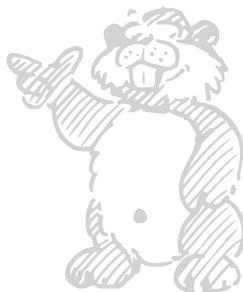


E. Schubert

**Physiologie des Menschen -  
Grundriss für  
medizinische Fachberufe**



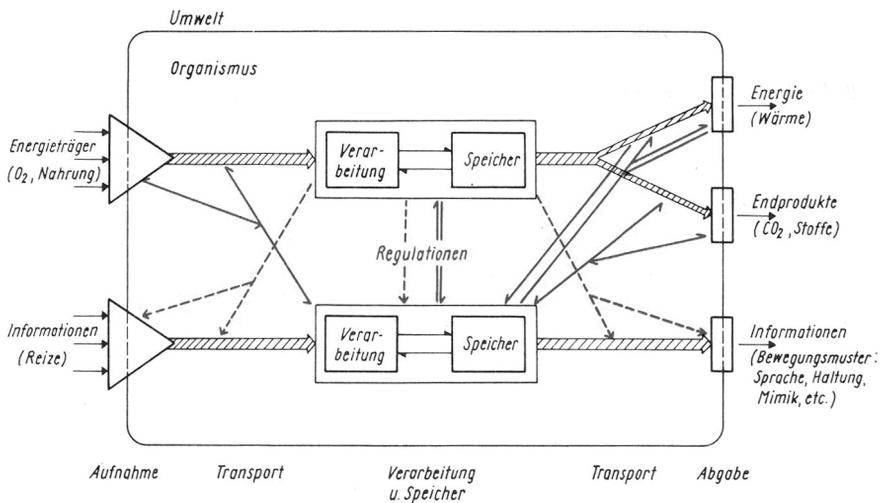
Verlag Wissenschaftliche Scripten

# 1 Allgemeine Physiologie

Die Physiologie ist die **Lehre von den Lebensabläufen** des tierischen, pflanzlichen und menschlichen Organismus. Sie erforscht und erklärt die Vorgänge, die sich als Kennzeichen des „Lebens“ in den Lebewesen als einer Gesamtheit und in ihren Bestandteilen abspielen. Ihr Gegenstand sind daher die funktionellen Gesichtspunkte der Biologie, die sich während ihrer Entwicklung als Wissenschaftsdisziplin den morphologischen der Untersuchung und Beschreibung von Gestalt und Aufbau gegenübergestellt haben, welche die Anatomie vermittelt.

Für die Physiologie gelten als **Kennzeichen des Lebens** Vorgänge und Zusammenhänge, die sich in 4 Sachverhalten äußern:

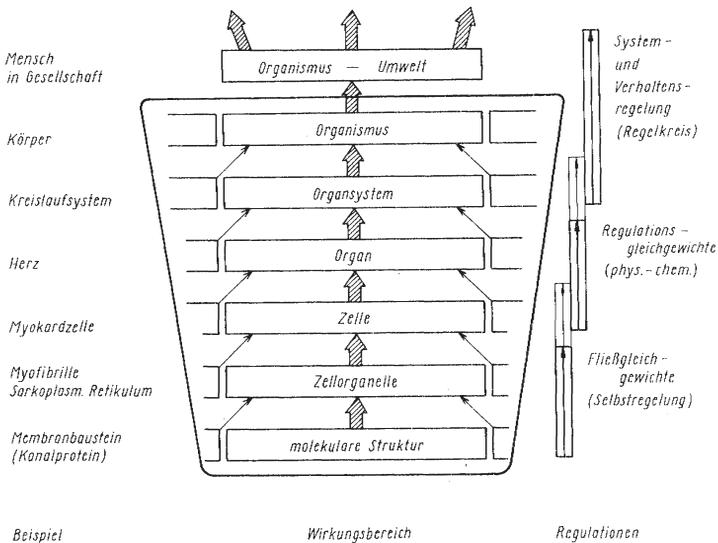
- Der Organismus existiert als **diskretes offenes System**, also als **dynamisches Gleichgewicht** in seiner Umwelt. Dieses Fließgleichgewicht kommt in dem fortlaufenden Austausch von Stoff, Energie und Information mit der Umgebung zum Ausdruck (Abb. 1).
- Der Organismus bewahrt sich den Charakter eines **stabilen Gleichgewichtes**. Das heißt, er erhält einen stabilen Bestand seiner Strukturen mit Kommunikation, Transport und Abstimmungen für ein ganzes Leben aufrecht. Das geschieht unabhängig von wechselnder Umwelt.
- Der Organismus besitzt **Anpassungsfähigkeit**. Infolgedessen reagiert er auf Einwirkungen und paßt sich Veränderungen des von ihm kontrollierten Milieus an.



