

# Leben aus Nichtleben – was sagen die wissenschaft- lichen Befunde?

Boris Schmidtgall



Mai 2020



# INHALT

<b>1. Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2. Hypothesen zum Ursprung des Lebens</b>	<b>4</b>
<b>3. Entstehung der molekularen Bausteine des Lebens</b>	<b>6</b>
Das Aminosäure-Alphabet	6
Entstehung der Proteine	8
Entstehung der Nukleotide	9
Entstehung und Vervielfältigung (Replikation) von Nukleinsäuren	11
<b>4. Notwendige Chemie ist noch keine Information</b>	<b>13</b>
Funktion setzt einen Kontext voraus	13
Information als geistiger Input ist unverzichtbar	14
<b>5. Die Entstehung der Protozellen und die erste Zellteilung</b>	<b>16</b>
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>16</b>

# Leben aus Nichtleben – was sagen die wissenschaftlichen Befunde?

Boris Schmidtgall

## 1. Einleitung

Der grundlegende Unterschied zwischen unbelebter Materie und Lebewesen veranlasste schon Menschen früher Kulturen zu Spekulationen über den Ursprung des Lebens. Von der Zeit der griechischen Philosophen bis ins 18. Jahrhundert waren viele Gelehrte der Auffassung, dass Lebewesen z.B. unter der Einwirkung von Wärme auf feuchte Erde spontan entstehen können. Im 19. Jahrhundert wurde diese als „generatio spontanea“ bezeichnete Lehre zunehmend hinterfragt. Doch erst durch eine Reihe geschickter Experimente von Louis PASTEUR im Jahr 1862 erwies sich diese Auffassung als ein über zweitausend Jahre alter Irrtum. Aus den Experimenten ging nämlich hervor, dass in ausgekochten Nährlösungen keine Bakterienkulturen wachsen, sofern keine neuen Bakterien von außen in die Lösung gelangen können. Damit war gezeigt, dass Lebewesen nur durch Fortpflanzung aus Ihresgleichen entstehen, nicht aber spontan aus unbelebter Materie. Durch diese Versuche prägte PASTEUR nicht nur nachhaltig die Art und Weise, wie einige Lebensmittel haltbar gemacht werden, sondern begründete auch den bis heute gültigen Satz „**Leben kommt nur aus Leben**“.

Für die Evolutionstheorie ist diese Gesetzmäßigkeit problematisch, da die Entstehung der ersten Lebewesen, von denen gemäß der Darwin'schen Lehre alle anderen abstammen sollen, demnach nicht durch natürliche Vorgänge möglich ist. Der evolutionäre Stammbaum aller Lebewesen würde folglich in der Luft hängen. Um die Auflösung dieses Paradoxons bemühten sich viele Wissenschaftler seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts bis heute – im Rahmen einer Disziplin, die im Laufe der Zeit die Bezeichnung „**präbiotische Chemie**“ erhielt. „Präbiotisch“ bedeutet hier „vor der Existenz der ersten Lebewesen“.

Von Anfang an war es das Forschungsziel dieser Disziplin, auf Naturgesetzen beruhende Prozesse zu finden, die vor langer Zeit ohne einen übernatürlichen Eingriff zur schrittweisen Entstehung erster Lebewesen geführt haben könnten. Die Frage, ob die Entstehung von Lebewesen auf diese Weise *überhaupt möglich* ist, wurde nie gestellt – es gab in diesem Sinne keine ergebnisoffene Forschung. Schon DARWIN spekulierte in einem seiner Briefe, dass das erste Lebewesen das Resultat chemischer Vorgänge in einem „warmen Tümpel“ gewesen sein könnte, und der russische Chemiker A. I. OPARIN formulierte das Ziel seiner Arbeit wie folgt: „Die Arbeit ist weit fortgeschritten und sehr bald werden die letzten Barrieren zwischen lebendig und tot fallen unter dem Angriff geduldiger Arbeit und mächtiger wissenschaftlicher Gedanken.“<sup>1</sup>

DARWIN und OPARIN wussten allerdings nur sehr wenig über die Abläufe im Inneren der Zelle. Für sie war die Zelle eine „Black Box“, wie es der Biochemiker Michael BEHE ausdrückte.<sup>2</sup> Das änderte sich nach dem Beginn der Ära der Biochemie ab den 1960-Jahren grundlegend – das Wissen um die Vorgänge in Zellen hat bis heute immens zugenommen. Seitdem die „Black Box“ geöffnet wurde, hört das Staunen über die schier unergründliche Komplexität und beispiellose Effizienz biochemischer Prozesse nicht auf. Doch wie hat sich dieser Erkenntnisgewinn auf die Frage nach dem Ursprung des Lebens ausgewirkt?

Es fällt auf, dass die populärwissenschaftliche Berichterstattung sich von derjenigen aus der Fachwissenschaft erheblich unterscheidet. Dem Laienpublikum wird stets suggeriert, die erstmalige Lebensentstehung durch ungesteuerte chemische Vorgänge sei etwas Selbstverständliches und im Wesentlichen verstanden. So meldete die *Sächsische Zeitung*

<sup>1</sup> OPARIN AI (1949/1938) Die Entstehung des Lebens auf der Erde, Leipzig.

<sup>2</sup> BEHE MJ (2007) Darwins Black Box – Biochemische Einwände gegen die Evolutionstheorie. Resch-Verlag, Gräfeling.

am 10.10.2018: „Dresdner Forscher finden einen Ursprung des Lebens. Eine zwar vorhandene, aber nie bewiesene Theorie konnte nun von Wissenschaftlern des Max-Planck-Instituts für molekulare Zellbiologie und Genetik erstmals im Experiment bestätigt werden.“ Dagegen äußern sich Wissenschaftler in Fachpublikationen diesbezüglich eher zurückhaltend. Gemäß dem Biochemiker Frank HAROLD tritt

die präbiotische Forschung seit ihren Anfängen in den 1920er Jahren auf der Stelle: „Bisher scheinen wir der Erleuchtung kaum näher gekommen zu sein als A. I. OPARIN oder J. B. S. HALDANE.“<sup>3</sup>

Woher rühren diese unterschiedlichen Einschätzungen und was kann anhand der Befunde tatsächlich über den Ursprung des Lebens gesagt werden?

## 2. Hypothesen zum Ursprung des Lebens

Bevor konkrete Theorien über den Ursprung des Lebens aufgestellt werden, ist es notwendig zu klären, was Leben eigentlich ist. Doch schon der Versuch, den Begriff „Leben“ zu definieren, blieb bisher erfolglos. Ein bekanntes Beispiel für eine solche Definition ist von Gerald JOYCE im Jahr 1995 aufgestellt worden (NASA-Definition): „Leben ist ein sich selbst erhaltendes, chemisches System, das zu Darwin'scher Evolution befähigt ist.“ Bei näherer Betrachtung von Lebewesen erweist sich diese Definition jedoch als eindeutig ungenügend. Abgesehen davon, dass die Höherentwicklung von Lebewesen (Darwin'sche Evolution) bisher nicht belegt ist, sind viele wichtige Eigenschaften des Lebens in der Definition nicht enthalten. Lebewesen können sich vermehren, haben die Fähigkeit der Wahrnehmung und beinhalten im Inneren ihrer Zellen ein hochgradig effizientes System der Informationsverarbeitung – neben einigen weiteren Eigenschaften (Abb. 1). Zudem sind Lebewesen nicht einfach nur irgendwelche „chemischen Systeme“, sondern sie bestehen aus ganz bestimmten molekularen Bausteinen, deren Zusammenwirken überaus fein abgestimmt und präzise reguliert erfolgt. Nicht selten werden Organismen aufgrund ihrer Eigenschaften mit Computern verglichen – wobei von Menschen hergestellte Computer weitaus einfacher gebaut sind. Auch wenn es absurd klingt, ist es aus evolutionärer Sicht nur konsequent, dass die Lebensursprungsforscher B. DAMER und D. DEAMER in einer ihrer letzten Publikationen die Behauptung aufstellten, dass die spontane Entstehung eines „chemischen Computers“ in lebenden Zellen ohne Konstrukteur und Programmierer prinzipiell möglich sei: „Kann ein chemischer Computer auf einem unbelebten aber lebensfreundlichen Planeten wie der frühen Erde spontan entstehen? Die Antwort ist

offensichtlich ‚ja‘, weil das Leben einen Anfang genommen hat, aber der Vorgang, durch den das Geschehen ist, bleibt ein fundamentales Problem der Biologie.“<sup>4</sup>

Um den Vergleich mit einem Computer aufzugreifen: Eine Hypothese zum Ursprung des Lebens ohne Bezugnahme auf einen Schöpfer muss die folgenden Sachverhalte schlüssig erklären:

1. Wie sind zueinander passende und für die Funktion (zu erfüllenden Aufgabe) im „chemischen Computer“ optimal geeignete Bauteile aus einfachen Stoffen entstanden. Bei einem technischen Computer wären solche einfachen Stoffe z.B. Sand, Kohlendioxid, einige Mineralien und Wasser. Für Lebewesen ist das vergleichbar mit der Frage nach der Entstehung spezifischer biologischer **Makromoleküle** (Proteine, Nukleinsäuren, Lipide) aus einfachen kleinen Molekülen wie Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Stickstoff und Wasser.

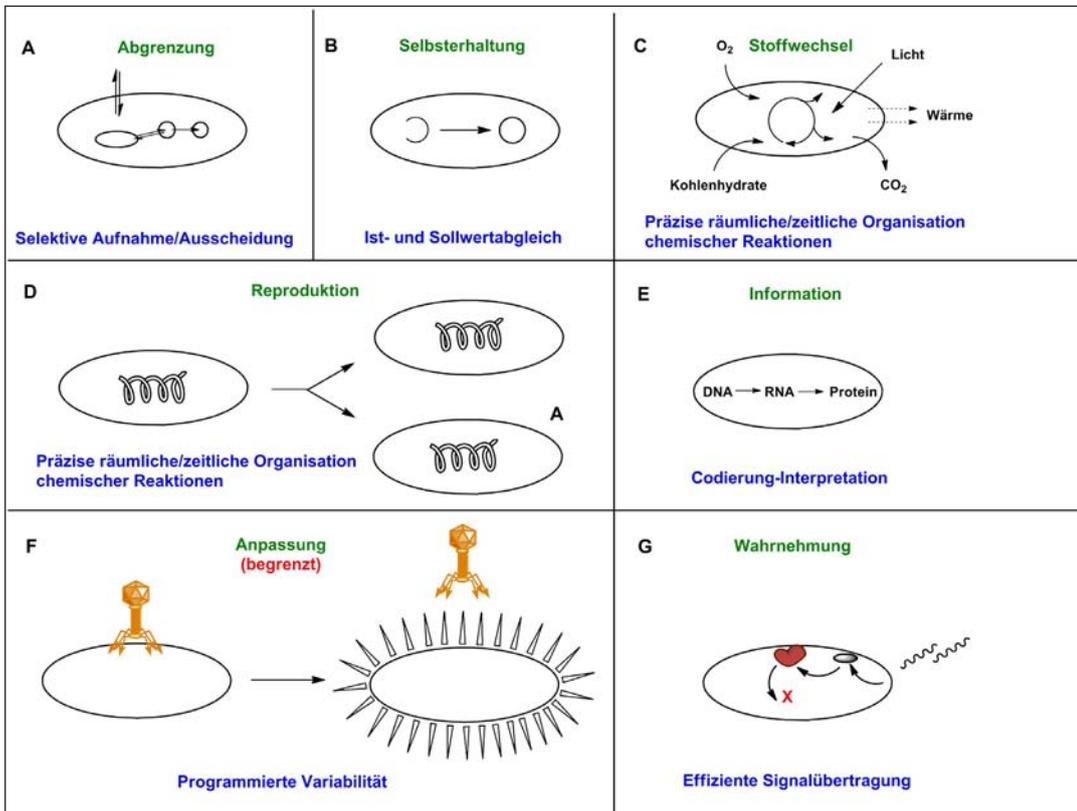
2. Wie ist es dazu gekommen, dass die Bauteile sich anschließend zu **Funktionseinheiten** zusammengefügt haben wie z. B. einer molekularen Turbine – vergleichbar mit technischen Funktionseinheiten wie z.B. einer Festplatte oder einer Kamera?

