



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Chemieberufe

Fachwissen Biologie und Biotechnik

Sebastian Hepp
Eva Kaufmann

Claus-Dieter Paul
Alexander Rotthues

Christina Schultheis
Sarah Sophia Wehrheim

5. Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsseldorfstraße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 70951

Autoren:

Dr. Sebastian Hepp, M.Sc. Chemie, Studienrat	Bischofsheim
Dr. Eva Kaufmann, Dipl.-Biologin, Oberstudiendirektorin	Oberursel
Claus-Dieter Paul, Dipl.-Biologe, Oberstudienrat	Frankfurt am Main
Dr. Alexander Rotthues, Dipl.-Biotechnologe, Studiendirektor	Eppstein/Taunus
Dr. Christina Schultheis, Dipl.-Biologin, Oberstudienrätin	Frankfurt am Main
Sarah Sophia Wehrheim, M.Sc. Biochemie, Studienrätin	Bad Homburg

Lektorat:

Claus-Dieter Paul, Dipl.-Biologe, Oberstudienrat	Frankfurt am Main
--	-------------------

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern
Design-Studio Wiegand, Hamburg

5. Auflage 2025

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-7585-7691-1

Bei Fragen zur Produktsicherheit wenden Sie sich bitte an produktsicherheit@europa-lehrmittel.de

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2025 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Ertstadt

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, Radevormwald unter Verwendung der Fotos von
© Satirus – shutterstock.com und © ktsdesign – stock.adobe.com

Druck: LD Medienhaus GmbH & Co. KG, 48268 Greven, www.ld-medienhaus.de

Vorwort zur 5. Auflage

Die Bedeutung der Biologie nimmt stetig zu, insbesondere seitdem es durch die moderne Biotechnik und Gentechnik gelingt, die vielfältigen Leistungen von Mikroorganismen, pflanzlichen und tierischen Zellen im Rahmen technischer Verfahren zum Vorteil für den Menschen zu nutzen. So sind Ernährung, Gesundheit, Landwirtschaft, Chemikalienproduktion, Energieversorgung und Umweltschutz zentrale Anwendungsschwerpunkte biotechnischer Verfahren.

Die aktualisierte, erweiterte (und korrigierte) 5. Auflage von „**Fachwissen Biologie und Biotechnik**“ unterstützt als fachsystematisches Nachschlagewerk und Arbeitsbuch für die Ausbildungsberufe im Berufsfeld Chemie, Physik, Biologie die Lernfelder in den bundesweiten Rahmenlehrplänen, die sich mit **mikrobiologischen Arbeitstechniken** und **biotechnischer Produktion** befassen. Gleichzeitig gibt es durch die Einbeziehung der Grundlagen der Biologie und Ökologie einen Gesamtüberblick über das Fachgebiet. Das Buch kann unterrichtsbegleitend in der Berufsschule und der betrieblichen Aus- und Fortbildung eingesetzt werden und eignet sich bevorzugt für **Chemikanten, Pharmakanten, Produktionsfachkräfte Chemie, Biologielaaboranten, Chemielaboranten, Lacklaboranten, Physiklaboranten** sowie **Industriemeister Chemie und Pharmazie**.

Darüber hinaus ist das Buch in der Fachschule für Technik, Fachrichtung Chemie- und Biotechnik, in der Berufsfachschule für biologisch-technische Assistenz, im beruflichen Gymnasium Biotechnologie und der gymnasialen Oberstufe ebenso einsetzbar wie für Fachkräfte für Kreislauf- und Abfallwirtschaft sowie für Studierende an den Hochschulen, wo es die Vorlesungen und Übungen der entsprechenden Studiengänge unterstützt. Da biotechnische Verfahren eine zunehmende Bedeutung haben, wird auch der bereits im Berufsleben stehende Praktiker in diesem Buch nützliche Hinweise finden, die ihm bei der Einarbeitung in das entsprechende Arbeitsgebiet helfen können. Das Buch „**Fachwissen Biologie und Biotechnik**“ ist wie folgt gegliedert:

- **Grundlagen der Biologie.** Ausgehend von den Biomolekülen und der Zelle mit ihren Funktionen wird der Zusammenhang zwischen Organisation und Funktion lebendiger Systeme erläutert.
- **Mikrobiologie.** Nach den Erscheinungsformen und Eigenschaften von Mikroorganismen wird deren Rolle im Gesamtökosystem ebenso behandelt wie ihre Bedeutung für den Menschen, insbesondere ihr Einsatz im Rahmen biotechnischer Verfahren und der Gentechnik.
- **Biotechnik.** Schwerpunkte sind die Grundlagen der Gentechnik, der Umgang und die Kultivierung von Mikroorganismen und Zellen, Bioreaktoren, biotechnische Produktionsprozesse sowie ausgewählte Anwendungen der Biotechnik.
- **Ökologie.** Die vielfältigen Beziehungen der Lebewesen zu ihrer Umwelt werden ebenso behandelt wie umweltbelastende Eingriffe des Menschen. Vorschriften auf dem Gebiet des Umweltschutzes und Maßnahmen des Umwelt- und Arbeitsschutzes ergänzen diesen Abschnitt.

In einem **Vertiefungsteil** werden zu ausgewählten Inhalten ergänzend und vertiefend Themen behandelt, die den Praxisbezug zu den entsprechenden Ausbildungsberufen herstellen. Der Abschnitt **Überprüfen von Kenntnissen** dient zum Wiederholen und Festigen des Gelernten. Bei den Formulierungen der Fragen wurde bewusst eine Taxonomie verwendet, die für die Kenntnisziele unterschiedliche Schwierigkeitsgrade vorsieht.

Um das Arbeiten mit dem Buch zu erleichtern, wurden zusammengehörende Kapitel möglichst auf einer Seite bzw. einer Doppelseite untergebracht. Querverweise im Text weisen auf Zusammenhänge hin. Wichtige Sachverhalte sind als Merksätze hervorgehoben. Die Verwendung der Fachsprache ist auf das notwendige Maß beschränkt. Im Hinblick auf den zeitlichen Rahmen für den Unterricht wurde bei einigen Lernzielen erheblich didaktisch reduziert. Dafür sind die Bereiche betont, die beispielhaft biotechnische Verfahren als moderne Technologie ausweisen, die bei der Bewältigung drängender Probleme der Menschheit erfolgreich eingesetzt werden können.

Allen Nutzern dieses Buches wünschen wir einen erfolgreichen Einstieg in die Grundlagen von Biologie und moderner Biotechnik. Hinweise, die zur Verbesserung und Weiterentwicklung des Buches beitragen, erbitten wir unter der Verlagsadresse oder per E-Mail (lektorat@europa-lehrmittel.de).

I Grundlagen der Biologie

1	Eigenschaften und Merkmale lebendiger Systeme	7
1.1	Kennzeichen des Lebens	7
1.2	Elemente des Lebens	8
1.2.1	Proteine (Eiweißstoffe)	9
1.2.2	Enzyme (katalytische Proteine)	12
1.2.3	Nukleinsäure DNA	14
1.2.4	Nukleinsäure RNA	16
1.2.5	Kohlenhydrate	16
1.2.6	Lipide (Fette)	18
2	Zusammenhang zwischen Bau und Funktion von Zellen	19
2.1	Prozyten und Euzyten	19
2.2	Aufbau von Zellen	19
2.2.1	Zellplasma	19
2.2.2	Biomembranen	20
2.2.3	Zellorganellen	22
2.2.4	Chromatin und Chromosomen	27
2.3	Zellteilung	30
2.4	Veränderungen des Erbgutes (Mutationen)	32
3	Stoffwechselvorgänge in Zellen	36
3.1	Stoffwechseldefinition	36
3.2	ATP und ADP	37
3.3	Fotosynthese	38
3.4	Biologische Oxidation	40
3.5	Alkoholische Gärung	41
3.6	Proteinbiosynthese	42
4	Systematik der Lebewesen	44
4.1	Systematische Einheiten	44
4.2	Stammbäume der Lebewesen	45

II Mikrobiologie

1	Erscheinungsformen und Eigenschaften von Mikroorganismen	46
1.1	Lebewesen des mikrobiologischen Bereichs	47
1.2	Eigenschaften der Mikroorganismen	48
1.2.1	Natürliche Vorkommen und Verbreitung	48
1.2.2	Äußere Gestalt und Größenverhältnisse von Mikroorganismen	50
1.2.3	Bakterien – Bau und Lebensweise	53
1.2.4	Pilze – Bau und Lebensweise	59
1.2.5	Viren – Bau und Lebensweise	63
2	Bedeutung der Mikroorganismen	66
2.1	Bedeutung der Mikroorganismen für das Leben auf der Erde	66
2.2	Bedeutung der Mikroorganismen für den Menschen	68
2.2.1	Mikroorganismen als Krankheitserreger	68
2.2.2	Mikroorganismen als Lebensmittelverderber	71
2.2.3	Mikroorganismen als Verursacher von Korrosion	72

III Biotechnik

1	Biotechnik und Gentechnik	75
1.1	Geschichte der Biotechnik und Gentechnik	76
1.2	Vorteile biotechnischer Verfahren	78
2	Biotechnisch wichtige Mikroorganismen und Zellen	80
2.1	Produktionsorganismen in der Biotechnik	80