**Abb. 1:** Das System Mensch – Umwelt mit den Wegen des Austausches für Stoff und Energie (oben) und Information (unten) sowie den regulativen Wechselbeziehungen zwischen beiden Austauschwegen

- ◆ Der Organismus besteht wie seine Bauteile nur für eine **begrenzte Lebenszeit**. Sein eigenes Leben gewährleistet er durch Entwicklung und Erneuerung seiner Bauteile. Der Fortbestand des Lebens wird durch die Fortpflanzungsfunktionen gesichert.

Die Lebensvorgänge spielen sich abgestimmt innerhalb des Körpers und zwischen Körper und Umwelt ab. Die Abstimmung betrifft alle Baueinheiten von der molekularen Ebene über Zelle und Organ bis zum Organismus. Sie erfordert, wie bei allen vielzelligen Lebewesen, eine **hierarchische Einordnung** der einfacheren in die integrierten Funktionsweisen der übergeordneten Bauteile (Abb. 2).



**Abb. 2:** Die hierarchische Ordnung im Aufbau des Organismus

Die hierarchische Ordnung gilt für alle Funktionsgebiete. Sie bedingt für die Abstimmungen zwischen den Ebenen den Einsatz unterschiedlicher Anpassungs- und Regulationsmechanismen. Dabei wächst der Aufwand in höheren Ebenen. Das Studium der Lebensfunktionen der Organe setzt neben der Kenntnis der Strukturen in denen sie ablaufen, eine Übersicht über die **Gesetze der allgemeinen Physiologie** voraus, die dem biologischen Geschehen zugrunde liegen. Dazu zählen:

- ◆ **Wesen und Inhalt** der Physiologie als ihre erkenntnistheoretische, historische und sachlich-systematische Bedingtheit;
- ◆ allgemeine **Grundlagen der Lebensabläufe** mit den naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten der Bausteine, Funktionsweisen und Wechselwirkungen sowie
- ◆ Funktionsregeln des **Organismus als geordneter Zellverband** mit den allgemeinen Regeln der Erregungsvorgänge beim Informationswechsel, des Stoff- und Energiewechsels und der biologischen Regelmechanismen.

## 1.1 Wesen und Inhalt der Physiologie

Die Physiologie des Menschen behandelt Prozesse, die

- ◆ in Bauteilen der Zellen (Molekularphysiologie),
- ◆ in Zellen (Zellphysiologie),
- ◆ in Zellverbänden und Organen (Organphysiologie),
- ◆ in Organsystemen und Gesamtorganismus (Systemphysiologie) und
- ◆ im Austausch des Menschen mit natürlicher und sozialer Umwelt ablaufen.

Die **Arbeitsweise** der Physiologie ist **dynamisch**, d. h., sie untersucht die Mechanismen der Lebensvorgänge im Verlauf der Zeit, betrachtet die Einwirkungen der normalen Lebensbedingungen und ermittelt deren Kenngrößen und Grenzen. Das geschieht durch Analyse und Integration. Hierbei werden komplexe Abläufe in Teilprozesse zerlegt und ihre Funktionsbedingungen mit Mitteln der Physik und Physikalischen Chemie und in der Physiologischen Chemie mit denen der Chemie bestimmt. Die folgende Integration fügt erkannte Teilprozesse mit Hilfe biomathematischer und biokybernetischer Verfahren zu komplexen Lebensvorgängen zusammen. Notwendige Voraussetzung für dieses Vorgehen ist die Kenntnis aller Struktureigenschaften des Organismus.

Die Physiologie mit ihrem dynamischen, auf Prozesse orientierten Vorgehen steht somit im **methodischen und erkenntnistheoretischen Gegensatz** zur auf statische Beschreibung ausgerichteten Anatomie. Dieser ist ein Ausdruck des **Dualismus von Form und Inhalt** und findet seine Auflösung in der gegenseitigen Bedingtheit von Anatomie und Physiologie für die Biologie des menschlichen Organismus. Strukturen sind ohne Funktionen und Funktionen ohne Strukturen unverständlich oder bedeutungslos. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, beide methodischen Wege und die verschiedenen ihnen innewohnenden Denk- und Erkenntnisweisen zu beherrschen, um biologische Gesetzmäßigkeiten erkennen und anwenden zu können.

### 1.1.1 Entwicklung der Physiologie

Die Entwicklung der Physiologie ist eng an die der **Naturwissenschaften** gebunden. Im Altertum finden sich in Griechenland, Rom und im Arabischen Reich Forschungen über Lebensfunktionen.

Heute noch bedeutsame physiologische Erkenntnisse entstehen im Ausgang des Mittelalters mit dem Beginn naturwissenschaftlichen Denkens und seiner Anwendung auf den menschlichen und tierischen Organismus, wobei zunächst Strukturbetrachtungen den Vorrang haben. So entwickeln sich im beginnenden 17. Jahrhundert die Grundlagen der Kreislaufphysiologie, besonders durch William Harvey (1578 – 1657, Arzt in London) und im 18. Jahrhundert die der Allgemeinen Physiologie durch Albrecht v. Haller (1708 – 1777, Professor für Medizin in Göttingen und Bern), der auch das erste Lehrbuch der Physiologie verfaßte.

