

# Das Leben und wie man es macht

In Winter 1951 verfolgt ein Chemiestudent an der Universität von Chicago gespannt den Vortrag eines Nobelpreisträgers. Dieser präsentiert seine Ideen über die atmosphärischen Bedingungen auf der noch jungen Erde, wie sie am Ursprung des Lebens geherrscht haben müssen – Gewitterblitze, Wasser und die Gase Methan, Ammoniak und Wasserstoff. Einhalb Jahre nach diesem offenbar sehr anregenden Vortrag schlägt derselbe, in der Zwischenzeit diplomierter Student ebendiesem Professor ein wahnwitziges Experiment vor: «Lassen Sie mich die Uratmosphäre, wie Sie sie vorschlagen, im Labor nachbauen und schauen, was passiert.» Der Professor hieß Harold Urey, der Doktorand Stanley Miller – und der Rest ist Geschichte.

## Der Ursprung des Lebens

Leben zu verstehen, ist eine der Hauptmotivationen, Naturwissenschaft zu betreiben. Fällt die Entstehung

eines Organismus aus einer Eizelle in das Gebiet der Entwicklungsbiologie oder die Entstehung einer neuen Art in das Gebiet der Evolutionsbiologie, kommt der Ursprung des Lebens an sich – also die Entstehung einer ersten Entität, welche sich repliziert und evolutiven Prozessen unterworfen ist – in das Gebiet der Chemie zu liegen. Und so ist sie es denn auch, die im vorliegend besprochenen Experiment die Hauptrolle spielt.

Der Physiker Richard Feynman hat einst treffend formuliert, was als das Motto der ganzen chemischen Zunft gelten könnte: «*What I cannot create, I do not understand.*» Denn in keiner Wissenschaft ist dieser Gedanke so inhärent, wie in der Chemie, wo wir oft unseren eigenen Forschungsgegenstand kreieren, um ihn zu untersuchen und zu verstehen.

Die Erforschung der molekularen Basis des Lebens – also von Stoffwechsel, Energiehaushalt, Homöostase, Wachstum und Replikation eines