3. Zudem wäre es notwendig aufzuzeigen, wie sich die einzelnen Module von selbst zu einem funktionstüchtigen Computer kombiniert haben könnten. Das ist vergleichbar mit dem spontanen Zusammenkommen aller notwendigen biologischen **Module** wie Erbgut, Zellwand und sämtlicher für den Stoffwechsel erforderlicher Enzyme. Die Module müssen zudem aufeinander abgestimmt sein, um eine Funktionsweise zu ermöglichen.

4. Im Unterschied zu technischen Computern können Lebewesen sich fortpflanzen. Die

<sup>3</sup> HAROLD FM (2014) In search of cell history. The University of Chicago Press, S. 165,

<sup>4</sup> DAMER B & DEAMER D (2020) The hot spring hypothesis for an origin of life. *Astrobiology* 20, doi: 10.1089/ast.2019.2045.



**Abb. 1** Eine Auswahl von sieben grundlegenden Eigenschaften von Lebewesen. Die Eigenschaft ist als Überschrift über dem jeweiligen Symbol notiert. Unter dem Symbol befindet sich die für die Eigenschaft erforderliche Voraussetzung bzw. Leistung.

**A** Abgrenzung: Die Abgrenzung ist für Leben unverzichtbar, da es anderenfalls sofort zum Verlust lebenswichtiger Moleküle bzw. zu Störungen durch eindringende Fremdstoffe käme. Mit der Abgrenzung geht die Notwendigkeit des selektiven Transports bestimmter Stoffe ins Innere der Zelle (Ernährung) aber auch aus der Zelle heraus (Ausscheidung von Abfallprodukten/Giften) einher.

**B** Selbsterhaltung bedeutet im Grunde die Fähigkeit zur Selbstreparatur. Hierfür muss es in der Zelle die Fähigkeit zum Abgleich des gegenwärtigen Zustandes mit einem idealen Zustand geben, damit im Fall von Abweichungen vom Idealzustand entsprechende Signale ausgelöst werden und Korrekturen erfolgen können.

**C** Der Stoffwechsel ist ein gekoppeltes System vieler biochemischer Reaktionen. Viele der Vorgänge müssen jedoch räumlich getrennt stattfinden, da es anderenfalls zu Störungen käme.

**D** Die Reproduktion von Mikroorganismen erfolgt durch Zellteilung. Dazu müssen zunächst die notwendigen Kopiervorgänge der genetischen Information zeitlich passend stattfinden und die molekularen Maschinen vollständig und gleichmäßig verteilt werden.

**E** Die unverzichtbare Grundlage des Geschehens in der Zelle ist die Information im Erbgut. Damit diese Information verarbeitet werden kann, bedarf es komplexer Enzyme, die diese Information „interpretieren“.

**F** Lebewesen können sich in einem gewissen Umfang an variierende Umweltbedingungen anpassen. Für passende Reaktionen auf Umweltveränderungen ist die Fähigkeit zu einer schnellen und gezielten Veränderung notwendig. Seit einiger Zeit ist bekannt, dass solche bei Bedarf aktivierbare „Programme“ im Erbgut der Lebewesen vorhanden sind.

**G** Für Reaktion auf Gefahren oder die Ortung von Nahrungsquellen (allgemein: Wahrnehmung von Reizen) muss es in der Zelle effiziente Wege der Signalaufnahme und -übertragung geben.

aus evolutionstheoretischer Sicht zwingend erforderliche Annahme, dass Mikroorganismen wie Bakterien als erste Lebewesen da waren, wirft die Frage auf, wie biologische Makromoleküle sich selbst kopiert haben können (**Replikation**) und schließlich wie es zur ersten **Zellteilung** gekommen sein soll.

Aus der Summe der erforderlichen molekularen Bausteine und der grundlegend für Leben notwendigen Funktionen können Minimalbedingungen für erste Lebewesen abgeleitet werden. Im Rahmen eines überzeugenden Modells zu einer natürlichen Lebensentstehung sollte aufgezeigt werden können, wie diese Minimalbedingungen durch einen schrittweisen natürlichen Vorgang erreicht werden können. Die gegenwärtige theoretische Vorstellung eines

solchen Vorgangs ist in Abb. 2 dargestellt. Dabei reicht es allerdings nicht aus, ein rein theoretisches Konzept auf dem Papier zu formulieren oder Computersimulationen durchzuführen. Es bedarf experimenteller Nachweise, dass solche chemischen Prozesse tatsächlich ablaufen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Bedingungen solcher Experimente möglichst nah an natürliche Gegebenheiten herankommen, wie sie auf der mutmaßlichen frühen Erde geherrscht haben könnten. Reine chemische Experimentierkunst ist zwar bewundernswert, hat aber für die Frage nach der Entstehung erster Lebewesen keinerlei Relevanz. Denn nach dem naturalistischen Ansatz, wonach nur natürliche Gesetzmäßigkeiten berücksichtigt werden dürfen, steht kein Experimentator zur Verfügung. Leslie E. ORGEL formulierte diese Forderung

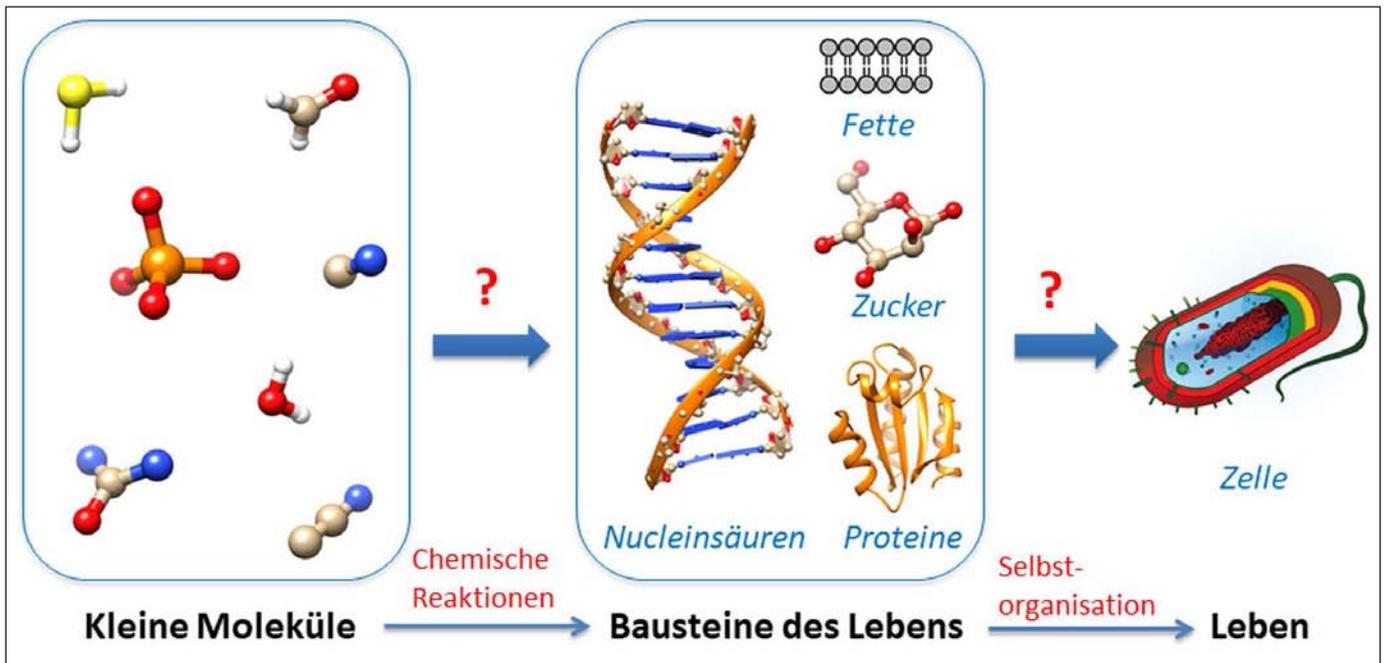


Abb. 2 Übersicht zum allgemein angenommenen Übergang von der unbelebten Materie zu ersten Lebewesen.

wie folgt: „Lösungen jedoch [...], die von einer ‚hypothetischen wenn-Schweine-fliegen-könnten-Chemie‘ abhängig sind, werden wohl kaum weiterhelfen.“<sup>5</sup>

Sollten also naturgesetzmäßig verlaufende Vorgänge nachgewiesen werden, die ausgehend von einfachen Molekülen zur Entstehung molekularer Systeme führen, die dem Leben

vergleichbar sind, wäre die evolutionstheoretische Annahme, dass Leben von selbst entstehen kann, bestätigt. Sollte sich allerdings zeigen, dass solche Versuche nachhaltig scheitern, wäre dies ein klares Indiz dafür, dass dem Phänomen Leben eine kreative Verursachung zugrunde liegt – damit wäre eine Stärkung der Schöpfungslehre gegeben.<sup>6</sup>

### 3. Entstehung der molekularen Bausteine des Lebens

#### Das Aminosäure-Alphabet

Proteine sind lange unverzweigte Molekülketten (Polymere), die aus einem Satz von 20 natürlich vorkommenden Aminosäuren (Monomere) zusammengesetzt sind (Abb. 3). Bei Menschen bestehen z.B. die Haut, die Augen, die Haare oder die Nägel aus Proteinen. Darüber hinaus steuern bzw. beschleunigen Proteine sämtliche physiologische Abläufe wie z.B. Atmung, Verdauung, Wahrnehmung, Wundheilung oder die Abwehr von Krankheitserregern. Für solche Vorgänge sind als Enzyme bezeichnete Proteine unverzichtbar. Vergleichbare Funktionen üben diese Makromoleküle

auch in allen anderen Lebewesen aus – vom Bakterium bis zum Blauwal. Angesichts der unüberschaubaren Zahl an chemisch möglichen Aminosäuren ist es auffällig, dass Proteine in nahezu allen Lebewesen aus einer winzig kleinen Auswahl von 20 bestimmten Aminosäuren (**kanonische Aminosäuren**) bestehen. Bis auf wenige Ausnahmen kann ihr Vorkommen als universell bezeichnet werden. Daher ist es für die Plausibilität evolutionstheoretischer Hypothesen zum Ursprung des Lebens erforderlich, experimentell nachzuweisen, wie dieser kanonische Satz aus 20 Aminosäuren auf einem natürlichen Wege (von alleine) entstanden sein kann.