Der Ausbau der Naturwissenschaften im Zuge der technischen Revolution während der Ausbildung der kapitalistischen Produktionsweise zu Beginn des 19. Jahrhunderts erteilt auch der Physiologie entscheidende Impulse und löst sie um 1850 aus der bisherigen Gemeinsamkeit mit der Anatomie als selbständige Wissenschaftsdisziplin.

Der Ausbau der **analytischen Physiologie** vollzieht sich in experimentell-naturwissenschaftlicher Forschung auf erkenntnistheoretisch-materialistischer Grundlage. Eine entscheidende Rolle spielt dabei die Auseinandersetzung mit dem naturphilosophischen „Vitalismus“, der idealistisch-philosophischen Lehre von einer imaginären „Lebenskraft“ an der Stelle physikalisch bestimmbarer Gesetzmäßigkeiten. Vorkämpfer sind Johann Evangelista Purkinje (1787 bis 1869, Breslau und Prag), Emil Dubois-Reymond (1818 – 1896, Berlin), Claude Bernard (1813 – 1878, Paris), Carl Ludwig (1816 – 1895, Leipzig) und viele ihrer Schüler, deren Wirken weit bis ins 20. Jahrhundert reicht.

Den **Ausbau der integrativen Arbeitsweise** eröffnen Untersuchungen zur Funktion des Zentralnervensystems, bei denen I. P. Pawlow (1849 – 1936, Petersburg/Leningrad) und C. S. Sherrington (1859 – 1952, Liverpool, Oxford) bahnbrechend wirken. Der gegenwärtige Aufschwung der Neurophysiologie bis in die Neurobiologie setzt diese Arbeiten fort. Die analytische Physiologie arbeitet besonders im Bereich der Molekularphysiologie an der Aufklärung von Elementarfunktionen in Membranen, Muskeln, Rezeptoren u. a.

### 1.1.2 Gegenstand und Methoden der Physiologie

Mit den Abläufen der Lebensvorgänge umfaßt der **Gegenstand der Physiologie** vier Teilgebiete, die die Wechselwirkungen seiner Funktionen mit der Umwelt, deren Abstimmung und ihre Entwicklung umfassen:

Mit dem **Funktionssystem des Stoff- und Energiewechsels** gewährleistet der menschliche Organismus den Bestand seiner hochentwickelten Strukturen und den Betrieb der Lebensvorgänge durch Austausch von Stoffen und Energien mit seiner Umwelt.

Das **Funktionssystem des Informationsaustausches** ermöglicht ihm die Orientierung innerhalb der biologischen und gesellschaftlichen Umwelt sowie ihre Beeinflussung und Gestaltung.

Beide Systeme besitzen Bauteile zur Aufnahme aus der Umwelt, zu Transport, Speicherung und Verarbeitung im Organismus und zur Abgabe oder Einwirkung auf die Umwelt.

Die **physiologischen Regulationen** besorgen die Abstimmung und Anpassung der Einzelprozesse im Organismus und die Einstellung der für seinen Bestand in der Umwelt notwendigen oder günstigsten Bedingungen (s. Abb. 1).

Die **Funktionen von Entwicklung und Fortpflanzung** sichern nach dem genetisch festgelegten Ablaufplan Aufbau und Tätigkeit der Strukturen, die für diese Vorgänge notwendig sind, und die Fortpflanzung der Lebensfunktionen auf die Nachkommen.

Damit ergeben sich für die Darstellung der Physiologie des Menschen 4 Teilgegenstände:

- ◆ Physiologie des Stoff- und Energiewechsels
- ◆ Physiologie des Informationsaustausches
- ◆ Physiologie der Regulationen
- ◆ Physiologie der Entwicklung und Fortpflanzung

Die **Methoden der Aufklärung und Beschreibung der Lebensfunktionen** hat die Physiologie mit vielen naturwissenschaftlichen Fächern gemeinsam. Die **experimentell-analytische Forschung** erfolgt entsprechend dem Prinzip der dialektischen Einheit von Theorie und Praxis durch theoretische Bildung einer Hypothese, abgeleitet aus bereits bekannten Tatsachen, ihre praktische Überprüfung im Experiment, häufig aus ethischen und technischen Gründen am Tier, also im Tierversuch, oder in der Zelle, etwa in der Zellkultur und die folgende Auf-

stellung der gesicherten Theorie. Das Vorgehen der **integrativen Forschung** besitzt als wesentliche Methode die Entwicklung von Modellen, mit deren Hilfe Teilfunktionen zusammengefaßt und gemäß dem dialektischen Prinzip von Teil und Ganzem neue Eigenschaften des komplexen Systems vorausgesagt und erkannt werden können.

