

Inhalt		Seite
1.	Einleitung	3
2.	Aminosäuren – Bausteine des Lebens	3
3.	Historie und Hintergrundinformationen	4
4.	Versuch 1: Originalversuch nach Stanley Miller	6
4.1	Material	6
4.2	Aufbau	7
4.3	Versuchsdurchführung	8
5.	Versuch 2: Bausatz von Lehrmittelbau Maey	10
5.1	Material	10
5.2	Aufbau	10
5.3	Versuchsdurchführung	11
5.4	Beobachtungen	12
5.5	Auswertung des Versuchs	13
5.5.1	Qualitativer Nachweis der Aminosäuren	13
5.5.2	Chemische Auswertung	14
6.	Schlusswort	15
7.	Literaturverzeichnis	16
8.	Selbstständigkeitserklärung	17

1. Einleitung

Schon immer stellten sich Wissenschaftler aus aller Welt die Frage, wie Leben auf der Erde entstehen konnte. Aber erst seit Beginn des 20. Jahrhunderts haben Forscher die Möglichkeiten Untersuchungen durchzuführen, die Erkenntnisse über die Entstehung der Erde und die urzeitlichen Bedingungen brachten. Dennoch war zunächst unklar, wie aus toter Materie organische Stoffe, die die Grundlagen des Lebens darstellen, entstehen konnten.

Heute ist jedem bekannt, was der Begriff Evolution bedeutet, aber dennoch sind die Details und insbesondere die Anfänge des Lebens den meisten eher unbekannt.

1953 machte der Biologe und Chemiker Stanley L. Miller seine ersten Versuche zu dieser Thematik und es gelang ihm mit seinem Ursynthese-Experiment nachzuweisen, dass unter den atmosphärischen Bedingungen, die auf der jungen Erde herrschten Aminosäuren und weitere wichtige Bausteine der Zellen entstehen konnten.

Für diese Facharbeit habe gemeinsam mit einem Mitschüler und der unterstützenden Hilfe von Herrn Ködding diesen Versuch zur Ursynthese durchgeführt, ausgewertet und in den Gesamtkontext eingeordnet.

Zunächst möchte ich einen Überblick über die Thematik des Versuches geben und einige Hintergrundinformationen anführen. Danach stelle ich den Aufbau des Originalversuchs von Stanley L. Miller vor, um anschließend den Aufbau und die Durchführung des abgewandelten Versuchs nach der Anleitung von Lehrmittelbau Maey zu erläutern und meine Versuchsergebnisse auszuwerten.

2. Aminosäuren – Bausteine des Lebens

Aminocarbonsäuren, kurz Aminosäuren, sind organische Moleküle, die vielfältige biologische Funktionen haben. Sie bestehen aus mindestens einer Carboxylgruppe (-COOH) und mindestens einer Aminogruppe (-NH₂), doch die meisten haben noch spezifische Seitenketten, den sogenannten Rest. In der Natur sind ca. 270 verschiedene Aminosäuren bekannt, wobei theoretisch noch mehr möglich sind. Man unterscheidet zwischen proteinogenen Aminosäuren (20 der 270 Aminosäuren), die an der Synthese von Proteinen beteiligt sind, und den restlichen nicht- proteinogenen Aminosäuren. Ketten von Aminosäuren bilden Peptide. Ab einer Länge von 50 Stück nennt man sie Proteine.

Proteine sind für alle Pflanzen und Lebewesen unverzichtbar. Sie haben strukturelle Aufgaben und agieren unter anderem als Enzyme, Hormone oder Antikörper des Immunsystems.

Acht der proteinogenen Aminosäuren können vom Körper weder direkt synthetisiert werden, noch durch Modifikation anderer Aminosäuren hergestellt werden, sie werden essentielle Aminosäuren genannt. Sie werden über die Nahrung aufgenommen.

Nicht-proteinogene Aminosäuren spielen größtenteils für Pflanzen und Bakterien eine Rolle. Einige üben bei Pflanzen eine Schutzfunktion aus, da sie durch ihre Ähnlichkeit zu anderen proteinogenen Aminosäuren oft giftig sind. Sie kommen auch als Zwischenstufe bei der Synthese oder beim Abbau proteinogener Aminosäuren vor. Ihre Funktion ist jedoch noch nicht vollständig geklärt.

