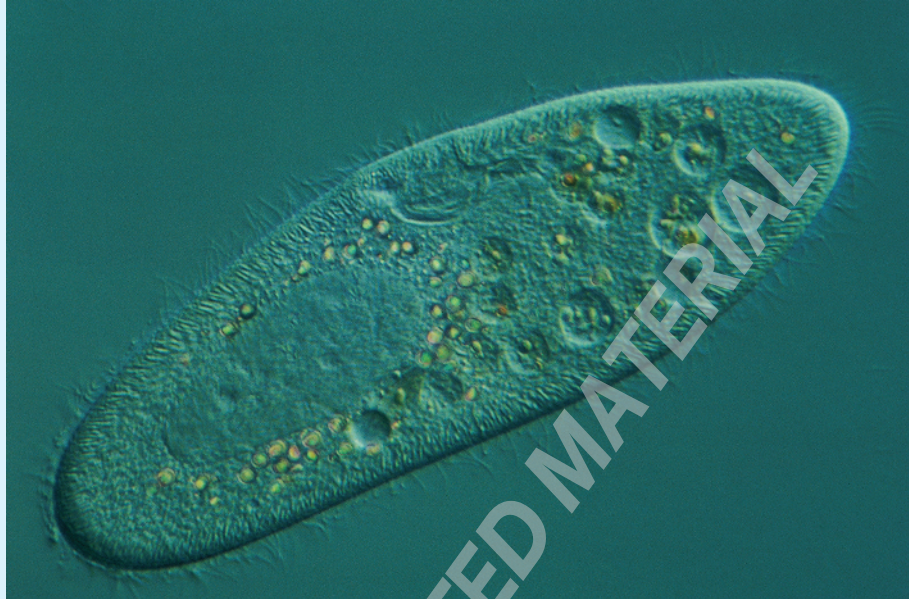




Die Strukturen, die diese *Paramecium*-Zelle aufweist, und die Prozesse, die in ihr ablaufen, können chemisch beschrieben werden. Alle Zellen beinhalten ähnliche Arten von Makromolekülen und nutzen ähnliche chemische Reaktionen, um Energie zu gewinnen, zu wachsen, miteinander zu kommunizieren und sich fortzupflanzen. [Mit freundlicher Genehmigung von M.I. Walker/Science Source Images.]

Einführung in die Chemie des Lebens

Die Biochemie ist, wortwörtlich, die Lehre von der Chemie des Lebens. Obwohl sie in andere Disziplinen wie Zellbiologie, Genetik, Immunologie, Mikrobiologie, Pharmakologie und Physiologie hineinreicht, befasst sich Biochemie im Wesentlichen mit einer begrenzten Anzahl von Fragestellungen. Hierzu gehören:

1. Wie sehen die chemischen und dreidimensionalen Strukturen von Biomolekülen aus?
2. Wie reagieren Biomoleküle miteinander?
3. Wie werden Biomoleküle durch die Zelle synthetisiert und abgebaut?
4. Wie wird Energie durch die Zelle gespeichert und genutzt?
5. Wie sehen die Mechanismen für die Organisation von Biomolekülen und die Koordination ihrer Aktivitäten aus?
6. Wie wird genetische Information gespeichert, übertragen und umgesetzt?

