



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Naturwissenschaften

Molekulare Biologie und Mikrobiologie

Basiswissen und Labormethoden

Dr. Heribert Keweloh
Dr. Linda Frintrop

2. aktualisierte und erweiterte Auflage

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

Europa-Nr.: 69733

Autoren:

Dr. Heribert Keweloh, Priv.-Doz.

Fachhochschule Münster

Dr. Linda Frintrop, M.Sc.

Institut für Anatomie, Universitätsklinikum Essen

unter Mitarbeit von Frau Hedwig Schindler, Münster

Verlagslektorat:

Dr. Astrid Grote-Wolff

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern

2. Auflage 2020

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-6948-1

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

© 2020 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Satzherstellung Dr. Naake, 09618 Brand-Erbisdorf

Umschlag: braunwerbeagentur, Radevormwald

Umschlagfotos: © Sergey Nivens – Fotolia.com; © science photo – Fotolia.com

Druck: Lensing Druck GmbH & Co. KG, 44149 Dortmund, www.lensingdruck.de

Vorwort

Die Biologie, insbesondere die Mikrobiologie, spielt in den modernen industriellen Produktionsprozessen eine wichtige Rolle. Biochemische Stoffe wie Enzyme, aber auch Zellen werden zur Entwicklung neuer, hocheffizienter Syntheseverfahren sowie neuer Diagnosemethoden eingesetzt. Das für das Verständnis, die Entwicklung und die weitere Optimierung dieser Verfahren erforderliche Fachwissen kann nicht mehr nur einer Naturwissenschaft zugeschrieben werden. Viele naturwissenschaftliche Fachrichtungen haben die traditionellen Grenzen ihrer Disziplin überschritten, Fachkenntnisse und Arbeitsmethoden der Molekularbiologie, der Biochemie, der Mikrobiologie, der Genetik und der Bioinformatik fließen mit dem Fachwissen der Medizin und der Ingenieurwissenschaften, insbesondere der Verfahrens- und Lebensmitteltechnik, zu einer Einheit zusammen.

Auf dieses neue Anforderungsprofil der in der Forschung und Industrie tätigen Fachkräfte sind die modernen Ausbildungs- und Studiengänge abgestimmt. Der molekularen Biologie und Mikrobiologie kommt in den folgenden Fachdisziplinen eine besondere Bedeutung zu:

- ▶ **Naturwissenschaften**, wie Biologie, Chemie und Physik,
- ▶ **Ingenieurwissenschaften**, wie Biotechnologie-, Chemie- und Verfahrenstechnik,
- ▶ **Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften**, wie Ökotrophologie, Lebensmittelchemie und Lebensmitteltechnologie,
- ▶ **Medizin und Pharmazie**,
- ▶ **Geo- und Umweltwissenschaften**, wie Geologie und Umwelttechnik.

Das Lehrbuch „**Molekulare Biologie und Mikrobiologie – Basiswissen und Labormethoden**“ ist auf die Studienordnungen dieser Studiengänge sowie auf die Rahmenlehrpläne der Ausbildung zum/zur **Biologielaborant/-in**, zum/zur **Chemielaborant/-in**, zum/zur **Chemisch-technischen Assistent/-in** und zum/zur **Medizinisch-technischen Laboratoriumsassistent/-in** abgestimmt. Es vermittelt die grundlegenden Fachinhalte der molekularen Biologie und der Mikrobiologie sowie die aktuellen, in den biologischen und mikrobiologischen Laboren angewandten Arbeitsmethoden. Dabei wird stets auf die Verknüpfung mit den verwandten Fachdisziplinen sowie auf die Praxisnähe besonderer Wert gelegt.

Das Buch schafft aufgrund seiner didaktischen Besonderheiten auch für Lernende mit geringen Vorkenntnissen die Möglichkeit, sich umfassend und mit minimalem Zeitaufwand in diese Wissensgebiete einzuarbeiten. Es ist zum Selbststudium, aber auch zum begleitenden Einsatz von Vorlesungen, Seminaren, Unterricht und Praktika geeignet.

In den **Teilen I und II zu den theoretischen Grundlagen der molekularen Biologie und der Mikrobiologie** wird das Verständnis der im Text dargestellten Fachinhalte durch eine reichhaltige Bebilderung unterstützt. Zum Lernerfolg tragen zahlreiche Begriffsdefinitionen für Leser mit geringem Vorwissen sowie Merksätze zu prüfungsrelevanten Inhalten bei. Eine große Anzahl Aufgaben schließt jedes Hauptkapitel ab und regt den Leser zur Überprüfung und Vertiefung seines Wissens an.

Die **Teile III und IV zu den Labormethoden der molekularen Biologie und Mikrobiologie** bieten zu jedem der dargestellten Verfahren die jeweils zugrunde liegenden Prinzipien sowie in übersichtlicher Weise die genauen Arbeitsvorschriften, ergänzt durch eine Auflistung der bei der Durchführung des Verfahrens möglicherweise auftretenden Fehler und Empfehlungen zur Fehlerkorrektur.

Die **2. Auflage** wurde aktualisiert und um das Kapitel 9 zur mikrobiologischen Lebensmittelanalyse erweitert.

Unseren Leserinnen und Lesern wünschen wir viel Freude bei der Beschäftigung mit den für das Verständnis vieler Prozesse so wichtigen Grundlagen der molekularen Biologie und Mikrobiologie sowie bei der Durchführung oder auch dem theoretischen Durchdenken der wesentlichen Labormethoden. Hinweise, die zur Verbesserung und Weiterentwicklung des Buches beitragen, nehmen wir gerne unter der Verlagsadresse oder per E-Mail (lektorat@europa-lehrmittel.de) entgegen.

Inhaltsverzeichnis

Molekulare Biologie

9

1	Eigenschaften von Lebewesen.....	10
2	Biologische Stoffklassen.....	15
2.1	Proteine und Aminosäuren.....	16
2.1.1	Aufbau der Aminosäuren.....	16
2.1.2	Eigenschaften von Aminosäuren.....	17
2.1.3	Einteilung der Aminosäuren.....	18
2.1.4	Struktur der Proteine.....	22
2.1.5	Eigenschaften der Proteine.....	26
2.1.6	Funktionen der Proteine.....	28
2.2	Kohlenhydrate.....	31
2.2.1	Aufbau und Eigenschaften der Kohlenhydrate.....	31
2.2.2	Einteilung und Funktionen der Kohlenhydrate.....	36
2.3	Lipide.....	43
2.3.1	Fettsäuren.....	44
2.3.2	Neutrale Lipide (Fette, Öle, Wachse).....	46
2.3.3	Phospholipide.....	48
2.3.4	Glykolipide.....	50
2.3.5	Eigenschaften von Membranlipiden.....	50
2.3.6	Isoprenoide.....	51
2.3.7	Lipopolysaccharide.....	54
2.4	Nukleinsäuren.....	55
2.4.1	Nukleotide, die Monomere der Nukleinsäuren.....	55
2.4.2	Aufbau und Struktur der DNA.....	56
2.4.3	Aufbau und Funktionen der RNA.....	59
3	Die Zelle als biologische Grundstruktur.....	61
3.1	Zellen der Prokaryonten.....	62
3.2	Zellen der Eukaryonten.....	63
3.2.1	Zellteilung und Zellzyklus.....	68
3.2.2	Bildung von Keimzellen in der Meiose.....	70
3.3	Biologische Membranen und Stofftransport.....	71
3.3.1	Membranaufbau.....	71
3.3.2	Permeabilität von Biomembranen.....	73
3.3.3	Membrantransport.....	76
3.3.4	Weitere Funktionen von Biomembranen.....	79
4	Vom Gen zum Protein.....	81
4.1	Replikation der DNA.....	82
4.2	Proteinbiosynthese.....	85
4.2.1	Transkription.....	86
4.2.2	Genetischer Code.....	87
4.2.3	Translation.....	87
4.2.4	mRNA-Prozessierung in eukaryontischen Zellen.....	90