3. Historie und Hintergrundinformationen

Stanley L. Miller war Schüler des Nobelpreisträgers C. Urey. Mit ihm führte er 1953 und 1955 Versuche durch um die Frage zu klären, ob mit Energie und den Gasen der zweiten Uratmosphäre in den Urozeanen organische Verbindungen entstehen konnten und, ob die Energie, die damals zur Verfügung stand zu einer solchen Synthese ausreicht. Die Basis für ihre Überlegungen ist die Urknalltheorie, die besagt, dass das Universum vor 10-12 Milliarden Jahren durch einen „Knall“ entstanden sei. Folge dieser Explosion war eine Wolke kosmischen Staubs aus dem die Sonnen und Planeten nach und nach entstanden. Die erste Atmosphäre der Erde war der Urnebel, welcher aus Wasserstoff, Wasserdampf, Ammoniak und Methan bestand. Im Laufe der Zeit wurde diese Atmosphäre, durch vulkanische Gase, mit Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Stickstoff angereichert. Diese Bedingungen simulierte Miller etwas vereinfacht in seinem Versuch. Sein Gemisch bestand aus Methan, Ammoniak, Wasser und Wasserstoff (dieser musste jedoch nicht zwingend hinzugefügt werden, da er unter Zufuhr von Energie durch die Zerlegung der anderen Stoffe entsteht). Auf der Urerde standen als Energiequellen Gewitter, ultraviolette Strahlen, radioaktive Strahlen und Wärme des Vulkanismus, sowie eventuelle Stoßwellen durch Meteoriten zur Verfügung. Miller wählte als Energiequelle in seinem Versuch sowohl Wärme als auch elektrische Entladungen. Daraus ergab sich, dass er die Stoffe seines Gemisches acht Tage lang in einem Kreislauf unter Energiezufuhr laufen ließ. Im Anschluss konnte er nachweisen, dass Ameisensäure, Formaldehyd, Milchsäure, und vor allem Aminosäuren entstanden sind. Die Mengen der entstandenen Stoffe entsprechen den Verhältnissen in der Natur, wobei Aminosäuren am häufigsten auftreten, da ihre Struktur

chemisch am einfachsten ist. Die Aminosäuren sind auch am wichtigsten, da sie die Grundbausteine für Proteine sind, die wiederum neben den Nukleinsäuren (Träger der Erbinformation) zu den zwei grundlegenden Stoffen für das Leben gehören. Die entstanden organischen Verbindungen waren stabil, da sie weder durch Sauerstoff (die Atmosphäre enthielt damals keinen freien Sauerstoff), noch durch Mikroben zerstört werden konnten, so wie es heute geschehen würde.

Auf diese Versuche folgten die ersten folgerichtigen und lückenlosen Theorien, die eine präbiotische Bildung von Aminosäuren und anderen wichtigen Lebensbausteinen beschreiben. Millers Versuch ist schon vielfach variiert worden. In diesen Variationen ist Methan durch Kohlendioxid oder Kohlenmonoxid ausgetauscht worden, oder Ammoniak durch Stickstoff und auch die elektrische Entladung hat man durch UV-Strahlung ersetzt. Die Tatsache, dass auch unter diesen Bedingungen Aminosäuren entstanden sind, erhöht die Wahrscheinlichkeit einer solchen Synthese um einiges.

Die Alternative zu Millers Theorie ist, dass das Leben von anderen Planeten kommt aber selbst dann müsste man davon ausgehen, dass die oben beschriebene Synthese und die darauf folgende Entwicklung der Einzeller auf diesen anderen Planeten stattgefunden haben muss.

Miller selbst nannte sein Experiment „Production of some Organic Compounds under Possible Earth Conditions“

Trotz all dieser viel versprechenden Annahmen und der durchaus korrekten Versuchsergebnisse von Stanley Miller, darf man nicht vergessen, dass sowohl die Bedingungen, die er auf der Urerde vermutet hat, als auch die folgenden Entwicklungsschritte über die Einzeller hin zu den Mehrzellern nur auf Theorien beruhen. Deshalb gibt es auch viele Kritiker, denen er sich inzwischen sogar selbst angeschlossen hat. Man hat in den folgenden Jahren bezweifelt, dass in der frühen Atmosphäre Wasserstoff, Methan und Ammoniak überhaupt in größeren Mengen vorhanden waren, da sie von der Gravitation nicht bei der Erde gehalten werden konnten bzw. durch UV-Strahlung zersetzt wurden. Des Weiteren geben geologische Untersuchungen Grund zum Zweifel, da große Mengen Methan auch in Gesteinsschichten ihre Spuren hinterlassen hätten, solche aber nicht auffindbar sind. Der nächste Kritikpunkt ist die Entwicklung der ersten Zellen, die nach Millers damaliger Annahme in den Urozeanen stattgefunden haben soll, denn es ist wahrscheinlich, dass die Konzentration der Aminosäuren und anderer wichtiger Stoffe nicht hoch genug war, um sie sich zu Proteinen und komplizierten Macromolekülen verbinden zu können. Daher ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass sich diese Verbindungen an Orten gebildet haben, an denen sich die benötigten Stoffe

