderstandes (B–E)
- Einrichtungen zur kleinräumigen aktiven Fortbewegung (A) wie Schwimmfüße, Geißeln oder undulierende Membranen

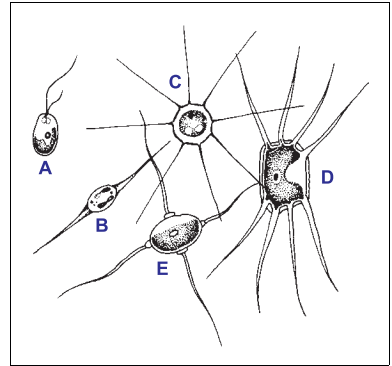


Abb. 87: Morphologische Anpassungen zur Verminderung der Sinkgeschwindigkeit planktischer Organismen

undulieren: wellenartig verlaufen, hin- und herwogen

Das Plankton in Form von Algen und Cyanobakterien leistet den größten Teil der Primärproduktion in einem See. Es ist damit Ausgangspunkt für die meisten Nahrungsbeziehungen. Viele Zooplankter sind an der Selbstreinigung der Gewässer beteiligt, indem sie organische Stoffe aus dem Wasser aufnehmen.

Das **Nekton** bildet die zweite große Lebensgemeinschaft des Freiwassers. Zum Nekton zählen alle größeren Organismen, die deutliche Eigenbewegung vollführen können.

Durch ihre Fähigkeit zur Eigenbewegung können sie sich dem passiven Transport durch Strömung mehr oder weniger gut entziehen. Den Hauptanteil der Biomasse des Nektons bilden die Fische (Raub- und Friedfische).

Das Litoral ist reich strukturiert

Auch das Litoral lässt sich in mehrere Abschnitte gliedern (Abb. 88).

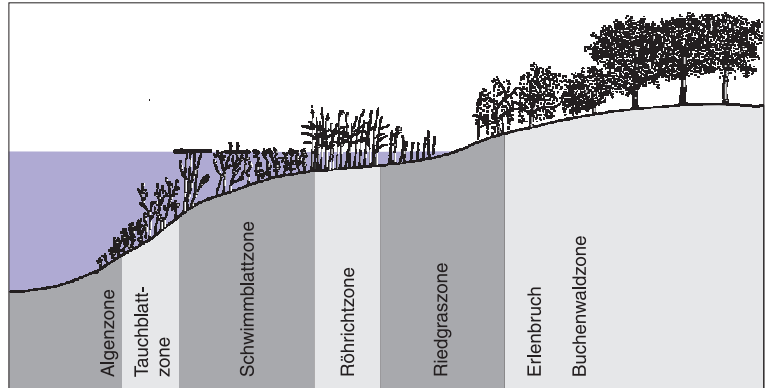


Abb. 88: Zonierung des Litorals

Der **Erlenbruch** ist nur bei Hochwasser dauerhaft überflutet. Aber selbst bei niedrigen Wasserständen wachsen die Pflanzen auf moorigem Boden. Die typischen Gehölze sind Erlen und Weiden, die gegenüber Staunässe unempfindlich sind.

In Richtung Gewässer schließt sich die **Riedgraszone** an. Hier wachsen neben Riedgräsern u. a. auch Schwertlilien, Seggen und Weiderich. In der **Röhrichtzone** gedeihen Binsen, Pfeilkraut und Froschlöffel. Die charakteristischen Arten sind allerdings Schilf und Rohrkolben. Viele Arten bilden im Schlamm **Rhizome**, die die Uferbereiche festigen. Spezielle Lüftungsgewebe versorgen die untergetauchten Teile dieser Pflanzen mit Sauerstoff.

Die Zone der **Schwimmblattpflanzen** wird von Arten gebildet, die im Bodengrund verankert sind, deren Blätter aber auf der Wasseroberfläche schwimmen (z. B. See- und Teichrosen). Mit diesen Schwimmblättern betreiben sie den Großteil der Fotosynthese. Die Arten blühen über der Wasseroberfläche und zeigen eine Reihe interessanter Anpassungen an diesen speziellen Lebensraum. Ihre Spaltöffnungen befinden sich z. B. auf den Blattoberflächen. Die notwendigen Gase werden also aus der Atmosphäre bezogen.

Rhizom: Sprossachsen-system, das der vegetativen Vermehrung dient. Aus den Vegetationspunkten der Rhizome können neue Pflanzen auswachsen.



© **STARK Verlag**

www.stark-verlag.de
info@stark-verlag.de

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH ist urheberrechtlich international geschützt. Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung des Rechteinhabers in irgendeiner Form verwertet werden.

STARK