

1 Anatomie und chemische Grundlagen

In diesem Kapitel...

- Die Grundlagen der Anatomie
- Die wichtigsten Bausteine der organischen Materie
- Welche Bindungen zwischen zwei Atomen gebildet werden
- Die Unterschiede zwischen organischen und anorganischen Verbindungen
- Die vier Klassen von organischen Molekülen
- Wie chemische Reaktionen in biologischen Systemen ablaufen

Sie interessieren sich für die menschliche Anatomie? Bestimmt, denn sonst hätten Sie dieses Buch vermutlich gar nicht erst gekauft. Vielleicht kennen Sie sich auf diesem Gebiet schon recht gut aus, doch nun wüssten Sie gern mehr über die Struktur und die Funktion Ihres Körpers. Selbst wenn Sie sich mit der Chemie bisher nicht so recht anfreunden konnten, werden Sie leider ohne ein gewisses chemisches Basiswissen nicht auskommen. Keine Sorge – die meisten Themen in diesem Kapitel sind Ihnen sicherlich bestens vertraut. Organische Moleküle wie Kohlenhydrate, Lipide (Fette, Cholesterin, Steroide) und Proteine werden Ihnen als Grundpfeiler einer gesunden Ernährung schon oft in einem anderen Kontext begegnet sein. Werfen wir daher in diesem Kapitel (nach einigen leider ebenfalls notwendigen Begriffsdefinitionen) einen gezielten Blick auf Ihren wöchentlichen Lebensmitteleinkauf und auf die für den menschlichen Metabolismus unverzichtbaren Moleküle ...!

Was ist Anatomie, was ist Physiologie?

Die Anatomie ist die Lehre des Körperaufbaus und der Beziehung zwischen den Körperteilen. Die Physiologie ist die Lehre der Funktion von den Körperteilen und dem Körper als Ganzes. Zu den besonders spannenden Spezialgebieten dieser beiden Disziplinen zählen unter anderem:

- Die *makroskopische Anatomie* – das Studium der Körperteile, die mit dem bloßen Auge erkennbar sind wie das Herz oder die Knochen.
- Die *Histologie*, die sich mit dem Studium der Gewebe auf mikroskopischer Ebene befasst.
- Die *Zytologie* – die Analyse von Zellen auf mikroskopischer Ebene.
- Die *Neurophysiologie*, die untersucht, wie die Reizweiterleitung funktioniert.

Die Organisation lebender Systeme

Lebende Systeme lassen sich aus verschiedenen Perspektiven heraus betrachten, die von einem globalen, also die ganze Erde umfassenden Blickwinkel bis hin zur Analyse einzelner Atome reichen können. Jede dieser Perspektiven liefert ihre eigenen wertvollen Informationen, wie und warum lebende Systeme funktionieren:

- Auf chemischer Ebene schaffen **Atome**, **Moleküle** (Kombinationen von Atomen) und die chemischen Bindungen zwischen den Atomen ein Netzwerk, auf dem jeder Lebensprozess beruht.
- Die **Zelle** ist die kleinste Einheit des Lebens. Organellen innerhalb der Zelle sind hochspezialisierte Einheiten, die bestimmte zelluläre Funktionen erfüllen. Auch Zellen können für bestimmte Aufgaben spezialisiert sein – zum Beispiel die Nerven-, Knochen- oder Muskelzellen.
- Ein *Gewebe* ist eine Gruppe von ähnlichen Zellen, die als Verband agieren. Das Muskelgewebe besteht zum Beispiel aus Muskelzellen.
- Ein *Organ* besteht aus unterschiedlichen Geweben, die gemeinsam eine bestimmte Aufgabe erfüllen. Das Herz ist ein Organ und besteht aus Muskel-, Nerven-, Binde- und epitheliale Gewebe.
- *Organsysteme* sind aus zwei oder mehr Organen aufgebaut, die einen komplexen Vorgang koordiniert bearbeiten. Im Verdauungssystem kooperieren viele Organe, um die Versorgung des Körpers mit Nährstoffen zu gewährleisten, zum Beispiel Mund, Magen, Dünn- und Dickdarm.
- Ein *Organismus* ist ein System, das durch die Grundeigenschaften aller lebenden Systeme charakterisiert ist – die Fähigkeit, Energie aufzunehmen und zu verwerten, die Fähigkeit, auf Veränderungen in der Umgebung zu reagieren und die Reproduktionsfähigkeit.

Homöostase

Eine Gemeinsamkeit aller lebenden Systeme ist die Homöostase, also die Aufrechterhaltung stabiler Bedingungen innerhalb bestimmter Grenzen. In vielen Fällen werden diese stabilen Bedingungen durch negative Rückkopplungsschleifen (negative Feedback-Regulation) aufrechterhalten.

Bei einem **negativen Feedback** registriert ein Sensorsystem (der Rezeptor) eine Veränderung der Umweltbedingungen, die über die vorgegebenen Grenzen hinausgeht. Ein Kontrollzentrum oder Integrator (oft das Gehirn) bewertet diese Veränderung und aktiviert im Zweifelsfall einen zweiten Mechanismus (den Effektor), der die Bedingung korrigiert. Das mag gerade alles sehr theoretisch klingen, ist aber im Grunde genommen ganz einfach – ein System misst die aktuellen Werte und klingelt Alarm, wenn diese nicht passen sollten, das zweite System korrigiert dann die Schiefelage.

Effektoren sind beispielsweise diejenigen Zellen, die den Zucker Glukose aus dem Blut aufnehmen und speichern oder wieder in das Blut freisetzen, um den Blutzuckerspiegel konstant zu halten. Die Bedingungen werden ständig von Rezeptoren gemessen und vom Kontrollzentrum Gehirn evaluiert. Sobald das Kontrollzentrum registriert, dass sich die Bedingungen wieder innerhalb der normalen Grenzen bewegen, werden alle Korrekturaktionen gestoppt. Bei einer negativen Feedback-Schleife wird also im Fall von abweichenden Bedingungen eine Reaktion gestoppt oder dieser entgegen gesteuert, bis die normalen Bedingungen wieder erreicht sind.