2.2	Gentechnik – Erzeugung gentechnisch veränderter Organismen zur Nutzung in biotechnischen Verfahren	82
2.2.1	Gentechnik – Überblick	82
2.2.2	Nukleinsäureisolierung	84
2.2.3	Nukleinsäuredetektion	86
2.2.4	Polymerasekettenreaktion PCR	88
2.2.5	DNA Banken	90
2.2.6	DNA-Sequenzierung	93
2.2.7	Klonierung	94
2.2.8	Gentechnikgesetz	98
3	Umgang mit biotechnisch wichtigen Mikroorganismen und Zellen	100
3.1	Mikroorganismen und Zellen als biologische Arbeitsstoffe	100
3.2	Grundregeln guter mikrobiologischer Technik	102
3.3	Schutz- und Sicherheitsstufen im Labor und in der Produktion	104
3.4	Sterilisation und Desinfektion	105
3.5	Sterilisationsverfahren	106
3.5.1	Feuchte Hitze	106
3.5.2	Trockene Hitze	108
3.5.3	Gase	108
3.5.4	Ionisierende Strahlung	109
3.5.5	Sterilfiltration	109
3.6	Desinfektionsverfahren	112
3.6.1	Physikalische Desinfektionsverfahren	112
3.6.2	Chemische Desinfektionsmittel und Desinfektionsverfahren	112
3.7	Entsorgung von biologisch kontaminiertem Material	114
3.8	Biotechnische Labore	116
3.9	Stammhaltung und Konservierung von Mikroorganismen und Zellen	119
4	Kultivierung biotechnisch wichtiger Mikroorganismen und Zellen	122
4.1	Einflussfaktoren für Wachstum und Vermehrung	122
4.1.1	Nährmedium	123
4.1.2	Temperatur	126
4.1.3	pH-Wert	126
4.1.4	Sauerstoff	127
4.2	Wachstumsgeschwindigkeit	128
4.3	Wachstumsphasen und Wachstumsgeschwindigkeit im flüssigen Nährmedium	130
4.4	Wachstum auf festem Nährmedium	132
5	Bioreaktoren	134
5.1	Bioreaktoren – Aufgaben und Anforderungen	135
5.2	Rührkessel-Bioreaktoren	136
5.3	Aufbau eines Rührkessel-Bioreaktors	136
5.3.1	Komponenten eines Rührkessel-Bioreaktors	137
5.3.2	Komponenten zur Erhaltung der Bioreaktoranlagensterilität	140
5.3.3	Werkstoffe	142
5.4	Betrieb eines Rührkessel-Bioreaktors	144
5.4.1	Reinigung und Sterilisation	144
5.4.2	Durchmischung und Begasung	148
5.4.3	Schaum und Schaumbekämpfung	152
5.5	Prozesskontrolle in einem Rührkessel-Bioreaktor	154
5.5.1	Messgrößen im Bioreaktor	155
5.5.2	Regeln von Messgrößen im Bioreaktor	162
5.6	Nicht-geführte Bioreaktoren	166

5.6.1	Einwegbioreaktoren	166	3.1.4	Weltweite Probleme durch Luftbelastungen	254
5.6.2	Geschüttelte Bioreaktoren	168	3.1.5	Räumlich begrenzte Probleme durch Luftbelastungen	256
5.6.3	Blasensäulen-Bioreaktor und Airlift-Schlaufenbioreaktor	169	3.2	Bodenbelastungen	258
5.6.4	Festbett-Bioreaktor und Fließbett-Bioreaktor	170	3.2.1	Allgemeine Bodenbelastungen (ausgewählte Beispiele)	258
5.6.5	Membran-Bioreaktoren	171	3.2.2	Bodenbelastungen durch die Landwirtschaft	258
6	Biotechnische Produktionsprozesse	172	3.2.3	Bodenbelastungen durch Abfälle	261
6.1	Schema eines biotechnischen Produktionsprozesses	173	3.3	Wasserbelastungen	262
6.2	Vorbereitung des Ausgangsmaterials (Upstream-Processing)	174	3.3.1	Natürliche Gewässerbelastungen und Trinkwassergewinnung	262
6.2.1	Nährmedienzubereitung	174	3.3.2	Natürliche Selbstreinigung der Gewässer	263
6.2.2	Sterilisation der Bioreaktoranlage und des Nährmediums	174	3.3.3	Gewässerbelastungen durch die Tätigkeit des Menschen	264
6.2.3	Impfgutzucht (Inokulumherstellung)	175	4	Umgang mit Umweltbelastungen	266
6.3	Fermentation (Stoffumwandlung)	176	4.1	Umweltschutz	266
6.3.1	Diskontinuierliche Prozessführung bei der Fermentation	176	4.2	Vorschriften im Rahmen des Umweltschutzes	267
6.3.2	Kontinuierliche Prozessführung bei der Fermentation	179	4.3	Umweltschutz und Arbeitsschutz	268
6.4	Aufarbeitung (Downstream-Processing)	180	4.4	Produktionsintegrierter Umweltschutz	270
6.4.1	Zellabtrennung	182	4.5	Vermindern von Umweltbelastungen am Beispiel des Rheins	271
6.4.2	Zellaufschluss	188	V	Vertiefungsteil	
6.4.3	Produktanreicherung	190	1	Vertiefung Biologie	272
6.4.4	Produktreinigung und Produktkonfektionierung	192	1.1	Proteine und Ernährung	272
7	Anwendungsschwerpunkte der Biotechnik	198	1.2	Enzymklassen	273
7.1	Weiße Biotechnik	198	1.3	Enzymkinetik	274
7.1.1	Biotechnik in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie	198	1.4	Kinetische Charakterisierung von Enzymen (Assays)	276
7.1.2	Biotechnik in der chemischen Industrie	203	1.5	Das Immunsystem im Überblick	278
7.2	Graue Biotechnik	217	1.6	Antikörper	280
7.2.1	Biologische Bodensanierung	217	1.7	Monoklonale Antikörper	281
7.2.2	Biologische Abluftreinigung	218	1.8	Bedeutung des Immunsystems in der medizinischen Therapie	282
7.2.3	Biologische Abwasserreinigung	220	1.9	Immunologische Testverfahren	284
7.3	Rote Biotechnik	225	1.10	Mikroskope zur Untersuchung biologischer Strukturen	286
7.3.1	Biopharmazeutika	225	1.11	Aufbau von Pflanzenzellen	288
7.3.2	Impfstoffe	230	2	Vertiefung Biotechnik	290
7.4	Grüne Biotechnik	233	2.1	Genome-Editing: CRISPR/Cas	290
7.4.1	Biomasse- und Inhaltsstoffproduktion	233	2.2	Nukleinsäureisolierung von genomischer DNA	294
IV	Ökologie		2.3	Vertiefung Sterilisationsverfahren	295
1	Wechselbeziehungen zwischen Lebewesen und Umwelt	236	2.4	Nachweis von Mikroorganismen mit der Agarplatte	298
1.1	Grundbegriffe der Ökologie	237	2.5	Biotechnischer Produktionsprozess am Beispiel Humaninsulin	300
1.2	Abiotische Umweltfaktoren	239	3	Vertiefung Ökologie	303
1.2.1	Klima	239	3.1	Beurteilung von Gewässerbelastungen	303
1.2.2	Boden	243	VI	Überprüfen von Kenntnissen	
1.3	Biotische Umweltfaktoren	244	1	Grundlagen der Biologie	306
2	Nahrungsbeziehungen und Stoffproduktion in Ökosystemen	246	2	Mikrobiologie	309
2.1	Produzenten, Konsumenten und Destruenten	246	3	Biotechnik	310
2.2	Nahrungsketten	247	4	Ökologie	317
2.3	Stoffkreisläufe	248	5	Vertiefungsteil	320
2.3.1	Kreisläufe von Kohlenstoff und Sauerstoff	248		Vertiefung Biologie	320
2.3.2	Stickstoffkreislauf	248		Vertiefung Biotechnik	321
3	Eingriffe des Menschen in Ökosysteme	250		Vertiefung Ökologie	321
3.1	Luftbelastungen	250		Sachwortverzeichnis	322
3.1.1	Gasförmige Luftschadstoffe (ausgewählte Beispiele)	251		Danksagung und Bildquellen	345
3.1.2	Dampfförmige Luftschadstoffe (ausgewählte Beispiele)	252			
3.1.3	Stäube und Aerosole als Luftschadstoffe (ausgewählte Beispiele)	253			

I Grundlagen der Biologie



1 Eigenschaften und Merkmale lebendiger Systeme

Die Biologie untersucht als Teil der Naturwissenschaften die vielfältigen Erscheinungen der Lebensformen und Lebensprozesse wie Organisation und Funktion. Dabei wird deutlich, dass die Naturgesetze der Physik und Chemie die Grundlage aller biologischen Erscheinungen bilden.

1.1 Kennzeichen des Lebens

Das Leben auf der Erde ist knapp eine Milliarde Jahre jünger als die Erde selbst, denn vor mehr als dreieinhalb Milliarden Jahren begann die Entwicklung der ersten Lebensformen aus der unbelebten Materie. Wenn auch noch viele Einzelheiten dieser Entwicklung unbekannt sind und die Übergänge zwischen unbelebter Materie und den ersten Lebensformen sicherlich fließend waren, sind heute die Unterschiede offensichtlich.

► **Kennzeichen des Lebens (Bild 1).** Lebewesen (Organismen) grenzen sich hauptsächlich durch die Summe folgender Merkmale von der unbelebten Materie ab:

- **Lebewesen sind aus organischen Molekülen aufgebaut.** Dabei stehen folgende organische Moleküle als sogenannte Biomoleküle im Vordergrund: Eiweißstoffe, Nukleinsäuren, Kohlenhydrate und Fette.
- **Lebewesen bestehen aus Zellen.** Zellen sind die kleinsten Einheiten des Lebens. Viele Lebewesen leben ständig als Einzeller. So die meisten Kleinstlebewesen, die Mikroorganismen. Die Mehrzahl der Pflanzen und Tiere sind allerdings Vielzeller.
- **Lebewesen haben einen Stoff- und Energiestoffwechsel.** Darunter werden alle chemischen und energetischen Umsetzungen in einzelnen Zellen oder vielzelligen Lebewesen verstanden. Zum Stoffwechsel gehören die Stoffaufnahme, der Stofftransport, die Stoffumwandlung und die Stoffausscheidung. Zum Energiestoffwechsel gehört der Abbau organischer Moleküle zur Energiegewinnung.
- **Lebewesen wachsen.** Als Ergebnis des Stoffwechsels nimmt die Masse einer Zelle bzw. bei Vielzellern die Masse des Gesamtorganismus zu.
- **Lebewesen pflanzen sich selbstständig fort.** Entweder geschieht dies ungeschlechtlich durch Zweiteilung, wie bei vielen einfach gebauten Lebewesen, oder geschlechtlich durch Verschmelzung von männlichen und weiblichen Geschlechtszellen (Befruchtung). Die Fortpflanzung dient der Erhaltung der Art und ist in der Regel mit einer Vermehrung verbunden.
- **Lebewesen bewegen sich.** Darunter sind sowohl die selbstständige Fortbewegung zu verstehen, als auch die aktive Bewegung festgewachsener (örtlich fixierter) Lebewesen und Bewegungen innerhalb ihrer Zellen (Motilität).
- **Lebewesen zeigen Reizbarkeitserscheinungen.** Lebewesen reagieren auf eine Vielzahl von Reizen aus ihrer Umgebung. Beispiele sind Reaktionen auf Licht, Schall, Berührung, Temperatur, Schwerkraft, Erdmagnetismus und Chemikalien.