konzentriert haben, wie zum Beispiel in Buchten oder in Sümpfe. Und der letzte Punkt ist, dass Aminosäuren sich nicht so einfach in Wasser zu Proteinen verbinden, wie Miller es angenommen hat. Eine alternative Theorie besagt, dass sich die Moleküle in Gesteinsporen angereichert haben und dort miteinander reagierten.

Trotz dieser kritischen Betrachtung war Miller der erste, der Ergebnisse erzielte, die überhaupt eine Vorstellung über einen möglichen Ablauf der abiogenen Bildung von Aminosäuren zuließen. Sein Experiment ist bis heute das klassische Ursynthese Experiment.

4. Versuch 1: Originalversuch nach Stanley Miller

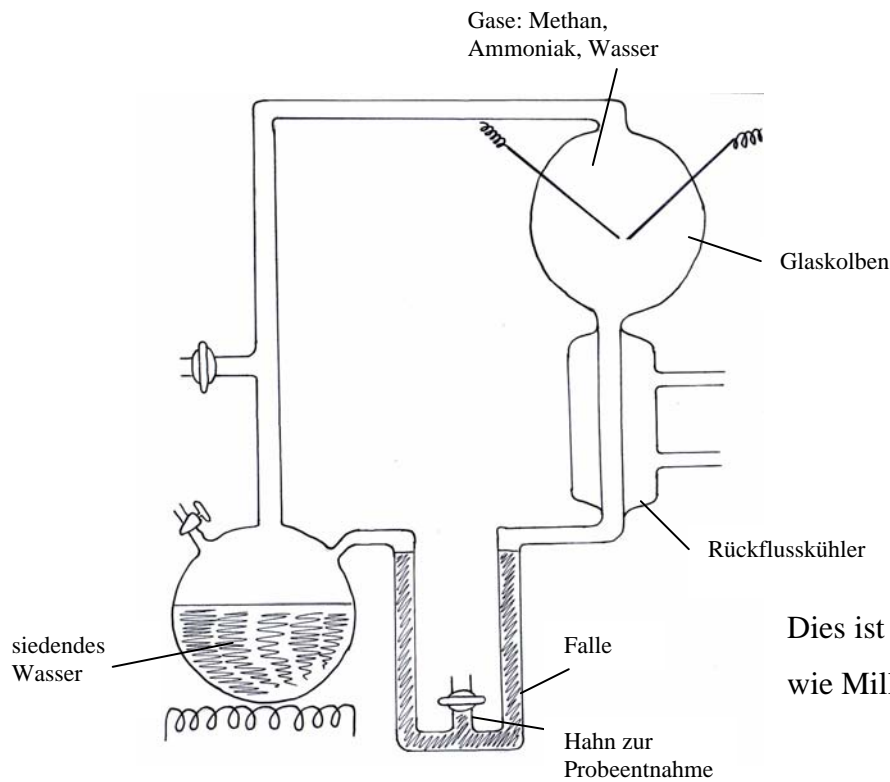
4.1 Materialien

Für diesen Versuch haben wir die folgenden Materialien aus der schulischen Chemiesammlung genutzt.