4.3	Veränderungen des Erbguts	91
4.4	Genregulation	98
4.4.1	Regulation der Genexpression in Prokaryonten.....	98
4.4.3	Regulation der Genexpression in Eukaryonten.....	101
5	Stoffwechsel und Energieumwandlung	104
5.1	Biologische Energieumwandlung.....	104
5.2	Enzyme.....	105
5.2.1	Enzymkinetik.....	107
5.2.2	Einflüsse auf die Enzymaktivität.....	108
5.2.3	Einteilung von Enzymen.....	110
5.3	Stoffwechsel.....	112
5.3.1	Stoffwechselvielfalt der Organismen	112
5.3.2	Fotosynthese	114
5.3.3	Bau- und Energiestoffwechsel	120
6	Evolution	127
6.1	Mechanismen der Evolution	128
6.1.1	Bedeutung des Erbguts für die Evolution	128
6.1.2	Bedeutung der Umwelt für die Evolution	130
6.1.3	Artbildung über Isolation und Gendrift	133
6.2	Belege für die Evolution	136
6.3	Abstammung und Einteilung der Lebewesen	140

Mikrobiologie

148

1	Bakterien und Archaeen.....	151
1.1	Bakterien	151
1.1.1	Grundstrukturen der Bakterienzellen	155
1.1.2	Klassifikation der Bakterien	165
1.1.3	Genübertragung bei Bakterien	173
1.1.4	Stoffwechsel von Bakterien	180
1.2	Archaeen	192
2	Pilze und Protozoen	198
2.1	Pilze	198
2.1.1	Wachstum und Fortpflanzung von Hyphenpilzen	200
2.1.2	Einteilung der Pilze.....	203
2.1.3	Hefen.....	210
2.2	Protozoen	215
3	Viren und Prionen	220
3.1	Viren	220
3.1.1	Struktur von Viren	221
3.1.2	Infektionszyklus von Viren	227
3.2	Prionen.....	231

4	Mikroorganismen in Umwelt und technischen Verfahren	233
4.1	Mikroorganismen in globalen Stoffkreisläufen.....	235
4.1.1	Kohlenstoffkreislauf	237
4.1.2	Stickstoffkreislauf	239
4.1.3	Schwefelkreislauf	241
4.2	Die anaerobe Nahrungskette	243
4.2.1	Syntrophe Mikroorganismen	246
4.2.2	Biogasbildung	246
4.3	Mikroorganismen in Gewässern.....	250
4.3.1	Süßwasserseen	250
4.3.2	Gewässerbelastung und Abwasserreinigung	253
4.3.3	Trinkwasser und Fäkalindikatoren	260
4.3.4	Typische Wassermikroorganismen.....	262
4.4	Mikroorganismen im Boden.....	264
4.4.1	Erdboden als Standort von Bakterien und Pilzen	265
4.4.2	Abbau von Schadstoffen in Böden	268
4.5	Mikroorganismen an Grenzflächen und interzelluläre Kommunikation.....	273
4.5.1	Biofilme	273
4.5.2	Zell-Zell-Kommunikation.....	278
5	Wachstum von Mikroorganismen	282
5.1	Wachstumsphasen	283
5.2	Wachstum in statischen und kontinuierlichen Kulturen	285
5.3	Wachstumsvoraussetzungen für Mikroorganismen	289
5.3.1	Nährstoffbedarf	289
5.3.2	Einfluss der Temperatur	291
5.3.3	Einfluss des pH-Werts	295
5.3.4	Einfluss der Wasseraktivität (a_w -Wert)	297
6	Mikrobiologie des Menschen	299
6.1	Mikrobiom des Menschen.....	299
6.2	Mikroorganismen als Krankheitserreger	304
6.2.1	Bakterien als Krankheitserreger	312
6.2.2	Pilze als Krankheitserreger	317
6.2.3	Protozoen als Krankheitserreger	319
6.2.4	Viren als Krankheitserreger	320
6.2.5	Prionen als Krankheitserreger	323
6.2.6	Antibiotika und Antibiotikaresistenzen	324
Bioanalytische Arbeitsmethoden		335
1	Proteinanalytik	336
1.1	Isolierung von Proteinen	336
1.2	Nachweis und Konzentrationsbestimmung von Proteinen.....	339
1.2.1	Grundlagen der Fotometrie.....	339
1.2.2	<i>Bradford</i> -Proteinbestimmung	341

1.3	Auftrennung von Proteinen.....	342
1.3.1	Säulenchromatografie über Gelfiltration	342
1.3.2	Ionenaustausch- und Affinitätschromatografie	346
1.3.3	Elektrophoresen.....	347
1.4	<i>Blotting</i>	351
2	DNA- und RNA-Analytik	355
2.1	Isolierung von DNA	355
2.1.1	Isolierungsmethoden	357
2.2	Isolierung von RNA.....	359
2.2.1	Isolierungsmethoden	361
2.3	Nachweis und Konzentrationsbestimmung von DNA und RNA	363
2.4	Auftrennung von Nukleinsäuren durch Gelelektrophorese.....	363
2.5	<i>Blotting</i> von Nukleinsäuren	365
2.6	DNA-Sequenzierung	368
3	Klonierung und PCR	371
3.1	Klonierung eines DNA-Fragments	371
3.2	Vektorsysteme	373
3.3	PCR (Polymerase-Kettenreaktion)	375
3.3.1	<i>Real-Time-PCR</i>	377
3.4	<i>DNA-Fingerprinting</i>	379
4	Immunologische Methoden (ELISA)	381
5	Enzymatische Bestimmung von Stoffkonzentrationen.....	383
Mikrobiologische Arbeitsmethoden		385
1	Sicherheitsvorkehrungen und steriles Arbeiten.....	386
1.1	Gefahren und Risikogruppen	386
1.2	Steriles Arbeiten	387
1.3	Sicherheitswerkbänke.....	388
2	Verfahren zur Keimabtötung.....	389
2.1	Sterilisationsverfahren	389
2.1.1	Sterilisationsverfahren mit feuchter Hitze	390
2.1.2	Sterilisationsverfahren mit trockener Hitze	392
2.1.3	Hitzeunabhängige Sterilisationsverfahren	393
2.2	Desinfektion und Pasteurisation	394
3	Kultivierung von Mikroorganismen	397
3.1	Kultivierung von Mikroorganismen mit Sauerstoff	398
3.2	Kultivierung von Mikroorganismen ohne Sauerstoff	399

3.3	Nährmedien.....	401
3.3.1	Arten von Nährmedien.....	401
3.3.2	Animpfen von Nährmedien.....	403
3.3.3	Herstellung von festen Kulturmedien.....	404
3.3.4	Beispiele für Nährmedien.....	406
3.4	Stammkulturen.....	412
3.5	Gewinnung von Reinkulturen.....	415
4	Identifizierung von Mikroorganismen.....	418
4.1	Klassische mikrobiologische Tests.....	419
4.2	Molekularbiologische Diagnostik.....	425
5	Mikrobiologische Umwelt- und Hygieneuntersuchungen.....	428
5.1	Wasseruntersuchungen.....	428
5.2	Luftuntersuchungen.....	431
5.3	Oberflächenuntersuchungen.....	433
6	Mikroskopische Methoden.....	436
6.1	Mikroskopieren von Mikroorganismen.....	436
6.2	Färbungen von Mikroorganismen.....	441
7	Keimzahlbestimmungen und Wachstumsmessungen.....	445
7.1	Bestimmung der Lebendkeimzahl.....	446
7.1.1	Ausplattierungsverfahren.....	446
7.1.2	Gussplattenverfahren.....	448
7.1.3	Titerverfahren (MPN-Bestimmung).....	450
7.1.4	Weitere Bestimmungsmethoden.....	451
7.1.5	Keimzahlberechnung.....	452
7.2	Bestimmung der Gesamtkeimzahl und Zellmasse.....	453
7.2.1	Trübungsmessung.....	453
7.2.2	Zählkammerbestimmung.....	455
7.2.3	Weitere Bestimmungsmethoden.....	457
8	Resistenztestung.....	458
8.1	Agardiffusionstest.....	458
8.2	MHK-Bestimmung (Verdünnungsreihen-Test).....	459
9	Die mikrobiologische Lebensmittelanalyse.....	461
9.1	Untersuchungsparameter.....	461
9.2	Festlegung des Untersuchungsspektrums und -ablaufs.....	462
9.3	Probenahme.....	463
9.4	Zerkleinern/Homogenisieren der Proben.....	464
9.5	Lebendzellzahlbestimmung.....	464
9.6	Bewertung der Ergebnisse und Einordnung des Lebensmittels.....	465
	Sachwortverzeichnis.....	466
	Bildquellenverzeichnis.....	483
	Abkürzungsverzeichnis.....	485