<sup>5</sup> ORGEL LE (2008) The implausibility of metabolic cycles on the prebiotic earth. PLoS Biology 6, e18.

<sup>6</sup> „Schöpfung“ ist hier im allgemeinen Sinne gemeint als kreatives, planvolles, zielorientiertes Hervorbringen. „Schöpfung“ in diesem Sinne ist das Gegenstück zu „rein natürlicher Verursachung“. Beide Möglichkeiten schließen sich gegenseitig aus, und mehr als

diese beiden Möglichkeiten gibt es nicht. Entweder ein Gegenstand ist „von alleine“ (durch bloße natürliche Faktoren) entstanden oder er ist es nicht. Daher sind Argumente gegen eine natürliche Verursachung zugleich Argumente für die Alternative, für Schöpfung im allgemeinen Sinne.

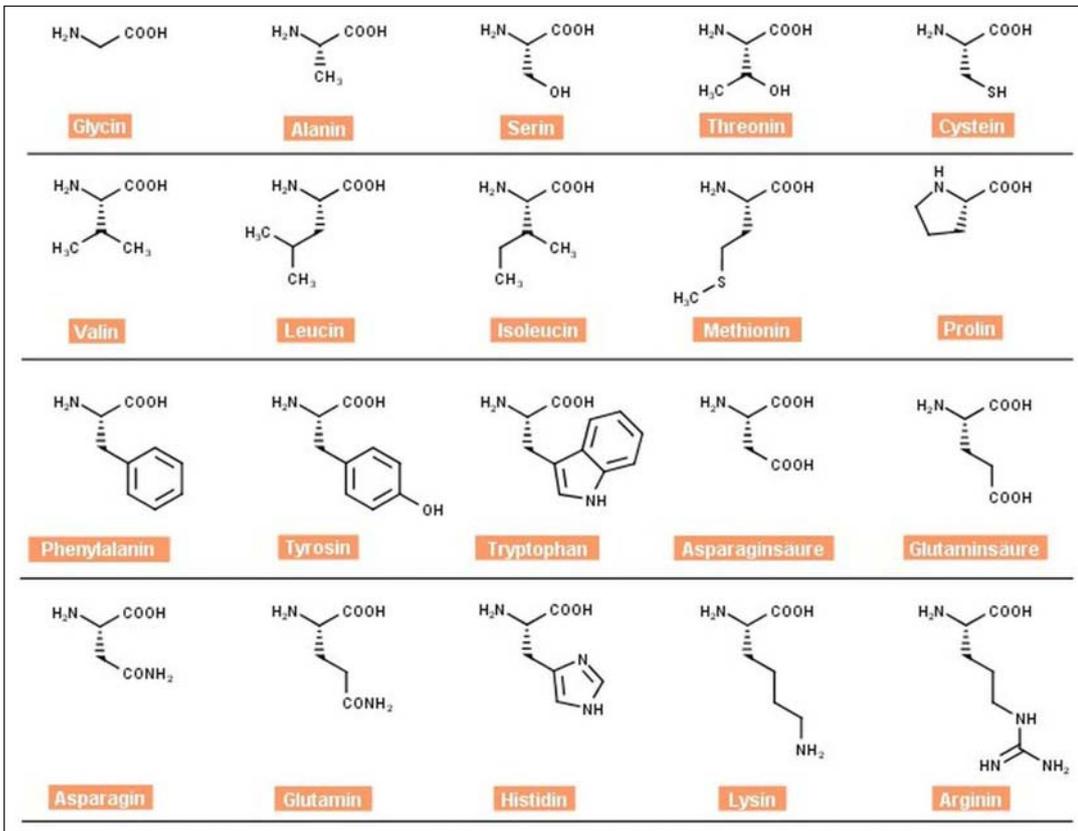


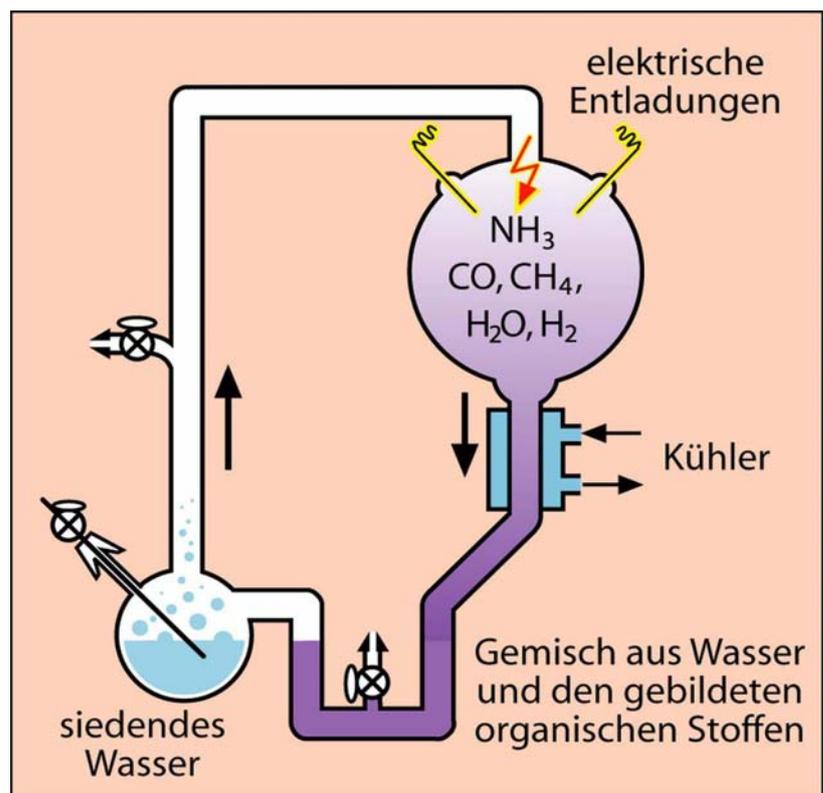
Abb. 3 Chemische Formeln der 20 natürlich vorkommenden (kanonischen) Aminosäuren aus denen Proteine aufgebaut sind.

In diesem Zusammenhang wird immer wieder auf das Experiment von Harold UREY und Stanley L. MILLER verwiesen (kurz: **Miller-Experiment**), das in einer Publikation aus dem Jahr 1953 beschrieben worden ist. Darin sei gezeigt worden, heißt es bis heute in vielen populärwissenschaftlichen Zeitschriften und Lehrbüchern, dass die Entstehung von Aminosäuren als Bausteinen des Lebens unter einfachen Bedingungen einer frühen Erde möglich ist. In diesem Experiment wurde eine Mischung verschiedener Gase (Methan, Ammoniak, Wasserstoff) und Wasserdampf in einer geschlossenen Apparatur elektrischen Entladungen ausgesetzt (Abb. 4). Der Versuchsaufbau wurde ausgehend von theoretischen Überlegungen aus einer Veröffentlichung von A. I. OPARIN gewählt. Dabei stellte die Gasmischung die Atmosphäre der frühen Erde dar, während die elektrischen Entladungen Blitzen entsprechen sollten. Die Ergebnisse der Versuche wurden in den Medien sehr euphorisch kommentiert, da Aminosäuren mit ca. 13% einen bedeutenden Anteil des im Versuch erhaltenen Stoffgemischs ausmachten.

Kritische Aspekte bezüglich des Miller-Experiments bleiben allerdings bis heute meist unerwähnt. Aus Schulbüchern oder populärwissenschaftlichen Artikeln erfährt man nicht, dass die Aminosäuren erst nach Behandlung der Proben mit konzentrierter Schwefelsäure nachgewiesen werden konnten, was keineswegs natürlichen Bedingungen nahe kommt. Auch der Umstand, dass nur fünf kanonische Aminosäuren nachgewiesen wurden, spricht

nicht dafür, dass es sich um ein überzeugendes Modell der Bildung erster Bausteine des Lebens handelt. Außerdem bildeten sich im Verlauf des Experiments viele Moleküle, die eine Weiterreaktion der Aminosäuren zu Proteinen wirksam verhindern, wie weiter unten näher erläutert wird. Auch Aminosäuren, die nicht zu den 20 kanonischen Aminosäuren gehören, wurden in großer Zahl gebildet. Diese Verbindungen

Abb. 4 Schematische Darstellung der Apparatur des Miller-Versuchs.



waren in viel größerer Menge im resultierenden Gemisch vorhanden als die in der Natur vorkommenden Aminosäuren. Schließlich besteht mittlerweile unter Wissenschaftlern Einigkeit darüber, dass die Zusammensetzung der Atmosphäre, wie Miller sie wählte, unrealistisch war.

Später wurden zahlreiche ähnliche Experimente mit unterschiedlichen Gaszusammensetzungen und anderen Energiequellen (z.B. UV-Licht, Laserstrahlung) durchgeführt. Die Ergebnisse unterscheiden sich im Detail, wobei meistens die zwei einfachsten Aminosäuren Glycin und Alanin in bedeutender Menge vorlagen, während andere proteinogene<sup>7</sup> Aminosäuren wenn überhaupt, nur in sehr geringen Mengen oder in Spuren erhalten wurden. In einigen Versuchen wurden bis zu 11 kanonische Aminosäuren in einem Experiment nachgewiesen. Jedoch wurden nie alle 20 kanonischen Aminosäuren in solchen Experimenten erhalten. Komplexer gebaute Aminosäuren wie Tryptophan, Tyrosin oder Methionin sind nie in solchen Versuchen nachgewiesen worden, Aminosäuren wie Phenylalanin oder Histidin nur sehr selten. MILLER selbst äußerte sich 40 Jahre nach seiner ersten Veröffentlichung recht pessimistisch bezüglich der Relevanz der Simulationsexperimente für die Frage nach dem Ursprung des Lebens. Zusammenfassend schrieb John HORGAN nach einem Interview mit MILLER: „Keine der gegenwärtigen Hypothesen über den Ursprung des Lebens schien Miller zu überzeugen; er bezeichnete sie als ‚Unsinn‘ bzw. als ‚chemische Kopfgeburten‘.“<sup>8</sup>

Jüngere Forschungsergebnisse haben zudem aufgezeigt, dass der Satz der 20 kanonischen Aminosäuren hinsichtlich seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften einzigartig und für seine Funktion optimal ist.<sup>9</sup> Dieser Sachverhalt steht in scharfem Kontrast zu den Ergebnissen der Miller-Experimente, in denen sehr viel weniger gut geeignete Sätze an Aminosäuren entstanden sind. Dagegen stellt eine optimale Beschaffenheit des kanonischen Aminosäuresatzes ein gutes Argument für Schöpfung dar.