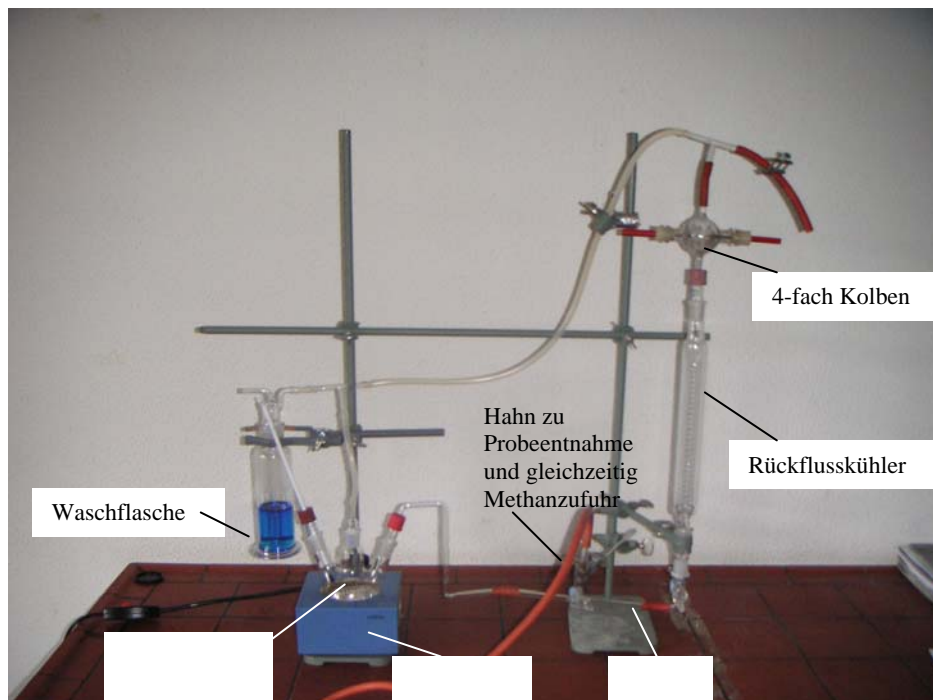
- 100 ml destilliertes Wasser
- ca. 25 ml 25-prozentige Ammoniaklösung
- Methan

- Heizpilz
- 2 Stative
- 3 – Hals – Rundkolben
- 2 Ansatzschläuche
- Thermometer
- Ansatzstücke
- T – Stück
- Diverse Schläuche und Glasrohre
- Schlauchklemme
- Waschflasche
- 3 – Wege – Hahn
- Hahn mit Schliff und Schlauch
- Rückflusskühler
- 4-fach Glaskolben
- 2 Elektroden
- Spannungsquelle 10.000V

4.2 Aufbau



Dies ist eine Skizze der Apparatur, wie Miller sie selbst baute.

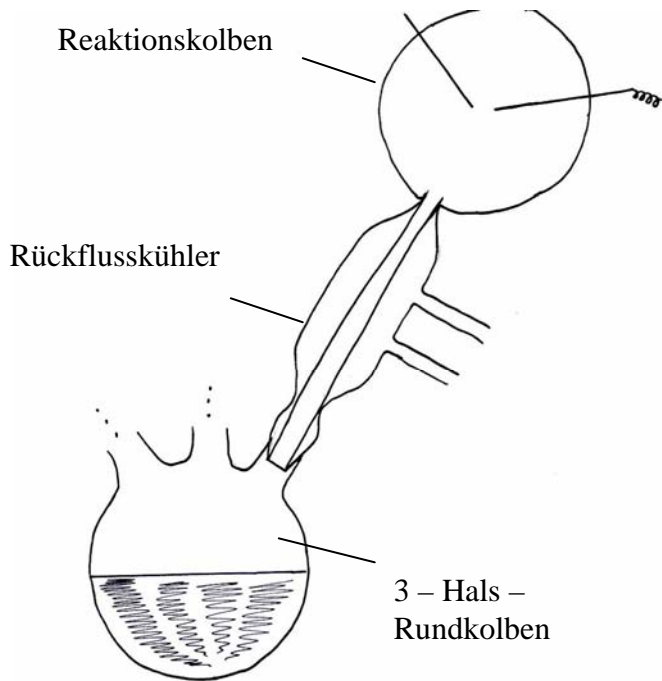


Dies ist unser Nachbau der Apparatur mit einigen kleinen Veränderungen. Wir haben zur Sicherheit zum Druckausgleich eine Waschflasche eingebaut. Außerdem verfügt unsere Apparatur über ein Thermometer und wir