Das **Experiment** vollzieht sich als Bestimmung des Verhaltens einer oder mehrerer biologischer Größen, etwa durch Messung von Herzfrequenz, Blutdruck, Atemtiefe oder von Membrandurchlässigkeit, Erregbarkeit und Erregungsstärke an Sinnesorganen u. a. Im Verlauf des Versuches werden die Einwirkung bekannter oder in ihrem Effekt vermuteter Einflüsse überprüft und die Resultate zur Erklärung der normalen Lebensprozesse, ihrer Grenzen oder der mit den Prozessen einhergehenden gestaltlichen oder chemischen Änderungen benutzt. Auf diese Weise können noch unbekanntere Vorgänge entdeckt, erklärt und in ihrer Bedeutung für das Leben des Organismus eingeschätzt werden. Ein modernes Beispiel dafür ist die Aufklärung der Energiebereitstellung in der Muskelzelle, die durch gleichzeitige Messungen von Verkürzung, biochemischem Stoffumsatz und mikroskopischer Gestaltänderung erfolgt. Ihre Anwendung hat z. B. für die Erkennung und Behandlung von Herzkrankheiten wichtige Fortschritte geliefert.

Die **Aufstellung von Modellen** begann mit dem Reflexmodell in der Neurophysiologie. Mit Hilfe von Biokybernetik und biologischer Systemtheorie hat sie, ausgehend vom „Regelkreis“, zur Ausarbeitung komplexer Modelle zentralnervöser und regulationsphysiologischer Funktionsgebiete geführt. Dabei wird auch die mathematische Modelltheorie mit Erfolg zur Untersuchung von Zusammenhängen, die sich mit dem bloßen Tierversuch nicht aufklären lassen, herangezogen. Ein einfaches Beispiel hierfür ist die Anwendung des Verfahrens des „Schwarzen Kastens“ (black box), über dessen Funktionsweise Angaben ohne Kenntnisse von Einzelstrukturen gewonnen werden können.

### 1.1.3 Die Beziehungen der Physiologie zu Naturwissenschaften und Medizin

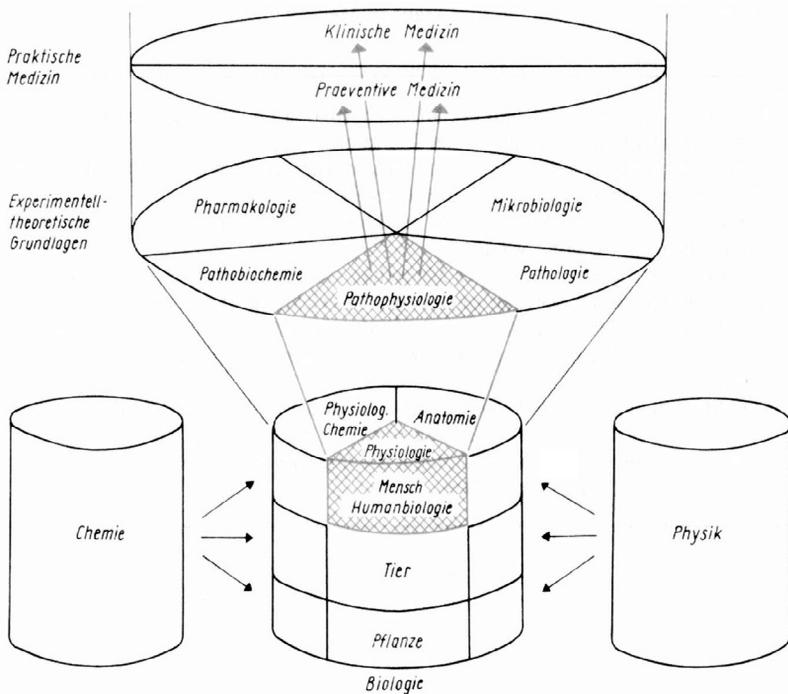
Im Bereich der Naturwissenschaften ist die Physiologie als Lehre der Funktionen **Baustein der Biologie**, deren wesentliche Teile sie gemeinsam mit der Anatomie als der Strukturlehre und der Physiologischen Chemie als der Lehre der Stoffe im Leben darstellt. Ihnen treten weitere Teilgebiete, z. B. Genetik und Ökologie, an die Seite. Damit steht die Physiologie in der Biologie neben den Naturwissenschaften Physik, Chemie u. a. Zu diesen besitzt sie enge Beziehungen. Sie kommen besonders in dem Nachweis der Gültigkeit physikalischer und chemischer Naturgesetze im Leben sowie in der Nutzung physikalischer Untersuchungsmethoden und Schlußweisen zum Ausdruck. So führte beispielsweise der Berliner Physiologe Max Rubner Anfang des Jahrhunderts den Beweis, daß die Energiesätze der Thermodynamik auch für Mensch und Tier gelten.