Teil I

Molekulare Biologie

Die Biologie ist die Naturwissenschaft, die sich mit den Prozessen des Lebens beschäftigt (griech. *bíos*: Leben und *lógos*: Lehre). Sie untersucht die unterschiedlichen Lebewesen (Organismen) und erklärt deren Lebensvorgänge. Diese stehen mit den chemischen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten in Einklang, besitzen aber oft eine hohe Komplexität.

Die Biologie ist eine Wissenschaft, die die **Lebensprozesse** auf unterschiedlichen Ebenen betrachtet. Ihr Spektrum reicht von der Untersuchung von molekularen Strukturen über die Untersuchung von **Zellen**, aus denen alle Organismen aufgebaut sind, bis hin zur Untersuchung von Lebewesen in ihrem Lebensraum und ihren Beziehungen untereinander.

Die Erforschung der Strukturen von Lebewesen ist durch deren außerordentliche Vielfalt und einen zumeist sehr komplexen Aufbau der Organismen gekennzeichnet. Aufgrund dieser Strukturfülle und der Komplexität ist die biologische Wissenschaft in zahlreiche Einzelfachdisziplinen gegliedert, die in der Regel auch spezielle Arbeitstechniken und Forschungsmethoden anwenden (Tabelle 1).

Zellen

Kleinste selbstständig lebens- und vermehrungsfähige biologische Strukturen

Tabelle 1 Fachrichtungen der Biologie

Fachdisziplin	Untersuchungsschwerpunkt
Zoologie	Tierische Lebewesen
Botanik	Pflanzliche Lebewesen
Mikrobiologie	Mikroorganismen
Molekularbiologie	Biologische Strukturen und Funktionen auf molekularer Ebene
Zellbiologie (Zytologie)	Strukturen und Funktionen der Zelle
Entwicklungsbiologie	Entwicklung des Organismus aus einer befruchteten Eizelle zu Gewebe und Organen
Systematik der Biologie	Bestimmung, Beschreibung und Klassifikation von Organismen
Physiologie	Biophysikalische und biochemische Funktionen der Organismen
Genetik	Erbgut der Organismen und die Weitergabe der Erbinformationen
Verhaltensbiologie	Verhalten von Tieren und Menschen
Immunbiologie (Immunologie)	Immunsystem, Abwehr des Körpers von Krankheitserregern
Morphologie	Körpergestalt, Aufbau der Organismen
Ökologie	Beziehungen der Lebewesen zueinander und mit der unbelebten Natur
Neurobiologie	Strukturen und Funktionen von Nervenzellen bzw. -systemen

Die Aufteilung der Biologie in verschiedene Fachdisziplinen mit ihren jeweiligen Schwerpunkten ist ein historischer Prozess. Die Biologie als theoretische und experimentelle Erforschung des Lebens entwickelte sich im 16. und 17. Jahrhundert. Durch den Bau leistungsfähiger Mikroskope (*Antoni van Leeuwenhoek*, 1632 – 1723) wurde den Forschern die Möglichkeit der Untersuchung von Zellen und ihren Strukturen gegeben.

Die Beobachtung von Bakterien und anderen **Mikroorganismen** führte zur Entstehung der Fachdisziplin **Mikrobiologie**. Im 20. Jahrhundert gewann die Biologie vor allem durch die Fortschritte in der Erkundung der Mechanismen und molekularen Grundlagen der Lebensvorgänge an Bedeutung für Industrie sowie für das tägliche Leben.

Mikroorganismen

Mit dem Auge nicht sichtbare Lebewesen, die überwiegend aus einer Zelle bestehen

1

Eigenschaften von Lebewesen

Die Erkennung von Lebewesen fällt in der Regel leicht; auch völlig unbekannte Lebewesen können aufgrund ihrer Eigenschaften fast immer dem Bereich des Lebens zugeordnet werden.

Andererseits gibt es Organismen wie die Flechten, die auf den ersten Blick nicht als Lebewesen zu erkennen sind. Dabei sind Flechten sogar eine Art von Doppel-Lebewesen. Sie bestehen aus zwei völlig verschiedenen Organismen, aus einem Pilz und einer Alge oder einem Bakterium, die in engem Kontakt zusammenleben. Eine solche Lebensgemeinschaft zweier verschiedener Organismen wird **Symbiose** genannt und sie führt bei den Flechten zu völlig neuen Eigenschaften und Lebensformen.

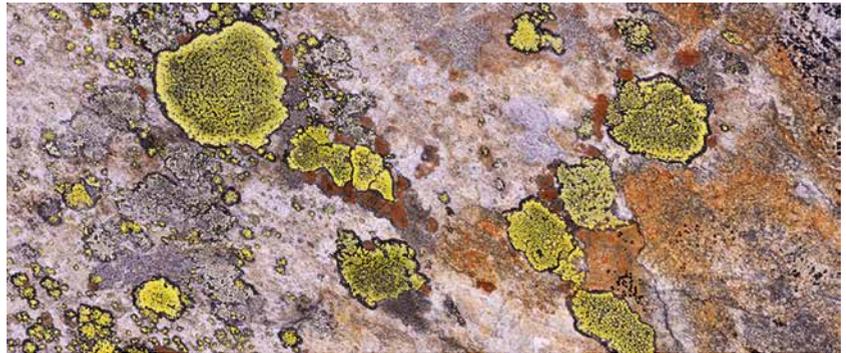


Bild 1
Flechtenüberzug auf
einem Fels

Leben ist von einer ungeheuren Komplexität gekennzeichnet, die auch heute erst in groben Zügen bekannt ist. Es gibt keine allgemein gültige, umfassende Definition dessen, was Leben ist. Vielmehr ist es eine Reihe von Eigenschaften, die Lebewesen von unbelebter Materie abgrenzen. Organismen weisen folgende **Kennzeichen bzw. Merkmale des Lebens** auf:

► **Stoffwechsel**

Unter Stoffwechsel (Metabolismus) werden die Aufnahme von Stoffen in den Organismus oder in seine Zellen, die Verarbeitung in Form von chemischen Umwandlungen sowie die Abgabe von Stoffen verstanden. Die chemischen und physikalischen Stoffwechselvorgänge dienen dem Aufbau und der Erhaltung der Zell- und Körperstrukturen sowie der Energiegewinnung. Der Stoffwechsel ist eine der wesentlichen Eigenschaften der Lebewesen und der Zelle (s. Kap. 1.5).

► **Wachstum**

Die Stoffwechselaktivitäten führen zum **Wachstum** eines Organismus. Mit der Masse (oder der Größe) nimmt zumeist auch die Zahl der Zellen zu. Einzeller teilen sich bei einer bestimmten Zellgröße in Tochterzellen; das Wachstum führt bei ihnen stets auch zur **Vermehrung**.

► **Fortpflanzung**

Die Fortpflanzung (Reproduktion) von Lebewesen kann auf sexuellem oder nicht sexuellem Wege erfolgen. Bei der **sexuellen** oder geschlechtlichen Fortpflanzung kommt es zu einer Verschmelzung (Fusion) von zwei Zellen, einer weiblichen und einer männlichen Keimzelle (Gameten). Die Nachkommen erhalten dadurch Erbanlagen von beiden Elternteilen. Der Vorgang der Zellfusion wird auch als **Befruchtung** bezeichnet und das Verschmelzungsprodukt als **Zygote**.