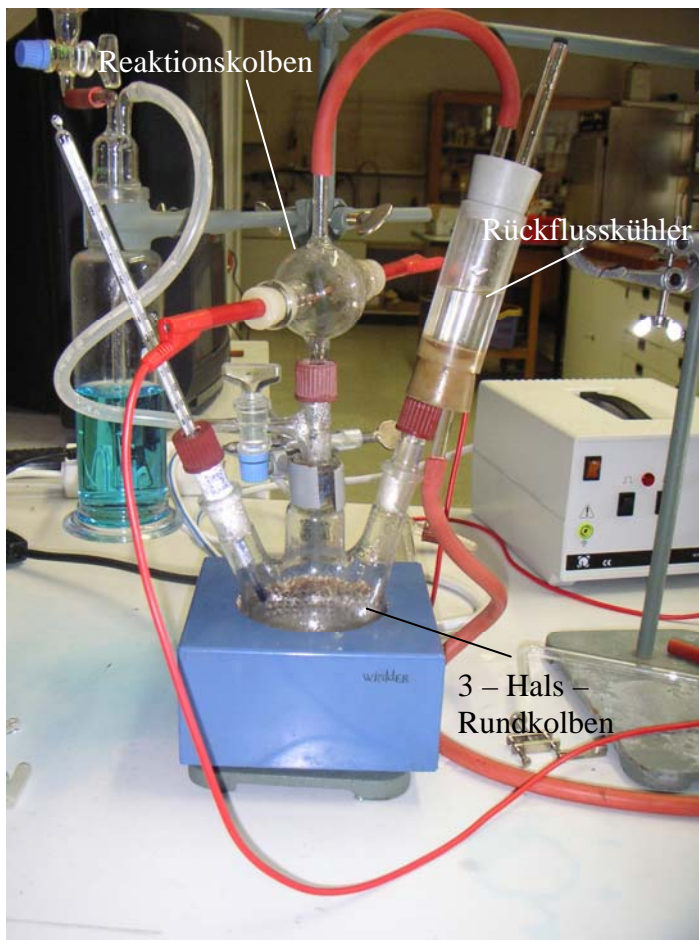
haben die Methanzufuhr an die tiefste Stelle verlegt, damit wir vor dem Einleiten kein Vakuum schaffen mussten. So verdrängte das Methan die Luft von unten nach oben.

4.3 Versuchsdurchführung

Zu Beginn haben wir in den 3 – Hals – Rundkolben das destillierte Wasser und die Ammoniaklösung gegeben. Im Anschluss haben wir durch den unteren Hahn, der zur Probeentnahme dient Methan eingeleitet, wobei der Schlauch an der höchsten Stelle geöffnet war. So stieg das Methan in der Apparatur auf und verdrängt die Luft, die oben ausströmen konnte. Nach einer knappen Minute haben wir zur Sicherheit eine Knallgasprobe durchgeführt. Somit konnten wir testen, ob die Apparatur dicht war und nicht die Gefahr besteht, dass sich Sauerstoff mit dem Methan vermischt, was bei Einschalten der Elektroden zu einer heftigen Explosion geführt hätte. Hierfür haben wir die ausströmende Luft aus dem oberen Schlauch in ein Reagenzglas geleitet und es anschließend angezündet. Das Gas in dem Reagenzglas ist nicht explodiert, sondern abgebrannt, was bedeutet, dass sich nur Methan in der Apparatur befand. Nun haben wir die Apparatur komplett verschlossen und den Heizpilz angeschaltet. Sobald das Wasser kochte, haben wir die Stromquelle eingeschaltet, die mit den Elektroden verbunden war. Hier trat das erste Problem auf. Es sprang kein Funke über. Da auch nach Verlängern der Elektroden nichts geschah, entschieden wir uns eine stärkere Stromquelle anzuschließen. Damit war dieses Problem gelöst, aber es folgte ein viel schwerwiegenderes. Unser Versuchsaufbau basierte darauf, dass durch die Wärme bzw. den aufsteigenden Wasserdampf ein Sog entstehen sollte, der die Gase in die richtige Richtung strömen lässt. Das Problem war nun, dass der Wasserdampf frühzeitig in den Glasrohren kondensierte und somit der benötigte Sog nicht entstand. Die Folge daraus war, dass in der Apparatur kein Kreislauf entstand. Um diesem frühzeitigen Abkühlen entgegen zu wirken, verkürzten wir die Wege in der Apparatur.



Skizze Apparatur, nachdem wir die Wege verkürzt haben, indem wir den Kühler direkt an den Rundkolben angeschlossen haben.