Über die Gesetze der unbelebten Natur hinaus formuliert die Biologie selbständig **biologische Gesetzmäßigkeiten** nach den in den Naturwissenschaften gültigen Regeln und belegt damit die Determiniertheit der Welt im Bereich des Lebenden.

Die Einordnung in die Biologie bewirkt die Abgrenzung **spezieller Arbeitsgebiete**, wie Allgemeine Physiologie, Vergleichende Physiologie oder Entwicklungsphysiologie, in denen Gesetzmäßigkeiten untersucht werden, die den verschiedenen Lebensformen von Pflanze, Tier und Mensch gemeinsam sind oder sie miteinander in Beziehung bringen.

Im Bereich der **medizinischen Wissenschaften** steht die Physiologie des Menschen als Teildisziplin neben Anatomie und Physiologischer Chemie, mit denen sie die **Humanbiologie** bildet. Dieser steuert sie aus den allgemeinen physiologischen Arbeitsgebieten die speziellen Tatsachen und Zusammenhänge der menschlichen Lebensvorgänge und einen Nachweis der allgemeinen Gültigkeit der Naturgesetze bei. Darüber hinaus erbringt sie in den Teilgebieten des Informationswechsels und der Regulationen Grundlagen zum Verständnis der Einordnung des Menschen in die natürliche und gesellschaftliche Umwelt. Sie zeigt seine Determiniertheit

auch durch gesellschaftliche Gesetze und die Möglichkeiten der bewußten Beeinflussung und Gestaltung der natürlichen und gesellschaftlichen Umwelt durch den Menschen (Abb. 3).



**Abb. 3:** Die Einordnung der Physiologie als Teil der Biologie in die Naturwissenschaften (unten) und als Grundlagenfach im Aufbau der medizinischen Wissenschaften (Mitte)

Daraus ergeben sich wichtige **Schlußfolgerungen** für die Anleitung zu bewußter Gestaltung der Lebensbedingungen durch den Menschen, z. B. in gesunder Lebensführung, natürlich „positiv orientierter“ Gesundheitserziehung und Aufbau und Befolgung der Regeln der Hygiene für alle Lebens- und Altersbereiche. Somit fallen der Physiologie innerhalb der Medizin 2 wichtige Aufgaben zu:

- ♦ als Lehre von den normalen Lebensfunktionen liefert sie die **wissenschaftlichen Grundlagen für gesunde Lebensführung** und die gesunde Umweltgestaltung. Hier wird sie besonders in den Teilgebieten der angewandten Physiologie wie Arbeitsphysiologie, Sportphysiologie, Raumfahrtphysiologie u. a. wirksam und bestimmt die Maßnahmen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes mit;
- ♦ als Pathophysiologie bereitet sie in der allgemeinen Krankheitslehre das **Verständnis von Krankheitsmechanismen aus gestörten Funktionen** vor, die morphologisch nicht immer erkennbar sind, und schafft und erklärt Untersuchungsverfahren und Behandlungsmöglichkeiten für solche Krankheiten.

Die Kenntnis der Physiologie ergänzt damit das medizinische Grundlagenwissen über die Strukturlehre der Anatomie hinaus. Sie bereitet die fachgerechte Erkennung und Behandlung wichtiger Krankheiten vor und weist jedem in der Medizin Tätigen den Weg zur bewußten Führung des Patienten und zur optimalen Gestaltung der Umwelt des gesunden und kranken Menschen.

- 
- Die Physiologie erforscht und erklärt die normalen Lebensvorgänge und ergänzt damit die Strukturbeschreibung der Anatomie.
  - Lebensvorgänge spielen sich im molekularen Bereich, in Zelle, Organ, Organsystem und zwischen Organismus und Umwelt ab.
  - Die Physiologie entwickelt sich mit der Physik und Chemie. Sie ist eigene Wissenschaftsdisziplin seit etwa 1850.
  - Gegenstände der Physiologie des Menschen sind Stoff- und Energiewechsel, Informationsaustausch, Regulationen sowie Entwicklung und Fortpflanzung.
  - Die Methoden der Physiologie sind die dynamische Analyse der Teilvorgänge des Lebens im Experiment und deren Synthese in der Modellbildung.
  - Der Medizin liefert die Physiologie die Grundlagen für eine bewußte und gesunde Arbeits- und Lebensgestaltung sowie für die Erklärung von Krankheiten.
  - In der Biologie wendet die Physiologie die Gesetze der Physik an und erforscht die biologischen Funktionsgesetze.
- 

### Kontrollfragen

1. Beschreiben Sie Gegenstand und Arbeitsweise der Physiologie im Gesetz zur Anatomie!
2. Welches sind die physiologischen Kennzeichen des Lebens?
3. Welche Methoden benutzt die physiologische Forschung?
4. Wie ordnet sich die Physiologie des Menschen in Medizin und Naturwissenschaften ein?
5. Welche Erkenntnisse vermittelt die Physiologie für das Verständnis naturwissenschaftlich-medizinischer oder gesellschaftlicher Aufgaben?