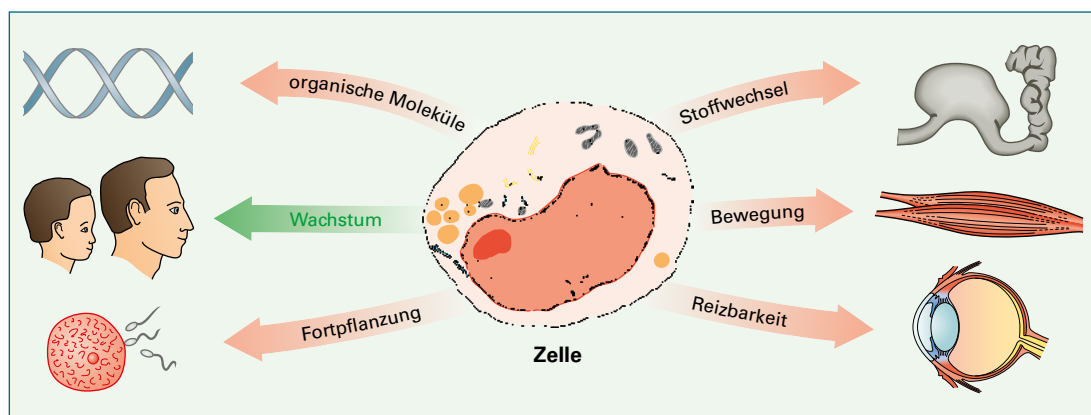


Bild 1: Kennzeichen des Lebens

1.2 Elemente des Lebens

Am Aufbau der Lebewesen sind zwischen 25 und 36 verschiedene chemische Elemente beteiligt (**Tabelle 2**). Sechs von ihnen bezeichnet man als Elemente des Lebens, weil sie zum Aufbau der wichtigsten organischen Stoffe der Zellen benötigt werden. Diese sechs haben einen Massenanteil von zusammen ungefähr 97 % und sind die **Hauptelemente**:

- **Kohlenstoff C, Sauerstoff O, Wasserstoff H, Stickstoff N, Phosphor P und Schwefel S.**

Die genannten sechs Nichtmetalle werden vor allem benötigt für den Aufbau der:

- **Proteine** (Eiweißstoffe),
- **Nukleinsäuren** (Kernsäuren),
- **Kohlenhydrate** und
- **Lipide** (Fette).

Diese organischen Stoffgruppen werden wegen ihrer ausschließlichen Bedeutung für das Leben als **Biomoleküle** bzw. Biostoffe bezeichnet. Als Bau- und Inhaltsstoffe der Zellen machen sie nach dem Löse- und Transportmittel Wasser den größten Massenanteil an den Zellinhaltsstoffen aus (**Tabelle 1**).

Alle anderen Moleküle in den Zellen sind zwar für die Funktion der Zellen ebenfalls unverzichtbar, da sie aber nur einen Bruchteil der Gesamtmasse einer Zelle darstellen, werden sie als **Spurenelemente** (Mineralstoffe im mg-Bereich) bezeichnet.

Zum Aufbau aller Biomoleküle in einer Zelle werden die erwähnten sechs Hauptelemente sowie bis zu 30 weitere Spurenelemente benötigt, z. B. **K, Ca, Na, Mg, Fe, Co, Zn, F, I, B** und **Si** (**Tabelle 2**).

Tabelle 1: Stoffliche Zusammensetzung einer Bakterienzelle

Stoff	Massenanteil in % der Zellmasse
Wasser	80
Proteine	10
Nukleinsäuren	3
Kohlenhydrate	2
Lipide	2
Rest	3

Tabelle 2: Lebensnotwendige Elemente und einige ihrer Funktionen (Auswahl)

Element	Wichtige Funktionen		
Hauptelemente Kohlenstoff (C) Sauerstoff (O) Wasserstoff (H) Stickstoff (N) Phosphor (P) Schwefel (S)	} Allgemein benötigt zum Aufbau der Biomoleküle (Proteine, Nucleinsäuren, Kohlenhydrate, Lipide)		
Spurenelemente (Massenanteil unter 1 %) Natrium (Na) Magnesium (Mg) Kalium (K) Calcium (Ca) Chlor (Cl)		} Wichtige Ionen für die Erregungsleitung in Nerven und Muskeln und für die Regulierung der Biomembranaktivität (Seite 20)	
Bor (B)			Am Enzyrnaufbau beteiligt
Fluor (F)			Am Enzyrnaufbau beteiligt
Jod (I)			Bestandteil des Schilddrüsenhormons
Eisen (Fe)			Bestandteil des roten Blutfarbstoffs (Hämoglobin)
Cobalt (Co)	Bestandteil von Vitamin B ₁₂		
Kupfer (Cu)	Am Enzyrnaufbau beteiligt		
Zink (Zn)	Am Enzyrnaufbau beteiligt		

Kennzeichen des Lebens sind: Aufbau aus organischen Stoffen, Organisation in Zellen, Stoff- und Energiewechsel, Wachstum, selbstständige Fortpflanzung, selbstständige Bewegung und Reizbarkeitserscheinungen.

1.2.1 Proteine (Eiweißstoffe)

► **Bedeutung der Proteine.** Proteine haben den größten Anteil an der Trockenmasse jeder Zelle. Sie sind die vielseitigsten Biomoleküle und daher Grundstoffe des Lebens. Schon Bakterien besitzen mehrere tausend verschiedene Proteinmoleküle, die unterschiedliche, lebensnotwendige Aufgaben innerhalb der Zelle wahrnehmen. Den menschlichen Körper bauen wahrscheinlich bis zu 500000 verschiedene Proteine auf (**Tabelle 1**).

Proteine bestimmen als Bau- und Betriebsstoffe den Stoffwechsel, den Aufbau und die Funktion von Zellen und Organismen, beispielsweise als

- **Enzyme:** Sie ermöglichen als Reaktionsbeschleuniger (Biokatalysatoren) überhaupt erst chemische Reaktionen in Zellen in der erforderlichen Zeit. Tausende verschiedene Enzyme sind bekannt (Seite 12).
- **Signalproteine** wie z. B. Hormone: Sie überbringen Informationen im Organismus und spielen eine wichtige Rolle bei der Regelung vieler Körperfunktionen.
- **Membranproteine:** Sie regeln den Stoffaustausch und beispielsweise als sogenannte Rezeptoren die Weitergabe von Signalen in das Zellinnere.
- **Faserartige Proteine:** Sie sind als Struktur- und Gerüstsubstanzen besonders widerstandsfähig und bilden die Grundstrukturen von Muskel- und Bindegewebe, Haut, Haaren, Nägeln, Federn, Knorpel, Sehnen oder auch Seide.
- **Motorproteine:** Sie ermöglichen Bewegungen, indem sich die Proteinfasern verkürzen (kontrahieren). Sie sind für Bewegungen der Zelle verantwortlich und sind die wesentlichen Bestandteile der Muskelzellen.
- **Transportproteine:** Sie übernehmen verschiedene Transportaufgaben (z. B. der rote Blutfarbstoff den Transport von Sauerstoff).
- **Speicherproteine:** Sie bilden einen Proteinvorrat (z. B. in vielen pflanzlichen Knollen, Körnern, Samen, Milch oder im Hühnerei).
- **Schutzproteine** (z. B. Antikörper im Blut von Wirbeltieren und Mensch (**Seite 280**)): Sie erkennen fremde Proteine (z. B. Bakterien, Viren, gespendete Organe) und veranlassen deren Vernichtung.

Die überragende Bedeutung der Proteine lässt sich auch daran erkennen, dass die Erbsubstanz mit der DNA in Form von **Genen** alle Informationen gespeichert hat, die etwas mit dem Aufbau und der Funktion der Proteine zu tun haben (Seite 42). Alle anderen Stoffe und Reaktionen in den Zellen sind den Proteinen nachgeordnet und von ihnen abhängig.

Tabelle 1: Beispiele für Funktion und Vorkommen von Proteinen

Protein	Funktion	Vorkommen
Protease	Verdauungsenzym für Proteine	Magen von Säugetieren und Menschen
Amylase	Verdauungsenzym für Stärke	Darm von Säugetieren und Menschen
Insulin	Hormon für Blutzuckerregulation	Blut von Säugetieren und Menschen
Somatropin	Wachstumshormon	Blut von Säugetieren und Menschen
Kollagen	Strukturprotein	Haut, Bindegewebe
Keratin	Strukturprotein	Haare, Nägel
Hämoglobin	Transportprotein für Sauerstoff	Blut von Säugetieren und Menschen
Immunglobulin	Antikörper	Blut von Säugetieren und Menschen
Albumin	Speicherprotein	Hühnereiweiß
Casein	Speicherprotein	Milcheiweiß (Käsestoff)
Interferon	Abwehr gegen Viren	Immunsystem von Wirbeltieren und Menschen
Endorphine	Schmerzstilller	Gehirn von Säugetieren und Menschen
Fibrinogen	Gerinnungsstoff	Blut von Wirbeltieren und Menschen
Aktin, Myosin	Motorproteine	Muskelfasern von Tieren und Menschen
Botulinus-Toxin	Bakteriengiftstoff	Lebensmittelverderbende Bakterien

► **Vielfalt der Proteine.** Die verschiedenen Proteine unterscheiden sich voneinander

- durch die Anzahl und die Reihenfolge der Aminosäuren im Proteinmolekül (**Aminosäuresequenz**) und
- durch die **räumliche Struktur**, die sich aus der Anzahl der Aminosäuren und der Aminosäuresequenz ergibt und die verantwortlich für die einzigartige **Funktion** des jeweiligen Proteins ist.