Leider gelang es uns auch nach dem wir sogar einen kürzeren Kühler gebaut haben nicht die Gase in die richtige Richtung zuleiten. Damit mussten wir die Durchführung dieses Versuches abbrechen.

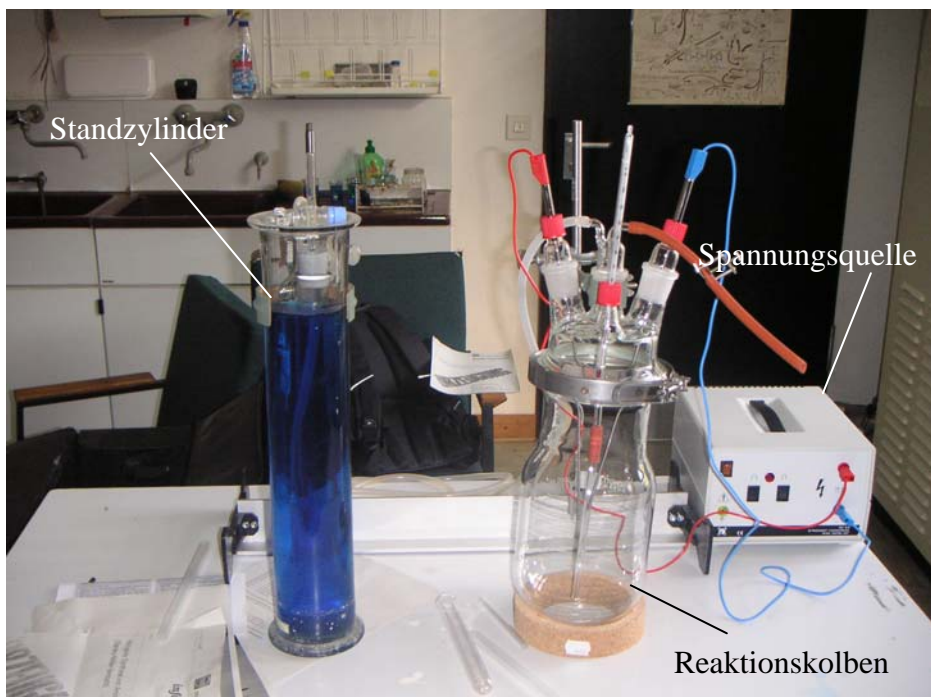
5. Versuch 2: Bausatz von Lehrmittelbau Maey