## 1.2 Allgemeine Grundlagen der Lebensprozesse

Die Lebensvorgänge äußern sich in **physikalischen Erscheinungen**, wie Fortbewegung durch Muskeln, Stofftransporte in Niere oder Darmkanal, Stoffproduktion und -abgabe in Drüsen, Informationsverarbeitung im ZNS u. a. Die dazu nötige Energie und die Ausgangsstoffe werden aus chemischen Reaktionen gewonnen.

Die kleinste **Struktureinheit** mit unabhängiger und vollständiger Ausführung von Lebensvorgängen ist die **Zelle**. Bei den Vielzellern hat eine Differenzierung auf spezielle Funktionen stattgefunden. Diese werden unabhängig und selbständig erfüllt. Daher können z. B. in Zellkulturen Leben und Fortpflanzung einer isolierten Zellart mit ihren Eigenarten über Generationen bestehen.

Die Beiträge zum Zelleben werden von Organellen der Zelle wahrgenommen, die das Zytoskelett bilden. Ihre Bausteine werden aus Stoffen aufgebaut, die mit der Nahrung aufgenommen werden. So kommen in den Bestandteilen der Zelle nur ausgewählte Substanzen vor.

Im Vielzeller sind die Zellen vom **interstitiellen Raum** umgeben. Er ist mit der interstitiellen Flüssigkeit ausgefüllt, die Verbindungen zwischen den Zellen und zum Transportsystem Kreislauf schafft. Daher stehen alle Zellen mit ihm im Austausch. Die Betrachtung der allgemeinen Grundlagen der Lebensabläufe bezieht sich auf:

- ♦ die **Bausteine der lebenden Systeme** als Stoffe und ihr Verhalten,
- ♦ die **Strukturen der Lebensvorgänge** in der Zelle und
- ♦ den **Austausch** zwischen Zelle und Umgebung.

### 1.2.1 Die Bausteine lebender Systeme

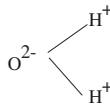
Die Zelle besteht überwiegend aus **organischen Substanzen** mit einem komplexen Aufbau und erheblichen Molekülgrößen. Zu ihnen zählen die Proteine, Lipide und Kohlenhydrate. Daneben finden sich anorganische Salze und Wasser. Die Eigenschaften dieser Substanzen bestimmen ihre biologische Funktion im Zellgeschehen. Sie sind weitgehend aus ihrem Aufbau verständlich.

Im einzelnen sind zu beachten:

- ♦ das **Wasser** und seine Eigenschaften für die Lebensvorgänge,
- ♦ die **Elektrolyte** der Körperflüssigkeiten als Lösungen,
- ♦ die **Proteine** und ihre Eigenschaften,
- ♦ die **Lipide**, ihr Aufbau und ihre Wirkungen sowie
- ♦ die **Kohlenhydrate** und ihre Eigenschaften.

#### 1.2.1.1 Wasser

Wasser besteht aus H und O nach der **Formel  $\text{H}_2\text{O}$** . Die räumliche Gestalt seiner Ladungsverteilung ist unsymmetrisch:



so daß ein Dipolmoment entsteht. Wasser ist chemisch neutral und leitet von sich aus keine Reaktionen ein.

Die H-Atome können Wassermoleküle durch **Wasserstoffbrücken** miteinander verbinden, da ihr kleiner Atomradius die Wirkung ihrer Ladung auf die Nachbarschaft möglich macht. Infolgedessen kann  $\text{H}_2\text{O}$  in Molekülverbänden auftreten.

Über die **Bindungskraft der H-Atome** entstehen leicht Anlagerungen an andere Atome oder Moleküle. Daraus erklären sich die Bildung von Hydratationshüllen und die bevorzugte Wirkung als Lösungsmittel bei anorganischen und organischen Ionen. Hierbei wird das dipolartige  $\text{H}_2\text{O}$ -Molekül gerichtet angelagert. Zur Wasseranlagerung günstige Molekülstrukturen,

z. B. COOH-Gruppen organischer Säuren, werden als hydrophil bezeichnet. Dem stehen die hydrophoben Gruppen, z. B.  $-\text{CH}_3$  der Lipide entgegen, die Wasserbindung verhindern. Die Lösungsfähigkeit läßt das Wasser auch Membranen und Feststoffe gut durchdringen.