Proteinstrukturen (Bild 1). Die den Proteinen zugrunde liegende Aminosäurekette wird als **Primärstruktur** bezeichnet. Jede Kette nimmt eine chemisch stabile **Sekundärstruktur** an, beispielsweise in Form einer Schraube (α -Helix) oder als β -Faltblatt.

Durch inner- und zwischenmolekulare Bindungen, z. B. durch Ionen-Bindungen, Wasserstoffbrücken, Schwefelbrücken und van-der-Waals-Kräfte, entsteht darüber hinaus eine definierte Raumstruktur, die sogenannte **Tertiärstruktur**. Bevorzugt sind kugelige (**globuläre**) Strukturen, z. B. bei vielen Enzymen, oder faserförmige (**fibrilläre**), z. B. bei den Faserproteinen. Eine bestimmte Aminosäuresequenz führt also immer zu der gleichen Raumstruktur und damit zur gleichen Funktion. Von mehr als 50000 Proteinen, deren Proteinstrukturen man mittlerweile bestimmt hat, kennt man auch die Proteinfunktion.

Bestehen Proteine aus mehreren Untereinheiten, so bezeichnet man dies als **Quartärstruktur**. Die Antikörper und der rote Blutfarbstoff Hämoglobin sind dafür Beispiele. Proteinmoleküle können **Nichtproteinanteile** enthalten. So ist z. B. am Aufbau des Hämoglobins Eisen beteiligt.

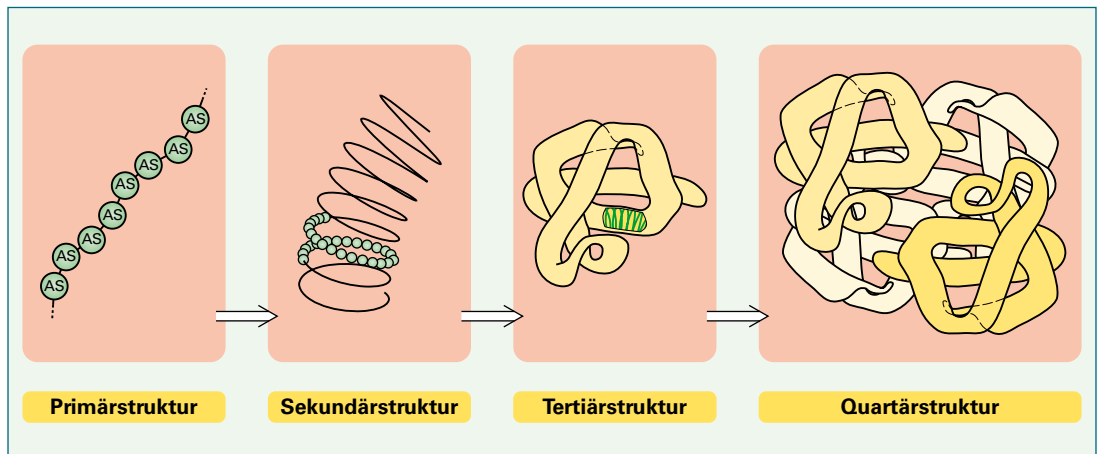


Bild 1: Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur von Proteinen

Zerstörung von Proteinen. Zu starkes Erhitzen zerstört die Raumstruktur der Proteine und macht sie funktionsunfähig (**Denaturierung**). So reichen im Allgemeinen Temperaturen zwischen 40 und 50 °C aus, um beispielsweise Enzyme funktionsunfähig zu machen, wodurch dann Zellen absterben. Technisch interessant sind einige temperaturstabile Mikroorganismenenzyme. Sie können noch bei Temperaturen von über 70 °C in technischen Prozessen und in Waschmitteln eingesetzt werden.

Proteinviefalt. Die Aminosäuresequenz und die räumliche Struktur sind für die Funktion von Proteinen verantwortlich, wobei große Proteinmoleküle aus bis zu mehreren Tausend Aminosäuren bestehen können. Da 20 verschiedene Aminosäuren in einem Proteinmolekül kombiniert werden können, übersteigt die Zahl der möglichen Kombinationen und damit die Zahl unterschiedlicher Proteine jedes Vorstellungsvermögen. Enthielten beispielsweise alle Proteine genau 100 Aminosäuren, ergeben sich theoretisch $20^{100} \approx 10^{130}$ Möglichkeiten der Anordnung dieser Aminosäuren. Die Menge der Atome im gesamten Weltall ist wahrscheinlich nicht so groß wie diese Zahl.

Proteinbiosynthese. Der Zusammenbau der Aminosäuren zu den Proteinen erfolgt in jeder einzelnen Zelle und steht dort unter der Kontrolle der **Gene**, den funktionellen Bestandteilen der Erbsubstanz mit der **DNA** (Seite 42). Die Gesamtheit der Proteine in einer Zelle wird als **Proteom** bezeichnet.

Die Vielfalt der Lebensformen beruht auf den ungeheuer vielen Variationsmöglichkeiten hinsichtlich Struktur und Funktion der Proteine.

1.2.2 Enzyme (katalytische Proteine)

Enzyme haben als katalytische Proteine unter den Proteinen der Zelle eine besondere Stellung, weil sie als Reaktionsbeschleuniger bzw. Biokatalysatoren überhaupt erst den Zellstoffwechsel ermöglichen. Ohne Enzyme würden die Reaktionen in den Zellen bei den gegebenen niedrigen Temperaturen und Drücken viel zu langsam oder überhaupt nicht ablaufen (**Tabelle 1, nachfolgende Seite**).

Die meisten der mehr als 10000 bekannten Enzyme befinden sich in den Zellen und katalysieren den Zellstoffwechsel als **intrazelluläre Enzyme**. Einige Enzyme werden von den Zellen als **extrazelluläre Enzyme** ausgeschieden und wirken außerhalb, so beispielsweise die Verdauungsenzyme.

► **Reaktionsspezifität und Substratspezifität.** Enzyme sind Spezialisten (**Bild 1**). Jedes Enzym katalysiert nur seinen speziellen Reaktionstyp (z. B. **Abbau**, **Umbau** oder **Aufbau** von Stoffen) und setzt dabei auch nur sein spezielles Substrat um. Ein Substrat ist der von einem Enzym umgesetzte Stoff. Die zeitliche Analyse der Vorgänge wird als **Enzymkinetik** bezeichnet (**Seite 274**).

Substrat	Enzym	Produkt	Reaktionstyp
H ₂ O ₂ (Wasserstoffperoxid)	Katalase	Wasser + Sauerstoff	Stoffabbau
Saccharose (Rübenzucker)	Saccharase	Glukose + Fruktose (Traubenzucker + Fruchtzucker)	Stoffabbau
Glukose	Glukose-Isomerase	Fruktose	Stoffumbau
Aminosäure + Aminosäure	Peptid-Synthetase	Dipeptid	Stoffaufbau

Bild 1: Beispiele für die Reaktions- und Substratspezifität von Enzymen

Die Voraussetzung für die Substratspezifität ist das **Schlüssel-Schloss-Prinzip**, d. h., Substrat und Enzym müssen wie ein Schlüssel zum Schloss passen. Nur so kann der zur Katalyse vorübergehend benötigte **Enzym-Substrat-Komplex** gebildet werden (**Bild 2** und Seite 274).

Als Proteine können Enzyme vielfältige Raumstrukturen ausbilden und sind damit im Verlauf der Evolution durch Mutationen der Erbsubstanz DNA an jedes zu bearbeitende Substrat angepasst worden. Das **aktive Zentrum** eines Enzyms ist diejenige Region im Proteinmolekül, deren Aminosäuresequenz für die katalytische Wirksamkeit des Enzyms verantwortlich ist (Bild 2).

Wie technische Katalysatoren liegen auch die Enzyme nach der Reaktion wieder in der ursprünglichen Form vor. Vor allem extrazelluläre Enzyme können häufig ohne Wirkungsverlust aus Zellen isoliert und als wiederverwendbare (immobilisierte) Biokatalysatoren in der Medizin, Chemie und Biotechnik technisch genutzt werden (Seite 170).

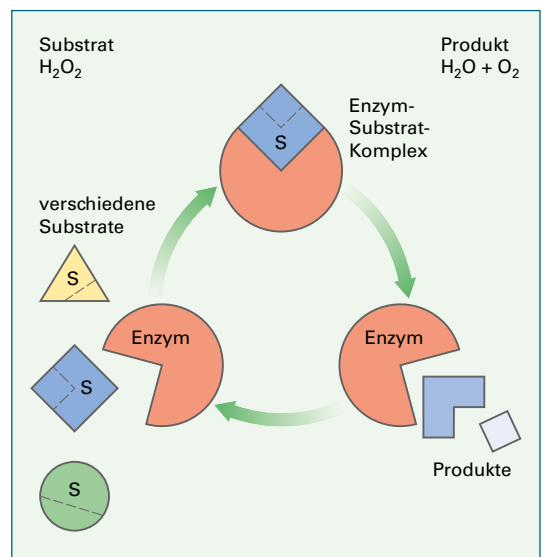


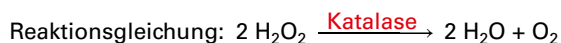
Bild 2: Schlüssel-Schloss-Prinzip bei der Bildung des Enzym-Substrat-Komplexes (Schema)

► **Namensgebung.** Sie ist international geregelt. Danach geben Enzymbezeichnungen das umgesetzte Substrat und den Reaktionstyp (kann fehlen) an und enden mit „ase“. Beispiel: **Glukose-Isomerase**. Manche Enzymbezeichnungen kennzeichnen lediglich Enzymgruppen. So werden beispielsweise alle proteinabbauenden Enzyme als **Proteasen** bezeichnet, alle stärkeabbauenden als **Amylasen** und die fettabbauenden als **Lipasen** (**Seite 273**). Einige Enzyme tragen noch alte Namen, so beispielsweise die Verdauungsenzyme **Pepsin**, **Trypsin**, **Lab** und **Ptyalin**.