BEISPIEL

Die Regulation der Glukosekonzentration im Blut zeigt sehr anschaulich, wie sich die Homöostase durch ein negatives Feedback aufrechterhalten lässt. Nach einem üppigen Frühstück steigt die Blutzuckerkonzentration aufgrund der erhöhten Aufnahme des Zuckers Glukose im Verdauungstrakt an. Als Reaktion auf diesen Anstieg der Glukosekonzentration im Blut geben bestimmte Zellen des Pankreas (die beta-Zellen) mehr des Hormons Insulin ins Blut ab. Dieses Hormon stimuliert Leber- und Muskelzellen, nun verstärkt Glukose aus dem Blut aufzunehmen und als Energiequelle zu speichern oder für die Muskelarbeit zu verwenden. Sobald sich die Glukosespiegel im Blut normalisiert haben, wird die Insulinsekretion gestoppt. Wenn Sie dann am Nachmittag ein intensives Fitnessprogramm absolvieren, kann der Blutzuckerspiegel schon einmal unter den normalen Wert abfallen, weil die Muskelzellen in dieser Situa-

tion viel Glukose aus dem Blut entnehmen. Sobald der Glukosespiegel abfällt, sezernieren andere Zellen des Pankreas (die alpha-Zellen) das Hormon Glukagon. Glukagon stimuliert die Freisetzung der gespeicherten Glukose aus den Leberzellen ins Blut. Wenn der Blutzuckerspiegel wieder Normwerte erreicht hat, wird auch die Glukagonsekretion wieder eingestellt.

Feedbackschleifen können nicht nur negativ, sondern auch positiv reguliert sein. In diesem Fall wird eine bestimmte Bedingung über das normale Maß hinaus gefördert. Positives Feedback ist zwar eher selten, kommt aber zum Beispiel bei der Blutgerinnung vor. Andere Beispiele sind die Geburt (genauer gesagt die Wehentätigkeit), die Stillphase (bei der die Milchproduktion umso stärker ansteigt, je mehr Milch abgegeben wird) und der menschliche Orgasmus.

Die Terminologie in der Anatomie

Um Körperteile korrekt benennen zu können, sind definierte Begriffe erforderlich. Diese Definitionen beziehen sich auf den Körper in seiner anatomisch normalen Position – aufrecht stehend, Blick nach vorn, Arme beidseitig hängend mit nach oben zeigenden Handflächen. In diesem Fall gelten die folgenden Regeln:

- *Direktionale Begriffe* werden verwendet, um die relative Lage von Körperteilen zueinander zu beschreiben. Diese Begriffe sind in Tabelle 1.1. erklärt.
- *Körperebenen und Sektoren* beschreiben, wie der Körper und Organe durch Raumebenen in zwei Hälften geteilt werden:
 - *Die Sagittalebene* teilt den Körper vertikal in rechte und linke Hälfte. Wenn beide Hälften identisch sind, handelt es sich um eine Mediosagittalebene, bei ungleich großen linken und rechten Anteilen wird die Ebene als Parasagittalebene bezeichnet.
 - *Die frontale (koronale) Ebene* teilt den Körper vertikal in einen vorderen (anterioren) und hinteren (posterioren) Teil.
 - *Die horizontale (transversale) Ebene* trennt den Körper oder die Organe quer in obere (superiore oder kraniale) und untere (inferiore oder kaudale) Bereiche – ein Querschnitt eben, der manchmal als "kreuz-sektional" (ein eingedeutschter englischer Begriff) bezeichnet wird.

Bezeichnung	Definition	Beispiel
superior (kranial)	Oberhalb einer anderen Struktur	Das Herz befindet sich kranial des Magens.
inferior (kaudal)	Unterhalb einer anderen Struktur	Der Magen liegt kaudal des Herzens.
anterior (ventral)	Zur Vorderseite des Körpers gerichtet	Der Nabel liegt ventral der Wirbelsäule.
posterior (dorsal)	Zur Rückseite des Körpers gerichtet	Die Wirbelsäule liegt dorsal des Nabels.
medial	Zur Medianebene des Körpers gerichtet (die Medianlinie teilt den Körper in der Körpermitte in eine rechte und linke Hälfte)	Die Nase ist medial der Ohren positioniert.
lateral	Von der Medianlinie des Körpers wegweisend (oder zur Seite des Körpers)	Die Ohren liegen lateral der Nase.
ipsilateral	Auf der gleichen Seite des Körpers liegend	Milz und absteigender Dickdarm sind ipsilateral angeordnet.
kontralateral	Auf gegenüberliegenden Seiten des Körpers	Aufsteigender und absteigender Teil des Dickdarms sind kontralateral angeordnet.
intermediär	Zwischen zwei Strukturen	Das Knie liegt intermediär zwischen Ober- und Unterschenkel.
proximal	Näher an der Stelle, an der ein Körperteil ansetzt	Der Ellenbogen liegt proximal vom Handgelenk.
distal	Weiter entfernt von der Stelle, an der ein Körperteil ansetzt	Der Fuß liegt distal vom Knie.
superfiziell	An der Oberfläche gelegen	Muskeln sind superfiziell mit Haut bedeckt.
tief/profund	In der Tiefe gelegen	Das Skelett liegt tief/profund unter der Haut.

Tabelle 1.1 Grundbegriffe der Anatomie

- *Hohlräume* im Körper sind geschlossene Bereiche, die Organe beherbergen. Diese Hohlräume sind in zwei Gruppen unterteilt:
 - Der *posteriore/dorsale* Hohlraum des Körpers umfasst die Schädelhöhle (die das Gehirn enthält) und den vertebralen Hohlraum, der das Rückenmark enthält.
 - Der *anteriore/ventrale* Hohlraum des Körpers umfasst die Thorax- oder Brusthöhle (mit den beiden Lungenflügeln, die jeweils in einer eigenen Pleurahöhle liegen, und dem Herzen in der Perikardhöhle) und die Bauch- und Beckenhöhle (mit den Verdauungsorganen sowie Blase und Reproduktionsorganen in der Beckenhöhle).
- *Regionale Ausdrücke* bezeichnen bestimmte Bereiche des Körpers. In einigen Fällen wird ein deskriptives Wort verwendet, um einen Ort zu bezeichnen. Die Axialregion bezieht sich auf die Hauptachse des Körpers – also Kopf, Hals und Oberkörper. Die appendikulären Bereiche sind die Körperanhänge, also die Arme und Beine. Bei anderen regionalen Begriffen wird der Körperteil selbst verwendet, um die Region zu bezeichnen. Die Nasalregion ist eben der Bereich, der um die Nase herum liegt.