Die **Aufbaueigenschaften** des  $\text{H}_2\text{O}$  als geordneter Molekülverband bedingen hohe spezifische Wärme und große Verdampfungsenergie. Das befähigt  $\text{H}_2\text{O}$  zu Aufnahme und zum Transport großer Wärmemengen ohne starke Temperaturänderungen. Außerdem stabilisiert das die Temperatur wasserreicher Gebilde gegen Wärmez- und abfuhr. Der hohe Energieaufwand bei Verdunstung wird im Energiehaushalt ausgenützt. Aus den Eigenschaften des  $\text{H}_2\text{O}$  leiten sich für die Lebensprozesse der Zelle wichtige Funktionen ab. So wirkt es als

- ♦ **natürliches Lösungsmittel** für Atemgase, Elektrolyte und die organischen Substanzen, die es chemisch nicht verändert;
- ♦ **Reaktionsmedium und -mittel** für die chemischen Vorgänge des Stoffwechsels, die nur im gelösten Zustand ablaufen können;
- ♦ **Transportmittel** für Stoffwechselteilnehmer, Wärme und Informationen in Form von Hormonen, die im Körper über große Wege verbreitet werden müssen;
- ♦ **Stabilisierungsmittel** für die Einstellung der Beziehungen zwischen Intra- und Extrazellulärraum, zwischen denen es sich frei bewegt sowie
- ♦ **Stabilisierungsmittel** für die Einstellung der Körpertemperatur, die es wegen seiner großen spezifischen Wärme und hohen Verdunstungsenergie konstant hält.

### 1.2.1.2 Elektrolyte der Körperflüssigkeit als Lösungen

Zellflüssigkeit und interstitielle Flüssigkeit sind **Lösungen** von anorganischen Salzen und organischen Stoffen im Lösungsmittel Wasser. Bei der Lösung zerfallen die meisten Stoffe infolge der Wasseranlagerung (Hydratation) in Ionen, was **Dissoziation** genannt wird. Wegen der Elektroneutralität finden sich dabei An- und Kationen in gleicher Ladungsmenge.

Die Anzahl gelöster Teilchen wird als **Konzentration** in Mol pro Liter gemessen. Für gelöste *Gase* gilt der Partialdruck als Konzentrationsmaß und folgt der gleichen Definition wie in Gasgemischen (2.1.2.1.).

Ionenlösungen leiten den elektrischen Strom und heißen daher **Elektrolyte**. Elektrische Felder, z. B. um die Zellmembran (s. 1.3.2.1.), setzen die Ionen in Bewegung, was Stromfluß und damit Ladungs- bzw. Potentialverschiebungen hervorruft. Erzeugen lokale Stoffwechsel- oder Austauschvorgänge in Lösungen unterschiedliche Konzentrationen an verschiedenen Orten, so gleichen diese sich mit der Zeit aus.

Der Vorgang heißt **Diffusion** und ist ein Transport infolge der thermischen Bewegung der Teilchen. Er läuft von der höheren zur niedrigen Konzentration der Teilchen und erfaßt gelöste Stoffe und Lösungsmittel. Seine Intensität entspricht der Größe der Konzentrationsdifferenz. Er endet, wenn der Konzentrationsunterschied ausgeglichen ist.

Ist der Transport für gelöste Stoffe behindert, aber für Lösungsmittel frei, z. B. an semipermeablen Membranen wie der Zellmembran, dann tritt **Osmose** auf: Das Konzentrationsgefälle treibt das Lösungsmittel zum Ort der höheren Konzentration, bis der Unterschied ausgeglichen ist. So können erhebliche Wassermengen verschoben werden.

Osmotischer Transport läuft gegen die Schwerkraft und kann den Druck in dem Gebiet erhöhen, dem das Wasser zufließt. Seine Höhe entspricht der Konzentrationsdifferenz, die den Transport erzeugt. Bewirken ihn anorganische Stoffe oder andere kleine Moleküle, so heißt er

**osmotischer**, lösen ihn kolloidal gelöste Stoffe aus, so heißt er kolloidosmotischer oder **onkotischer Druck**. Er kann als die Wasserbindungskraft der Ionen oder Kolloidteilchen angesehen werden.

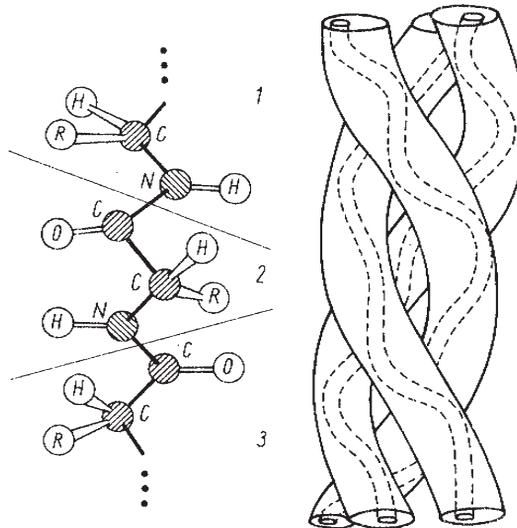
Die Ionen der Elektrolyte dienen in der Zelle

- ♦ dem Aufbau des Membranpotentials und seinen Änderungen
- ♦ der Aktivierung spezieller Zellfunktionen, wie den enzymgesteuerten Reaktionen der aktiven Transporte (s. 1.2.3.2.) und
- ♦ als intrazellulärer Informationsbote, z. B. bei der Muskelkontraktion (s. 3.1.3.)