Tabelle 1: Beispiele bekannter Enzyme und ihre Funktionen

Enzymname	Vorkommen	Funktion
Pepsin (Protease)	Säugermagen	Abbau von Proteinen zu Aminosäuren
Subtilisin (Protease)	Bakterien	Abbau von Proteinen zu Aminosäuren
Ptyalin (Amylase)	Speichel	Abbau von Stärke zu Glukose
Glukose-Isomerase	Bakterien	Umbau von Glukose zu Fruktose
Laktase	Bakterien, Säuger	Abbau von Milchzucker zu Glukose und Galaktose
Penicillinacylase	Bakterien	Abbau von Penicillin zu 6-Aminopenicillansäure
DNA-Polymerase	alle Zellen	Aufbau von Nukleinsäuren
Nitrat-Reduktase	Bakterien	Umbau von Nitrat zu Nitrit
EcoRI	Bakterien	Spezifisches Schneiden eines DNA-Doppelstranges
Ligase	Bakterien	Unspezifisches Verknüpfen eines DNA-Doppelstranges

► **Enzymfunktion.** Stellvertretend für die übrigen Stoffwechselreaktionen soll die Wirkungsweise der Enzyme am Beispiel der Zersetzung von Wasserstoffperoxid H_2O_2 in Wasser und Sauerstoff verdeutlicht werden. Wasserstoffperoxid ist ein Zellgift, das bei vielen Stoffwechselreaktionen entsteht. Alle Zellen enthalten deshalb das Wasserstoffperoxid zersetzende Enzym **Katalase**.



► **Aktivierungsenergie.** Damit eine Reaktion in Gang kommt, muss zunächst Aktivierungsenergie aufgebracht werden (**Bild 1**).

In der Chemie geschieht das häufig durch Hitze, beispielsweise durch Erhitzen im Reagenzglas mit der Brennerflamme. In den Zellen erniedrigen Enzyme als Biokatalysatoren die Aktivierungsenergie soweit, dass die Reaktion ohne Wärmezufuhr abläuft.

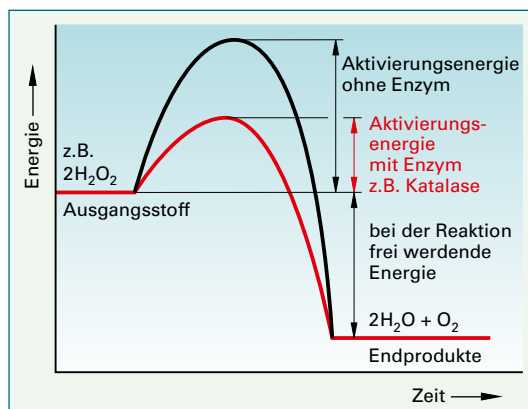
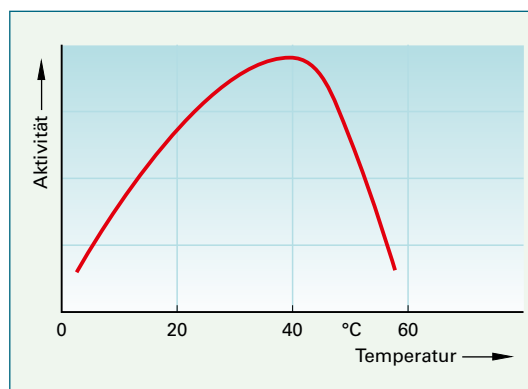
Die im Beispiel der Enzymfunktion genannte Katalase verkürzt beispielsweise die Zerfallszeit vergleichsweise wie von drei Jahren auf eine Sekunde. Sie ist damit ein außerordentlich aktives Enzym, obwohl sie nur in geringsten Mengen zur vollen Wirkung benötigt wird (**Seite 274**).

► **Enzymaktivität.** Sie ist von **Temperatur** und **pH-Wert** abhängig. Mit zunehmender Temperatur steigt die Geschwindigkeit der enzymatischen Umsetzung (Aktivität) bis zum Temperaturoptimum. Danach fällt sie wegen der Zerstörung (Denaturierung) des Enzyms schnell ab (**Bild 2**).

Eine ähnliche Kurvenform erhält man bei der Auftragung der Enzymaktivität in Abhängigkeit vom pH-Wert.

► **Enzymhemmung.** Durch Hemmstoffe (Inhibitoren) können Enzyme bis zum vollständigen Wirkungsverlust blockiert werden.

Inhibitoren sind beispielsweise Schwermetallionen (Hg^{2+} , Pb^{2+} , Ag^+) und bestimmte Nervengifte.

**Bild 1: Reaktionsverlauf beim Abbau eines Stoffes ohne und mit Enzym****Bild 2: Temperaturabhängigkeit der Enzymaktivität**

Enzyme sind Biokatalysatoren, ohne die geordnete Stoffwechselreaktionen nicht möglich sind.

1.2.3 Nukleinsäure DNA

DNS (Desoxyribonukleinsäure), international **DNA** (A = Acid statt S = Säure). Sie ist der entscheidende Bestandteil der Erbsubstanz in den Zellen aller Lebewesen. In Bakterien liegt die DNA frei in der Zelle. In den Zellen der Pflanzen, Tiere und Menschen befindet sie sich geschützt in einem Zellkern, wo sie in unterschiedlich große Molekülabschnitte unterteilt ist, die dann als **Chromosomen** bezeichnet werden (Seite 27).

► Bedeutung der DNA:

- Die DNA ist der **Informationsspeicher für die Zusammensetzung aller Proteine aus den Aminosäuren**. Damit sind alle Angaben zum Aufbau und zur Funktion eines Lebewesens als sogenannte **Erbinformation** in der DNA gespeichert.
- Die DNA gibt diese Information bei den Zellteilungen immer wieder unverändert weiter, da sie beliebig oft Kopien von sich selbst machen kann (Verdopplung der DNA).

► **Aufbau der DNA.** Sie ist eine lange Kette (Polymer) aus aneinandergereihten **Nukleotiden**, von denen es **vier verschiedene Typen** gibt (**Bild 1**).

Nukleotid. Jedes besteht als Monomer seinerseits aus drei Molekülen: dem C₅-Zucker **Desoxyribose**, einer **Phosphorsäure** bzw. einem Phosphatrest und einer stickstoffhaltigen Ringverbindung, die sich wie eine **Base** verhält. Diese drei Moleküle sind so verknüpft, dass am Kohlenstoff C₁ der Desoxyribose die organische Base hängt und der Kohlenstoff C₅ mit dem Phosphatrest verestert ist.

Die vier Nukleotidtypen unterscheiden sich durch ihre jeweiligen Basen: **Adenin**, **Guanin**, **Thymin** oder **Cytosin**, während die Zucker- und Phosphorsäuremoleküle immer gleich sind. Die üblichen Abkürzungen für die Nukleotide sind demgemäß A, G, T und C, die außerdem in der Regel als Symbole dargestellt werden (**Bild 2**).

In einem DNA-Molekül mit seinen beim Menschen vielen Millionen Nukleotiden ist jedes Nukleotid über seinen Phosphatrest am C₅-Kohlenstoff (5'-Position) mit der Desoxyribose des nächsten Nukleotids am C₃-Kohlenstoff (3'-Position) verbunden. Dadurch hat jedes DNA-Molekül ein 5'-Ende und ein 3'-Ende. Bei der Synthese (Polymerisierung) eines DNA-Moleküls können neue Nukleotide durch das Enzym **DNA-Polymerase** immer nur an das 3'-Ende angeknüpft werden.

Verschlüsselt mit dem **genetischen Code**, beinhaltet die Reihenfolge der Nukleotide die Information über die Reihenfolge der Aminosäuren in den Proteinen als sogenannte **Gene** (Seite 42).