BEISPIEL

Wie Sie es auch immer machen, Sie sollten sich die Begriffe aus Tabelle 1.1 unbedingt einprägen. Sie werden Ihnen in der Anatomie immer wieder begegnen und dann meist nicht mit erklärenden Beispielen.

Atome, Moleküle, Ionen und Bindungen

Materie ist im Prinzip all das, was einen Raum einnimmt und Masse besitzt. Materie besteht aus Elementen mit ganz bestimmten physikalischen und chemischen Eigenschaften. Alle Elemente werden mit chemischen Symbolen aus ein oder zwei Buchstaben dargestellt, die sich von den ursprünglichen lateinischen Begriffen ableiten, so zum Beispiel C für Kohlenstoff (Carbonium), Ca für Kalzium (Calcium), O für Sauerstoff (Oxygenium), N für Stickstoff (Nitrogenium) und P für Phosphor (Phosphoricum). Die kleinste Einheit eines Elements, das noch immer die spezifischen Eigenschaften dieses Elements aufweist, ist ein Atom. Atome gehen chemische Bindungen miteinander ein und bilden Moleküle. Die chemische Zusammensetzung eines Mole-

küls wird mit chemischen Formeln angegeben (O_2 , H_2O , $C_6H_{12}O_6$). Moleküle, die aus unterschiedlichen Atomen aufgebaut sind, werden als *Verbindung* bezeichnet (so wie H_2O und $C_6H_{12}O_6$, nicht aber O_3 – das ist zwar ein Molekül, aber keine Verbindung).

Jedes Atom besteht aus einem Atomkern, der positiv geladene *Protonen* und *Neutronen* ohne Ladung enthält. Die negativ geladenen *Elektronen* hingegen befinden sich außerhalb des Atomkerns und umkreisen diesen. Atome unterscheiden sich voneinander im Hinblick auf die Anzahl der Protonen, Neutronen und Elektronen. Wasserstoff besitzt zum Beispiel ein Proton und ein Elektron, aber keine Neutronen, während Kohlenstoff aus sechs Protonen, sechs Neutronen und sechs Elektronen aufgebaut ist. Die Anzahl und die Anordnung der Elektronen eines Atoms legen fest, welche chemischen Bindungen dieses Element eingehen kann, und in welcher Art es mit anderen Atomen reagiert, um Moleküle zu bilden. Es gibt drei chemische Bindungstypen:

- Eine **ionische Bindung** entsteht zwischen zwei Atomen, wenn ein oder mehrere Elektronen komplett von einem Atom auf das andere übergehen. Ionen sind geladene Teilchen. Das Atom, das Elektronen an sich reißt, wird negativ geladen. Das Atom, das die entsprechenden Elektronen abgibt, besitzt am Ende eine positive Gesamtladung. Die ionische Bindung beruht auf der Anziehung zwischen einem positiv geladenen und einem negativ geladenen *Ion*. Natrium (Na) und Chlor (Cl) bilden einfach geladene Ionen (Na^+ und Cl^-), die sich anziehen und eine ionische Bindung eingehen – das NaCl-Molekül (also Kochsalz). Eine negative (Elektronenaufnahme) oder positive (Elektronenabgabe) Ladung wird mit einem Minus- bzw. Pluszeichen angezeigt. Zahlenangaben vor dem Ladungssymbol bedeuten, dass mehr als nur ein Elektron übertragen worden ist (Ca^{2+} , PO_4^{3-}).
- **Kovalente Bindungen** werden gebildet, wenn Atome halbwegs fair Elektronen unter sich aufteilen. Keines der beiden Atome kann die Elektronen komplett auf seine Seite ziehen wie bei einer ionischen Bindung. Eine kovalente Einfachbindung entsteht, wenn zwei Elektronen geteilt werden (je eines pro Atom); bei Doppel- und Dreifachbindungen werden vier bzw. sechs Elektronen geteilt. Die Teilung der Elektronen ist allerdings nicht immer fair. Im Sauerstoffmolekül (zwei Sauerstoffatome bilden O_2) ringen die identischen Sauerstoffatome gleichermaßen um die beiden Elektronen, und keines der identischen Atome kann diesen Kampf gewinnen. Diese Bindung wird als unpolare Bindung bezeichnet – eine gerechte Auf-

teilung eben. Sind die Atome nicht identisch wie zum Beispiel im Wassermolekül (H_2O), kann der größere Atomkern des Sauerstoffs die Elektronen stärker auf seine Seite ziehen als das kleine Proton, aus dem der Wasserstoffkern besteht. In diesem Fall entsteht aufgrund des ungleichen Kräfteverhältnisses eine polare kovalente Bindung. Das bedeutet, dass innerhalb des Moleküls positive und negative Bereiche (oder Pole) entstehen wie in Abbildung 1.1 gezeigt.

- **Wasserstoffbrückenbindungen** sind schwache Bindungen, die sich zwischen dem partiell positiv geladenen Wasserstoffatom eines kovalent verbundenen Moleküls und dem partiell negativ geladenen Bereich eines anderen kovalent verbundenen Moleküls bilden. Wie aus Abbildung 1.1. (a) ersichtlich, besitzt ein Wassermolekül ein partiell positiv und ein partiell negativ geladenes Ende. Zwischen benachbarten Wassermolekülen bilden sich Wasserstoffbrückenbindungen aus. Da die Atome im Wassermolekül kovalent gebunden sind, zieht der positive Bereich im H_2O um das Wasserstoffproton herum die negativen Bereiche benachbarter H_2O -Moleküle an. Auf dieser Anziehung basiert die Wasserstoffbrückenbindung, wie in Abbildung 1.1. (b) gezeigt.