Wachstum

Zunahme der
Masse eines
Organismus durch
Neubildung von
Körpersubstanz

Vermehrung

Zunahme der Zahl
neuer Individuen

Die sexuelle Fortpflanzung ist bei Pflanzen und Tieren der gewöhnliche Fortpflanzungsmodus. **Ungeschlechtliche** Fortpflanzung, bei der keine Befruchtung stattfindet, ist typisch für Bakterien, aber auch bei Pflanzen häufig, z. B. durch Bildung von Ablegern.

► Vererbung

Ein essenzielles Merkmal aller Lebewesen besteht darin, dass sie genetische Informationen an ihre Nachkommen weitergeben. Die Erbinformationen sind als **Gene** in der Molekülform der DNA (s. Kap. I.2.4) gespeichert.

Mit Ausnahme der Bildung von Keimzellen werden die Gene bei jeder Zellteilung vollständig an die Tochterzellen übertragen.

► Beweglichkeit

Während die Fähigkeit zu aktiven Bewegungen bei tierischen Lebewesen klar ersichtlich ist, zeigen Pflanzen langsame Bewegungen wie z. B. das Ausrichten der Blätter in Richtung des einstrahlenden Lichtes. Auch zahlreiche Mikroorganismen können sich aktiv fortbewegen.

► Reaktion auf Reize

Lebewesen können auf Reize, auf Informationen aus der Umwelt, reagieren und ihr Verhalten auf die Angebote sowie Notwendigkeiten ihrer Umgebung einstellen. Bakterien können die Konzentration vieler Stoffe in der Umwelt wahrnehmen und auf sie reagieren. Sie bewegen sich beispielsweise in die Richtung einer Nahrungsquelle hin und von einer Substanz fort, die sie schädigen kann (Schreckstoffe).

Stoffwechsel, Wachstum, Fortpflanzung, Vererbung, Beweglichkeit und Reaktion auf Reize sind in der Summe **Kennzeichen für Leben**.

Wasser, die Grundlage des Lebens

Leben und Lebensprozesse sind ohne **Wasser** nicht möglich. Alle Lebewesen bestehen zu einem Großteil aus Wasser, Pflanzen beispielsweise oft zu 95 %. Die ständig in den Zellen ablaufenden Reaktionen des Stoffwechsels sind auf ein wässriges Milieu angewiesen. Wasser ist das Lösemittel der Zellkomponenten und das Transportmittel für die gelösten Stoffe. Wasser ist besonders wichtig für die räumliche Struktur der **Proteine**, da es **Wasserstoffbrücken** mit Atomen eines Proteins und Wasserhüllen um die Eiweiße bildet. Wasser kann zusätzlich ein Ausgangs- oder Endprodukt von biochemischen Reaktionen sein.

Das Wasser, das sich im Inneren der Zelle befindet, übt einen Druck auf die **Zellwand** aus und verleiht Pflanzen sowie Bakterien Festigkeit und Form.



Gene

Einheiten der im Erbgut vorhandenen Erbinformation, die zur Bildung von Proteinen dienen

Proteine (Eiweiße)

Gefaltete Ketten aus zahlreichen Bausteinen (Aminosäuren) mit festgelegter Reihenfolge

Wasserstoffbrücken

Wechselwirkungen zwischen Molekülen über positiv polarisierte Wasserstoff-Atome und Atome mit freiem Elektronenpaar (z. B. Sauerstoff)

Zellwand

Stabile Hüllschicht um die Zelle von Pflanzen und Bakterien zum Schutz z. B. vor mechanischen Kräften

Bild 1

Wasser, für das Leben auf dem Planeten Erde von existenzieller Bedeutung

Lebewesen bestehen zum großen Teil aus **Wasser**, das Lösemittel der zellulären Verbindungen. Ohne Wasser sind Lebensprozesse nicht möglich.

Gibt es auf dem Planeten Mars außerirdisches Leben?

Die Astrobiologie ist eine Fachdisziplin der Biologie, welche die Existenz von außerirdischem Leben und die Möglichkeit der Entstehung von Leben auf fremden Planeten untersucht. Einige Astrobiologen halten Leben auf dem Roten Planeten für möglich, sogar, dass das irdische Leben auf dem Mars entstanden ist und bakterienähnliche Lebewesen in Meteoriten vom Mars zur Erde transportiert wurden. Strukturen im Marsgestein, kettenartig angeordnete Kügelchen, wurden von einigen Forschern als Spuren von Bakterien gedeutet.

Auch außerirdisches Leben kann nicht ohne Wasser auskommen, wenn sich die Lebensformen von denen der Erde nicht radikal unterscheiden. Gefrorenes Wasser wurde auf dem Mars von der NASA, der Luft- und Raumfahrtbehörde der USA, schon vor längerer Zeit nachgewiesen; so besitzt der Mars vereiste Polkappen. Doch für Organismen ist flüssiges Wasser lebensnotwendig. Inzwischen gibt es auch dafür Hinweise, beispielsweise flussbettähnliche Strukturen auf der Marsoberfläche, die auf ehemalige fließende Gewässer hindeuten könnten.

Auf dem Mars herrschen große Temperaturunterschiede zwischen $+20\text{ °C}$ und -100 °C . Zahlreiche Forschungsergebnisse zeigen jedoch, dass Leben auch auf der Erde unter extremen Bedingungen existieren kann. Sogenannte extremophile Bakterien sind auf der Erde an äußerst lebenswidrige Standorte angepasst und können bei sehr niedrigen oder hohen pH-Werten leben. Forscher haben in der Antarktis Bakterien entdeckt, die im Eis überleben können und Stoffwechselaktivitäten zeigen.



Bild 1 Mars, der Rote Planet, dessen Farbe von Eisenoxiden in Gesteinen herrührt

Strukturebenen lebender Systeme

Bei der Untersuchung biologischer Objekte wird oft angestrebt, kleinere Bestandteile der Objekte zu gewinnen und separat von den anderen biologischen Komponenten zu untersuchen. Nur dann können die besonderen Eigenschaften erkannt werden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass lebende Systeme hierarchisch aufgebaut und organisiert sind. Sie besitzen verschiedene biologische **Strukturebenen** (Bild 1, S. 13).

Auch biologische Objekte können bis hin zu den kleinsten Materieteilchen, den Atomen, zerlegt werden. Genau wie die Moleküle atomunabhängige Eigenschaften besitzen, weisen auch separierte biologische Objekte andere Eigenschaften auf, als wenn sie im Verband vorliegen. Das Zusammenwirken relativ einfacher biologischer Komponenten ermöglicht besondere Leistungen der Objekte einer höheren Strukturebene. Ein Organismus, wie z. B. der menschliche Organismus, ist mehr als die Summe der Leistungen seiner Organe.

Durch die Untersuchung verschiedener biologischer Strukturebenen können bei einem Lebewesen unterschiedliche Erkenntnisse gewonnen werden. Zur Aufklärung der Wachstumsansprüche einer Pflanze müssen beispielsweise Studien auf der Ebene der Organismen durchgeführt werden. Untersuchungen der niedrigeren Strukturebenen wie der Zelle oder der zellulären Grundstrukturen können hingegen Hinweise liefern, über welche molekularen Strukturen die Nährstoffe aufgenommen und verarbeitet werden. Erkenntnisse auf verschiedenen Ebenen helfen, die komplexen Lebenszusammenhänge zu verstehen.

Komplexe biologische Strukturen sind immer aus kleineren, einfacheren und zusammenwirkenden Einheiten aufgebaut.