### 1.2.1.3 Proteine und ihre Eigenschaften

Proteine oder **Eiweiße** sind die häufigsten hoch molekularen Bausteine der Lebewesen. Sie bilden Teile des Zytoskeletts und finden sich in den Körperflüssigkeiten gelöst.

Die **Grundbausteine** der Proteine sind 20 Aminosäuren. Durch Verbindung zwischen ihren  $\text{NH}_2$ - und  $\text{COOH}$ -Gruppen entstehen über die „Aminobindung“ aneinandergeschaltete Aminosäureketten, die Peptide (Abb. 4). Zusammenlagerungen von mehr als 100 Aminosäuren bilden die Proteine. Die hohe Anzahl und die zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten unter den Aminosäuren erklären die Vielfaltigkeit der Proteine.



**Abb. 4:** Grundaufbau der Proteine

Die Abbildung links zeigt den Aufbau der Proteine aus über C- und N-Atome kettenartig aneinandergeschalteten Aminosäuren. Dabei bilden H- und O-Atome sowie die Aminosäurereste R Seitenketten, über die weitere Bindungen möglich sind. Durch die Seitenbrücken entstehen Raumorientierungen, meist als die umeinandergewundenen Ketten der Helixstruktur. Diese sind bei den fibrillären Proteinen, wie dem Kollagen (rechts) und den Muskelproteinen Aktin und Myosin, zu fadenförmigen Gebilden, bei den globulären Proteinen, wie Hämoglobin oder Globulinen, zu kugelförmigen räumlichen Gebilden zusammengesetzt.

Tabelle 1: Proteine und ihre biologischen Funktionen

Art der Proteine	Funktionsbeispiel
Strukturproteine	Membranen der Zelle Aufbau der Bindegewebe (Kollagen, Elastin)
Kontraktile Proteine	Muskelkontraktion (Aktin, Myosin)
Enzyme	Membranständige Transporte, Stoffwechselsteuerung z. B. Citratcyclus, Verdauung im Darmkanal
Transportproteine	O <sub>2</sub> -Transport (Hämoglobin) Lipidtransport (Lipoproteide)
Schutzproteine	Antikörper (Immunglobuline) Blutgerinnung (Fibrinogen)
Hormone	Stoffwechselsteuerung (Insulin, STH)
Speicherproteine	Kasein der Milch
Toxine	Diphtherie-Toxin, Schlangengifte

Über Wasserstoffbrücken im Molekül aneinander gebunden lagern sich die Aminosäureketten zu den gewundenen Strängen der **Helixstruktur** zusammen. In Längsrichtung orientiert verbinden sich diese zu fibrillären oder fadenförmigen Proteinen, wie Kollagen, Fibrin, Myosin oder Aktin. Kommt es zur Aufknäuelung der Fäden, so entstehen die kugelförmigen globulären Proteine, wie die Globuline. Ihre Molekulargewichte liegen bei 10000 und darüber.

Die räumliche Gestalt der Proteine heißt Konformation. Sie beeinflusst ihre Funktion. So werden Ladungsänderungen, z. B. an der Zellmembran, oder Anlagerung von Transmittern wie Ca<sup>2+</sup>, Acetylcholin o. a. über eine Konformationsänderung funktionell wichtiger Proteine im Körper für die Steuerung von Funktionen eingesetzt. Das erfolgt in großem Umfange bei Erregung (1.3.2.2.) und Synapsenfunktion (3.1.2.2.). Auch Verschiebungen von pH oder Temperatur ändern sie. Treten dabei Funktionsstörungen auf, so spricht man von Denaturatation.

Bindungen an anderen Gruppen der Aminosäuren erlauben den Einbau von prosthetischen Gruppen, wie Kohlenhydraten, Lipiden oder Farbstoffgruppen. So entstehen die **Proteide**, die spezielle Funktionen ausfüllen, wie Hämoglobin oder Lipo- und Glycoproteide sowie zahlreiche Enzyme. Die freien COOH- und NH<sub>2</sub>-Gruppen der Aminosäuren und Proteine können H<sup>+</sup>-Ionen abdissoziieren oder anlagern. Damit vermögen sie die Wirkung von Basen oder Säuren zu neutralisieren. Proteine wirken daher wie Puffer (1.2.2.6.) und heißen **Ampholyte**.

Durch die Anlagerung von H<sub>2</sub>O bewirken die Proteine den onkotischen Druck. Proteine erfüllen viele Aufgaben (Tab. 1).

#### 1.2.1.4 Lipide als Körperbausteine

Lipide sind großmolekulare **Verbindungen von Fettsäuren und Alkoholen**. Sie sind hydrophob, lösen sich daher in Wasser nur unter Vermittlung von oberflächenaktiven Stoffen, z. B. Gallensäuren oder Lipoproteiden.