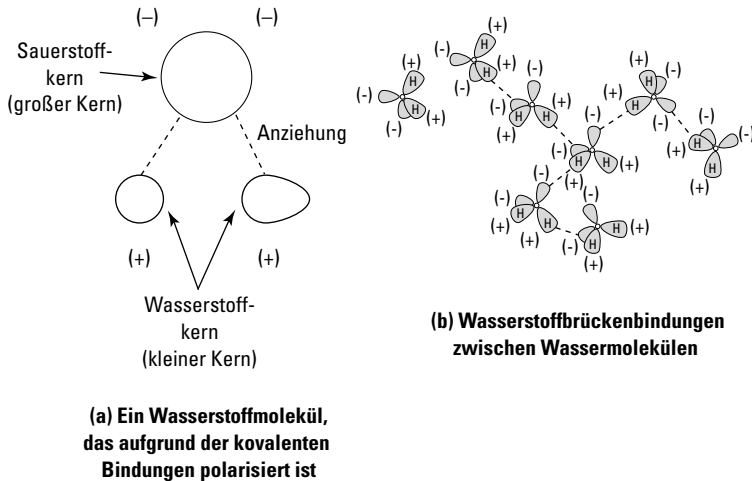


Abbildung 1.1 Zwei Beispiele für eine chemische Bindung

Anorganische Verbindungen

Anorganische Verbindungen sind typischerweise Verbindungen, in denen keine Kohlenstoffatome vorkommen, wie zum Beispiel die anorganischen Verbindungen H_2O , O_2 oder NaCl .

Wasser ist die am häufigsten vorkommende Substanz im Körper. Diese Sonderstellung beruht zum Teil auf den einzigartigen chemischen Eigenschaften, die durch die Wasserstoffbrückenbindungen bedingt sind. Zu den Besonderheiten zählen unter anderem:

- **Solvatation** (auch Solvatisierung). Wasser ist ein hervorragendes Lösungsmittel. Alle ionischen Verbindungen sind wasserlöslich, da die partiell geladenen Pole der Wassermoleküle die ionische Bindung auflösen, so dass (solvatisierte oder gelöste) Ionen entstehen. Auch kovalente polare Verbindungen sind wasserlöslich, da diese Moleküle mit Wasser ebenso Wasserstoffbrückenbindungen eingehen können wie Wassermoleküle untereinander. Daher werden kovalent-polare Verbindungen auch als **hydrophil** (wasserliebend) bezeichnet. Unpolare kovalente Verbindungen lösen sich nicht in Wasser, da sie keine geladenen Pole besitzen. Diese Verbindungen sind **hydrophob** (wasserabweisend).
- **Kohäsion**. Da Wassermoleküle durch Wasserstoffbrückenbindungen zusammengehalten werden, besitzen sie ein gewisses Maß an Kohäsion, also der Fähigkeit zusammenzuhalten. Als Folge ist die Oberflächenspannung von Wasser sehr hoch. Diese hohe Oberflächenspannung sorgt dafür, dass Wasser eine große Kapillarkraft besitzt und in engen benetzenden Röhren weit emporsteigen kann. Auf dieser Eigenschaft beruht die Bewegung von Wasser durch Kapillaren – was unter anderem einer der Gründe ist, warum Bäume auch in 130 Metern Höhe noch Wasser aus dem Boden beziehen können...
- **Temperaturstabilität**. Die Wärmekapazität von Wasser ist ziemlich hoch. Das bedeutet, Sie müssen schon eine relativ große Menge an Energie investieren, um Wasser zu erhitzen, oder entsprechend eine relativ große Menge an Energie abziehen, um Wasser abzukühlen (und es in Eis zu verwandeln). Wenn Sie schwitzen, wird mit dem Wasser viel Wärme aus dem Körper transportiert. Ihr Körper kühlt sehr schnell ab – dank der hohen Wärmekapazität von Wasser.

Organische Moleküle

Organische Verbindungen sind Verbindungen, die Kohlenstoffatome enthalten. Die riesigen organischen Verbindungen (auch Makromoleküle genannt) lebender Systeme können aus hunderten oder tausenden von Atomen bestehen. Die meisten Makromoleküle sind Polymere, also Moleküle, die aus einer viele Male wiederholten kleinen Einheit (den Monomeren) aufgebaut sind.

Von den sechs Elektronen des Kohlenstoffs stehen vier für eine Bindung mit anderen Atomen zur Verfügung. Sie werden daher immer wieder Abbildungen finden, in denen ein Kohlenstoffatom über vier Linien mit anderen Atomen verbunden ist, wobei jede Linie ein Paar geteilter Elektronen repräsentiert (je ein Elektron pro Bindungspartner). Bei komplexen Kohlenstoffmolekülen sind die Kohlenstoffatome wie Perlen einer Kette hintereinander aufgereiht oder ringförmig miteinander verbunden. Die Anwesenheit von Stickstoff, Sauerstoff oder anderen Atomen sorgt für die unglaublich große Vielfalt an Kohlenstoffverbindungen auf der Erde.

Die vier für den menschlichen Metabolismus wichtigsten Klassen organischer Moleküle – Kohlenhydrate, Lipide, Proteine und Nukleinsäuren – werden in den folgenden Abschnitten genau erklärt.

Kohlenhydrate

Kohlenhydrate werden anhand der Anzahl an Zuckereinheiten (Saccharideinheiten) im Molekül klassifiziert:

- Das *Monosaccharid* ist die einfachste Form eines Kohlenhydrates. Monosaccharide bestehen nur aus einem Zuckermolekül wie zum Beispiel Fruktose oder Glukose (Abbildung 1.2). Alle Zuckermoleküle besitzen die chemische Formel $(\text{CH}_2\text{O})_n$, wobei n eine Zahl zwischen 3 und 8 sein kann. Im Fall von Glukose ist $n = 6$; die Formel lautet entsprechend $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Fruktose besitzt zwar ebenfalls die Formel $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, aber die Anordnung der Atome ist eine andere, wie Sie aus Abbildung 1.2 erkennen können. Kleinste Veränderungen der Position bestimmter Atome (wie am Beispiel von Glukose und Fruktose gezeigt) verändern bereits die Chemie eines Moleküls (und auch seine Eigenschaften; Fruktose schmeckt mindestens doppelt so süß wie Glukose).