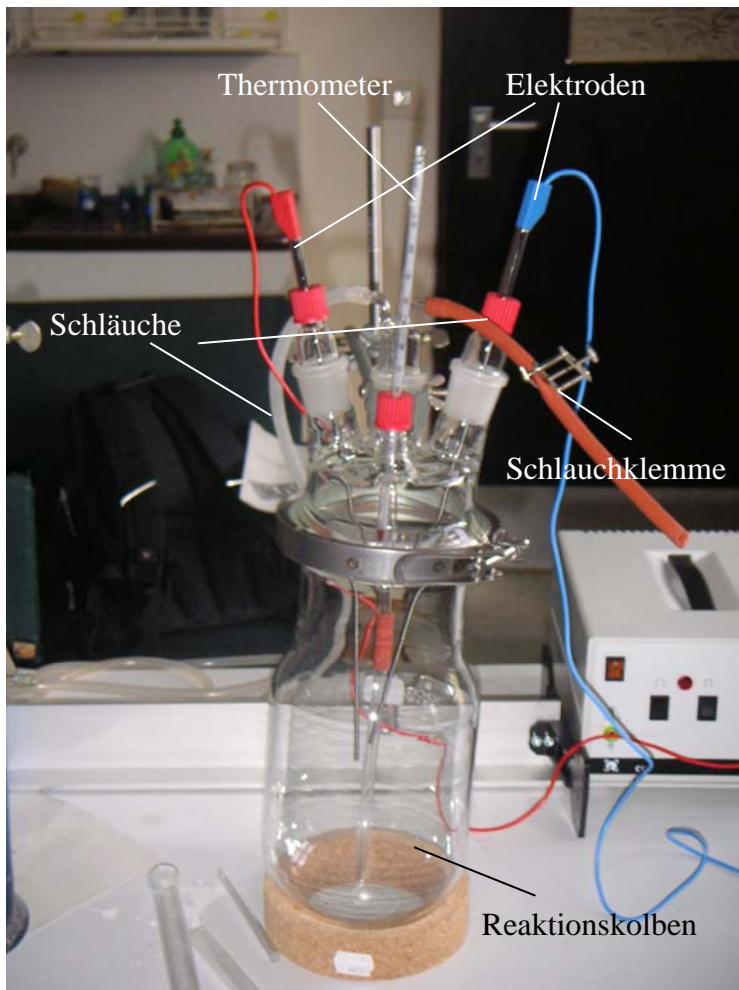
5.1 Material

Die Materialien für diesen Versuchsaufbau waren zum Großteil in dem Bausatz mitgeliefert. Einige Teile haben wir hinzugefügt oder ausgetauscht, um eine höhere Sicherheit zu gewähren.

- 100 ml destilliertes Wasser
- ca. 25 ml 25-prozentige Ammoniaklösung
- Methan
- Reaktionskolben mit 4 Ausgängen und Ansatzstücken
- 2 Schläuche
- 3 – Wege – Hahn
- Thermometer
- Schlauchklemme
- Standzylinder mit Glasröhre als Sicherheitsventil
- Elektroden
- Spannungsquelle 10.000V

5.2 Aufbau





5.3 Versuchsdurchführung

Als erstes haben wir auch hier das Gemisch aus Ammoniaklösung und Wasser in den Reaktionskolben gegeben. Anschließend haben wir die Apparatur luftdicht verschlossen und das Methan durch den dafür vorgesehenen Schlauch eingeleitet, wobei wir auch hier wieder darauf geachtet haben, dass das Methan bis zur tiefsten Stelle des Reaktionskolbens geleitet wird, damit die Luft komplett verdrängt wird. Wir haben uns dafür entschieden die Erzeugung eines Vakuums auf diese Weise zu umgehen, da es mit den technischen Geräten der Schule nicht möglich war dieses zuverlässig herzustellen und unsere Methode zu gleichem Maße gewährte, dass die Luft in dem Reaktionskolben komplett durch Methan ersetzt wird. Nachdem wir auch hier eine Knallgasprobe durchgeführt haben, haben wir das Netzgerät eingeschaltet. Hier sprangen die Funken nach kleiner Korrektur der Elektrodenstellung schnell über. Der Versuch sollte jetzt 12 Stunden laufen, wobei es möglich war den Versuch zwischendurch zu unterbrechen und anschließend wieder einzuschalten, da die Stoffe auch auf der Uerde Einflüssen von Tag und Nacht und

Gewittern in ungleichmäßigen Abständen ausgesetzt waren. Wir staffelten den Versuch in drei Einheiten à vier Stunden. Wir entnahmen eine Blindprobe am Anfang und dann vor und nach jeder Einheit, d.h. letztendlich erhielten wir sechs Proben (Blindprobe, „nach vier Stunden“, „vor acht Stunden“, „nach acht Stunden“, „vor zwölf Stunden“, „nach zwölf Stunden“), die wir zur Sicherheit doppelt entnahmen. Die Reagenzgläser, in denen wir die Proben aufbewahrten, verschlossen wir luftdicht, indem wir sie über einem Bunsenbrenner zuschmolzen.

Im Anschluss an diese Versuchsreihe entschlossen wir uns den Versuch doch ein Mal ohne Pause durchzuführen, um zu prüfen, ob die Pausen für das Versuchsergebnis von Bedeutung sind. Da es zeitlich nicht möglich war zwölf Stunden lang den Versuch zu betreuen, führten wir Wärme zu. Ein Gesetz zur Reaktionsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur besagt, dass sich die Reaktionsgeschwindigkeit der Reaktion verdoppelt, wenn man die Temperatur um 10°C erhöht. So konnten wir die Versuchsdauer auf sechs Stunden verkürzen. Die Versuchsvorbereitungen waren gleich. Bei der Durchführung traten jedoch erhebliche Schwierigkeiten auf, die es erforderten die Apparatur mehrfach zu öffnen. Zunächst gab es an diversen Ansatzstücken undichte Stellen, die sich auch nach dem Einfetten dieser immer wieder lösten, was dazu führte, dass wir die Apparatur neu befüllen mussten. Das zweite Problem war, dass die Netzgeräte der Dauerbelastung nicht standhalten konnten und sich nach einiger Zeit ausschalteten oder es bildeten sich zwischen den Elektroden Kohlenstoffbrücken (wiederum aufgrund der Dauer), die einen Kurzschluss verursachten. Insgesamt gelang es aber den Versuch zu Ende zu führen.