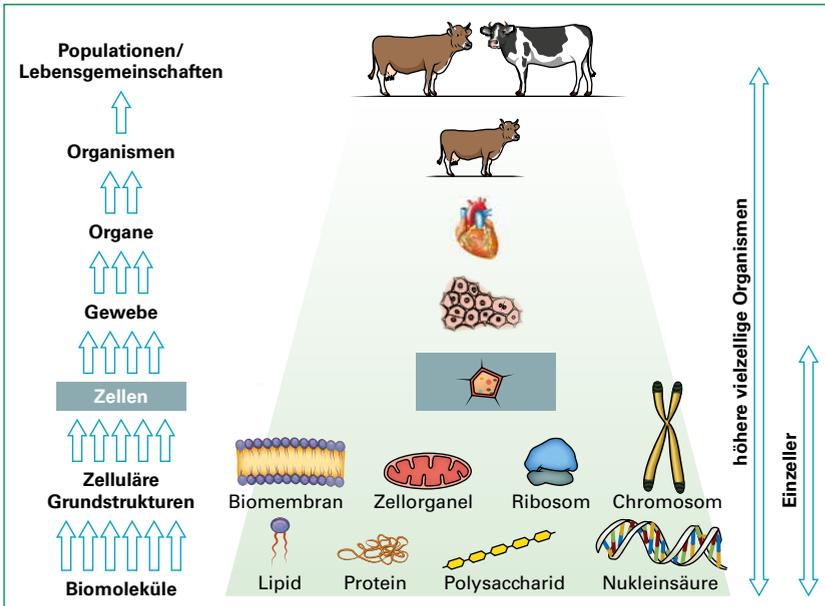


Bild 1
Strukturebenen von Lebewesen

Die Strukturebenen von Lebewesen können in der Reihenfolge zunehmender Größe und höherer Komplexität folgendermaßen unterteilt werden:

► Biomoleküle

Um biologische Systeme in Größendimensionen zu betrachten, die kleiner als die Zelle sind, werden spezielle Instrumente und Methoden eingesetzt, die vorwiegend aus der **chemischen Analytik** stammen. Auf der untersten Strukturebene werden in allen Lebewesen stets die gleichen organischen Verbindungen gefunden, die Biomoleküle. Dazu zählen Aminosäuren, Lipide und **Makromoleküle**, wie Proteine, Polysaccharide und Nukleinsäuren.

► Zelluläre Grundstrukturen

Aus Lipiden und Makromolekülen werden die zelltypischen Grundstrukturen aufgebaut, wie **Organellen**, Zellkern, Chromosomen, Ribosomen und Biomembranen. Die Organellen und andere Grundstrukturen haben in der Zelle bestimmte Aufgaben und Funktionen benötigt, wie z. B. die Energiegewinnung und -bereitstellung.

► Zellen

Die strukturelle Grundeinheit der Lebewesen ist die Zelle, ein geschlossener, durch eine Biomembran abgegrenzter Raum. Eine Zelle ist eigenständig; sie enthält alle Informationen, die der gesamte Organismus für alle seine Aktivitäten und Funktionen benötigt. Zellen haben die grundlegenden Fähigkeiten, die als Merkmale des Lebens bezeichnet werden. Die Entwicklung von Zellen in einen stark spezialisierten Zustand wird als **Differenzierung** bezeichnet.

► Gewebe

In Vielzellern bilden Zellen gleicher Funktion und gleichen Aussehens Verbände, die Gewebe. Die Zellen im Gewebe sind aufgrund ihrer Spezialisierung und Arbeitsteilung allein meist nicht lebensfähig.

Chemische Analytik

Identifizierung und Mengenbestimmung von chemischen Substanzen

Makromoleküle

Moleküle, die aus vielen gleichen oder unterschiedlichen Bausteinen bestehen und damit eine relativ große Molekülmasse besitzen

Organellen

Zellstrukturen, die eine spezifische Funktion innerhalb der Zelle erfüllen und von einer Membran umgeben sind

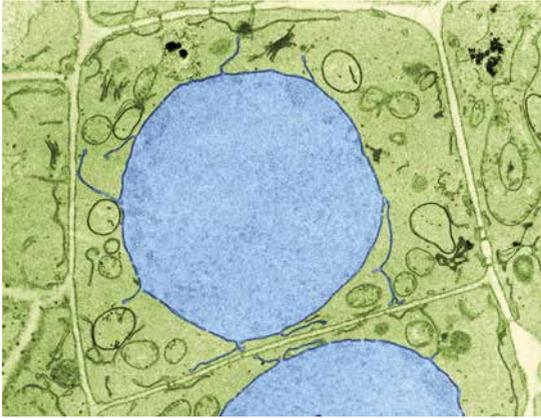


Bild 1
Pflanzliche Zellen
(Transmissionselektronenmikroskopie,
19000-fache Vergrößerung)

Neurotransmitter

Botenstoffe, die Reize zwischen Nervenzellen an deren Kontaktstelle, den Synapsen, weiterleiten

Art, Spezies

Gruppe von Organismen, die sich von anderen Organismengruppen unterscheiden, sich untereinander fortpflanzen und fruchtbaren Nachwuchs erzeugen können

► Organe

Verschiedene Gewebetypen bilden in Vielzellern wie Menschen und Tieren abgegrenzte Funktionseinheiten, die Organe. Sie haben im Körper bestimmte Aufgaben zu erfüllen: Beispielsweise wird im Magen die Nahrung gemischt und angesäuert. Organe wie der Magen können mit anderen Funktionseinheiten, wie Leber und Dünndarm, zu Organsystemen mit übergeordneten Aufgaben, zum Verdauungssystem, zusammengeschlossen werden.

Die Arbeitsteilung der Zellen in einem vielzelligen Organismus erfordert, dass Botschaften ausgetauscht werden, dass also eine **Kommunikation** zwischen den Zellen bzw. den

Organen existiert. Sie kann zwischen benachbarten Zellen oder körperweit von Organ zu Organ stattfinden und erfolgt durch körpereigene Signalstoffe. Beispielsweise werden im Nervengewebe zwischen einzelnen Nervenzellen **Neurotransmitter** ausgetauscht.

Auf der Ebene der Organe werden Lebensvorgänge über **Hormone** gesteuert. Hormone sind Botenstoffe, die von spezialisierten Drüsenzellen ausgeschüttet werden, über das Blut zu Zielzellen transportiert werden und dort spezifische Reaktionen auslösen.

► Organismen

An einem lebenden Organismus, wie einem Tier oder einer Pflanze, lassen sich die Merkmale des Lebens am deutlichsten erkennen. Voraussetzung für die Existenz des Organismus ist das Zusammenwirken aller Strukturebenen, von der Vielfalt der Moleküle in der Zelle bis zum Zusammenspiel der Organe.

► Populationen und Biozöosen

Da Organismen nicht allein, sondern mit Artgenossen und mit Lebewesen anderer **Arten** (Spezies) zusammenleben, gibt es weitere Organisationseinheiten. Die Gruppe von Individuen, die der gleichen Art angehören und die in mehreren aufeinanderfolgenden Generationen im gleichen Lebensraum wohnen, wird Population genannt. Werden auch andere Arten, mit denen der gleiche Lebensraum geteilt wird, in die Betrachtung einbezogen, spricht man von Biozöosen (Lebensgemeinschaften).

Die **Strukturebenen** bzw. **Organisationseinheiten** lebender Systeme sind Biomoleküle, zelluläre Grundstrukturen (z. B. Zellorganellen), Zellen, Gewebe, Organe, Organismen, Populationen und Biozöosen.

Aufgaben

- ① Erläutern Sie den Begriff der Symbiose.
- ② Nennen und erklären Sie die Kennzeichen des Lebens.
- ③ Erläutern Sie die Bedeutung, die Wasser für alle Lebensprozesse hat.
- ④ Geben Sie die Strukturebenen von vielzelligen Organismen an.
- ⑤ Stellen Sie die Bedeutung der Zelle als strukturelle Grundeinheit der Lebewesen dar.
- ⑥ Geben Sie an, welche zellulären Grundstrukturen in Lebewesen vorhanden sind.