- Ein *Disaccharid* besteht aus zwei miteinander verbundenen Zuckermolekülen. Glukose und Fruktose bilden beispielsweise das Disaccharid Saccharose (Abbildung 1.2), den normalen Haushalts- oder Kristallzucker.
- Ein *Polysaccharid* besteht aus einer Kette miteinander verbundener Monosaccharide. Polysaccharide sind daher Polymere, die aus sich wiederholenden Monosaccharideinheiten aufgebaut sind. Stärke ist ein Polysaccharid aus tausend und mehr Glukosemolekülen und wird in Pflanzen als Energiespeicher verwendet. Ein chemisch ähnliches Polymer, das Glykogen, dient bei Tieren dem gleichen Zweck.

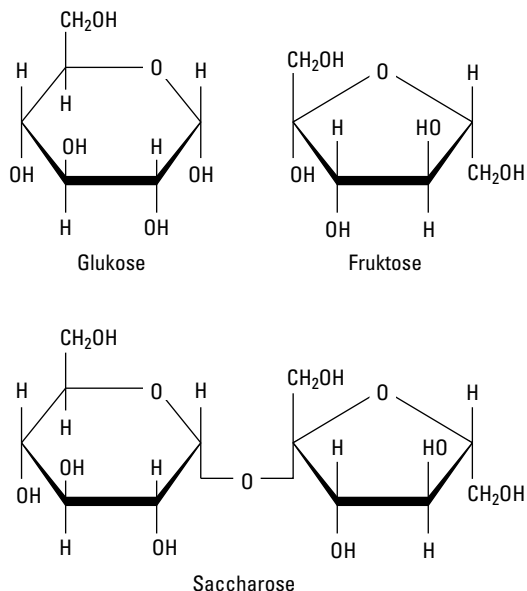


Abbildung 1.2 Die molekulare Struktur verschiedener Kohlenhydrate

Lipide

Lipide sind Verbindungen, die in Wasser (und anderen polaren Lösungsmitteln) unlöslich sind, sich jedoch gut in unpolaren Lösungsmitteln (wie Ether oder Chloroform) lösen lassen. Es gibt drei wichtige Gruppen von Lipiden:

- **Triglyzeride** sind Lipide wie Fette, Öle und Wachse. Diese bestehen aus drei Fettsäuren, die an ein Molekül Glycerol gebunden sind (Abbildung 1.3). Die Fettsäuren sind Kohlenwasserstoffe (Ketten kovalent verbundener Kohlenstoff- und Wasserstoffatome) mit einer Carboxylgruppe ($-\text{COOH}$) an einem Ende dieser Kette. Bei gesättigten Fettsäuren sind alle Kohlenstoffatome über eine Einfachbindung miteinander verbunden, während die restlichen beiden Valenzen mit Wasserstoffatomen besetzt sind.

Tipp

Sie können sich das leicht merken – die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung ist eben mit Wasserstoffatomen „gesättigt“. Bei einer einfach ungesättigten Fettsäure ist eine Einfachbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen durch eine Doppelbindung ersetzt (Abbildung 1.3). Bei mehrfach ungesättigten Fettsäuren sind noch mehr Einfachbindungen durch Doppelbindungen ersetzt.

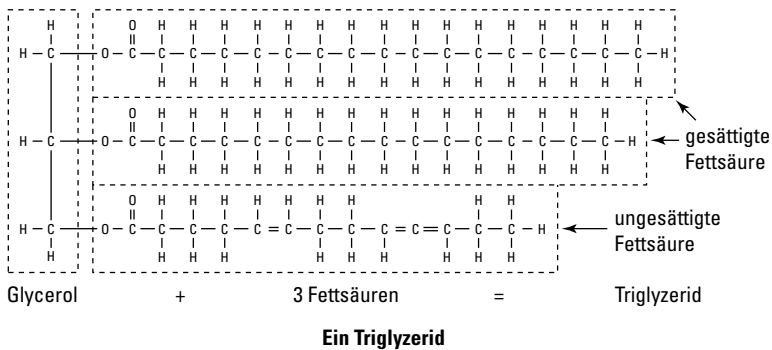


Abbildung 1.3 Die molekulare Struktur eines Triglyzerids

- **Phospholipide** sehen so ähnlich aus wie Triglyzeride, außer dass eine der drei Fettsäuren hier durch eine Phosphatgruppe ($-\text{PO}_4^{3-}$) ersetzt ist. (Abbildung 1.4). An diese Phosphatgruppe sind meistens noch weitere Gruppen angehängt, was in Abbildung 1.4 mit „R“ als Platzhalter angedeutet ist. Da der Fettsäureschwanz eines Phospholipids unpolar und hydrophob ist, während der Glycerol- und der Phosphatrest polare und hydrophile Eigenschaften aufweist, verhält sich das Gesamtmolekül reichlich indifferent in Bezug auf seine Gesamteigenschaften – so ähnlich wie ein Sandwich. Der hydrophobe Teil zeigt nach außen, der hydrophile nach innen. Diese Art der selektiven Orientierung von Phospholipiden bildet die strukturelle Grundlage aller Zellmembranen.

