

Experimentelle Details zu einer populären Idee der Lebensentstehung

Der Chemiker und Patentanwalt G. WÄCHTERSCHÄUSER veröffentlichte 1988 (auf Initiative und durch Vermittlung von Karl Popper) eine Idee zur Chemie der Lebensentstehung, die sich von klassischen Konzepten wie z.B. der „Ursuppe“ von Miller unterscheidet. Millers Experimente basieren auf theoretischen Arbeiten von Oparin, Haldane und Urey (BINDER 2003) und versuchen Synthesemöglichkeiten für biologisch bedeutsame Stoffe aufzuzeigen, die dann später zum Aufbau erster, einfacher, zellähnlicher Aggregate dienen sollen. Diese sogenannten präbiotischen Synthesen sollen ausgehend von einfachsten Chemikalien ohne Anwendung spezieller Randbedingungen einen Minimalbestand an biochemischen Grundstoffen verfügbar machen. Dieser Ansatz wird als heterotroph (heteros, gr.: verschieden; tropein, gr.: ernähren) bezeichnet, da ein erstes hypothetisches Aggregat, das Merkmale von Leben zeigt, auf diese präbiotischen Syntheseprodukte zurückgreift.

WÄCHTERSCHÄUSER hat dieses heterotrophe Konzept, wie bereits vor ihm z.B. CAIRNS-SMITH (1985), radikal kritisiert. Er favorisiert eine Vorstellung, die er als chemo-autotroph (autos, gr.: selbst) charakterisiert. Sie basiert auf dem empirischen Befund, daß sich unter striktem Ausschluß von Sauerstoff (anaerobe Bedingungen) Pyritkristalle (FeS_2) aus Eisen(II)sulfid (FeS) und Schwefelwasserstoff (H_2S) herstellen lassen, wobei Wasserstoff (H_2) entsteht (DOBNER et al. 1990). Weiter bilden sich unter diesen Bedingungen auf der Oberfläche von Eisen- und Nickelsulfid-Mineralien ausgehend von Kohlenmonoxid (CO) organische Stoffe wie Ameisensäure und Essigsäure (HUBER & WÄCHTERSCHÄUSER 1997). Nach WÄCHTERSCHÄUSERS Konzept können auch noch sehr viel komplexere Verbindungen an solchen Mineraloberflächen synthetisiert werden. Schließlich soll dieser Prozeß zu Vorstufen eines Stoffwechsels führen, der in einer späteren Phase durch eine Membran umhüllt und von der Mineraloberfläche unabhängig wird. Für eine kritische Diskussion von WÄCHTERSCHÄUSERS Modell zur Lebensentstehung siehe auch DeDUVE & MILLER (1991). Sie gründen ihre Kritik auf thermodynamische und kinetische Überlegungen.

WÄCHTERSCHÄUSER hat seine Ideen in mehreren Publikationen theoretisch entfaltet und dargelegt (WÄCHTERSCHÄUSER 1988a;b;c; 1990; 1992a;b; 1994). Unterstützt von chemischen Mitarbeitern der technischen Universität München (und anfänglich auch von der Arbeitsgruppe von STETTER) hat er für einzelne Aspekte seiner Theorie experimentelle Daten vorgelegt (DOBNER et al. 1990; HUBER &

WÄCHTERSCHÄUSER 1997; 1998).

1998 dokumentierten HUBER und WÄCHTERSCHÄUSER experimentelle Untersuchungen zur Synthese von Dipeptiden (zwei verknüpfte Aminosäuren) in Gegenwart von Nickel- und Eisensulfiden durch Aktivierung mit Kohlenmonoxid. In Gegenwart von jeweils 1 mmol frisch hergestelltem Nickel- und Eisensulfid ($(\text{Ni, Fe})\text{S}$), 4 mmol CO und 0,5 mmol einer der Aminosäuren Phenylalanin, Tyrosin oder Glycin konnten in wäßriger Lösung unter striktem Ausschluß von Sauerstoff und bei einer Temperatur von 100 °C nach 1 bis 4 Tagen maximal 12,8% des entsprechenden Dipeptids nachgewiesen werden. Im Produktgemisch waren die Aminosäuren jedoch auch beim Einsatz enantiomerenreiner Ausgangsstoffe (nur L-Aminosäuren) razemisiert, d.h. es bildete sich ein Gemisch von D- und L-Aminosäuren in den Peptiden. Die biologische Aktivität von Peptiden in Enzymen ist jedoch von der Homochiralität (ausschließliche Verwendung von L-Aminosäuren) abhängig und wird mit diesem Befund (Razemisierung) gerade nicht erklärt. Homochiralität müßte also irgendwann später eingeführt werden; bis heute liegt dafür kein plausibles Modell vor. Die Peptidproduktion war abhängig vom pH-Wert und fiel unterhalb von pH 8 und über pH 9,5 stark ab. Bereits in dieser Arbeit erwähnten die Autoren, daß unter diesen Bedingungen Dipeptide auch schnell wieder hydrolysiert (zerlegt) werden.