## Entstehung der Proteine

Wie zuvor erwähnt, sind Proteine lange, unverzweigte Kettenmoleküle. Sie können also prinzipiell durch die Verknüpfung von Aminosäuren erhalten werden. Das ist möglich,

weil jede Aminosäure über mindestens zwei Verknüpfungsstellen verfügt (**bifunktionelles Molekül**). Die in Proteinen vorliegende Verknüpfung zwischen Aminosäuren wird als **Peptidbindung** bezeichnet (Abb. 5). Das lineare Verknüpfen von Peptidbindungen (wie eine Perlenkette) zwecks Synthese von langen Aminosäureketten war lange Zeit selbst für kompetente Chemiker ein schwieriges Problem. So erhielt der US-amerikanische Chemiker Vincent DU VIGNEAUD für die Synthese des Peptidhormons Oxytocin, welches aus nur neun Aminosäuren besteht, im Jahr 1955 den Nobelpreis. Und im Jahr 1984 wurde Robert Bruce MERRIFIELD für die Entwicklung eines effizienten Laborverfahrens, dessen Grundprinzip auch aktuell in Laboratorien zur Proteinsynthese genutzt wird, ebenfalls mit dem Nobelpreis geehrt. Bei diesem Verfahren ist neben vielen anderen Parametern darauf zu achten, dass die Reaktionslösung möglichst frei von Wasser ist. Zudem werden bei der Reaktion spezielle Reagenzien verwendet, die das bei der Knüpfung der Peptidbindung freigesetzte Wasser binden. Dies ist unverzichtbar, da die Reaktion anderenfalls in die umgekehrte Richtung läuft: die Spaltung der Peptidbindung (Hydrolyse) (vgl. Abb. 5, Richtung nach links).

Diese Sachverhalte stellen für die Entstehung von Proteinen unter präbiotischen Bedingungen schwerwiegende Probleme dar, weil Wasser auch auf der frühen Erde allgegenwärtig war und das Vorkommen spezieller wasserentziehender Reagenzien faktisch unmöglich ist. Dies wird als „**Wasser-Problem**“ der präbiotischen Chemie bezeichnet.<sup>10</sup> Erschwerend kommt hinzu, dass unter ungesteuerten Bedingungen eine große Vielfalt an chemischen Reaktionen möglich ist, die auch Moleküle mit nur einer Verknüpfungsstelle hervorbringt (**monofunktionelles Molekül**). Solche Verbindungen sind bei dem Miller-Experiment in großem Überschuss entstanden und würden nach einer Reaktion mit einer Aminosäure eine weitere Reaktion mit einer anderen Aminosäure und damit das Kettenwachstum blockieren (Abb. 6). Darüber hinaus verfügen viele Aminosäuren über mehr als zwei Verknüpfungsstellen, sodass es bei Abwesenheit einer Steuerung der Reaktion zwangsläufig zur Bildung von verzweigten Aminosäureketten kommt. Solche molekularen Gebilde sind noch nie dafür bekannt gewesen, nützliche

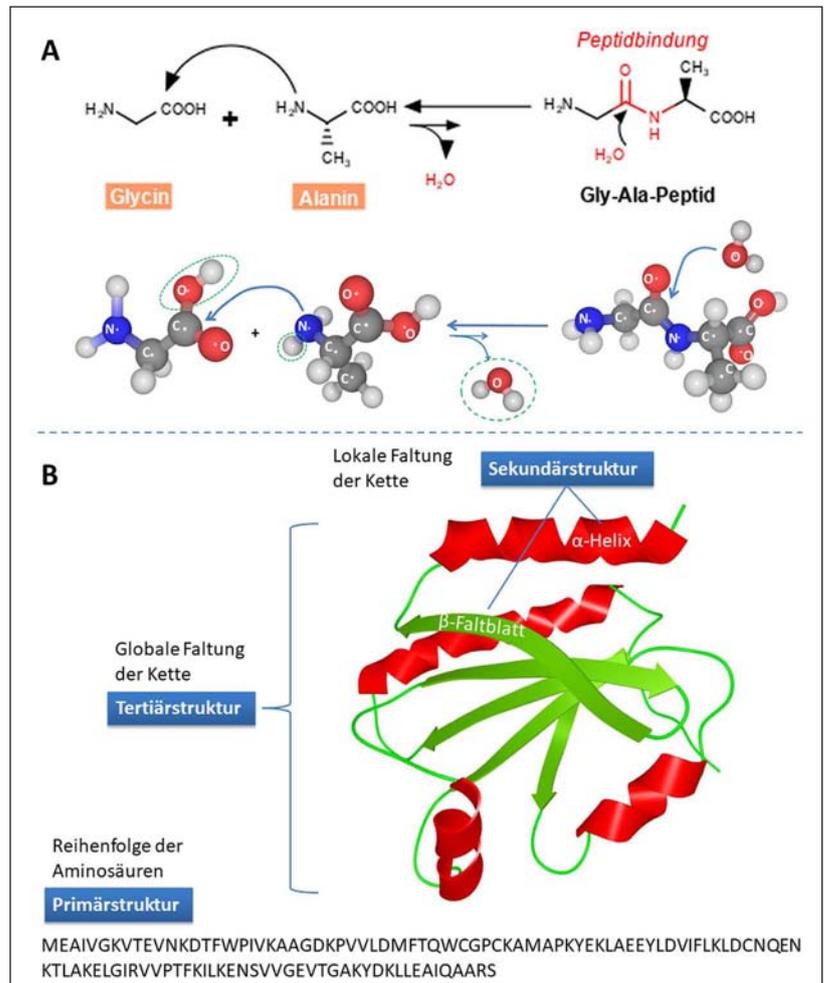
<sup>7</sup> Für den Aufbau von Proteinen verwendete Aminosäuren (20 kanonische Aminosäuren).

<sup>8</sup> HORGAN J (2000) An den Grenzen des Wissens – Siegeszug und Dilemma der Naturwissenschaften. Fischer Taschenbuch

<sup>9</sup> ILARDO M et al. (2015) Extraordinarily adaptive properties of the genetically encoded amino acids. *Sci. Rep.* 5: 9414.

<sup>10</sup> BENNER SA et al. (2012) Asphalt, water and the prebiotic synthesis of ribose, ribonucleosides and RNA. *Acc. Chem. Res.* 45, 2025–2034.

**Abb. 5 A** Bildung einer Peptidbindung anhand der Beispielreaktion von Glycin und Alanin (unter Abspaltung eines Wassermoleküls). In der Strichformel-Darstellung sind, wie üblich die Wasserstoff-Atome zwecks Übersichtlichkeit nur teilweise angeführt, während sie in der darunter befindlichen räumlichen Darstellung alle als weiße Kugeln dargestellt sind. Die Rückreaktion unter Spaltung der Peptidbindung ist gegenüber der Knüpfung der Peptidbindung stark bevorzugt (angedeutet durch den größeren Pfeil der Rückreaktion). Das heißt: Bei Anwesenheit von Wasser (was bei hypothetischen Ursuppenzenarien angenommen werden muss) werden sich eventuell entstandene Peptidbindungen viel häufiger lösen als dass sich neue Bindungen bilden. **B** Veranschaulichung der Faltung von Aminosäureketten (Proteinen) anhand des Proteins Thioredoxin aus Spinat. Die einfache Reihenfolge von Aminosäuren wird als Primärstruktur bezeichnet. Lokale Faltungsmuster wie die  $\alpha$ -Helix oder das  $\beta$ -Faltblatt werden als Sekundärstruktur und die globale dreidimensionale Gestalt als Tertiärstruktur bezeichnet.



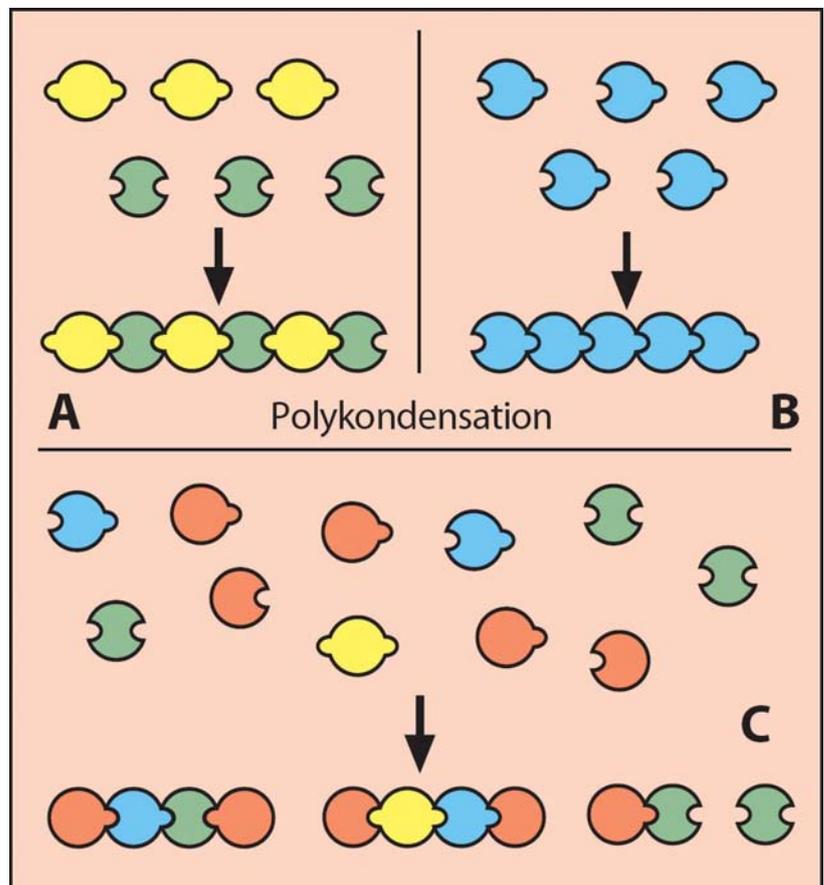
biologische Funktionen ausführen zu können und kommen in Lebewesen nicht vor.

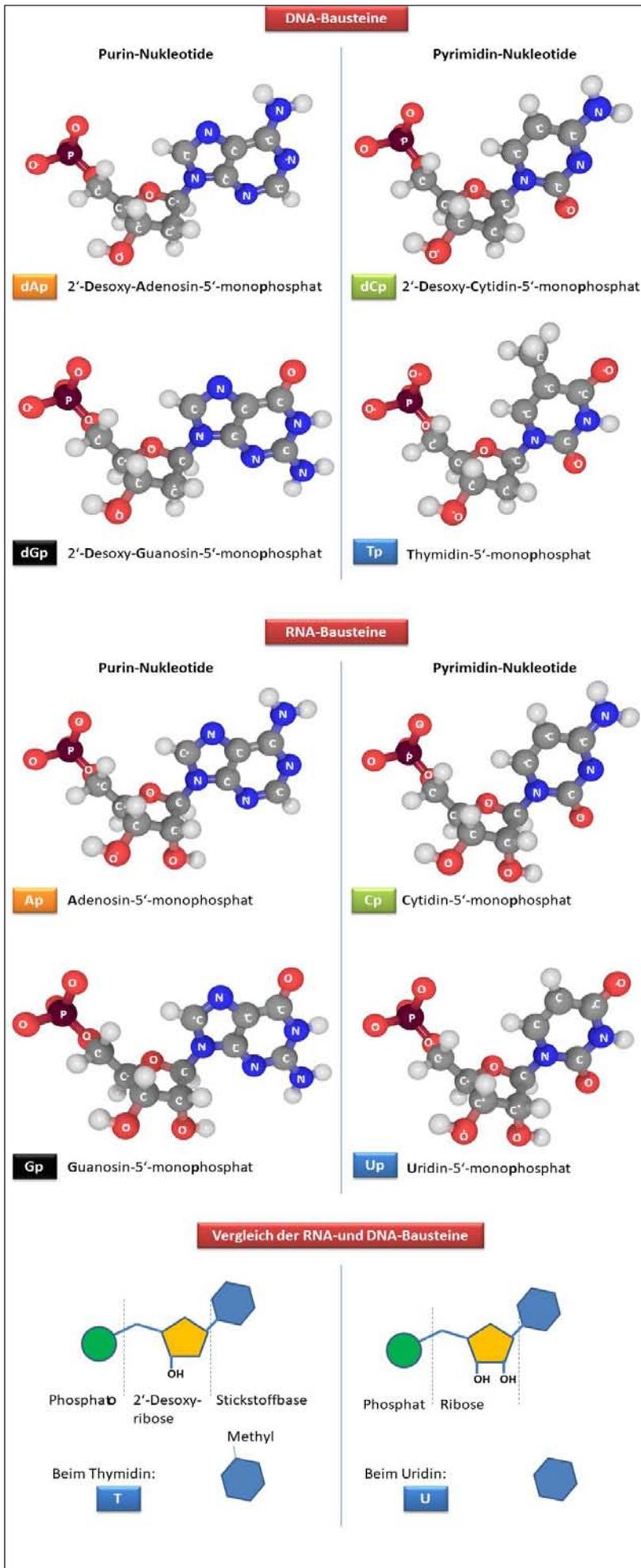
Die prinzipiellen Probleme einer präbiotischen Proteinsynthese sind immens und bisher vorgebrachte Lösungsvorschläge bedienen sich stets kunstfertiger Chemie im Labor. Das heißt: Bisher ist die Synthese von Proteinen, wie sie in Lebewesen vorkommen, nur nach sorgfältiger Syntheseplanung und genauer Durchführung aufwändiger Verfahren möglich. Das spricht viel eher dafür, dass Proteine auch am Beginn allen Lebens das Resultat einer genialen schöpferischen Meisterleistung waren.