► **DNA-Doppelstrang.** Aus Stabilitätsgründen besteht die DNA aus zwei DNA-Molekülen, die einen gegenläufigen Doppelstrang bilden und als Doppelschraube angeordnet sind, was als **Doppelhelix** bezeichnet wird (**Bild 2, nachfolgende Seite**). In der Doppelhelix liegen sich die Basen gegenüber und sind durch Wasserstoffbrücken lose miteinander verbunden. Wegen unterschiedlicher Molekülstrukturen können sich dabei nur bestimmte Basen gegen-

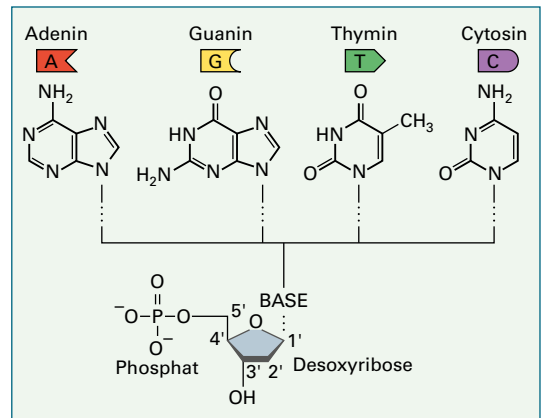


Bild 1: Nukleotide der DNA

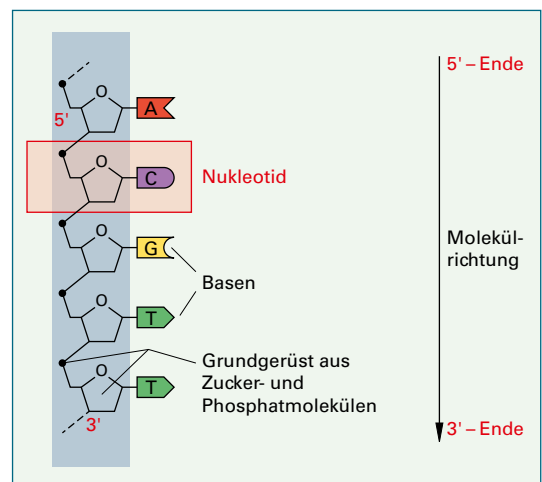


Bild 2: DNA-Molekülausschnitt

einander verbunden. Wegen unterschiedlicher Molekülstrukturen können sich dabei nur bestimmte Basen gegen-

überliegen (**Bild 1**). Zusammenpassende (**komplementäre Basen**) sind:

- **Adenin** und **Thymin**. Zwischen diesem Basenpaar bilden sich zwei Wasserstoffbrücken aus, sowie
- **Guanin** und **Cytosin**. Zwischen diesem Basenpaar bilden sich drei Wasserstoffbrücken aus.

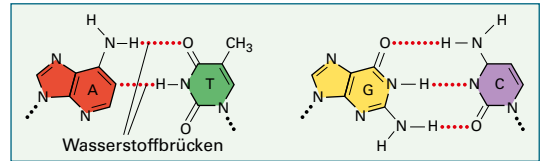


Bild 1: Komplementäre AT- und GC-Basenpaare

Wegen der komplementären Basenpaare ist die Doppelhelix insgesamt komplementär. Hat ein DNA-Molekülabschnitt beispielsweise die Nukleotidreihenfolge TCGCAATA, so besitzt der komplementäre DNA-Molekülabschnitt die Nukleotidreihenfolge AGCGTTAT (**Bild 2**). Im Übrigen bezeichnet man die Reihenfolge der Basen entlang eines DNA-Stranges als **Basensequenz**.

► **Verdopplung der DNA**. Zur Erhaltung der Erbinformation über alle Generationen hinweg muss die DNA bei allen Zellteilungen unverändert und vollständig von Zelle zu Zelle weitergegeben werden (Seite 31). Deshalb wird die gesamte DNA vor jeder Zellteilung kopiert und damit identisch verdoppelt (**Replikation der DNA**).

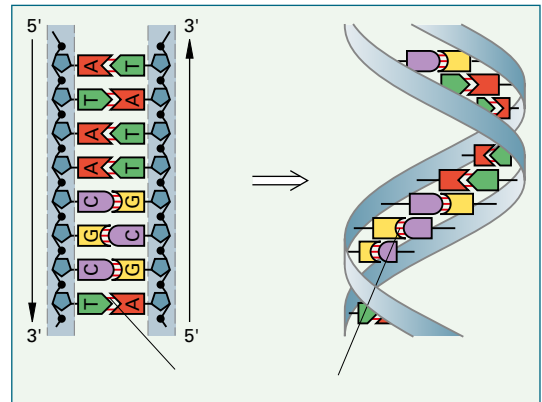


Bild 2: DNA-Doppelstrangausschnitt und Doppelhelix (Symboldarstellung)

Mithilfe spezieller Enzyme wird zunächst der DNA-Doppelstrang entwunden und geöffnet. Dann lagern sich an die freiliegenden DNA-Stränge, ebenfalls enzymatisch katalysiert, die passenden komplementären Nukleotide an (**Bild 3**). Nach der Beendigung der Verdopplung sind zwei DNA-Doppelstränge mit identischer Nukleotidreihenfolge entstanden, die damit auch die gleiche Information über die Proteine der Zelle gespeichert haben. Bei der Zellteilung wird dann je ein DNA-Doppelstrang an die Tochterzellen weitergegeben.

Gezielte menschliche Eingriffe in die DNA sind vielfach durchgeführte Praxis. Die dazu erforderlichen Arbeitsmethoden bezeichnet man als **Gentechnik** (Abschnitt III Biotechnik 2.2 und Abschnitt V Vertiefung Biotechnik 2.1).

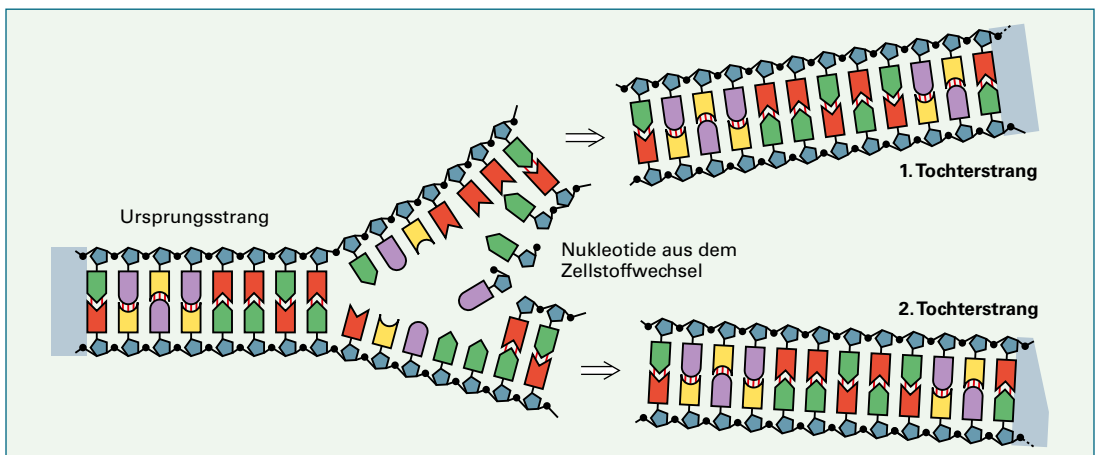


Bild 3: Identische Verdopplung der DNA (vereinfachte Darstellung)

In der DNA befindet sich verschlüsselt die Information zur Synthese aller Proteine der Zelle.

1.2.4 Nukleinsäure RNA

RNS (Ribonukleinsäure), international **RNA**. Sie kommt ebenfalls in allen Zellen vor. Ihre Nukleotide unterscheiden sich von denen der DNA durch den geringfügig anderen Zucker **Ribose** (statt Desoxyribose) und die Base **Uracil** (U), die das Thymin der DNA funktionell gleichwertig ersetzt. Außerdem ist die RNA in der Regel einsträngig.

Die RNA kommt in unterschiedlichen Typen vor, von denen drei bei allen Organismen eine zentrale Rolle bei der Proteinbiosynthese spielen: **rRNA**-Moleküle sind am Bau der Ribosomen beteiligt (Seite 26), **tRNA**-Moleküle transportieren Aminosäuren und **mRNA**-Moleküle kopieren die DNA (Seite 42).

Bei den höheren Lebewesen (**Eukaryoten**, Seite 19) übernehmen RNA-Moleküle zudem wichtige Funktionen bei der Regulation von Genen. Der sogenannte RNA-Interferenz-Mechanismus nutzt kurze, etwa 20 Nukleotide umfassende doppelsträngige RNA-Moleküle (**siRNA**, mikro-RNA), um mRNA-Moleküle noch vor deren Übersetzung in ein Protein abzubauen. Die Zelle hat damit einen Regulationsmechanismus zur Verfügung, der im Rahmen der Proteinbiosynthese auch nach der Umschrift der DNA in die mRNA, die sogenannte Transkription, greift (Seite 42).

In der „neuen“ Gentechnik (Seite 290) sorgen sogenannte **guide-RNA**-Moleküle in Kombination mit einer Nuklease (CRISPR/Cas-System) für hochspezifische Schnitte in genomischer DNA.

1.2.5 Kohlenhydrate

Kohlenhydrate (Saccharide oder vereinfacht Zucker) sind die verbreitetsten Biomoleküle. Mehr als 200 Milliarden Tonnen Kohlenhydrate werden jährlich von den Pflanzen durch den Vorgang der **Fotosynthese** aus dem Kohlenstoffdioxid der Luft und Wasser unter Verwendung der Energie des Sonnenlichts aufgebaut (Seite 38).

Kohlenhydrate sind für die meisten Bakterien und alle Pflanzen, Tiere und Menschen die wichtigsten **Energieförderer** für den Stoffwechsel und machen daher einen Großteil der Nahrung aus.

Für eine ausgewogene Ernährung sollten 50 bis 55 % der gesamten Energiezufuhr aus Kohlenhydraten bestehen und in einer Menge von etwa 5 bis 6 g pro kg Körpergewicht zugeführt werden.

Energiefördernde Kohlenhydrate sind vor allem in stärkehaltigen Getreideprodukten und Kartoffeln sowie Obst und Milch zu finden (**Bild 1**).

Außerdem dienen Kohlenhydrate, vor allem in Form von Stärke und Glykogen, vielen Lebewesen als **Energiespeicher** und **Reservestoffe**. Pflanzen synthetisieren Zellulose als **Gerüststoff** für ihre Zellwände (Seite 38).

In den Zellen der höheren Lebewesen haben Kohlenhydrate neben der Energiegewinnung vor allem wichtige Aufgaben im Zusammenhang mit der **Informationsverarbeitung**. So können beispielsweise Kohlenhydrate, die in Form kürzerer Zuckerketten mit den Molekülen der äußeren Biomembran verknüpft sind und nach außen ragen, als sogenannte **Rezeptoren** Informationen von außen empfangen und in das Zellinnere weiterleiten (Seite 20).