In einer jüngst erschienenen Publikation haben HUBER et al. (2003) weitere experimentelle Daten veröffentlicht. Sie konnten Zwischenprodukte der Reaktion von Aminosäuren in Gegenwart von $(\text{Ni, Fe})\text{S}$, CO und Magnesiumhydroxid ($\text{Mg}(\text{OH})_2$; zur Stabilisierung des pH-Werts) analytisch identifizieren. Zunächst bestätigt diese Arbeit bisherige Befunde hinsichtlich Abhängigkeit von Temperatur und pH-Wert sowie der Razemisierung. Unter Nutzung spektroskopischer Methoden wurden Hydantoin- und Harnstoffverbindungen nachgewiesen (s. Abb. 1). Aufgrund von kinetischen Untersuchungen postulieren die Autoren eine in Abb. 1 dargestellte Reaktionsabfolge. Im skizzierten Peptidzyklus ist sowohl ein anabolischer (aufbauender) als auch ein katabolischer (abbauender) Abschnitt erkennbar. Die Autoren sehen darin eine frühe Stufe eines Peptidstoffwechsels, der auch sicherstellen soll, daß Peptide mit biologisch unbrauchbaren Komponenten oder ungünstiger Aminosäuresequenz durch Abbau wieder für weitere Reaktionen zugänglich werden. Damit soll nach Ansicht von HUBER et al. Aufbau und Etablierung von Pep-

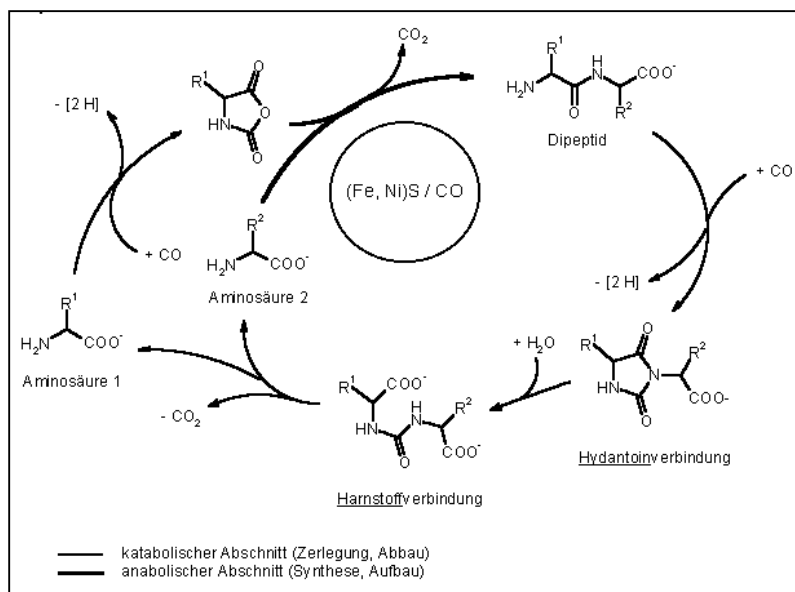


Abb. 1 Modell eines ursprünglichen Peptid-Stoffwechsels (verändert nach HUBER et al. 2003)

tidbibliotheken gewährleistet sein.

WÄCHTERSCHÄUSER sieht in den neuen Resultaten eine erneute Bestätigung für seine Hypothese einer chemoautotrophen Lebensentstehung im Vergleich zu einem heterotrophen Modell. Dabei sollte jedoch nicht übersehen werden, daß für eine plausible Erklärung für das Zustandekommen einfacher Stoffwechselsysteme noch viele offene Fragen zu klären sind. Stoffwechselsysteme stellen ein Netzwerk dar, das hinsichtlich aller Komponenten fein abgestimmt ist und ein produktives System ergibt. Die bisherigen Modelle lassen keinen Weg erkennen, auf dem ein solches erreicht werden kann.