## Entstehung der Nukleotide

Neben den Proteinen gibt es in den Zellen von Organismen noch einen weiteren Typ von Makromolekül, der für alle biochemischen Abläufe unverzichtbar ist: die Nukleinsäuren. Zu dieser Kategorie zählen die Ribonukleinsäuren (**RNA**) und die Desoxyribonukleinsäuren (**DNA**). Die DNA ist das Material, aus dem unser Erbgut besteht, während der RNA viele wichtige Funktionen, z. B. in der Übertragung der Information vom Erbgut zum Ort der Proteinsynthese zukommen. Manche RNA-Moleküle haben Regulationsaufgaben im Betrieb

**Abb. 6** Veranschaulichung des Problems der Verknüpfung von Aminosäuren bzw. Nukleotiden zu Kettenmolekülen anhand eines Druckknopf-Modells (nach VOLLMERT B, Das Molekül und das Leben. Rowohlt Verlag, Reinbek bei Hamburg, 1985). Aminosäuren bzw. Nukleotide würden in einer „idealen Situation“ gemäß Schema B zu Ketten (Peptiden, Nukleinsäuren) verknüpft werden. Allerdings entspricht die Situation in einer „Ursuppe“ viel eher dem Schema C da in ungesteuerten chemischen Reaktionen eine Vielzahl verschiedener Moleküle gebildet wird. Dabei entstehen viele Moleküle, die die Bildung der Kettenmoleküle des Lebens wirksam verhindern. Unter dem Begriff „Polykondensation“ ist in der Sprache der Chemie die Verknüpfung vieler Einzelbausteine (Monomere) zu einem Kettenmolekül (Polymer) zu verstehen. Bei diesem Vorgang werden stets kleine Moleküle freigesetzt – im Fall der DNA, RNA und Proteinen ist das bei der Kettenbildung freigesetzte kleine Molekül Wasser. (Der Aspekt der Wasserabspaltung wird in dem Modell jedoch nicht abgebildet.)



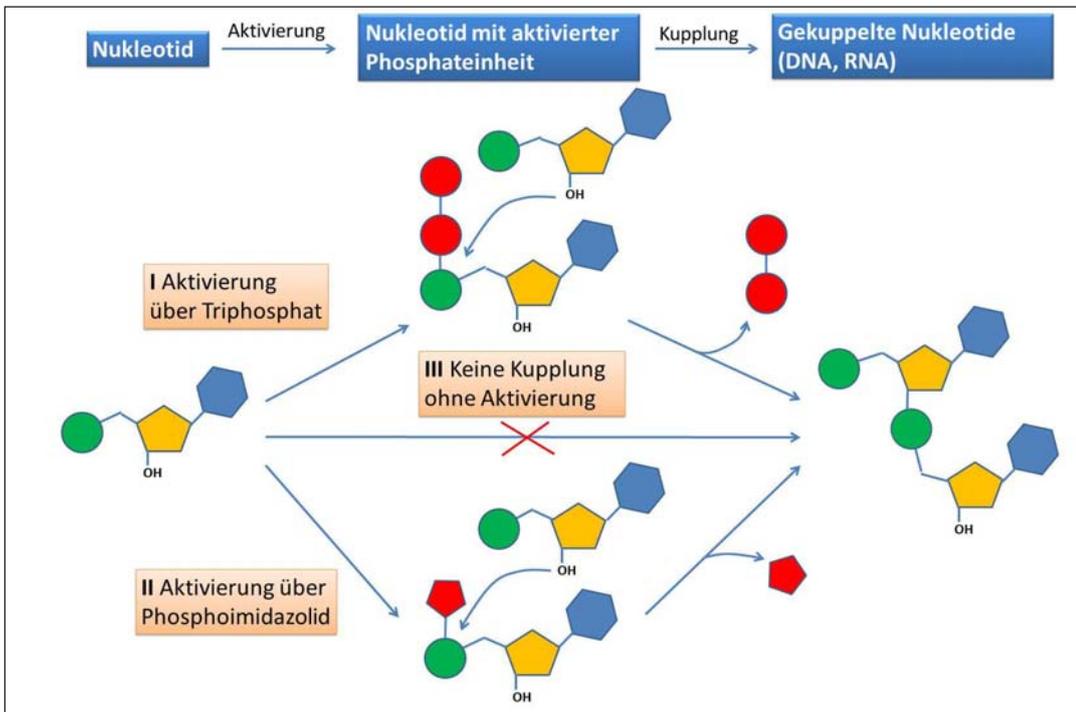


**Abb. 7** Dreidimensionale Darstellung der molekularen Bausteine der DNA und der RNA. Die beiden Polymere DNA und RNA unterscheiden sich hinsichtlich der Beschaffenheit der Zucker-Komponente (Ribose oder Desoxyribose) und im Fall eines Nucleotids unterscheidet sich die Stickstoffbase um eine Methylgruppe (CH<sub>3</sub>).

der Zelle. Die Bausteine der RNA werden als Ribonucleotide bezeichnet und die Bausteine der DNA als Desoxyribonucleotide. Während Proteine wie erwähnt aus 20 verschiedenen Bausteinen (den Aminosäuren) aufgebaut sind, bestehen DNA und RNA nur aus jeweils vier verschiedenen Bausteinen. Die Bausteine von DNA- und RNA-Molekülen sind chemisch deutlich komplexer gebaut als Aminosäuren (Abb. 7). Sie sind jeweils aus drei Bestandteilen zusammengesetzt: einer Stickstoffbase, einem Zucker (Ribose oder Desoxyribose) und einem Phosphat. Letztere Untereinheiten dienen dazu, die Nucleotide über Phosphorsäurediester-Brücken zu verknüpfen. Solche komplexen Moleküle wie Nucleotide würde selbst der optimistischste Chemiker nicht als Resultat von Miller-Experimenten erwarten. Dennoch müssen im Rahmen evolutionstheoretischer Lebensursprungsmodelle Erklärungen für deren Entstehung auf der Grundlage ungesteuerter chemischer Vorgänge gefunden werden.

Es ist naheliegend, von einem stufenweisen Aufbau der Nucleotide auszugehen. Zunächst könnte sich eine Stickstoffbase mit einem Zuckermolekül verbinden, um anschließend mit einem Phosphat-Molekül zu reagieren. Allerdings ist auch für alle diese Reaktionen der ständige Entzug von Wasser aus dem Reaktionsgemisch notwendig, denn bei Vorhandensein von Wasser läuft bevorzugt die Bindungsspaltung (Hydrolyse) ab. Erneut ist also das „Wasser-Problem“ ein schwerwiegendes Hindernis. Zudem erscheint es hochgradig unwahrscheinlich, dass alle benötigten Komponenten an einem Ort und zur gleichen Zeit in ausreichender Konzentration und bei gleichzeitiger Abwesenheit störender Moleküle vorliegen würden. Daher wurden von John D. SUTHERLAND recht originelle direkte Nucleotid-Synthesen aus kleineren Molekülen als Erklärung vorgeschlagen.<sup>11</sup> Allerdings führen diese Reaktionen nur dann zu Nucleotiden, wenn die Reihenfolge der Zugabe bestimmter Reagenzien und einige andere Parameter genau eingehalten werden. Es wird also chemische Expertise und eine hochentwickelte Laborausstattung benötigt, um die Synthese auszuführen. Daher urteilt der Lebensursprungsforscher Jack W. SZOSTACK in Bezug auf diese

<sup>11</sup> POWNER MW, GERLAND B & SUTHERLAND JD (2009) *Nature* 459, 239-242.



**Abb. 8** Vereinfachte Übersicht der chemischen Aktivierung von Phosphateinheiten. Die rot gefärbten Gruppen sind so genannte Abgangsgruppen die beim Eintritt der Kupplungsreaktion durch ein Nucleotid ersetzt werden. In Teilreaktion I wird zunächst ein Nucleotidtriphosphat erzeugt (in Organismen unter Beteiligung komplexer Enzyme), wonach die Kupplungsreaktion stattfindet. Die Abgangsgruppe hierbei ist Diphosphat. In Teilreaktion II verläuft die Kupplung über ein Phosphoimidazolid – eine häufig angewendete Methode für präbiotische Modelle im Labor. In diesem Fall ist die Abgangsgruppe ein Imidazol. Wie in III veranschaulicht, findet ohne eine Aktivierung der Phosphateinheit keine Kupplung statt. Es soll hier nicht unerwähnt bleiben, dass die Laborsynthese von Phosphoimidazoliden nicht trivial ist.

Versuche: „Die Geschichte bleibt jedoch weiterhin unvollständig, weil diese Reaktionsfolgen immer noch auf zeitlich getrennte Abläufe und die Verwendung der genau richtigen Reaktanden in hoher Konzentration angewiesen sind. Zudem würden die Reaktionsfolgen durch andere, den Ausgangsstoffen sehr ähnliche Moleküle unterbrochen.“<sup>12</sup>

## Entstehung und Vervielfältigung (Replikation) von Nucleinsäuren

In ähnlicher Weise wie bei den Proteinen wäre die nächste logische Frage, wie Nucleotide miteinander zu Nucleinsäuren verknüpft werden können, sodass auch hier (wie bei den Proteinen) kettenförmige Makromoleküle entstehen und diese als Träger der Erbinformation genutzt werden konnten. Hierfür gibt es zwar in der wissenschaftlichen Fachliteratur Vorschläge, wie z.B. die Synthese kurzer, aus maximal 50 Nucleotiden bestehender RNA-Stränge auf der Oberfläche von Tonmineralen.<sup>13</sup> Doch sind die gewählten Bedingungen weit von natürlichen Gegebenheiten entfernt. Das Kernproblem ist in diesem Fall die Phosphateinheit, welche die Ribonucleotide in einem RNA-Strang verknüpft (Abb. 8). Phosphate müssen nämlich chemisch aktiviert werden, damit die Verknüpfung zum nächsten Nucleotid erfolgen kann.