Proteine

Proteine sind eine Klasse von Verbindungen mit unglaublich vielfältigen Aufgaben im Körper. Eizellen, Muskelzellen, Antikörper, Seidenproteine, Fingernägel und viele Hormone sind entweder anteilig oder komplett Proteine. So unterschiedlich die Wirkungsweise von Proteinen auch sein mag, ist ihr Aufbau und ihre Struktur dennoch erstaunlich einfach. Jedes Protein ist ein Polymer aus Aminosäuren, also im Grunde genommen nichts als eine Kette von miteinander kovalent verbundenen Aminosäuren. Die Bindungen zwischen den Aminosäuren werden als Peptidbindungen bezeichnet, die gesamte Kette ist ein Polypeptid oder Peptid. Proteine unterscheiden sich im Hinblick auf die Anzahl und die Anordnung der 20 unterschiedlichen Aminosäuren. Jede Aminosäure besitzt ein zentrales Kohlenstoffatom, an das eine Aminogruppe ($-\text{NH}_2$), eine Carboxylgruppe ($-\text{COOH}$) und ein Wasserstoff-Atom (Abbildung 1.6) gebunden ist. Die vierte Bindung des zentralen Kohlenstoffs wird mit dem Buchstaben „R“ angegeben. R steht für „Rest“ – ein Atom oder eine Gruppe von Atomen, die für jede der 20 Aminosäuren unterschiedlich ist. Im Fall der einfachsten Aminosäure, Glyzin, ist R ein Wasserstoffatom. Bei der Aminosäure Serin ist R die Gruppe $-\text{CH}_2\text{OH}$. Bei einigen Aminosäuren kann R Schwefel enthalten (wie beim Cystein) oder einen Karbonring (wie im Phenylalanin).

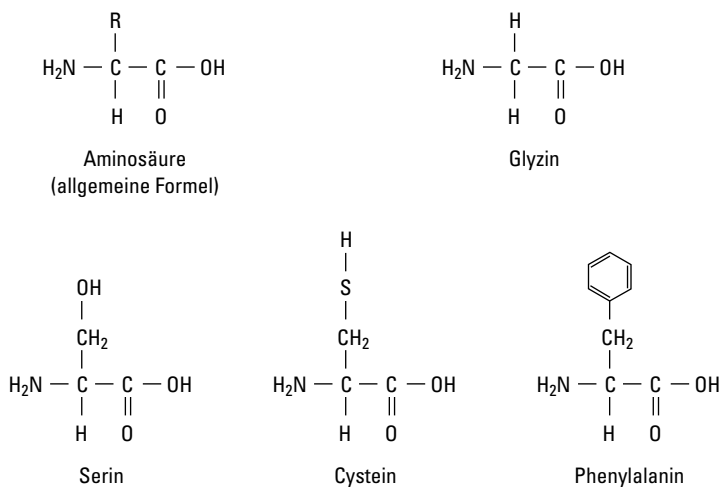


Abbildung 1.6 Einige Beispiele für Aminosäuren

Die Struktur eines Proteins lässt sich auf vier Ebenen beschreiben.

- Die *Primärstruktur* eines Proteins bezeichnet die lineare Abfolge der Aminosäuren im Molekül. Aminosäuren werden mit einem Code aus jeweils drei Buchstaben abgekürzt. Die Primärstruktur des antidiuretischen Hormons (ADH) lässt sich mit diesem 3-Buchstaben-Code als Cys-Tyr-Glu-Asn-Cys-Arg-Gly darstellen.
- Die *Sekundärstruktur* eines Proteins beschreibt die dreidimensionale Struktur, die sich aufgrund von Wasserstoffbrücken zwischen den einzelnen Aminosäuren ergibt. Diese intramolekularen Bindungen führen zur Bildung von spiralförmigen Strukturen (alpha-Helix) oder einer in Falten gelegten Ebene, die an die Falten eines Plisseerocks erinnert (beta-Faltblatt).
- Die *Tertiärstruktur* des Proteins umfasst weitere dreidimensionale Anordnungen, die aus der Interaktion der Seitenketten (R) resultieren. Aminosäuren mit hydrophoben Seitenketten neigen beispielsweise dazu, im Inneren eines Proteins zu aggregieren, während Aminosäuren mit hydrophilen Seitenketten eher auf der Außenseite des Proteins liegen. Weitere dreidimensionale Strukturen entstehen, wenn die Aminosäure Cystein mit einem anderen Cystein im Protein eine Disulfidbrücke eingeht und sich das Protein an dieser Stelle mehr oder weniger verknäult wie in Abbildung 1.7. gezeigt.

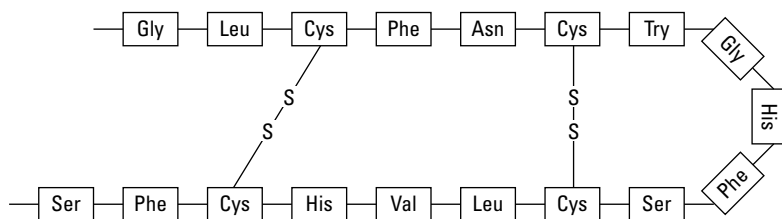


Abbildung 1.7 Disulfidbrücken können die Proteinstruktur beeinflussen

- Eine *Quartärstruktur* besitzen nur Proteine, die aus zwei oder mehreren Polypeptidketten (Untereinheiten) bestehen. Das Protein Hämoglobin ist zum Beispiel aus vier Polypeptidketten aufgebaut, die über Wasserstoffbrücken, Interaktionen der Seitenketten und über Disulfidbrücken miteinander verbunden sind.

Nukleinsäuren

Die genetische Information einer Zelle ist in Desoxyribonukleinsäuremolekülen (DNS (veraltet) oder DNA für engl. deoxyribonucleic acid) gespeichert. Die DNA gibt ihre genetische Information in Form von Ribonukleinsäure (RNS (veraltet) oder RNA) weiter, um die Stoffwechselvorgänge in der Zelle zu regulieren. Die DNA ist ein Polymer aus Nukleotiden (Abbildung 1.8). DNA-Moleküle bestehen aus drei Teilen – einer Stickstoffbase, einem Fünf-Kohlenstoff-Zucker namens Desoxyribose und einer Phosphatgruppe. Jedes der vier DNA-Nukleotide besitzt eine andere Stickstoffbase (Adenin, Thymin, Cytosin und Guanin). Die entsprechenden Nukleotide werden oft mit dem ersten Buchstaben dieser Base bezeichnet (A steht zum Beispiel für ein Adeninnukleotid).

