

Das Leben und seine Entstehung

P. Ulmschneider, Vom Urknall zum modernen Menschen, DOI 10.1007/978-3-642-29926-1_5,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Die Einzigartigkeit des Elements Kohlenstoff und die organischen Verbindungen bildeten das Fundament für das Phänomen *Leben*. Was genau bedeutet Leben und wie ist es entstanden?

5.1 Das Phänomen Leben

Leben tritt in Form von Zellen auf, die vier fundamentale Eigenschaften besitzen:

Erstens, eine meist aus Phospholipiden aufgebaute *Zellmembran*, die das Innere vom unbegrenzten Außenraum abtrennt, und damit die Zelle definiert. Zum Zweiten läuft im Innern der Zelle eine *Metabolismus* genannte chemische Maschinerie ab, in der Proteine den Stoffaustausch mit der Umwelt, die inneren Prozessabläufe und die Synthese von Zellbausteinen durchführen. Drittens besitzt die Zelle ein *Gedächtnis*, das die eigene Identität definiert, Eigenschaften, Wirken und Synthese der Proteine bestimmt und reguliert sowie die Reproduktion der Zelle steuert. Dieses als *Genom* bezeichnete Gedächtnis besteht aus einem durch DNA realisierten Hauptarchiv, von dem die Baupläne (RNA) zur Synthese der individuellen Proteine und zur Steuerung des Metabolismus abgelesen werden. Mutationen, Veränderungen der DNA, führen zu einer Erbänderung des Gedächtnisses und ermöglichen damit eine Evolution des Lebens.

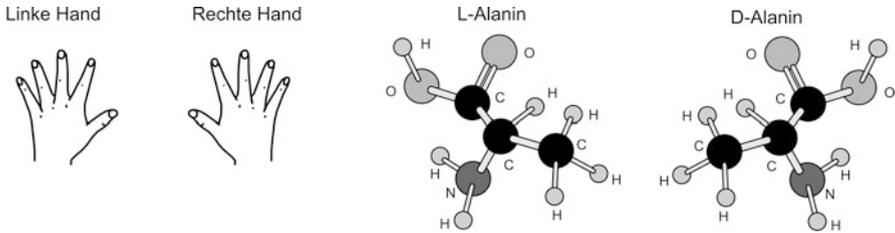
Viertens besitzt die Zelle den *Energieträger* ATP (Adenosintriphosphat), der die aufwändigen Aktivitäten der Maschinerie überhaupt ermöglicht. Ein entscheidendes Charakteristikum des Lebens ist zudem, dass Lebewesen fähig sind, die beschriebenen Eigenschaften in einer völlig abiotischen Umwelt aufrechtzuerhalten. Im Gegensatz dazu werden Viren nicht als Lebewesen betrachtet, da sie keinen Metabolismus zeigen und in abiotischer Umgebung nicht existieren können.

5.2 Elemente der Biochemie

Das Leben auf der Erde basiert auf organischer Chemie und biochemischen Prozessen. In biologischen Systemen gibt es vier große Klassen von organischen Verbindungen: Proteine, Kohlenhydrate, Lipide und Nukleinsäuren.

5.2.1 Proteine, Kohlenhydrate, Lipide und Nukleinsäuren

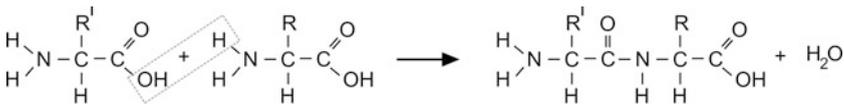
Von den mehr als 500 in der Natur vorkommenden Aminosäuren (Wagner und Musso 1983) sind 20 von der DNA festgelegt (codiert) und dienen als Bausteine der Proteine (Tab. 5.1). Sie besitzen, mit Ausnahme von Glycin, einen bestimmten räumlichen Aufbau (linkshändig oder L-chiral, s. Abb. 5.1) und bestehen aus den fünf Elementen C, O, N, H und S. Aminosäu-



■ **Abb. 5.1** Links- und Rechtshändigkeit am Beispiel der Aminosäuren L- und D-Alanin

■ **Tab. 5.1** Durch DNA codierte Aminosäuren (Hart et al. 1995)

Alanin	Glutamin	Leucin	Serin
Arginin	Glutaminsäure	Lysin	Threonin
Asparagin	Glycin	Methionin	Tryptophan
Asparaginsäure	Histidin	Phenylalanin	Tyrosin
Cystein	Isoleucin	Prolin	Valin



■ **Abb. 5.2** Bildung einer Peptidbindung zwischen zwei Aminosäuren

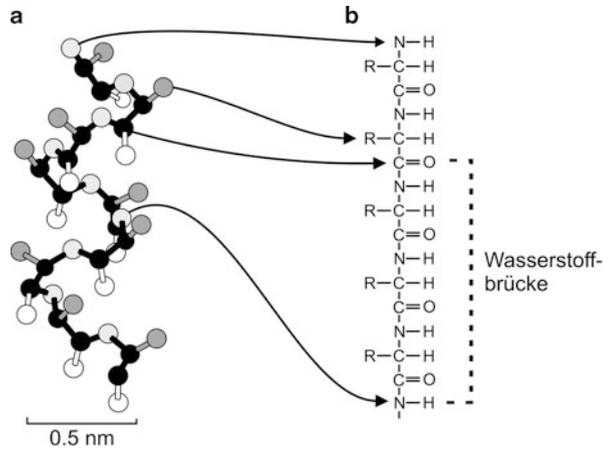
ren sind sowohl Säuren als auch Basen, das heißt, sie haben ein saures COOH Carboxy-Ende, das leicht ein H^+ -Ion abgibt und ein basisches NH_2 Amino-Ende, das leicht ein H^+ aufnimmt (Abb. 5.1).