Eine weitere wichtige Funktion der Kohlenhydrate ist die Glykosylierung (Verzuckerung) vieler Proteine zu **Glykoproteinen**. Die verzweigten Zuckerketten aus meist nicht mehr als 15 Einfachzuckern können die Stabilität solcher Proteine erhöhen und sie vor der Zerstörung durch proteinabbauende Enzyme (Proteasen) schützen. Darüber hinaus beeinflussen sie bestimmte Funktionen der Proteine. Glykosyliert sind die meisten Biomembranproteine, Antikörper, viele Protein hormone, Blutgruppenbestandteile und viele Enzyme.

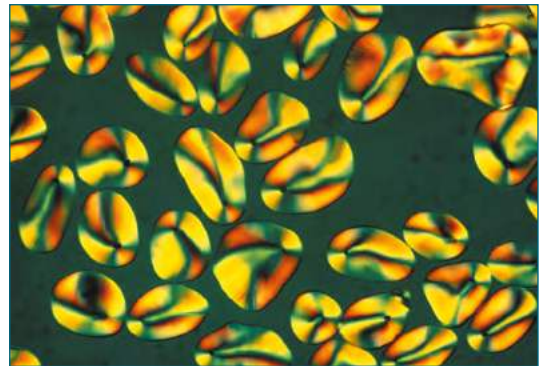


Bild 1: Stärkekekörner (aufgenommen im polarisierten Licht)

Kohlenhydrate werden unterteilt in Monosaccharide (Einfachzucker), Disaccharide (Doppelzucker) und Polysaccharide (Vielfachzucker).

► Monosaccharide

Glukose ($C_6H_{12}O_6$, Traubenzucker, Dextrose, Stärkezucker) ist der wichtigste Einfachzucker (**Bild 1**). Er entsteht unmittelbar bei der Fotosynthese in den Pflanzen und wird als unmittelbar verwertbarer **Energielieferant** für den Stoffwechsel der Zellen fast aller Lebewesen wieder verbraucht (Seite 40).

Menschliches Blut enthält im Schnitt 1 g/L Glukose (**Blutzucker**). Die Glukose stammt aus der Nahrung und wird aus dem Blut an die Zellen zur Energiegewinnung abgegeben. Dieser Vorgang steht unter der Kontrolle des Hormons **Insulin** (Seite 226). Eine Störung dieser Kontrolle führt zur mangelhaften Verwertung der Glukose und damit zur Zuckerkrankheit, dem **Diabetes**.

Fruktose ($C_6H_{12}O_6$, Fruchtzucker) kommt in Früchten vor und schmeckt doppelt so süß wie Glukose (Bild 1 und **Tabelle 1**). Daher lohnt sich die industriell in großem Maßstab durchgeführte Umwandlung von Glukose in Fruktosesirup (Seite 202).

Desoxyribose und **Ribose** sind die Zuckerbestandteile der Nukleotide der DNA und RNA (Seite 14).

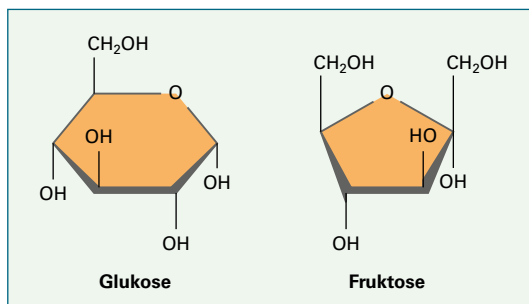


Bild 1: Strukturformeln von Glukose und Fruktose

► Disaccharide

Saccharose (Rohr- bzw. Rübenzucker) besteht aus je einem Molekül Glukose und Fruktose. Als gewöhnlicher Haushaltszucker wird sie zu Nahrungs-, Genuss- und Konservierungszwecken verwendet. In Europa wird Saccharose aus Zuckerrübenschnitzeln gewonnen, sonst aus Zuckerrohr. Weltweit werden jährlich über 100 Millionen Tonnen Saccharose produziert, davon 30 % in Europa.

Maltose (Malzzucker) besteht aus zwei Glukosemolekülen und entsteht vor allem in keimendem Getreide aus Stärke (z. B. Gerstenmalz). Bierhefen benötigen beispielsweise Maltose als Ausgangszucker für die **Ethanolproduktion** bei der alkoholischen Gärung (Seite 213).

Laktose (Milchzucker) ist aus Glukose und Galaktose aufgebaut. Milch enthält ca. 50 g/L Laktose und stellt damit eine wichtige Grundlage der Säuglingsernährung dar.

Alte Menschen und über 90% der Erwachsenen außerhalb Europas und Nordamerikas vertragen allerdings keinen Milchzucker in größeren Mengen (Laktoseintoleranz) und reagieren auf übermäßigen Genuss von bestimmten Milchprodukten mit heftigen Durchfällen.

► Polysaccharide

Polysaccharide enthalten als verzweigte oder unverzweigte Biopolymere bis Tausende Monosaccharide pro Molekül (**Bild 2**).

Die wichtigen Polysaccharide **Stärke**, **Glykogen** und **Zellulose** sind ausschließlich aus Glukosemolekülen aufgebaut. Sie sind wasserunlöslich und schmecken nicht süß.

Tabelle 1: Süßkraft verschiedener Kohlenhydrate	
Kohlenhydrat	relative Süßkraft in %
Saccharose	100
Glukose	70
Fruktose	150
Laktose	20

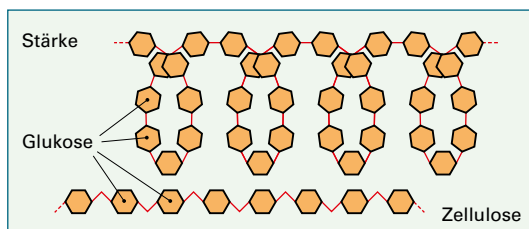


Bild 2: Molekülausschnitte von Stärke und Zellulose (Schema)

Stärke (Amylum) kommt in Form von bis zu 100 µm großen Stärkekörnern vor allem in Samen, Knollen und Zwiebeln vor, z. B. in Mais, Weizen und Kartoffeln (Bild 1, Seite 16). Da Stärke jederzeit in Glukose umgewandelt werden kann, ist sie ein Reservestoff (Glukosespeicher) für Pflanzen und für viele Lebewesen eine wichtige Ernährungsgrundlage. Die Stärkemoleküle werden von den Lebewesen durch verschiedene stärke-spaltende Enzyme (Amylasen) bis zur Maltose und Glukose abgebaut und verwertet.

Stärke ist als nachwachsender Rohstoff eine wichtige Grundchemikalie der Zukunft und darüber hinaus eine bedeutende Basis für Biokunststoffe (Seite 208).

Glykogen ist das Reservepolysaccharid in tierischen Zellen (tierische Stärke). Die Leber kann bis 10 % Glykogen als Glukosespeicher enthalten. Glykogen enthält mehr Glukosemoleküle und ist stärker verzweigt als pflanzliche Stärke.

Zellulose (Zellstoff) ist die faserige Stützsubstanz in Pflanzenzellwänden und das mengenmäßig bedeutendste Biomolekül. In der Chemie wird Zellulose zur Produktion von Zellulose-Chemiefasern, Folien, Filmen, Lacken und Biokunststoffen verwendet. Zellulosepulver ist auch die Grundlage für Puder, Salben und Filtermittel. Das wichtigste Zelluloseprodukt ist **Papier**.

Zellulosemoleküle werden aus bis zu 12000 Glukosemolekülen aufgebaut, die zu einer geraden und unverzweigten Kette angeordnet sind (Bild 2, vorhergehende Seite). Wegen der besonderen Verknüpfung der Glukosemoleküle untereinander (jedes zweite Glukosemolekül ist um 180° gedreht), ist Zellulose schwer abbaubar, sodass sie von den meisten Tieren und vom Menschen nicht als Nahrung genutzt werden kann. Allerdings gibt es eine Reihe von Mikroorganismen, die Enzyme zur Zelluloseverwertung besitzen und sie bis zur Glukose abbauen können. Die Glukosegewinnung aus Holz mithilfe solcher Enzyme wird intensiv erforscht (Seite 215).

Kohlenhydrate sind als Mono- und Disaccharide vor allem Energiequellen, als Polysaccharide Reservestoffe und Gerüststoffe.

1.2.6 Lipide (Fette)

Lipide umfassen eine Gruppe verschiedenartiger Biomoleküle mit unterschiedlichen Funktionen. Lipide sind Ester aus verschiedenen **Fettsäuren** (z. B. Palmitinsäure, Stearinsäure, Ölsäure) und dem dreiwertigen Alkohol **Glyzerin** (Bild 1).

Lipide sind schlecht wasserlöslich, lösen sich aber gut in organischen Lösemitteln wie z. B. Ether, Trichlormethan (Chloroform), Benzin und Benzol. Durch ihren Aufbau aus hydrophilen (wasserliebenden) und hydrophoben (wasserabweisenden) Anteilen bilden Lipide in wässrigen Lösungen leicht Membranstrukturen (Doppellamellen) aus.

► **Bedeutung der Lipide.** Eine wichtige Aufgabe ist die Bildung der Grundstruktur der **Biomembranen**, durch die eine Zelle nach außen abgegrenzt und innen in verschiedene Räume unterteilt wird (Seite 20).

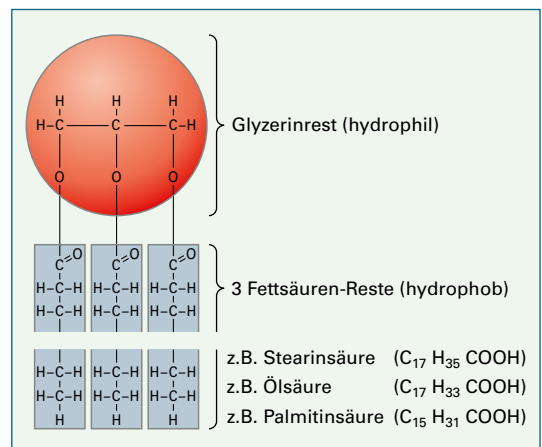


Bild 1: Neutralfett (Schema)

Als Energiequelle und Energiespeicher erfüllen vor allem die mit der Nahrung aufgenommenen Lipide eine wichtige Rolle (Seite 40). Außerdem schützen die Lipide im Unterhautfettgewebe viele Lebewesen vor Wärmeverlusten. Auch **Cholesterin**, einige **Geschlechtshormone** (z. B. Östrogen, Testosteron) und einige **Vitamine** (z. B. A und D) sind Lipide.