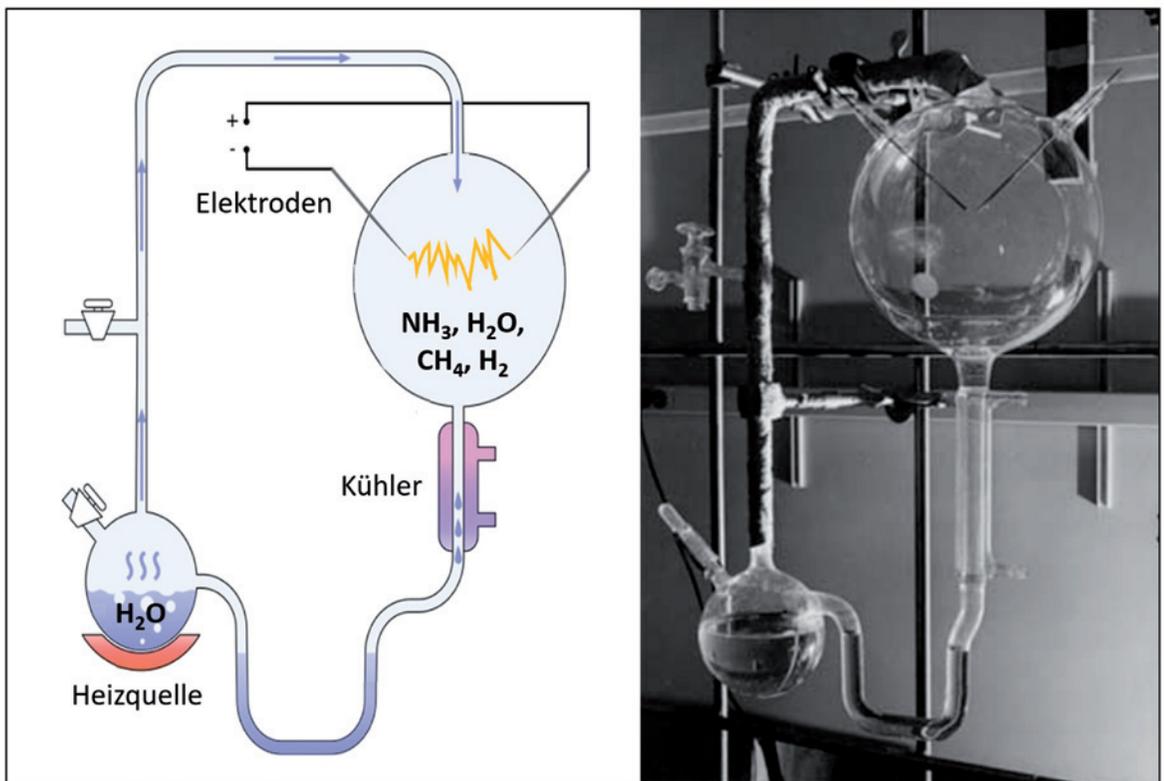


Abb. 1: Aufbau des Miller-Urey Experiments. Links: Schematische Darstellung. Der Wasserdampf gelangt mit der Gasmischung aus Ammoniak, Methan und Wasserstoff in den Reaktionskolben, in welchem Blitze mittels elektrischer Entladung zwischen zwei Elektroden simuliert werden. Rechts: Photo der originalen Vorrichtung. (Schema angepasst nach einer public domain Bildvorlage von Carny, CC BY-SA 3.0; Photo aus der Doktorarbeit von S.L. Miller, 1954, Universität Chicago)

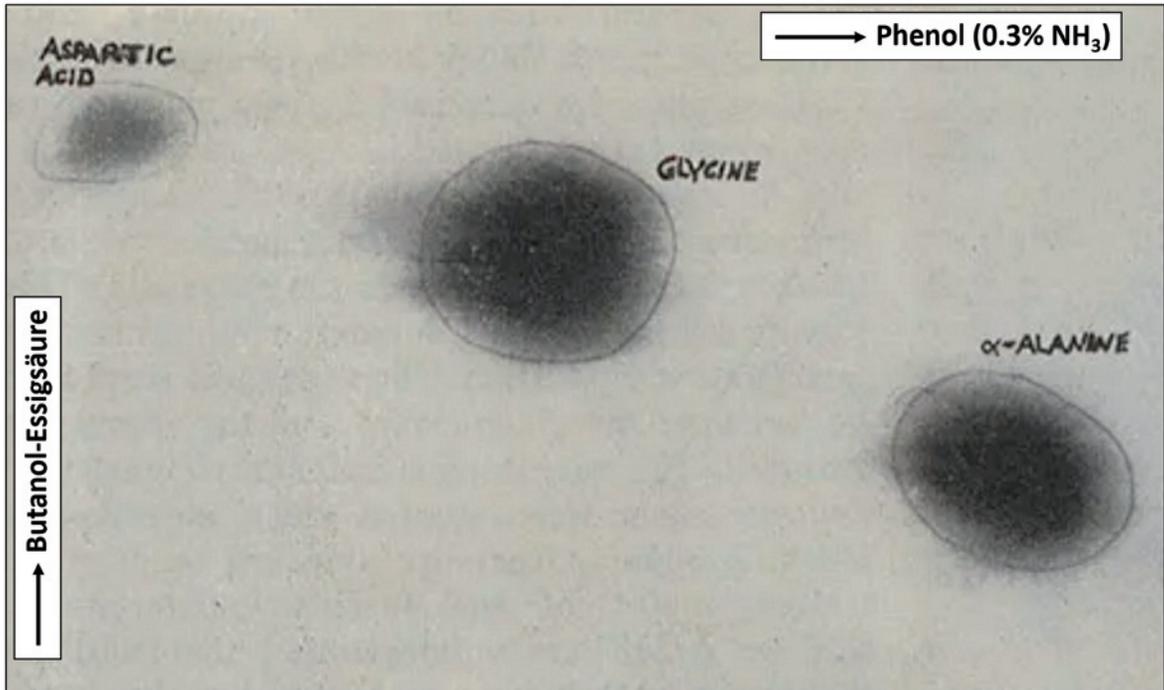


Abb. 2: Ausschnitt aus Papierchromatogramm aus dem originalen Miller-Urey Experiment. Mit Millers Handschrift markiert sind die Spots der Aminosäuren (v.l.n.r.) Asparaginsäure, Glycin und Alanin (Bild aus A. Lazcano und J. Bada, *Orig. Life. Evol. Biosph.*, 2003, 33, 235).