2

Biologische Stoffklassen

Die Substanzen der belebten Welt, die **Naturstoffe**, bestehen aus nur wenigen chemischen Elementen. Vor allem die vier Elemente Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O) und Stickstoff (N) sind in den Bioverbindungen enthalten, die bei lebenden sowie toten Lebewesen zu finden sind. Als **Biomoleküle** werden die in Zellen vorhandenen, biologisch aktiven Moleküle bezeichnet, die beispielsweise an den Stoffwechselfvorgängen und anderen biologischen Prozessen beteiligt sind.

Der größte Teil der Zellen besteht aus den **organischen Verbindungen des Kohlenstoffs**. Kohlenstoffatome können mit verschiedenen Elementen stabile Bindungen eingehen und bilden so das Grundgerüst für zahlreiche Biomoleküle. Weitere vorteilhafte Charakteristika der Kohlenstoffverbindungen sind:

- ▶ Die Fähigkeit des Kohlenstoffs, vier **Einfachbindungen** zu anderen Atomen eingehen zu können
- ▶ Das Potenzial der C-Atome mit weiteren C-Atomen kurze oder lange Ketten zu bilden, wobei auch Doppel- und Dreifachbindungen zwischen den C-Atomen möglich sind
- ▶ Die Möglichkeit, sowohl Verzweigungen der Kohlenstoffketten als auch Ringschlüsse zu bilden

Lebewesen sind aus Molekülen (Biomolekülen) aufgebaut, die überwiegend **organische Verbindungen (Kohlenstoffverbindungen)** sind.

Die in Lebewesen vorkommenden Verbindungen können in hochmolekulare und niedermolekulare Stoffe eingeteilt werden. Die hochmolekularen organischen Substanzen werden **Makromoleküle** genannt. Sie sind zumeist **Polymere**, die aus gleichen oder gleichartigen Bausteinen, den sogenannten **Monomeren**, bestehen. Die biologischen Polymere kommen zusammen mit ihren Monomeren und weiteren niedermolekularen Stoffwechselprodukten in fast jeder Zelle vor.

Die organischen Biomoleküle können in typische **Stoffklassen** eingeteilt werden, von denen die vier folgenden die größte Bedeutung besitzen:

- ▶ **Proteine** (Eiweiße), die aus Aminosäuren aufgebaut sind und beispielsweise als **Enzyme** zentrale Funktionen in den Zellen erfüllen
- ▶ **Kohlenhydrate**, wie der Zucker, die den mengenmäßig größten Teil der **Biomasse** ausmachen
- ▶ **Lipide**, die in Biomembranen vorkommen oder als Fette gespeichert werden
- ▶ **Nukleinsäuren**, die als Erbsubstanz und im Stoffwechsel essenzielle Bedeutung haben

Die wichtigsten Stoffklassen der Biomoleküle sind **Proteine, Kohlenhydrate, Lipide** und **Nukleinsäuren**.

In den Zellen der Organismen finden sich noch viele weitere organische niedermolekulare Verbindungen sowie einige anorganische Verbindungen. Die Biomasse – besonders wenn sie von Pflanzen gebildet wird – enthält darüber hinaus einige weitere biologische Substanzklassen. Dies können Gerüstsubstanzen sein wie z. B. das im Holz enthaltene **Lignin** oder die sogenannten **sekundären Pflanzenstoffe**, ausschließlich von Pflanzen für verschiedene Funktionen hergestellte Stoffe mit chemisch nicht einheitlichem Aufbau.

Einfachbindung

Kovalente chemische Bindung, die durch ein Elektronenpaar gebildet wird und in sich selbst drehbar ist

Makromoleküle

Moleküle, die aus vielen gleichen oder unterschiedlichen Bausteinen bestehen und meist eine große Molekülmasse besitzen

Enzyme

Biochemische Katalysatoren der Reaktionen im Stoffwechsel

Biomasse

Durch Lebewesen gebildetes organisches Material

Lignin

Dreidimensionales Polymer, das Bestandteil der Zellwände verholzter pflanzlicher Gewebe ist

2.1 Proteine und Aminosäuren

Proteine (Eiweiße), die es in jeder Zelle in großer Vielfalt gibt, sind in allen lebenden Systemen unentbehrlich. Sie sind aus gleichartigen Monomeren, den Aminosäuren, aufgebaut.

2.1.1 Aufbau der Aminosäuren

Alle zwanzig in Proteinen vorkommenden Aminosäuren enthalten Kohlenstoff-, Wasserstoff-, Sauerstoff- und Stickstoffatome, zwei der Aminosäuren besitzen zusätzlich Schwefelatome. Sämtliche Aminosäuremoleküle enthalten mindestens zwei **funktionelle Gruppen**, nämlich eine Carboxylgruppe (-COOH) und eine Aminogruppe (-NH₂).

Bild 1 zeigt den allgemeinen Aufbau einer Aminosäure. Das zentrale C-Atom, das in Nachbarschaft zur Carboxylgruppe steht und deswegen α -C-Atom genannt wird, trägt zusätzlich die Aminogruppe. Das α -C-Atom besitzt außerdem ein H-Atom und eine Seitengruppe, die auch Rest (R) genannt wird. Die zwanzig verschiedenen Aminosäuren haben unterschiedliche Seitengruppen, in denen sich weitere funktionelle Gruppen befinden können.

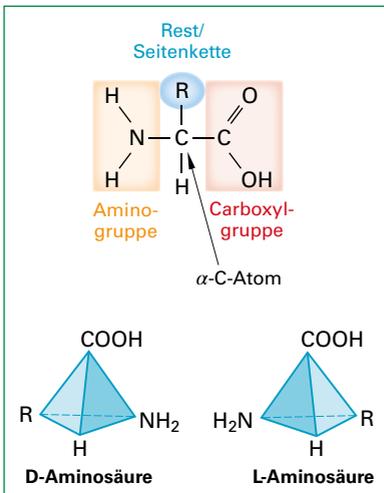


Bild 1
Aufbau von Aminosäuren und enantiomere Formen

Aminosäuren enthalten sowohl eine **Carboxylgruppe** als auch eine **Aminogruppe**. Das α -C-Atom, das diese beiden Gruppen trägt, enthält darüber hinaus ein H-Atom und eine Seitengruppe, die spezifisch für die jeweilige Aminosäure ist.

Substanzen, die ein Kohlenstoffatom enthalten, das Bindungen zu vier verschiedenen Nachbargruppen oder Substituenten aufweist, sind sogenannte **Enantiomere** oder Stereoisomere. Die vier Substituenten gruppieren sich um das zentrale Kohlenstoffatom annähernd wie ein Tetraeder. Dabei sind zwei verschiedene Anordnungen der Substituenten möglich, die sich wie Bild und Spiegelbild verhalten. Die zwei stereoisomeren Formen werden als D- und als L-Form bezeichnet (lat.: *dexter*: rechts; *laevus*: links). Alle enantiomeren Verbindungen sind **optisch aktiv**.

Aminosäuren, die vier verschiedene Substituenten am α -C-Atom aufweisen und damit ein asymmetrisch substituiertes C-Atom besitzen, sind ebenfalls Enantiomere und müssen folglich entweder als L- oder als D-Aminosäuren vorliegen (Bild 1). Dies trifft nur auf die kleinste Aminosäure Glyzin nicht zu, die anstelle einer Seitengruppe ein zweites H-Atom trägt und optisch nicht aktiv ist.

Aus Lebewesen stammende Proteine enthalten ausschließlich L-Aminosäuren. D-Aminosäuren kommen ebenfalls in der Natur vor, beispielsweise bei Bakterien und sind dort ein Bestandteil der Zellwand (s. S. 156). Auch in Antibiotika kommen häufig D-Aminosäuren vor. Diese Strukturen und Verbindungen sind vor dem Abbau durch Enzyme geschützt, die auf L-Aminosäuren spezialisiert sind.

Aminosäuren sind **optisch aktive Substanzen**, die aufgrund des asymmetrisch substituierten α -C-Atoms in einer von zwei enantiomeren Formen vorliegen. Die Aminosäuren der Proteine sind **L-Aminosäuren**.