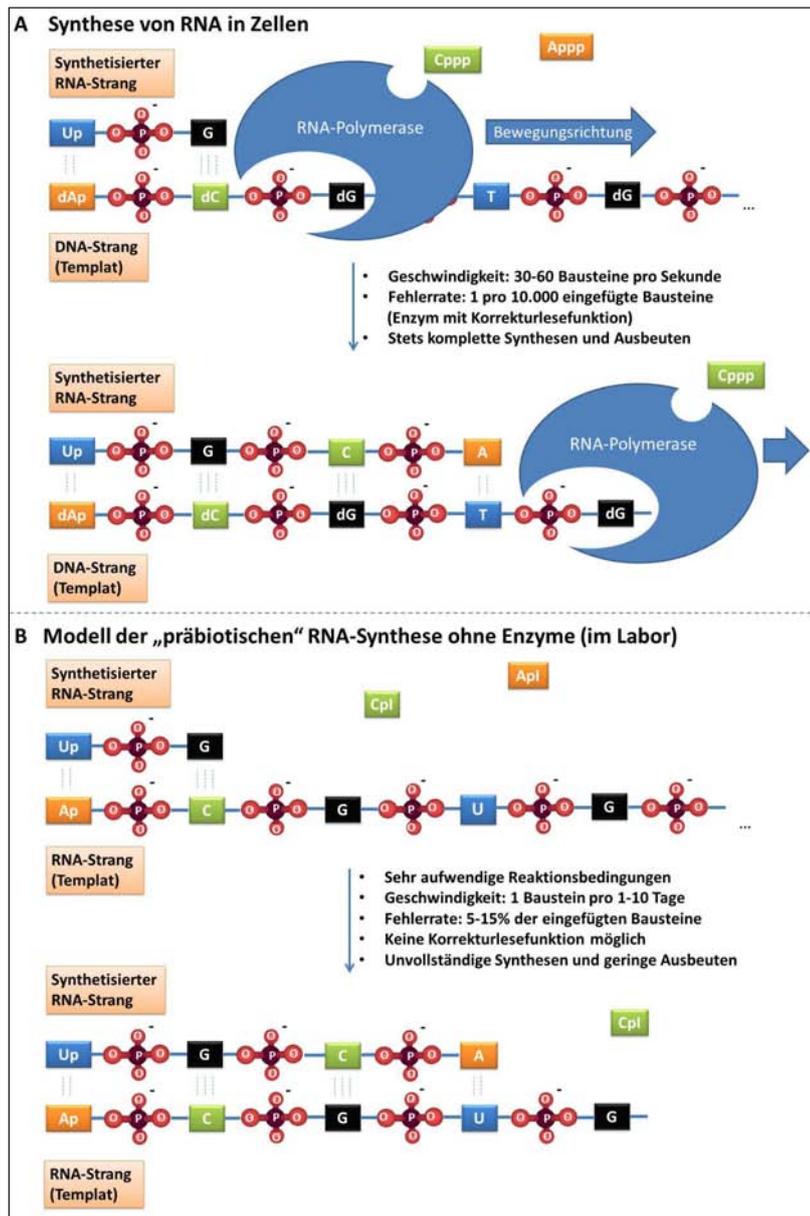
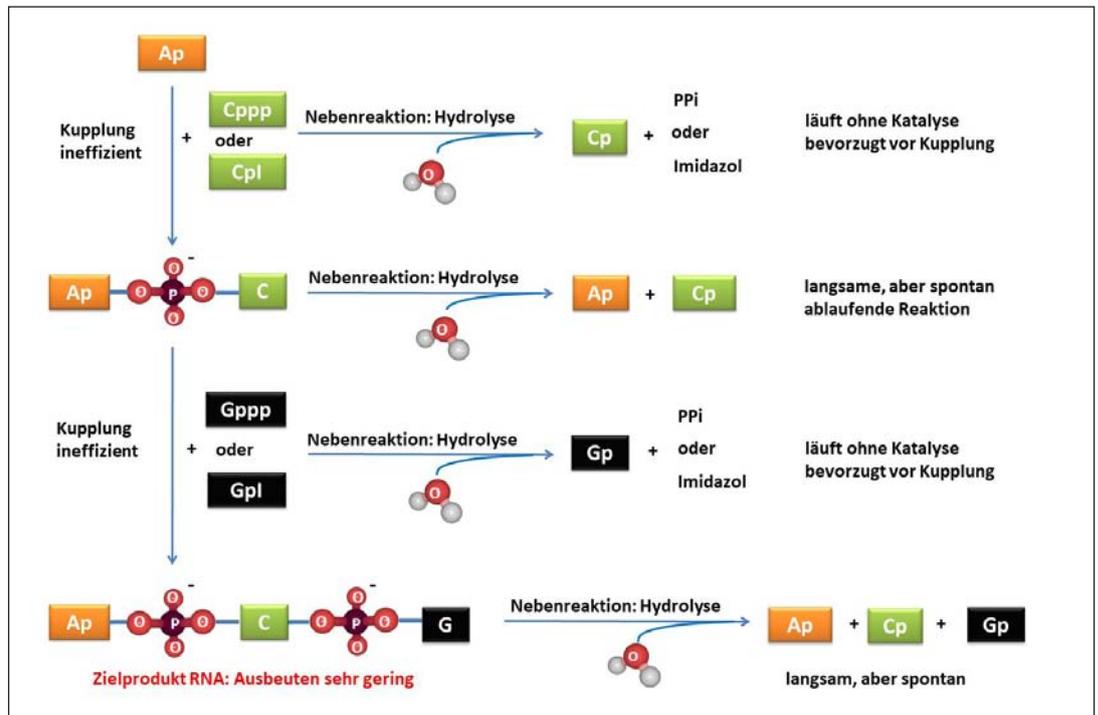
Chemische Aktivierung bedeutet Folgendes: Die Phosphateinheit eines Nucleotids wird durch eine chemische Reaktion so verändert, dass sie anschließend leicht mit dem nächsten Nucleotid reagieren kann. In Organismen werden solche chemischen Aktivierungen von anspruchsvoll gebauten Enzymen unter Energiezufuhr durch Adenosintriphosphat (ATP) bewerkstelligt. Es überrascht daher nicht, dass die bisherigen Vorschläge zur Lösung dieses Problems ausschließlich auf kunstfertiger Laborchemie beruhen. Das heißt: Aktivierte Nucleotide müssen bereits vorher durch aufwändige chemische Synthese gezielt hergestellt werden. Erschwerend kommt hinzu, dass aktivierte Nucleotide in einer wässrigen Lösung nur wenige Stunden bis höchstens wenige Tage haltbar sind – je nach Art der Aktivierung. Das aber bedeutet, dass die Entstehung solcher Moleküle unter Bedingungen, wie sie auf einer frühen Erde geherrscht haben können, gemäß bisheriger Erfahrung unmöglich ist. In Experimenten, die unter der Voraussetzung vorhandener aktivierter Nucleotide durchgeführt wurden, sind höchstens geringe Mengen an kurzen Nucleinsäuresträngen erhalten worden (Abb. 9).

Noch weitaus schwieriger zu verwirklichen ist der Kopiervorgang von Nucleinsäuren: die **Replikation**. Dies geschieht bei jeder Zellteilung und ist absolut unverzichtbar für Leben, Wachstum und Vermehrung. Dazu ist es

<sup>12</sup> JOYCE GF & SZOSTACK JW (2018) Protocells and RNA self-replication. *Cold Spring Harb Perspect Biol*, 10:a034801.

<sup>13</sup> HUANG W & FERRIS JP (2006) One-step, regioselective Synthesis of up to 50-mers of RNA oligomers by montmorillonite catalysis. *J. Am. Chem. Soc.* 128, 8914–8919.

**Abb. 9** Schematische Darstellung einer enzymfreien Synthese von RNA ohne Templat (RNA oder DNA zur Erläuterung von „Templat“ s. Abb. 11). Sowohl die aktivierten Nukleotide als auch die erhaltenen RNA-Stränge sind in Gegenwart von Wasser instabil. Daher ist die Entstehung von RNA in Gegenwart von Wasser (unter präbiotischen Bedingungen) nach aller Erfahrung nicht zu erwarten.



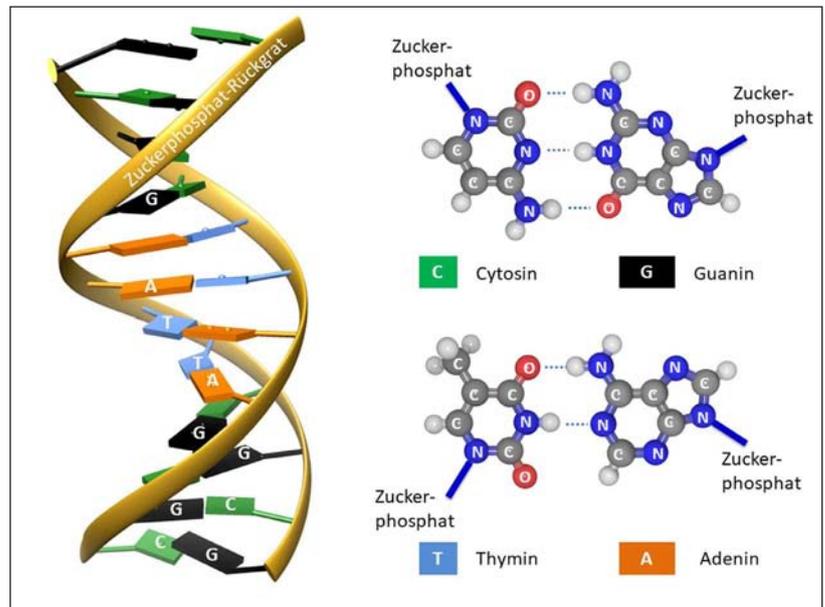
**Abb. 10 A** Stark vereinfachte Darstellung der Synthese von RNA-Molekülen, wie sie in Zellen abläuft. Die RNA-Polymerase gleitet über den DNA-Strang und fügt das jeweils passende Nucleotid ein. Dabei wird in jedem Schritt eine Phosphat-Bindung zwischen zwei DNA-Bausteinen generiert. **B** Schematische Darstellung von in Laborexperimenten untersuchten Templat-gesteuerten Synthesen von RNA-Molekülen ohne Enzyme. Die Synthesen sind ausgesprochen langsam und ineffizient. Zudem reagieren die aktivierten Nucleotide relativ schnell mit Wasser, sodass bei der Synthese stets neue aktivierte Nucleotide hinzugefügt werden müssen.

erforderlich, dass chemisch aktivierte Nucleotide sich schrittweise an einen einzelnen Nucleinsäurestrang (Templat) anlagern und sich dabei miteinander verknüpfen (Abb. 10). In Organismen wird dieser Vorgang von einem hochkomplexen Enzym-Ensemble (Polymerasen) durchgeführt. Das größte Problem ist hier neben der bereits erwähnten chemischen Aktivierung von Phosphat-Einheiten die zuvor notwendige Trennung von Nucleinsäure-Doppelsträngen. Nucleinsäuren bilden in wässriger Lösung spontan Doppelhelix-Strukturen (Abb. 11), die einen Kopiervorgang zunächst verhindern. Für die Auftrennung der Stränge ist Energiezufuhr erforderlich – und das nicht zu knapp: Selbst relativ kurze Nucleinsäure-Doppelstränge von ca. 20 Einzelbausteinen (Nucleotiden) können je nach Zusammensetzung erst ab Temperaturen von ca. 70°C in einer wässrigen Lösung getrennt werden.<sup>14</sup> Das aber bedeutet, dass in Abwesenheit