lebenden Organismus – hat ein einschüchternd komplexes, fein abgestimmtes Wechselspiel einer Unzahl chemischer Mitspieler zum Vorschein gebracht. Letzteres nur schon zu untersuchen – von einem Nachbau im Labor mal ganz zu schweigen – war und ist ein die menschliche Vorstellungskraft strapazierendes Mammutvorhaben. Wo soll man beginnen? Und wenn wir uns über Abiogenese und den Ursprung des Lebens Gedanken machen: Wie sah der erste Replikator aus? Wie die erste Zelle? Wie gross muss die einfachste Kombination molekularer Stoffe und Wechselwirkungen sein, die eine für Leben ausreichende Komplexität hervorbringen kann? Welche Stoffe und welche Bedingungen braucht es (oder brauchte es damals vor ca. 4 Mrd. Jahren), damit ein sich replizierendes «Anfangsetwas» entstehen kann?

### Das Miller-Urey-Experiment

Der experimentelle Aufbau ist schnell erklärt: Die Umweltbedingungen auf der jungen Erde werden nachgebildet, indem Wasserdampf und die besagten Gase Ammoniak, Methan und Wasserstoff in einem Glaskolben mit zwei Elektroden zusammenkommen, zwischen welchen aufgrund einer angelegten Spannung elektrische Entladungen passieren (Abb. 1). Der

Wasserdampf entsteht dabei in einem zweiten Kolben durch Erhitzen von Wasser, was eine vereinfachte Version des frühirdischen Wasserkreislaufs simuliert: Aus dem Urmeer verdunstet Wasser und steigt in die Uratmosphäre auf, wo die atmosphärischen Gase durch Blitze in hochreaktive freie Radikale gespalten werden und miteinander reagieren können.

Das atmosphärische Wasser kondensiert und transportiert die Reaktionsprodukte in Form von Regen ins Urmeer zurück. Das re-kondensierte Wasser – also das simulierte Urmeer – wird dann regelmässig auf die Anwesenheit von organischen Molekülen untersucht.

Überraschend für alle Beteiligten war nicht nur, dass sich überhaupt irgendwelche interessanten organischen Verbindungen formten, sondern dass sich die ersten Aminosäuren bereits innert einer Woche gebildet hatten. Das übertraf selbst die kühnsten Erwartungen dieses ohnehin schon überaus wagemutigen Unternehmens. Zusammen mit weiteren Durchführungen des Experiments war Miller mittels Papierchromatographie (Abb. 2) imstande, neben weiteren organischen Verbindungen wie Milchsäure oder Hydroxybuttersäure die spontane Bildung der vier Aminosäuren Glycin, Alanin, Asparaginsäure und Glutaminsäure nachzuweisen.

## 18 FORSCHUNG – DAS EXPERIMENT

Kurz vor seinem Tod im Jahr 2007 übergab Miller das Originalequipment inklusive einiger Kisten mit alten Proben seinem Studenten Jeffrey Bada. Dieser analysierte Millers Originalproben mit den neuesten Analysemethoden und es zeigte sich, dass im ursprünglichen Experiment weit mehr organische Verbindungen entstanden waren, als Miller mit den damaligen Methoden nachzuweisen imstande war – was Aminosäuren angeht, waren es 11 der 20 heute essentiellen Aminosäuren.