2 Zusammenhang zwischen Bau und Funktion von Zellen

Zellen sind die kleinsten Einheiten des Lebens und nur mit einem Mikroskop zu sehen (Seite 286). Sie erfüllen alle Bedingungen des Lebens, wie Stoffwechsel, Wachstum, Fortpflanzung, Reizbarkeit und selbstständige Bewegungsfähigkeit. Bakterien, einfache Algen und einfache Pilze sowie tierische Einzeller bleiben einzellig, die übrigen pflanzlichen und tierischen Organismen sind vielzellig.

2.1 Prozyten und Euzyten

Im Verlauf der Entwicklung des Lebens auf der Erde haben sich nacheinander zwei unterschiedliche Zelltypen entwickelt, die heute nebeneinander existieren: **Prozyten** und **Euzyten**.

- **Prozyte.** Dieser ursprüngliche, auch häufig als Protozyte bezeichnete einfachere Zelltyp besitzt noch keinen Zellkern. Die DNA befindet sich deshalb frei in der Zelle. Alle Bakterien und Archaeen sind so gebaut (Seite 46). Sie bilden zusammen die Gruppe der **Prokaryoten**.
- **Euzyte.** In diesem wahrscheinlich durch Endosymbiosen und Zellverschmelzungen aus Prokaryoten entstandenen Zelltyp befindet sich die DNA geschützt in einem Zellkern (Seite 44). Darüber hinaus besitzen Euzyten viele neue Zellbestandteile. Pilze, Pflanzen, Tiere und Mensch bestehen aus Zellen dieses Typs. Sie bilden zusammen die Gruppe der **Eukaryoten**.

Die folgende Beschreibung über Aufbau und Funktionen der Zelle bezieht sich auf die Euzyte der Pflanzen und Tiere. Über die Prokaryoten informieren die Teile II und III dieses Buches, die sich mit **Mikrobiologie**, **Biotechnik** und **Gentechnik** befassen.

2.2 Aufbau von Zellen

Zellen haben unabhängig von ihrer Gestalt und speziellen Leistungen die wichtigsten Zellbestandteile wie Zellplasma, Biomembranen, Zellkern, Zellskelett und Zellorganellen gemeinsam. Zellorganellen sind die „Organe der Zelle“, also Strukturen mit bestimmter Funktion (**Bild 1**).

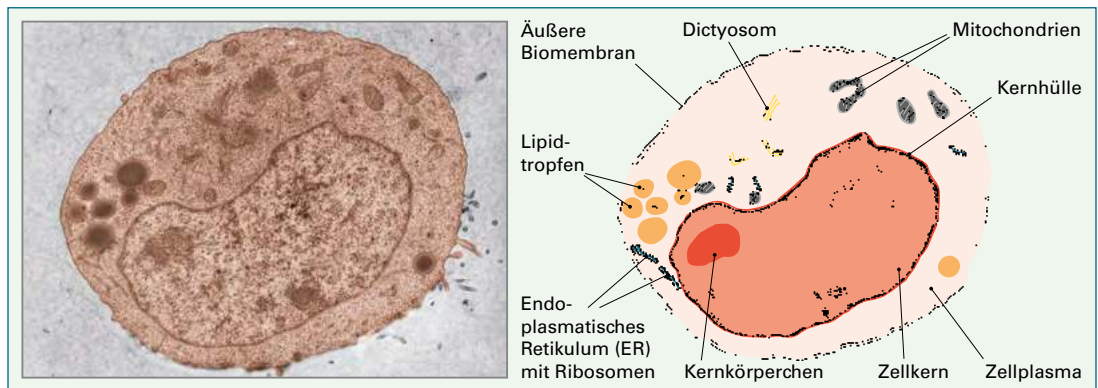


Bild 1: Die Zelle und ihre Bestandteile am Beispiel eines weißen Blutkörperchens des Menschen.
Linkes Bild: Aufnahme mit dem Elektronenmikroskop (EM)

2.2.1 Zellplasma

Das Zellplasma oder **Cytoplasma** umfasst die Zellorganellen, das Zellskelett und das Cytosol, die leicht zähflüssige Grundsubstanz des Zellplasmas, die vor allem aus Wasser besteht. Das Cytoplasma enthält neben Wasser wasserlösliche (hydrophile) organische und anorganische Verbindungen als Moleküle oder Ionen, wie Aminosäuren und Proteine, Fette (Lipide) und Kohlenhydrate. Diese Stoffe befinden sich als Vorräte oder Enzyme dort, wo sie Reaktionspartner wichtiger Stoffwechselreaktionen sind. Das Cytoplasma wird nach allen Seiten durch Biomembranen begrenzt, durch die der Stoffaustausch mit der Umgebung stattfindet.

2.2.2 Biomembranen

Biomembranen begrenzen Zellen nach außen (äußere Zellmembran bzw. Plasmalemma) und durchziehen sie als Membransysteme im Inneren (Kernmembran, Zellorganellenmembranen). Wesentliche Funktionen der Biomembranen sind:

- **Bildung von Barrieren zur Unterteilung der Zelle in voneinander unabhängige Reaktionsräume**, sogenannte Kompartimente. Dadurch wird der gleichzeitige Ablauf unterschiedlicher Stoffwechselreaktionen möglich,
- **Regelung des Durchtritts von Stoffen** als Voraussetzung für den Stoffwechsel und den Stoffaustausch mit der Umwelt.

► **Biomembranaufbau.** Die Biomembranen aller Lebewesen sind ähnlich aus Lipiden und Proteinen aufgebaut. Sie sind keine starren Wände, sondern mit einer öligen Flüssigkeit zu vergleichen (**Bild 1**).

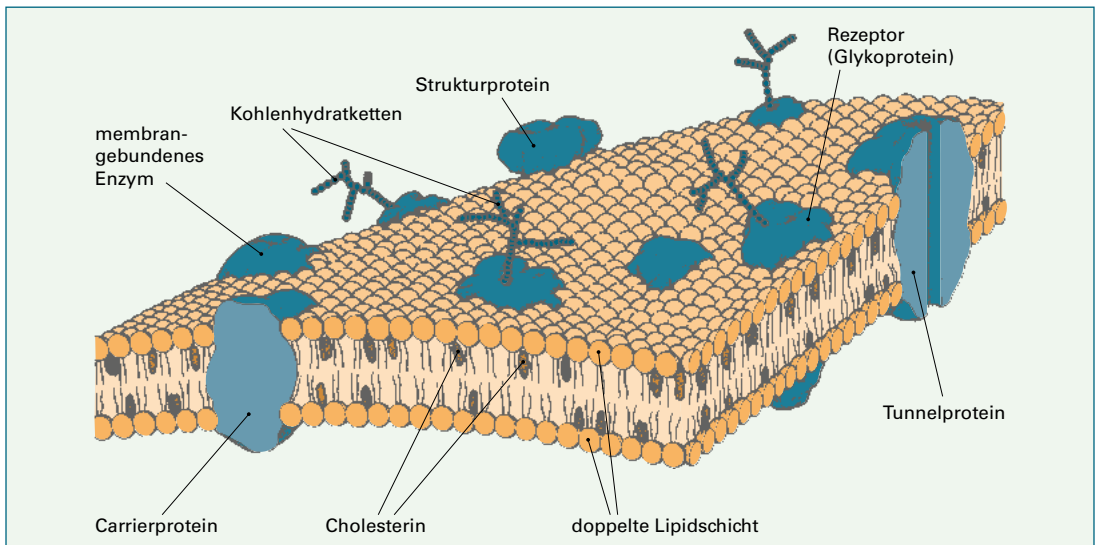


Bild 1: Aufbau der äußeren Biomembran (Schema)

Membranlipide. Die Grundstruktur der Biomembranen ist eine Doppelschicht aus Lipidmolekülen, vor allem Phospholipide (u. a. Lecithin) sowie Cholesterin.

Aufgrund der Eigenschaften der Lipidmoleküle ist eine Biomembran begrenzt wasserdurchlässig, aber **nicht durchlässig für im Wasser gelöste Moleküle und Ionen**. Daher verliert eine Zelle keine Proteine, Kohlenhydrate, Nukleinsäuren, Ionen u. a. Andererseits kann aber Wasser überall in der Zelle als Lösemittel und Reaktionspartner für Stoffwechselreaktionen zur Verfügung stehen.

Die Lipidschicht ist für das Fließverhalten der Biomembran verantwortlich (Membranfluss). Dadurch werden Lecks rasch abgedichtet und die Biomembranen können schnell auf- und abgebaut werden, was eine Voraussetzung für viele Vorgänge in der Zelle ist, beispielsweise Endo- und Exozytose (Seite 23).

Membranproteine. Sie befinden sich in der Lipidschicht und verfestigen dort entweder als **Strukturproteine** die Biomembran, katalysieren als **membranegebundene Enzyme** Stoffwechselreaktionen, bilden als **Tunnelproteine** Kanäle für Wasser und Ionen oder pumpen als **Carrierproteine** organische Stoffe durch die Biomembran.

Die äußeren Biomembranen tierischer und menschlicher Zellen besitzen noch zusätzliche Glykoproteine, die u. a. als **Rezeptoren** (Signal- und Empfängerproteine) der Kommunikation zwischen den Zellen dienen, indem sie beispielsweise Botenstoffe wie Hormone binden und damit Signalwege in eine Zelle öffnen (Seite 226).