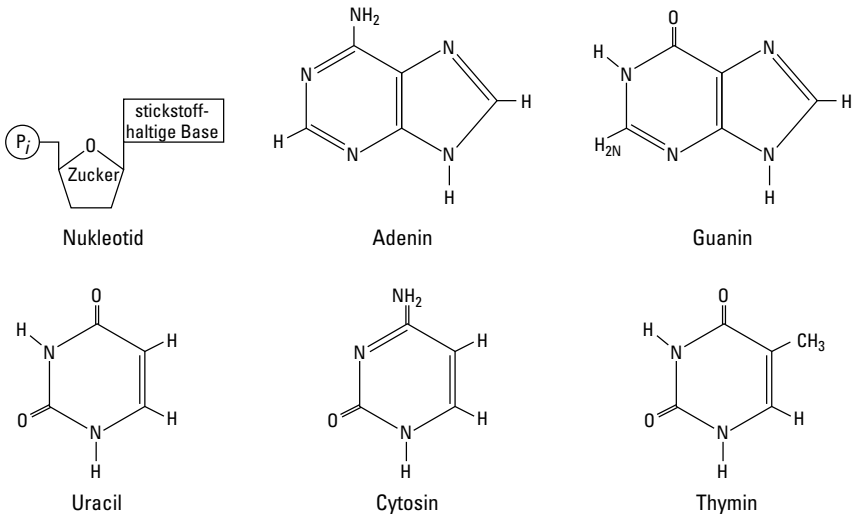


Abbildung 1.8 Die molekulare Struktur der Nukleotide

Abbildung 1.9. zeigt, wie zwei Nukleotidstränge über die schwachen Wasserstoffbrücken zwischen zwei Basen miteinander verbunden sind und so die doppelsträngige DNA bilden. Durch diese Art der Bindung entsteht eine doppelsträngige Spirale oder Doppelhelix. Beachten Sie bitte, dass Adenin immer mit Thymin und Cytosin immer mit Guanin ein Basenpaar bildet. Eine RNA unterscheidet sich in folgenden Punkten von der DNA:

- Der Zucker im RNA-Nukleotid ist eine Ribose und keine Desoxyribose wie in der DNA.
- Die RNA enthält kein Thymin. Die Base Thymin ist hier durch Uracil ersetzt. Sofern in RNA-Molekülen überhaupt Basenpaarungen auftreten, bindet Uracil (anstatt des Thymins) an Adenin.
- RNA-Moleküle sind meistens einzelsträngig und bilden keine Doppelhelices wie die DNA.

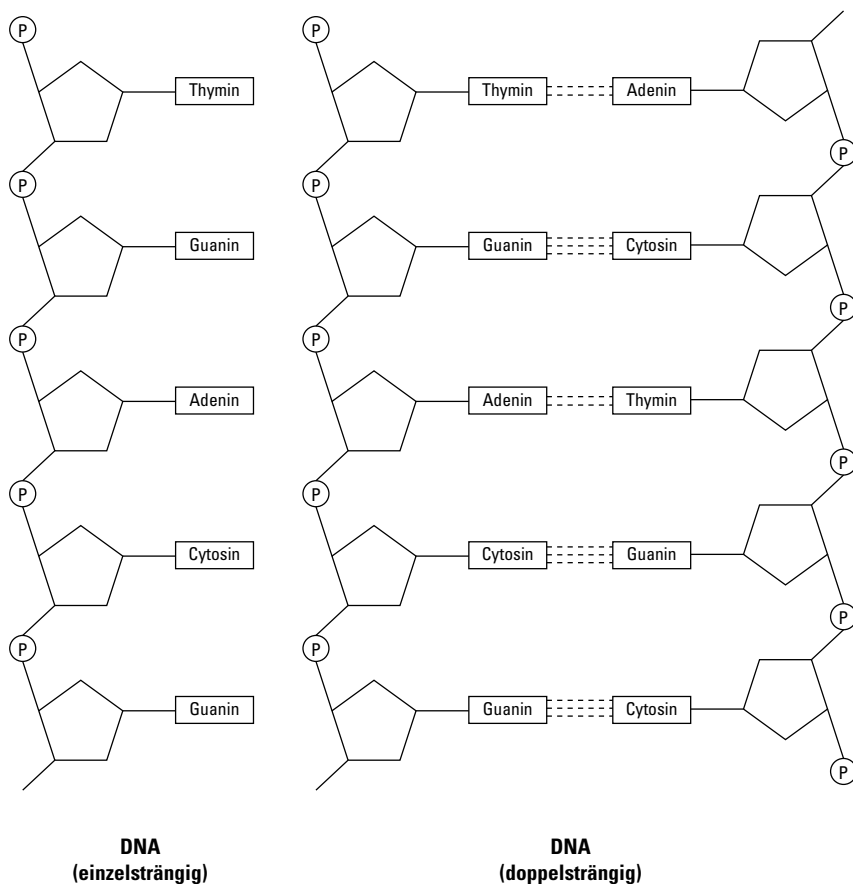


Abbildung 1.9 Zweidimensionale Darstellung der DNA-Struktur

Chemische Reaktionen in metabolischen Prozessen

Damit eine chemische Reaktion überhaupt ablaufen kann, müssen die reagierenden Moleküle (oder Atome) zuerst miteinander kollidieren, dann aber auch noch genügend Energie besitzen (Aktivierungsenergie), um die Bildung einer neuen Bindung initiieren zu können. Obwohl viele Reaktionen spontan ablaufen können, erhöht die Anwesenheit eines Katalysators die Geschwindigkeit, mit der die Reaktion abläuft. Ein Katalysator senkt die Aktivierungsenergie, die erforderlich ist, damit eine Reaktion ablaufen kann. Katalysatoren sind Substanzen, die eine Reaktion beschleunigen, aber selbst in der Reaktion nicht chemisch verändert werden. Da der Katalysator durch die Reaktion nicht verändert wird, kann er immer wieder für die Katalyse eingesetzt werden.

Chemische Reaktionen in biologischen Systemen werden auch als Metabolismus bezeichnet. Der Metabolismus ist die Summe aller Stoffwechselprozesse und umfasst den Abbau von Verbindungen (Katabolismus), die Bildung von neuen Produkten (Synthese oder Anabolismus) und die Übertragung von Energie von einer Verbindung auf eine andere. Metabolische Prozesse sind durch die folgenden Gemeinsamkeiten charakterisiert:

- *Enzyme* wirken als Katalysatoren für Stoffwechselreaktionen. Enzyme sind Proteine, die spezifisch an bestimmten Reaktionen teilnehmen.