Funktionelle Gruppe

Atomgruppen in organischen Verbindungen, die das Reaktionsverhalten der Verbindungen bestimmen

Enantiomere

Chemische Verbindungen, die sich in ihrer räumlichen Struktur unterscheiden (wie Bild und Spiegelbild)

Optisch aktiv

Eigenschaft von Enantiomeren, die Schwingungsebene von polarisiertem Licht zu drehen

2.1.2 Eigenschaften von Aminosäuren

Aminosäuren sind **Ampholyte**, d. h. Verbindungen, die sowohl als **Säure** und auch als **Base** reagieren können. Zum einen hat die Carboxylgruppe die Neigung, ein Proton (H^+) abzugeben. Somit wirkt sie als **Protonendonator** und hat eine Säurefunktion. Die Carboxylgruppe wird dabei zu einer negativ geladenen Gruppe ($-COO^-$). Zum anderen kann die Aminogruppe positiv geladene Teilchen wie Protonen anlagern, da das Stickstoffatom ein freies Elektronenpaar aufweist. Solche Moleküle oder Molekülgruppen sind **Protonenakzeptoren** und besitzen einen basischen Charakter. Die Aminogruppe enthält dann eine positive Ladung ($-NH_3^+$).

Aminosäuren sind Ampholyte, da sie sowohl Protonen aufnehmen als auch abgeben können. Durch Protonenwanderung innerhalb des Aminosäuremoleküls entstehen **Zwitterionen**, die gleichzeitig eine positive und eine negative Ladung aufweisen. Die Moleküle sind dann insgesamt elektrisch neutral.

Säure (Definition nach Brønsted)

Molekül, das ein Proton abspaltet oder abgibt (Protonendonator)

Base

Molekül, das ein Proton anlagert oder empfängt (Protonenakzeptor)

Aminosäuren können als Säure und Base reagieren; sie liegen häufig als **Zwitterionen** vor, die eine positive und eine negative Ladung besitzen.

Wird der pH-Wert einer aminosäurehaltigen wässrigen Lösung gesenkt, z. B. indem eine Säure zugegeben wird, werden Protonen von der negativen Carboxylgruppe gebunden (Protonierung). Die Aminosäuremoleküle besitzen dann nur eine positive Ladung, wodurch sie zu Kationen werden.

Wird einer Aminosäurelösung eine Base zugefügt, wird das der Aminogruppe angelagerte Proton abgespalten (Deprotonierung) und verbindet sich mit OH^- -Ionen (Hydroxidionen) zu H_2O -Molekülen. Aus dem Zwitterion entsteht aufgrund der weiterhin deprotonierten Carboxylgruppe ein negatives Ion, ein Anion.

Im **physiologischen pH-Bereich**, der um den Wert von 7 liegt, liegen Aminosäuren überwiegend als Zwitterionen vor. Auch die kationische und die anionische Molekülform liegen zu einem geringen Anteil in der Lösung vor.

Eine Lösung aus Aminosäuren besitzt eine **Pufferwirkung**. Bei einer Änderung des pH-Wertes kann es zu einer Protonierung oder Deprotonierung der Aminosäuren kommen, je nachdem ob die Lösung saurer oder basischer wird. Weil eine Aminosäure sowohl wie eine Base als auch wie eine Säure reagieren kann, wird der pH-Wert der Lösung nicht stark verändert. Da jede Aminosäure mindestens zwei protonierbare oder deprotonierbare Gruppen besitzt, gibt es auch immer zwei gute Pufferbereiche. Die Histidin-Seitenkette ist besonders gut im physiologischen pH-Bereich als Puffer wirksam.

Bei einem bestimmten pH-Wert liegen genau gleiche Mengen an Anionen und Kationen der Aminosäuren vor. Dieser pH-Wert wird als **isoelektrischer Punkt** bezeichnet, da die Moleküle in einem elektrischen Feld aufgrund der neutralen Gesamtladung der Aminosäuren nicht wandern. Der isoelektrische Punkt der verschiedenen Aminosäuren der Proteine ist unterschiedlich, da die Restgruppen Einfluss auf die Moleküleigenschaften ausüben.

Aminosäuren besitzen eine **Pufferwirkung**, d. h. sie können bei Zugabe kleiner Mengen an Säuren oder Basen den pH-Wert konstant halten. Der **isoelektrische Punkt** ist der pH-Wert, bei dem Aminosäuren gleich viele negativ geladene Säuregruppen wie positiv geladene Aminogruppen besitzen.

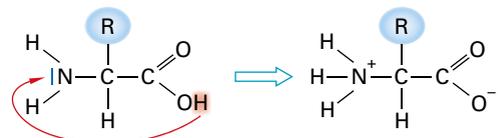


Bild 1
Aminosäuren bilden Zwitterionen

Physiologisch

Den normalen Abläufen und Körperfunktionen des menschlichen Organismus entsprechend

Isoelektrischer Punkt

Der pH-Wert, bei dem die Gesamtladung des Moleküls gleich Null ist und sich positive sowie negative Ladungen ausgleichen

Kondensationsreaktion

Chemische Reaktion, bei der sich zwei Moleküle unter Abspaltung eines einfachen Moleküls (meist Wasser) miteinander verbinden

Hydrolyse

Spaltung einer chemischen Verbindung durch Reaktion mit Wasser

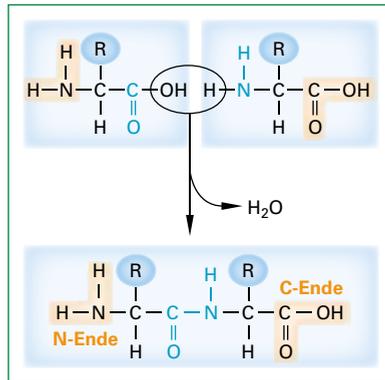


Bild 1 Peptidbindung zwischen zwei Aminosäuren

Aminosäuren können über **Peptidbindungen** miteinander verknüpft werden (Bild 1). Zwischen der Aminogruppe einer Aminosäure und der Carboxylgruppe einer anderen Aminosäure entsteht durch Wasserabspaltung und Bildung einer Peptidbindung ein Dipeptid. Diese Reaktion ist eine **Kondensationsreaktion**. Durch eine **Hydrolyse**-Reaktion, bei der ein Wassermolekül benötigt wird, kann die Peptidbindung wieder gespalten werden. Wird eine dritte Aminosäure über eine weitere Peptidbindung mit dem Dipeptid verknüpft, entsteht ein Tripeptid und durch Einbau weiterer Aminosäuren kann eine längere Polypeptidkette (Oligopeptid) entstehen.

Aminosäuren können über **Peptidbindungen** miteinander verknüpft werden, indem die Aminogruppe mit der Carboxylgruppe einer anderen Aminosäure unter Wasserabspaltung reagiert.

2.1.3 Einteilung der Aminosäuren

Die in Proteinen zu findenden Aminosäuren können üblicherweise 20 verschiedene Restgruppen enthalten: Somit existieren 20 verschiedene **proteinogene Aminosäuren**. Die **Seitenketten** sind von entscheidender Bedeutung für die Ausbildung der dreidimensionalen Struktur, die ein Protein im wässrigen Milieu der Zelle einnehmen kann.

Für diese Aminosäuren gibt es zwei Systeme von Abkürzungen. Das eine **Abkürzungssystem** besteht aus jeweils drei Buchstaben für eine Aminosäure, das andere benutzt einen Ein-Buchstaben-Code. Letzterer Code dient vor allem dazu, die oft langen Sequenzen der Aminosäuren in Peptiden und Proteinen darzustellen. Die Proteinbausteine können aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften, die für die Struktur und die Funktion der Eiweiße von großer Bedeutung sind, in mehrere Klassen unterteilt werden.

Die **Restgruppen der 20 proteinogenen Aminosäuren** sind für die Ausbildung der dreidimensionalen Proteinstruktur entscheidend.