Die typische Erscheinung der Homochiralität von Aminosäuren in Peptiden ist in den bisher vorgelegten Studien nicht erklärt worden und so muß das Problem in anderen Zusammenhängen und zu einem späteren Zeitpunkt gelöst werden. In den vorgestellten Reaktionssystemen werden enantiomerenreine Aminosäuren razemisiert. Das bedeutet, daß eine irgendwie zustandegekommene Trennung von L- und D-Aminosäuren wieder aufgehoben würde. Weiter schränkt die Abhängigkeit der Syntheseleistung vom pH-Wert die Plausibilität für präbiotische Systeme ein, da hierfür sehr allgemeine und robuste Reaktionsbedingungen zu fordern sind. Auch der Einsatz von reinem, jeweils frisch hergestelltem Metallsulfid ((Ni, Fe)S) in Kombination mit CO in hohem Überschuß begrenzt die Aussagefähigkeit der bisherigen Untersuchungen zusätzlich, da es sehr fraglich ist, ob solche speziellen Bedingungen zufälligerweise irgendwo so lange existiert haben, daß genug Biomoleküle für „origin of life“ produziert werden konnten. Die von HUBER et al. (2003) angewendeten Bedingungen dienen eher der Zerstörung als dem Aufbau biologisch relevanter Moleküle und Strukturen.

Daher sollte das dynamische Gleichgewicht zwischen Abbau und Aufbau von Peptiden nicht nur im Zusammenhang der Ähnlichkeit mit biochemischen Systemen diskutiert werden. Vor allem ist bisher nicht gezeigt, daß durch solche Systeme nennenswerte Mengen und Konzentrationen von größeren Peptiden über einen längeren Zeitraum synthetisiert werden können, wie das für chemische Schritte in Richtung Lebensentstehung erforderlich wäre. Im Gegenteil: es ist zu erwarten, daß das Gleichgewicht ohne spezielle zusätzliche Randbedingungen solche zuverlässig verhindert. Bisher konnten jedenfalls nur Spuren von Tetrapeptiden (Peptide aus vier Aminosäuren) nachgewiesen werden. Unbekannt ist auch, wie robust das Reaktionssystem bei Anwesenheit von Verunreinigungen ist, d.h. wenn nicht nur reine Ausgangsverbindungen eingesetzt werden.

Somit ist auch das chemoautotrophe Modell in seinem Erklärungspotential für die Lebensentstehung trotz der bisher vorgelegten Daten und deren optimistischer Interpretation äußerst begrenzt und wird zumindest in Deutschland durch die populären Darstellungen in der Öffentlichkeit weit überschätzt.

Harald Binder

Literatur

- BINDER H (2003) Miller-Experimente zur Chemie der Lebensentstehung – 50 Jahre danach. *Stud. Int. J.* 10, 65-73.
- CAIRNS-SMITH (1985) Bestanden die ersten Lebewesen aus Ton? *Spektr. Wiss.* 8/1985, 82-91.
- DOBNER E, HUBER H, WÄCHTERSCHÄUSER G, ROSE D & STETTER KO (1990) Pyrite formation linked with hydrogen evolution under anaerobic conditions. *Nature* 346, 742-744
- DE DUVE C & MILLER SL (1991) Two-dimensional life? *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 88, 10014-10017.
- HUBER C & WÄCHTERSCHÄUSER G (1997) Activated acetic acid by carbon fixation on (Fe, Ni)S under primordial conditions. *Science* 276, 245-247.
- HUBER C & WÄCHTERSCHÄUSER G (1998) Peptides by activation of amino acids with CO on (Ni, Fe)S surfaces: implications for the origin of life. *Science* 281, 670-672.
- HUBER C, EISENREICH W, HECHT S & WÄCHTERSCHÄUSER G (2003) A possible primordial peptide cycle. *Science* 301, 938-940.
- WÄCHTERSCHÄUSER G (1988a) An all-purine precursor of nucleic acids. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 85, 1134-1135.
- WÄCHTERSCHÄUSER G (1988b) Pyrite formation, the first energy source for life: a hypothesis. *System. Appl. Microbiol.* 10, 207-210.
- WÄCHTERSCHÄUSER G (1988c) Before enzymes and templates: theory of surface metabolism. *Microbiol. Rev.* 52, 452-484.
- WÄCHTERSCHÄUSER G (1990) Evolution of the first metabolic cycles. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 87, 200-204.
- WÄCHTERSCHÄUSER G (1992a) Groundworks for an evolutionary biochemistry: the iron-sulphur world. *Progr. Biophys. Mol. Biol.* 58, 85-201.
- WÄCHTERSCHÄUSER G (1992b) Reactions depending on iron sulfide and linking geochemistry with biochemistry. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 89, 8117-8120.
- WÄCHTERSCHÄUSER G (1994) Life in a ligand sphere. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91, 4283-4287.