Tipp

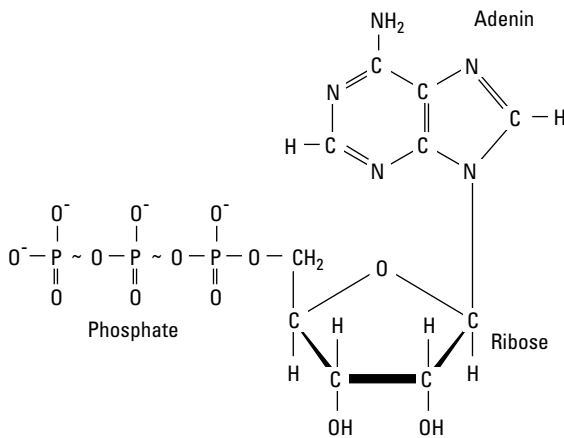
Typischerweise enden Enzymnamen auf "-ase", so dass Sie Enzyme schnell aufgrund dieser Endung erkennen können (das gilt allerdings nicht für alle Proteine – es gibt auch eine ganze Reihe von historisch bedingten Ausnahmen).

Die Substanz, auf die das Enzym wirkt, ist das Substrat. Das Enzym Amylase katalysiert zum Beispiel den Abbau des Substrats Amylose (Stärke) zu Glukose, dem Produkt dieser Reaktion.

Das *induced-fit-Modell* beschreibt, wie Enzyme arbeiten. Das Protein (das Enzym) besitzt eine aktive Stelle, an der die Reaktionspartner aufgrund der Form dieser aktiven Stelle, der Ladung oder anderer Eigenschaften besonders leicht binden können. Die Interaktion der Reaktionspartner (der Substrate) und des Enzyms bewirkt eine Veränderung der Form des Enzyms. Diese neue Geometrie bringt die Substratmoleküle in eine Anordnung, die

für den Ablauf der Reaktion besonders günstig ist und die Bildung des Produktes beschleunigt.

- **Adenosintriphosphat (ATP)** ist die Energiequelle für die meisten Stoffwechselreaktionen. In Abbildung 1.10 zeigt die wellenförmige Linie zwischen den letzten beiden Phosphatgruppen des ATP an, dass es sich bei dieser um eine energiereiche Bindung handelt. Wenn ATP die Energie für eine Reaktion bereitstellt, ist es üblicherweise die Energie der letzten Bindung, die in die Reaktion einfließt. Diese letzte Phosphatbindung wird aufgebrochen, das ATP-Molekül entsprechend dephosphoryliert und in ein ADP-Molekül (Adenosindiphosphat) und eine Phosphatgruppe (mit P_i bezeichnet) umgewandelt. Neue ATP-Moleküle entstehen hingegen durch eine Phosphorylierung, wenn sich ADP mit einem Phosphatrest verbindet. Die Energie für diese Reaktion stammt aus energiereichen Molekülen wie beispielsweise Glukose.



Adenosintriphosphat (ATP)

Abbildung 1.10 Die energiereichen Bindungen von Adenosintriphosphat (ATP)

- Ein **Kofaktor** ist ein Nicht-Protein-Molekül, das Enzymen bei der Arbeit behilflich ist. Die Verbindung eines Enzyms (das in diesem Fall als Apoenzym bezeichnet wird) mit einem Kofaktor wird Holoenzym genannt. Wenn der Kofaktor ein organisches Molekül ist, wird er als **Koenzym** bezeichnet und dient in den meisten Fällen dazu, Elektronen abzugeben oder aufzunehmen. Einige Vitamine sind Koenzyme oder Bestandteil von

Koenzymen. Anorganische Kofaktoren sind häufig Metallionen wie zum Beispiel Fe^{2+} .

AUF EINEN BLICK

- Die Aspekte, unter denen sich lebende Systeme beurteilen lassen, sind: Atome, Zellen, Gewebe, Organ, Organsystem und Organismus.
- Homöostase ist die Aufrechterhaltung stabiler Bedingungen innerhalb bestimmter Grenzen.
- In der Anatomie wird mit eigenen Begriffen die Lage von Objekten angegeben.
- Es gibt drei chemische Bindungstypen, die ionische Bindung, die kovalente Bindung und die Wasserstoffbrückenbindung.
- Wasser ist ein sehr gutes Lösungsmittel, seine Oberflächenspannung unterstützt die Kapillarkräfte, und es kann viel Wärme aufnehmen.
- Die wichtigsten Klassen organischer Moleküle im menschlichen Körper sind Kohlenhydrate, Lipide, Proteine und Nukleinsäuren.
- Katalysatoren beschleunigen eine Reaktion, verändern sich dabei selbst aber nicht.

Übungsaufgaben

Übung

1. Der Abbau von Substanzen im Metabolismus wird als _____ bezeichnet.
2. Welche der folgenden Proteinstrukturen beschreibt nur die Abfolge der Aminosäuren, aber nicht die Form eines Proteins?
 - a) Primärstruktur
 - b) Sekundärstruktur
 - c) Tertiärstruktur
4. Welche der folgenden Aussagen über RNA ist korrekt?
 - a) RNA besteht aus einer Stickstoffbase, einem Zucker mit sechs Kohlenstoffatomen und einer Phosphatgruppe.
 - b) RNA enthält nicht den Zucker Desoxyribose.

- c) RNA ist meistens doppelsträngig.
 - d) In der RNA kommen die Nukleotide Thymin, Adenosin, Cytosin und Uracil vor.
5. Richtig oder falsch? Phospholipide sind aus einem Glycerolmolekül und drei Fettsäuren aufgebaut.
6. Wenn eine Substanz an die aktive Stelle eines Enzyms bindet, verursacht diese Bindung eine Formveränderung des Enzyms. Dieses Modell zur Wirkungsweise von Enzymen wird als _____-Modell bezeichnet.