Aminosäuren mit hydrophoben Restgruppen

Hydrophobe Restgruppen wie die **aliphatischen Seitenketten** (Bild 1, S. 19) stoßen Wassermoleküle ab und haben die Neigung, sich zusammenzulagern. Als unpolare Moleküle können sie keine Wasserstoffbrücken (H-Brücken) mit Wassermolekülen eingehen und sind in Wasser schlecht löslich. Die Kohlenwasserstoffketten können aber miteinander kompakte Strukturen ohne größere Zwischenräume bilden. **Glyzin** besitzt als Seitenkette nur ein Wasserstoffatom und ist räumlich die kleinste Aminosäure. **Alanin** als zweitkleinste weist eine Methylgruppe (-CH₃) auf. **Valin**, **Leucin** und **Isoleucin** haben noch größere Kohlenwasserstoffreste und nehmen mehr Platz im Protein ein.

Aminosäuren mit aliphatischen Seitenketten sind hydrophob und bestrebt, sich zur Vermeidung von Wasserkontakt zusammenzulagern.

Proteinogene Aminosäuren

Für die Proteinsynthese verwendete Aminosäuren

Hydrophob

Eigenschaft eines Stoffes, keine Affinität zu Wasser zu haben und sich nicht oder nur in geringem Maße in Wasser zu lösen

Aliphatische Verbindungen

Organische Verbindungen, die aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen (ohne aromatische Ringsysteme)

Aminosäure	Abkürzung	Restgruppe
Glycin	Gly, G	—H
Alanin	Ala, A	—CH ₃
Valin	Val, V	—CH(CH ₃) ₂
Leucin	Leu, L	—CH ₂ —CH(CH ₃) ₂
Isoleucin	Ile, I	—CH—CH ₂ —CH ₃ CH ₃
Methionin	Met, M	—CH ₂ —CH ₂ —S—CH ₃
Prolin	Pro, P	

Bild 1
Aminosäuren mit hydrophoben Restgruppen

Eine hydrophobe Seitenkette besitzt auch **Methionin**, eine der zwei schwefelhaltigen Aminosäuren (Bild 1). Die Aminosäure **Prolin** verfügt über eine **sekundäre Aminogruppe** und unterscheidet sich von allen anderen Aminosäuren dadurch, dass die Seitenkette nicht nur mit dem α -C-Atom, sondern auch mit dem Stickstoffatom der Aminogruppe kovalent verbunden ist.

Aminosäuren mit aromatischen Seitenketten

Einige der Aminosäuren mit **aromatischen** Seitenketten wie Phenylalanin und Tryptophan sind stark hydrophob (Bild 2). Die Aminosäure **Phenylalanin** besitzt einen Phenylring (Benzolring) und **Tryptophan** einen Indolring, der außer Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen noch ein Stickstoffatom enthält. Die aromatische Aminosäure **Tyrosin** besitzt eine Hydroxylgruppe (-OH), die dazu führt, dass diese Aminosäure weniger hydrophob als Phenylalanin ist.

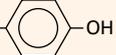
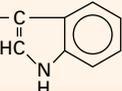
Aminosäure	Abkürzung	Restgruppe
Phenylalanin	Phe, F	—CH ₂ — 
Tyrosin	Tyr, Y	—CH ₂ — 
Tryptophan	Trp, W	—CH ₂ — 

Bild 2
Aminosäuren mit aromatischen Restgruppen

Polare Aminosäuren mit geladenen Restgruppen

Verschiedene Aminosäuren besitzen polare Aminosäurereste, die eine hohe Affinität zu Wasser und damit **hydrophile** Eigenschaften haben. Die Seitengruppen dieser Aminosäuren können geladen oder ungeladen sein.

Die **geladenen Seitengruppen** bestehen aus einer Aminogruppe oder einer Carboxylgruppe (Bild 1, S. 20). Entsprechend werden die polaren Aminosäuren mit einer Ladung an der Restgruppe in basische und saure Aminosäuren unterteilt.

Aminosäuren mit einem polaren Rest besitzen eine hydrophile Seitengruppe, die geladen oder ungeladen sein kann.

Sekundäre Aminogruppe

Aminogruppe, deren Stickstoffatom mit zwei Kohlenstoffatomen verbunden ist

Aromatische Verbindungen

Organische Verbindungen, die Ringstrukturen besitzen und stabil bzw. wenig reaktiv sind

Hydrophil

Eigenschaft eines Stoffes, Affinität zu Wasser zu haben und sich in Wasser zu lösen

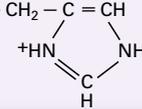
Aminosäure	Abkürzung	Restgruppe	
Lysin	Lys, K	$-(\text{CH}_2)_4-\text{NH}_3^+$	basische Aminosäuren
Arginin	Arg, R	$-(\text{CH}_2)_3-\text{NH}-\text{C}(\text{NH}_2)=\text{NH}_2^+$	
Histidin	His, H	$-\text{CH}_2-\text{C}(\text{NH}^+)=\text{CH}-\text{NH}$ 	
Asparaginsäure	Asp, D	$-\text{CH}_2-\text{COO}^-$	saure Aminosäuren
Glutaminsäure	Glu, E	$-(\text{CH}_2)_2-\text{COO}^-$	

Bild 1
Aminosäuren mit geladenen Restgruppen

Physiologischer pH-Wert

pH-Wert innerhalb von Zellen, zwischen 7,0 und 7,5

Zu den **basischen Aminosäuren** gehören Lysin, Arginin und Histidin. **Lysin** und **Arginin** haben sehr lange Seitenketten und sind aufgrund der zusätzlichen Aminogruppe bei neutralem pH-Wert positiv geladen. Die Seitenkette von **Histidin** hat eine aromatische Ringstruktur aus drei Kohlenstoff- und zwei Stickstoffatomen, einen sogenannten Imidazolring. Er kann im **physiologischen pH-Bereich** protoniert oder deprotoniert sein und damit in ungeladener Form oder mit positiver Ladung vorliegen.

Basische Aminosäuren sind Lysin, Arginin und Histidin. Sie enthalten im Rest eine Aminogruppe, die im physiologischen pH-Bereich positiv geladen ist.

Asparaginsäure und **Glutaminsäure** sind die **sauren Aminosäuren**, die in Proteinen enthalten sind. Bei physiologischem pH-Wert liegen ihre Seitenketten überwiegend negativ geladen vor. Die Anionen, die bei der Deprotonierung der Carboxylgruppen entstehen, werden **Aspartat** bzw. **Glutamat** genannt.

Saure Aminosäuren wie Asparaginsäure und Glutaminsäure enthalten im Rest eine Carboxylgruppe, die bei pH 7 negativ geladen ist.

Amide, Säureamide

Verbindung einer organischen Säure mit einem Amin (formal: Ersetzung der OH-Gruppe der Carboxylgruppe durch -NH oder -NH₂)

Polare Aminosäuren mit ungeladenen Restgruppen

Weitere Aminosäuren besitzen hydrophile Seitenketten z. B. solche, die wie **Serin** und **Threonin** eine Hydroxylgruppe an ihren aliphatischen Seitenketten besitzen (Bild 1, S. 21).

Asparagin und **Glutamin** sind von den sauren Aminosäuren Asparaginsäure und Glutaminsäure abgeleitete Verbindungen (Derivate). Sie haben statt der endständigen Carboxylgruppe eine **Amidgruppe** und weisen damit keine Ladung am Rest auf. Die zweite Aminosäure mit einem Schwefelatom **Cystein** enthält eine Sulfhydrylgruppe (-SH), die sehr reaktiv ist und mit anderen Cysteinmolekülen Disulfidgruppen (S-S- oder Schwefelbrücken) bilden kann.

Aminosäuren mit **ungeladenen polaren Restgruppen** sind Serin und Threonin, die eine OH-Gruppe am Rest aufweisen, die Säureamide Asparagin und Glutamin sowie Cystein mit einer SH-Gruppe.