In den vergangenen Jahrzehnten wurden Durchführung und Interpretation des Miller-Urey-Experiments immer wieder energisch diskutiert. Vor zwei Jahren wies Joaquin Criado-Reyes, ein weiterer Student Millers, nach, dass sich das in der Apparatur benutzte Borosilikatglas partiell in der Reaktionsmischung löst und als Katalysator bei der Aminosäuresynthese dient. Dies mindert aber nicht die Bedeutung des originalen Experiments, sondern verfeinert vielmehr unser Wissen über die präbiotischen Bedingungen auf der Erde. Es herrschten reduzierende Bedingungen und elektrische Stürme über einem Urmeer auf silikatreichem Gestein.

### Origin of Life-Forschung

Vor dem Miller-Urey-Experiment war der Ursprung des Lebens ein schöngestiges Gesprächsthema beim Nachmittagstee akademischer Koryphäen. Danach war es ein neues experimentelles Wissenschaftsfeld. In den siebzig Jahren, die seither vergangen sind, wurde eine Vielzahl experimentell gestützter Einsichten gewonnen, welche ein grundsätzliches Erfassen des Ursprungs des Lebens auf der Erde in greifbare Nähe rücken.

So konnte unter verfeinerten präbiotischen Bedingungen zum Beispiel das spontane Entstehen von Molekülen aus allen für das Leben essentiellen Stoffklassen (Zucker, Aminosäuren, Nucleobasen, Fettsäuren, etc.) nachgewiesen werden. Auch das Phänomen der einseitigen Chiralität von Leben wurde und wird eingehend und mit beeindruckenden Ergebnissen erforscht. Es wurde eine erstaunliche Vielfalt an Molekülen synthetisiert, welche auch unter präbiotisch plausiblen Bedingungen imstande sind, ihre eigene Replikation zu katalysieren.

Ein weiteres Teilgebiet erforscht schliesslich, was die kleinste Zahl an Faktoren für ein chemisches System ist, damit sich aus letzterem eine für Leben

ausreichende Komplexität ergeben kann und wie sich diese Faktoren in Protozellen unter präbiotischen Bedingungen zusammenfinden können.

### Epilog

Die Schönheit am Miller-Urey-Experiment liegt in seiner Einfachheit und seiner fast schon unverschämten Kühnheit. Es ist erfüllt von der unvoreingenommenen Vorstellungskraft und Experimentierfreudigkeit eines jungen Forschergeistes. Nach rational-wissenschaftlicher Einschätzung bestand keinerlei Anlass, ein verwertbares experimentelles Resultat aus so einem unausgegorenen «Wir versuchen's mal»-Unterfangen zu erwarten.

Einem wissenschaftlichen Experiment geht eine präzise formulierte Hypothese mit klar definierten Erwartungen voraus, welche besagte Hypothese zu untermauern, beziehungsweise zu widerlegen imstande sind. Im vorliegenden Experiment stand nicht einmal die zugrundeliegende Annahme der präbiotischen Zusammensetzung der Atmosphäre auf einem soliden Fundament. Und dennoch hatten sich in weniger als einer Woche aus einfachsten Verbindungen und unter primitivsten Bedingungen spontan Aminosäuren gebildet.

Das Miller-Urey-Experiment soll jedem und jeder jungen Forscher:in Inspiration sein, den Mut zu haben, gross zu denken.

Sie sagen: «Du träumst zu gross.» – Ich sage: «Ihr denkt zu klein.»

René M. Oetterli

Der Autor ist Chemielehrer am MNG Rämibühl und Fachverantwortlicher Chemie am ScienceLab der Universität Zürich. Darüber hinaus erforscht er am Chemiedepartement der Universität Zürich historische und neue Farbpigmente.

Leseempfehlungen

Marshall M. 2020. *The Genesis Quest*. University of Chicago Press: Chicago. (Ein angenehm zu lesender Überblick über Geschichte und aktuellen Stand der Origin-of-Life-Forschung)

Miller S.L. 1953. *A Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions*. *Science*, 117, 528. DOI: 10.1126/science.117.3046.52 (Die zweiseitige Originalpublikation des Miller-Urey-Experiments ist ein Musterbeispiel dafür, dass gerade Artikel von bahnbrechenden Forschungsergebnissen oft kurz und bescheiden daherkommen.)