<sup>14</sup> Der Schmelzvorgang von Nucleinsäuren ist komplex und hängt u.a. vom Salzgehalt der wässrigen Lösung und von der Zusammensetzung der Nucleinsäuren ab.

komplexer Enzyme – was unter präbiotischen Bedingungen der Fall ist – spätestens ab einer Länge von ca. 100 Nukleotiden DNA- oder RNA-Stränge erst bei Wassertemperaturen von ca. 90°C getrennt werden können.<sup>15</sup> Bei solchen Temperaturen verläuft aber auch die Zersetzung der Nukleinsäuren deutlich schneller. Experimente zur enzymfreien Replikation von Nukleinsäuren haben gezeigt, dass es dabei zu sehr geringen Ausbeuten und einer sehr hohen Fehlerrate kommt.<sup>11</sup> Und weiterführende Experimente mit vereinfachten Versionen von RNA-Polymerasen führten zu einer stark bevorzugten Replikation Cytidin-reicher RNA-Stränge. Das aber würde bedeuten, dass die Bildung des Erbguts einer Zelle mit grob ausgewogenen Verhältnissen aller vier Nukleotide, wie dies in Organismen der Fall ist, nicht möglich ist.<sup>11</sup>

Insgesamt kann festgehalten werden, dass bisher nicht eine einzige chemische Gesetzmäßigkeit ermittelt wurde, die die Möglichkeit einer Entstehung und Vervielfältigung von Nukleinsäuren außerhalb von Zellen, wie wir sie heute kennen, plausibilisieren würde. Dagegen gibt es eine ganze Reihe an chemischen Gesetzmäßigkeiten, die klar gegen diese



Möglichkeit sprechen. Die Bildung von ausreichend langen Nukleinsäuren und ihre Replikation sind nur in Organismen unter der Wirkung anspruchsvoller molekularer Maschinen möglich oder unter sehr aufwändigen und speziellen Bedingungen in Laborexperimenten. Solche Dinge existieren in einer präbiotischen Welt jedoch nicht.

**Abb. 11** Modell der rechts-gängigen DNA-Doppelhelix, die durch molekulare Anziehungskräfte (Wasserstoffbrücken und  $\pi$ -stacking) zusammengehalten wird. Die Wasserstoff-Brückenbindungen sind neben der Helix veranschaulicht (gestrichelte Linien).

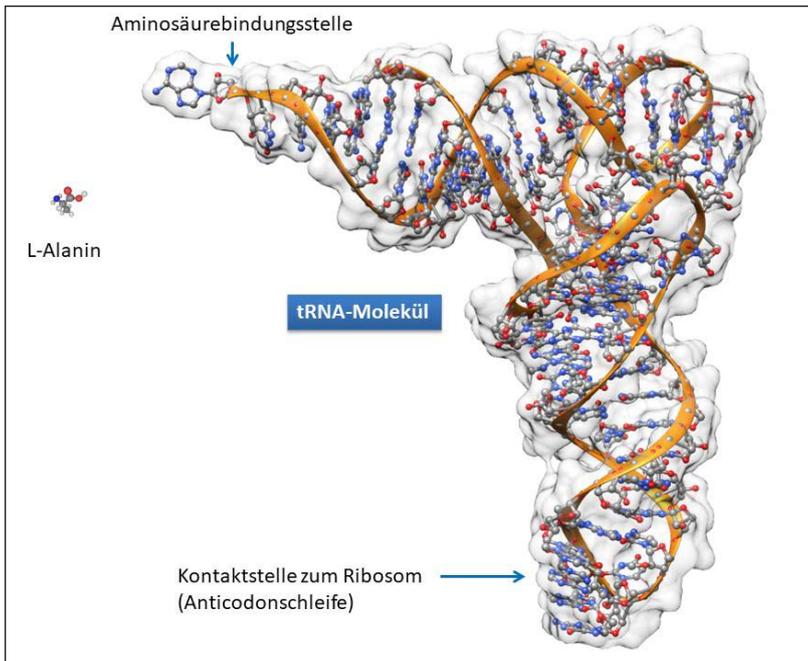
## 4. Notwendige Chemie ist noch keine Information

Bisher haben wir nur einige grundlegende chemische Probleme zur Frage nach der Entstehung des Lebens betrachtet. Es ging also nur darum, wie Makromoleküle der Art entstehen, wie sie in lebenden Zellen vorkommen und offenbar unverzichtbar sind. Wir haben gesehen, dass die bekannten chemischen Gesetzmäßigkeiten es nach bisherigem Wissen unmöglich machen, dass kettenförmige Makromoleküle wie Proteine und Nukleinsäuren von alleine entstehen. Die nähere Betrachtung chemischer Gesetzmäßigkeiten zeigt auf, dass die Bildung solcher Moleküle ohne intelligente Steuerung verhindert wird. Aber selbst wenn die Makromoleküle des Lebens ohne den Einsatz chemischer Expertise entstehen könnten, wäre „Leben“ noch immer nicht entstanden. Denn komplexe, funktionsfähige Gebilde wie Zellen müssen derart konstruiert sein, dass zweierlei Dinge gegeben sind: 1. Der funktionelle Kontext, also der größere Zusammenhang, in dem die Aufgabe erfüllt wird und 2. Information als nicht-materieller, geistiger Input.

### Funktion setzt einen Kontext voraus

Jede Form von Funktion (Erfüllung einer Aufgabe) setzt einen Kontext voraus. So können technische Bauteile nur im Gesamtkontext einer Maschine sinnvoll funktionieren. In ähnlicher Weise ist die Funktion von biologischen Makromolekülen durch einen Kontext definiert – nämlich das Gesamtgefüge, in das sie eingepasst sind. Damit z. B. bestimmte Proteine als Enzyme im Stoffwechsel wirken können, muss sichergestellt sein, dass sie mit anderen Molekülen präzise abgestimmte Wechselwirkungen eingehen können. Typischerweise sind an den Abläufen im Stoffwechsel einer Zelle eine große Zahl an genau aufeinander abgestimmten Komponenten beteiligt. Als Beispiel sei hier die Synthese von Proteinen in Zellen angeführt. Das Herzstück dieses Vorgangs sind molekulare Adapter (transfer-RNA, s. Abb. 12), welche die Aminosäuren zum Ort der Proteinsynthese, dem Ribosom, transportieren (Abb. 13). In Bakterien bestehen tRNA-Moleküle aus

<sup>15</sup> PETRUSKA J & GOODMAN MF (1995) Enthalpy-entropy compensation in DNA melting thermodynamics. *J. Biol. Chem.* 270, 746-750.



**Abb. 12** Modell eines Transfer-RNA(tRNA)-Moleküls. Das Phosphatdiester-Rückgrat ist in der Form eines orangenen Bandes dargestellt. Die Oberfläche des Moleküls ist in der Form einer durchsichtigen Kontur zu sehen. tRNA-Moleküle verfügen über eine spezifische Bindungsstelle für Aminosäuren und eine weitere spezifische Stelle, die im Ribosom zur selektiven Interaktion mit der messenger-RNA dient. Zum Größenvergleich ist die Aminosäure L-Alanin abgebildet.

75–90 RNA-Bausteinen.<sup>16</sup> Allein deren Synthese ist für eine Entstehung unter präbiotischen Bedingungen viel zu anspruchsvoll. Die Beladung der tRNA mit Aminosäuren erfolgt in Organismen durch komplexe Enzyme (Aminoacyl-tRNA-Synthetasen). Dabei gibt es für jede Aminosäure ein maßgeschneidertes tRNA-Molekül und eine spezifische tRNA-Synthetase. Das ist notwendig, damit es hinterher beim Einbau der Aminosäuren ins Protein nicht zu Verwechslungen kommt. Der Einbau von jeder Aminosäure muss eindeutig sein, denn Verwechslungen bzw. uneindeutige Zuordnungen wären für die dreidimensionale Faltung und folglich für die Funktion der Proteine fatal. Die Adapter (tRNA) müssen also derart gebaut sein, dass das Enzym Aminoacyl-tRNA-Synthetase ihre Form der jeweiligen Aminosäure zuordnen kann. Und das tRNA-Molekül muss über eine spezifisch erkennbare Anknüpfungsstelle für Aminosäuren verfügen sowie über eine Erkennungsstelle, die im Ribosom zum korrekten Einfügen der jeweiligen Aminosäure in die Proteinsequenz führt. Insgesamt besteht also eine genaue Abstimmung zwischen 20 Aminosäuren, 20 spezifisch dazu passenden tRNA-Molekülen und 20 Aminoacyl-tRNA-Synthetasen, die sowohl die Aminosäuren als auch die tRNA-Moleküle erkennen. Außerdem muss das Ribosom die komplexe Synthese von Proteinen koordinieren können. Der ganze Vorgang ist hochgradig präzise und komplex. Jedes der über 60 Teile muss fein abgestimmt sein. Eine weniger effiziente

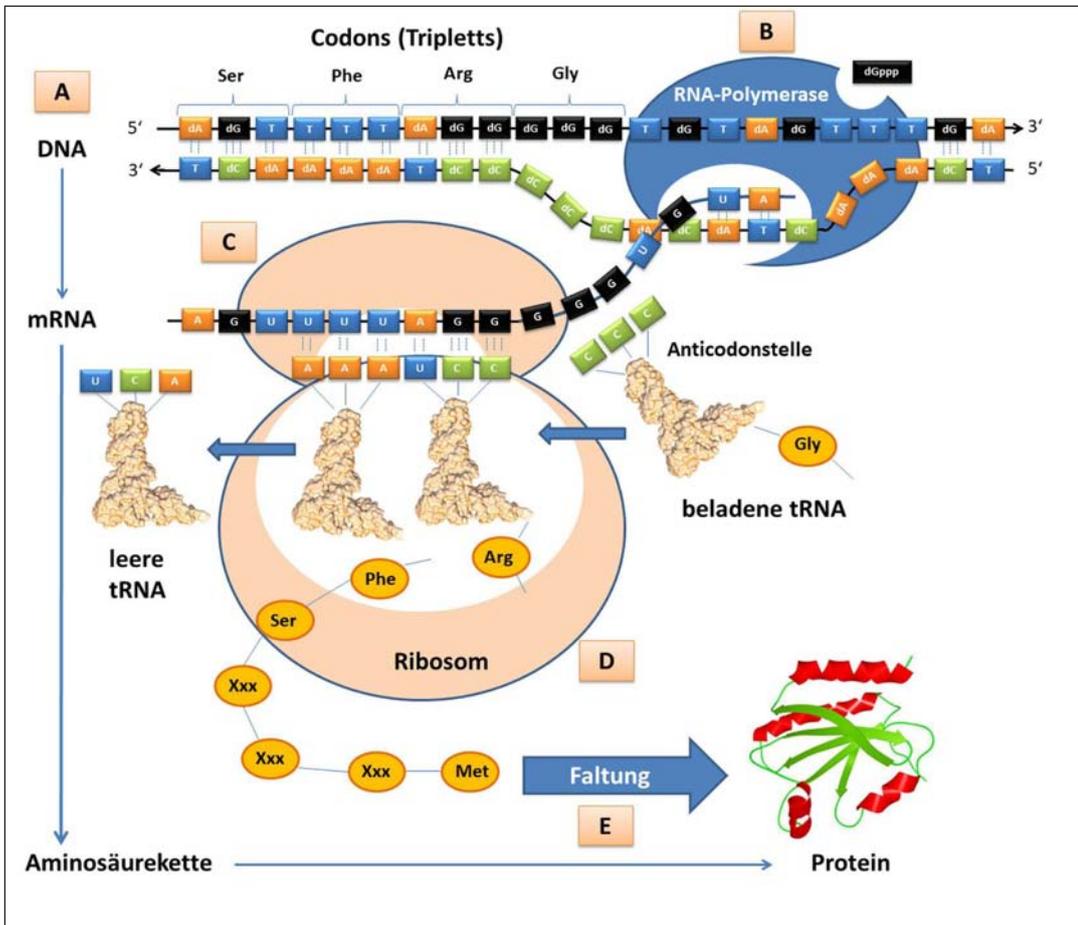
Version davon existiert nicht in der Natur – höchstens in theoretischen Vorstellungen von Evolutionsbiologen über hypothetische frühe Formen von Organismen.