Proteine sind aus Aminosäuren zusammengesetzte Ketten, die durch Peptidbindungen verknüpft sind; die Kettenglieder werden aus den in Tab. 5.1 aufgeführten 20 codierten Aminosäuren ausgewählt. Während Wasser 70 % des Gewichts einer Zelle ausmacht, tragen Proteine mit mehr als 50 % zum verbleibenden Gewicht bei (Alberts et al. 1994). Derzeit sind im menschlichen Körper mehr als 30.000 verschiedene Proteine bekannt (<http://www.hprd.org>). Sie funktionieren als Strukturproteine, Enzyme, Katalysatoren, Hormone, Transportproteine, Schutzproteine, Toxine etc.

Die Sequenz der Aminosäuren bestimmt die biologische Funktion der Proteine, die aus einigen 10–1000 Aminosäuren, in der Regel etwa 300, bestehen. Viele Proteine treten in Form mehrerer Untereinheiten auf, die durch Bindungen zusammengehalten werden. Die wichtigste Verknüpfungsform ist dabei die Peptidbindung, bei der sich das COOH-Ende einer Aminosäure mit dem NH_2 -Ende der nächsten verbindet (Abb. 5.2). So entstehen Makromoleküle, auch *Polypeptide* genannt. Diese Bezeichnung schließt auch Ketten von Aminosäuren ein, die nicht in Tab. 5.1 aufgeführt sind. Proteine mit weniger als 100 Aminosäuren werden meist als Peptide bezeichnet.

Die Struktur der *Proteine* weist vier hierarchische Ebenen auf. Die primäre Struktur ist die Aminosäuresequenz, die von der DNA festgelegt wird (Abb. 5.3b). Die Sekundärstruktur ist

▣ **Abb. 5.3** Struktur eines Proteins. **a** Das Kugel- und Stabmodell zeigt C- (schwarz), N- (hellgrau) und O-Atome (weiß) sowie Aminosäurenreste R (dunkelgrau). H-Atome sind nicht dargestellt, **b** Strukturformel. Pfeile zeigen auf sich entsprechende Atome (Green et al. 1993)



entweder die Aufwindung dieser Kette zu einer α -Helix-förmigen Spirale (CCN-Rückgrat in Abb. 5.3a) oder ein Hin- und Herfalten der Kette auf sich selbst (β -Faltblatt). Beide Polypeptide werden durch Wasserstoffbrücken stabilisiert. Die Tertiärstruktur ist die dreidimensionale Form, in die sich diese Makromoleküle falten. In einem vierten Strukturtyp kombinieren sich mehrere Proteinuntereinheiten zu einem vollständigen großräumigen Protein, etwa dem Hämoglobin, das aus vier Untereinheiten besteht.

Zwei weitere Grundbausteine lebender Organismen sind *Kohlenhydrate* und *Lipide*. Bei den Kohlehydraten dienen Cellulose als Baumaterial in Pflanzen und Polysaccharide (Vielfachzucker) wie Stärke und Glykogen als wichtigste Energiespeicherformen in Pflanzen und Tieren. Beim Energietransport werden verschiedene Zucker verwendet, die gleichzeitig wesentliche Bestandteile der Nucleinsäuren sind. Lipide, als Fette und Öle bekannt, bestehen aus Glycerin und Fettsäuren und sind in Wasser unlöslich. Sie haben viele Funktionen – am bekanntesten ist ihre Fähigkeit zur effizienten Speicherung von Energie.

Eine separate Klasse, die *Phospholipide*, bilden die strukturelle Grundlage äußerer und innerer Zellmembranen, die die Zelle vom Außenraum und im Inneren trennen. Abbildung 5.4 zeigt einen Ausschnitt der Phospholipiddoppelschicht einer äußeren Zellmembran. In dieser Schicht sind die Lipidmoleküle so angeordnet, dass sich ihre hydrophoben (wasserabweisenden) Schwänze in das Innere der Doppelschicht richten, während die hydrophilen (wasserliebenden) Köpfe zu den Oberflächen zeigen. Die Doppelschicht ist etwa 5 nm dick und wird von verschiedenen *Membranproteinen* durchdrungen, die den Transport von Stoffen in und aus der Zelle erlauben und verschiedene Steuerfunktionen ausüben.

Den vierten Typ von Grundbausteinen bilden die *Nucleinsäuren* DNA (Desoxyribonucleinsäure) und RNA (Ribonucleinsäure), die aus langen Ketten von Nucleotiden bestehen. *Nucleotide* sind aus drei Bausteinen zusammengesetzt (Abb. 5.5): einer Phosphorsäure (angedeutet durch einen Ring), einem Zucker (Pentagon) und einer Base (Rechteck). Bei RNA ist der Zucker immer D-Ribose, bei DNA Desoxy-D-Ribose. Die Nucleotide von RNA und DNA besitzen jeweils vier verschiedene Basen; bei RNA sind dies Cytosin, Uracil, Adenin und Guanin (C, U, A, und G), bei DNA C, A, G und Thymin (T). Die Basen C, U und T sind *Pyrimidine*, während A und G *Purine* sind. Letztere bestehen aus einem Doppelring und benötigen mehr Platz als die Pyrimidine. Nucleotide bilden sich, indem die Phosphorsäure an das 5'-Kohlenstoffatom und die Base an das 1'-Kohlenstoffatom der Ribose anhängt (die fünf