Um die Struktur und Wirkung von Systemen aufzuzeigen, die den menschlichen Sinnen nicht direkt zugänglich sind, greift die Biochemie, wie auch andere moderne Wissenschaften, auf ausgeklügelte Forschungsinstrumente zurück. Zusätzlich zum Rüstzeug des Chemikers für Trennung, quantitative Erfassung und andere Analysen biologischen Materials nutzen Biochemiker die einzigartigen biologischen Aspekte ihres Forschungsgegenstandes, indem sie die Evolutionsgeschichte von Organismen, von Stoffwechselwegen und auch einzelnen Molekülen untersuchen. Neben ihrer offenkundigen Bedeutung für die menschliche Gesundheit deckt die Biochemie die Arbeitsweisen der Natur auf und ermöglicht uns auf diese Weise, das einzigartige und geheimnisvolle Phänomen, das wir Leben nennen, zu verstehen und zu schätzen. In diesem einführenden Kapitel wollen wir einige grundlegende Prinzipien der Chemie und der Biologie betrachten, die sozusagen den Kontext für die Biochemie liefern und eine Einführung in die Themen geben, die wir im weiteren Verlauf des Buches wiederholt antreffen werden. Dazu gehören die Grundlagen der Evolution, die verschiedenen Grundtypen lebender Zellen und die elementaren Prinzipien der Thermodynamik.

Kapitelinhalt

- 1.1 Der Ursprung des Lebens
- 1.2 Zelluläre Strukturen
- 1.3 Thermodynamik

1.1 Der Ursprung des Lebens

Schlüsselkonzepte

- Biomoleküle werden aus einer begrenzten Anzahl von Elementen aufgebaut.
- Bestimmte funktionelle Gruppen und Verknüpfungen sind typisch für verschiedene Arten von Biomolekülen.
- Während der Evolution haben sich einfache Verbindungen zu komplexeren Molekülen und Polymeren zusammengelagert.
- Moleküle, die sich selbst reproduzieren können, unterliegen der natürlichen Auslese.

Tab. 1.1 Chemische Elemente im menschlichen Körper.^{a)}

Element	Trockenmasse (%)
C	61,7
N	11,0
O	9,3
H	5,7
Ca	5,0
P	3,3
K	1,3
S	1,0
Cl	0,7
Na	0,7
Mg	0,3

a) Berechnet nach Frieden, E. (1972). *Sci. Am.* 227 (1): 54–55.

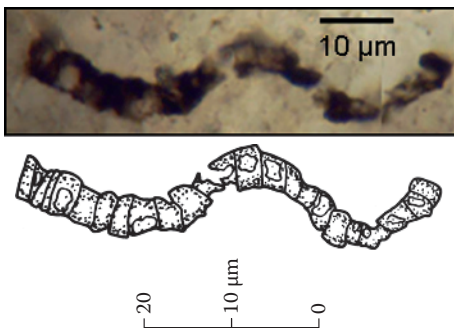
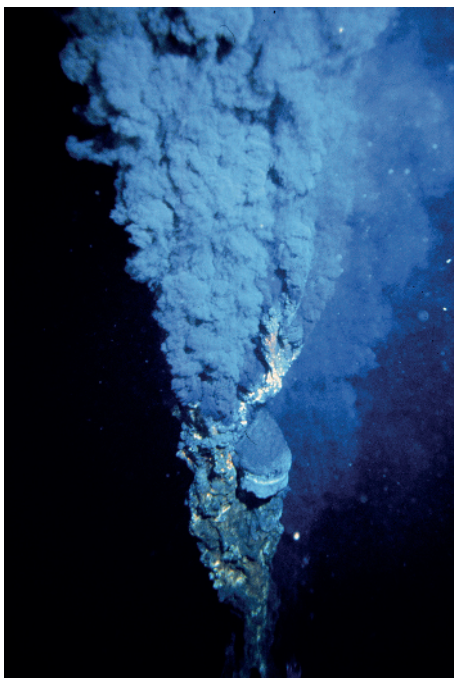


Abb. 1.1 Mikrofossil filamentbildender Bakterienzellen. Dieses Fossil (im unteren Teil schematisch) stammt von einem etwa 3400 Millionen Jahre alten Felsen aus Westaustralien. [Mit freundlicher Genehmigung von J. William Schopf, University of California, Los Angeles (UCLA).]