## Information als geistiger Input ist unverzichtbar

Die Funktionsweise einer Zelle, die eingangs als „chemischer Computer“ bezeichnet wurde, setzt eine Programmierung voraus. Für die Programmierung ist zunächst einmal eine Bedeutungszuweisung, also ein Code, grundlegend. Beispielsweise sind die Farben einer Ampel und deren Kombination ein Code. Rot steht für „Halt!“, Grün für „Fahren!“ usw. Ebenso gibt es eine genau definierte Zuordnung der Abfolge von DNA-Bausteinen zu den Aminosäuren in einem Protein, sodass bestimmte Abfolgen für bestimmte Aminosäuren stehen (s.u.). Durch beeindruckende wissenschaftliche Forschung wurde der DNA-Code in den 1960er-Jahren geknackt. Es hat sich herausgestellt, dass jeweils eine Dreierfolge (Triplet) von Nukleotiden für eine bestimmte Aminosäure steht. Mittlerweile ist bekannt, dass dieser Code optimal in Bezug auf möglichst geringe Fehleranfälligkeit (Robustheit) und möglichst geringen Materialaufwand gestaltet ist. Die ganz große Frage ist aber: Wer hat die Entsprechung zwischen Triplets und Aminosäuren festgelegt? Das ist keine Frage, die anhand von chemischer Logik beantwortet werden kann. Einen Code zu definieren setzt eine intellektuelle Leistung voraus. Dagegen ist die Entstehung eines codierten Systems mit eindeutig zugewiesenen Symbolen durch chemische oder physikalische Gesetzmäßigkeiten noch nie beobachtet worden – einen solchen Vorgang würde auch kein Wissenschaftler erwarten. Im Rahmen der Evolutionslehre gibt es für die Entstehung des genetischen Codes höchstens theoretische Überlegungen aber keine überzeugende Erklärung.

Darüber hinaus ist ein Code nur dann nützlich, wenn er gelesen werden kann. Das gilt auch für den genetischen Code, dessen Übersetzung in Proteine in Zellen erfolgt. Für diesen Vorgang, das Auslesen der genetischen Information, sind wiederum anspruchsvoll konstruierte Protein-Komplexe zuständig, die in der wissenschaftlichen Literatur häufig als „molekulare Maschinen“ bezeichnet werden. Damit wird deutlich: Für die Synthese von Proteinen

<sup>16</sup> SHEPHERD J & IBBA M (2015) Bacterial transfer RNAs. FEMS Microbiology Reviews, fuv004, 39, 280–300.



**Abb. 13** Vereinfachte Übersicht der Synthese von Proteinen in lebenden Zellen.

**A** Die Information für den Zusammenbau der Proteine wird in der Abfolge der Nucleotide in der DNA gespeichert. Die korrekte Basenpaarung wird durch Wasserstoffbrückenbindungen (s. auch Abb. 11) sichergestellt.

**B** Ein komplexes Enzymensemble „liest“ die Information in der DNA aus: Die RNA-Polymerase erstellt anhand der DNA-Sequenz eine Art „Negativabdruck“, die Messenger-RNA (mRNA). In der RNA wird anstelle des Nucleotids Thymin das Uridin verwendet.

**C** Eine noch viel kompliziertere Proteinmaschinerie (Ribosom) bewirkt das Zusammenfügen von Aminosäuren zu Aminosäureketten.

**D** Jede Aminosäure wird an einem spezifischen molekularen Adapter (tRNA-Molekül) zum Ribosom befördert. Im Ribosom liegt die mRNA als Templat vor, das über die Reihenfolge der Verknüpfung der Aminosäuren bestimmt. Die tRNA-Moleküle nehmen über die Anticodonstelle Kontakt zur mRNA auf. Bei genau passender Abfolge der Basen in der Anticodonstelle zu einem Triplet in der mRNA erfolgt die Aufnahme ins Innere des Ribosoms und die Übertragung der Aminosäure vom tRNA auf die wachsende Aminosäurekette.

**E** Schließlich faltet sich die synthetisierte Aminosäurekette zu einer dreidimensionalen Form, die auch die Funktion des Proteins definiert. Einige Proteine können ohne Einwirkung von außen die richtige Form annehmen. Die Meisten Proteine jedoch benötigen zur korrekten Faltung als „Chaperone“ bezeichnete Hilfsproteine.

und auch für die Synthese des Erbguts werden wiederum Proteine benötigt – ein typisches Henne-Ei Problem.

Es wäre zu zeigen, welche natürlichen Triebkräfte die Entstehung solcher maßgeschneiderten Moleküle wie der tRNAs bewirken können und dass auch noch das Informationsübertragungsprinzip über Nucleotid-Tripletts irgendwie durch naturgesetzlich bedingte Vorgänge installiert wird. Nach allem, was bisher über die Chemie dieser Moleküle bekannt ist, kann die Erwartung, dass solche Vorgänge sich von alleine abspielen, schlicht als absurd

bezeichnet werden. Die Festlegung des Informationstransfers in Lebewesen auf der Basis des genetischen Tripletts-Codes ist in keiner Weise auf natürliche Ursachen zurückzuführen – ebenso wenig wie die Zuordnung der 20 kanonischen Aminosäuren zu 20 spezifischen tRNA-Molekülen. Diese Sachverhalte erinnern vielmehr an wohlüberlegte Zuordnungen, wie sie auch Menschen bei der Datenverarbeitung und beim Programmieren vornehmen. Insofern handelt es sich hierbei um ein weiteres belastbares Indiz für Schöpfung als Ursache der Entstehung von Lebewesen.

## 5. Die Entstehung von Protozellen und die erste Zellteilung

Wie eingangs erwähnt, müssen Spekulationen darüber, wie die ersten Zellen entstanden sein könnten, sich an der minimalen Komplexität bekannter Mikroorganismen messen lassen. Optimistischen Schätzungen zufolge sollen Mikroorganismen die minimale Zahl von ca. 300 Genen zum Überleben benötigen. Unverzichtbar sind genetische Module, die folgende Funktionen ermöglichen: Synthese des genetischen Materials, Energiestoffwechsel (Glykolyse = Zuckerabbau), Aufbau der Zellwand und die Synthese von Covitaminen. Zudem muss die Zelle bereits von der Außenwelt durch eine Membran abgegrenzt sein. Dabei darf die Zellwand keine hermetische Abriegelung sein, sondern muss den selektiven Transport nützlicher Stoffe ins Innere der Zelle ermöglichen. Gleichzeitig muss die ebenfalls selektive Entsorgung von Stoffwechsel-Abbauprodukten gewährleistet sein, da die Zelle sich anderenfalls selbst vergiftet. Dazu müssen spezielle Kanäle und aktive Transportsysteme in der Membran vorhanden sein, die dazu in der Lage sind, nützliche Moleküle von schädlichen zu unterscheiden. *Alle* diese Dinge müssen von Anfang an vorhanden sein, da die Zelle anderenfalls nicht lebensfähig sein kann.

Zusätzlich müssen Mikroorganismen von Anfang an zur Zellteilung befähigt gewesen sein, um sich fortpflanzen zu können. Nicht nur das Erbgut muss sich von Anfang an möglichst

fehlerarm verdoppeln können, sondern auch komplette Zellen. Es handelt sich dabei erneut um einen hochkomplexen zellulären Vorgang, über dessen hypothetische präbiotische Version zum Teil wilde Spekulationen in Umlauf gebracht werden. B. DAMER und D. DEAMER schildern ihre Vorstellung hierzu wie folgt: „Der finale Übergang zum Leben könnte vereinfacht worden sein durch die *zufällige* Kombination einer *zufälligen* Teilung eines Kompartiments, die sich *just* nach der Verdoppelung zweier Sätze membrangebundener Polymere ereignete, die jeweils in die Richtung zweier entgegengesetzter Enden einer ausgestreckten Protozelle gestoßen wurden.“<sup>4</sup>

Dieser Satz lässt einige Fragen aufkommen, von denen hier zwei angeführt werden sollen: Was sorgte dafür, dass so viele zufällige Ereignisse zeitlich genau passend verliefen? Was genau war es, das die zwei Sätze der Polymere plötzlich in entgegengesetzte Richtungen stieß? Abgesehen davon handelt es sich um eine rein hypothetische Überlegung, deren tatsächliche Möglichkeit in keiner Weise experimentell bestätigt worden ist. Bei allen bisher durchgeführten Laborversuchen zur Simulation der Entstehung von Zellen und deren Teilung handelt es sich stets um hochgradig künstliche Verfahren, die weit davon entfernt sind, der Wirklichkeit in der Natur auf einer frühen Erde nahe zu kommen.

## 6. Zusammenfassung

Dem Urteil von Frank HAROLD, wonach wir hinsichtlich der Frage nach dem Ursprung des Lebens nicht weiter gekommen sind als die Gründungsväter der präbiotischen Chemie, kann durchaus widersprochen werden. Es ist nicht so, dass wir einfach *gar nicht* wüssten, wie Leben entstanden sein kann. Wir wissen nach ca. 100 Jahren Forschung in der präbiotischen Chemie eindeutig, dass es viele chemische Gesetzmäßigkeiten gibt, die der Möglichkeit einer schrittweisen und unkoordinierten Entwicklung erster primitiver Vorläufer von Zellen widersprechen. Auch wenn es sich dabei nicht um einen Unmöglichkeitbeweis im strengen Sinne handelt, so ist dennoch in aller Klarheit

zu sagen, dass die Indizienlage gegen die Möglichkeit einer Lebensentstehung durch ungesteuerte chemische Vorgänge erdrückend ist. Hingegen sprechen viele Beobachtungen aus der Molekularbiologie und Biochemie klar für Schöpfung. Denn wir haben es mit hochkomplexen und vielfach in präziser Wechselwirkung stehenden Molekülen und mit ausgeklügelten Informationssystemen zu tun. Wir wissen, wie solche Systeme entstehen können: durch Einsatz von Intelligenz. Und wir wissen aufgrund unserer Kenntnisse über chemische Prozesse auch, warum solche Systeme ohne Einsatz von Intelligenz nicht entstehen. Daraus folgt ein klarer Indizienbeweis für Schöpfung.