Alle Organismen weisen bestimmte gemeinsame biochemische Merkmale auf, z. B. die Art und Weise, wie Erbinformationen verschlüsselt sind und exprimiert werden und auf welche Weise Biomoleküle synthetisiert oder zur Energiegewinnung abgebaut werden. Die zugrunde liegende genetische und biochemische Einheitlichkeit heutiger Organismen bedeutet, dass sie von einem einzigen Vorläufer abstammen. Es wird wohl niemals möglich sein, den Ursprung des Lebens auf der Erde mit letzter Gewissheit aufzuklären. Dank paläontologischer Forschung und experimentellen Erkenntnissen sind wir heute jedoch in der Lage, die Entstehung des Lebens mit wissenschaftlichen Begriffen zu beschreiben.

1.1.1 Biomoleküle entstehen aus unbelebter Materie

Lebende Materie besteht aus einer relativ kleinen Anzahl von Elementen (Tab. 1.1). C, N, O, H, Ca, P, K und S umfassen ungefähr 98 % der Trockenmasse von Lebewesen (die meisten Organismen bestehen zu nahezu 70 % aus Wasser). Der Rest besteht aus Elementen, die nur in Spuren vorhanden sind. Dazu gehören B, F, Al, Si, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Mo, Cd, I und W, wenn auch nicht alle Organismen jedes dieser Elemente benötigen.

Das älteste bekannte, fossile Beweisstück für Leben ist ungefähr 3,5 Milliarden Jahre alt (Abb. 1.1). Die vorangehende **präbiotische Ära**, die mit der Bildung der Erde vor circa 4,6 Milliarden Jahren begann, hinterließ keine direkten Zeugnisse. Aber Wissenschaftler können chemische Reaktionen der Art, die möglicherweise in dieser Periode von einer Milliarde Jahren zu lebenden Organismen führten, experimentell nachvollziehen.

Die Atmosphäre der frühen Erde bestand wahrscheinlich aus H_2O , N_2 , CO_2 und kleineren Mengen an CH_4 , NH_3 , SO_2 sowie möglicherweise H_2 . In den 1920er-Jahren stellten Alexander Oparin und J.B.S. Haldane unabhängig voneinander die These auf, dass Moleküle der Uratmosphäre, verursacht durch die ultraviolette Strahlung der Sonne oder durch Blitzentladungen, unter Bildung einfacher **organischer** (kohlenstoffhaltiger) **Verbindungen** miteinander reagierten. Stanley Miller und Harold Urey reproduzierten 1953 solch einen Reaktionsablauf, indem sie eine Mischung von H_2O , CH_4 , NH_3 und H_2 eine Woche lang elektrischen Entladungen aussetzten. Die sich daraus ergebende Lösung enthielt wasserlösliche organische Verbindungen, darunter mehrere Aminosäuren (die Bausteine der Proteine) und andere biochemisch bedeutsame Substanzen.

Die Grundannahmen hinter dem Experiment von Miller und Urey, vor allem die Zusammensetzung des von ihnen verwendeten Gasgemischs, wurden von anderen Wissenschaftlern infrage gestellt, die den Ursprung des Lebens an einem ganz anderen Ort vermuten, nämlich im Dunkeln und unter Wasser. Hydrothermale Quellen am Ozeanboden, die bis zu 400 °C heiße Lösungen von Metallsulfiden ausstoßen (Abb. 1.2), könnten die richtigen Rahmenbedingungen für die Bildung von Aminosäuren aus Bestandteilen des Meerwassers geliefert haben. Unabhängig von ihrem Ursprung waren diese frühen organischen Moleküle die Vorläufer für die enorme Vielfalt von Biomolekülen, die es heute auf der Erde gibt.

Je nach ihrem Aufbau und ihrer chemischen Reaktivität lassen sich diese Biomoleküle in Bezug auf ihre funktionellen Gruppen (die reaktiven Stellen im Molekül) und ihre Bindungsarten klassifizieren. Dabei verwendet die Biochemie dieselben Begriffe wie sie auch in der organischen Chemie gebräuchlich sind. Einige der häufig vorkommenden **funktionellen Gruppen** und **Bindungsarten** sind in Tab. 1.2 dargestellt.

Abb. 1.2 Eine hydrothermale Quelle. Solche Strukturen am Grund der Tiefsee werden auch als Schwarze Raucher (engl.: *black smoker*) bezeichnet, da das im austretenden heißen Wasser gelöste Metallsulfid beim Kon-

takt mit dem sehr viel kälteren Seewasser in Form dichter schwarzer Wolken präzipitiert. [Mit freundlicher Genehmigung von OAR/National Undersea Research Program (NURP), NOAA.]

Tab. 1.2 Funktionelle Gruppen und Bindungsarten in der Biochemie.

Bezeichnung	Struktur ^{a)}	Funktionelle Gruppe oder Bindung
Amin ^{b)}	RNH_2 oder RNH_3^+ R_2NH oder R_2NH_2^+ R_3N oder R_3NH^+	$-\text{N}<$ oder $-\text{N}^+<$ (Aminogruppe)
Alkohol	ROH	$-\text{OH}$ (Hydroxylgruppe)
Thiol	RSH	$-\text{SH}$ (Thiolgruppe) ^{c)}
Ether	ROR	$-\text{O}-$ (Etherbindung)
Aldehyd	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}- \end{array}$ (Carbonylgruppe)
Keton	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{R} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}- \end{array}$ (Carbonylgruppe)
Carbonsäure ^{b)}	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \end{array}$ oder $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{O}^- \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{OH} \end{array}$ (Carboxylgruppe) oder $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{O}^- \end{array}$ (Carboxylatgruppe)
Ester	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{OR} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}- \end{array}$ (Esterbindung) oder $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}- \end{array}$ (Acylgruppe) ^{d)}
Thioester	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{SR} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{S}- \end{array}$ (Thioesterbindung) oder $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}- \end{array}$ (Acylgruppe) ^{d)}
Amid	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{NH}_2 \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{NHR} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{NR}_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{N}< \end{array}$ (Amidogruppe) $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}- \end{array}$ (Acylgruppe) ^{d)}
Imin (Schiff'sche Base) ^{b)}	$\text{R}=\text{N}$ oder $\text{R}=\text{NN}_2^+$ $\text{R}=\text{NH}$ oder $\text{R}=\text{NHR}^+$	$>\text{C}=\text{N}-$ oder $>\text{C}=\text{N}^+<$ (Iminogruppe)
Disulfid	$\text{R}-\text{S}-\text{S}-\text{R}$	$-\text{S}-\text{S}-$ (Disulfidbindung)
Phosphatester ^{b)}	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{O}-\text{P}-\text{O}^- \\ \\ \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{P}-\text{O}^- \\ \\ \text{OH} \end{array}$ (Phosphorylgruppe)
Diphosphatester ^{b)}	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{R}-\text{O}-\text{P}-\text{O}-\text{P}-\text{O}^- \\ \quad \\ \text{O}^- \quad \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ -\text{P}-\text{O}-\text{P}-\text{O}^- \\ \quad \\ \text{O}^- \quad \text{OH} \end{array}$ (Phosphorsäureanhydridgruppe)
Phosphatdiester ^{b)}	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{O}-\text{P}-\text{O}-\text{R} \\ \\ \text{O}^- \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{O}-\text{P}-\text{O}- \\ \\ \text{O}^- \end{array}$ (Phosphodiesterbindung)

a) R steht für eine beliebige kohlenstoffhaltige Gruppe. Enthält ein Molekül mehrere Reste (R), so können diese gleich, aber auch voneinander verschieden sein.

b) Diese Gruppen sind unter physiologischen Bedingungen ionisiert und tragen eine positive oder negative Ladung.

c) Im amerikanischen Sprachgebrauch auch Sulfhydrylgruppe.

d) Nur wenn nicht an ein Kohlenstoffatom gebunden.