5.4 Beobachtungen

Man konnte während des Versuchs beobachten, wie sich das Gemisch im Reaktionskolben langsam gelblich und dann bräunlich färbte. Außerdem bildete sich auf der Oberfläche des Gemischs eine Art ganz feiner Haut, die sich von der flüssigen Konsistenz des Gemischs etwas unterschied. In der Literatur wird diese als "Kahmhaut" beschrieben. Die Elektroden färbten sich vom Kohlenstoff schwarz.

5.5 Auswertung

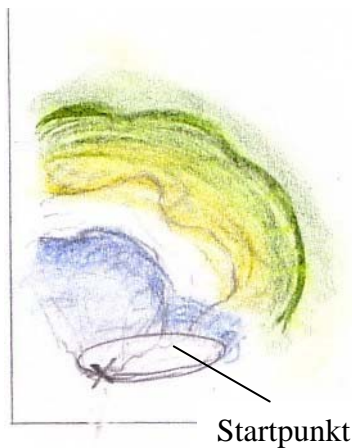
5.5.1 Qualitativer Nachweis der Aminosäuren

Wir haben die, während unseres Versuches entstandenen Aminosäuren, mit dem sogenannten Dansyl-Verfahren nachgewiesen. Aminosäuren reagieren mit dem Stoff Dansylchlorid zu Stoffen, die unter einem UV- Licht gelb-grün fluoreszieren.

Hierfür haben wir unsere Proben zunächst vorsichtig erhitzt (höchstens 40°C), um Reststoffe insbesondere Ammoniak auszutreiben, die den folgenden Nachweis stören könnten, und sie anschließend in saubere Reagenzgläser gegeben. Nun stellten wir aus 200ml destilliertem Wasser, 1,6g Natriumcarbonat und 0,8g Natriumhydrogencarbonat eine Pufferlösung her und eine heißgesättigte Lösung aus Dansylchlorid und Aceton wobei auf einen ml Aceton 2,7mg Dansylchlorid gegeben werden. Von der Pufferlösung gaben wir 0,5ml und von der Dansylchloridlösung 0,6ml zu jeder Probe. Im Anschluss daran haben wir die Proben in einem Wasserbad bei 37°C nochmals erhitzt. Ein Deckel auf dem Wasserbad hat verhindert, dass Licht währenddessen unerwünschte Reaktionen hervorruft. Nach dieser sogenannten Dansylierung der Proben haben wir von jeder Probe einen Punkt auf je ein Stück gekaufte Chromatographiefolie aufgetragen und diese drei Minuten in ein Becherglas gestellt, dessen Boden ca. 2mm hoch mit einem Laufmittel bedeckt ist. Dieses Laufmittel haben wir aus 1,5ml Ameisensäure und 100ml destilliertem Wasser gemischt. Die Stelle, an der die Probe aufgetragen war sollte knapp über der Oberfläche des Laufmittels sein. Das Laufmittel trägt nun die dansylierten Aminosäuren mit sich senkrecht nach oben. Schließlich haben wir jede einzelne Folie unter einer UV-Lampe mit 254-366nm gehalten und auf grün-gelbe Stellen untersucht. Unsere Blindprobe hat, wie zu erwarten, keine solche Stellen gezeigt. Auch die Probe „nach vier Stunden“ und „vor acht Stunden“ nicht. Bei der Probe, die wir nach acht Stunden entnommen haben, waren die ersten grünlichen Stellen erkennbar, wobei es doch eher wenig war, genau so bei der Probe „vor zwölf Stunden“. Die Probe nach zwölf Stunden hat dann schließlich deutlich sichtbare grün-gelbe Stellen gezeigt. Auf allen Proben waren große blau fluoreszierende Bereiche, welche von Nebenprodukten der Dansylierung stammen.

Diese Ergebnisse haben uns gezeigt, dass schon nach acht Stunden eine nachweisbare Menge Aminosäuren entstanden war und nach zwölf Stunden so viele, dass sie sehr gut nachweisbar waren. In den Versuchspausen ist vermutlich hinsichtlich der Aminosäuren nichts geschehen oder die Auswirkungen waren so gering, dass wir es bei unserem Nachweis nicht zeigen konnten. Bei der Probe des durchgängigen Versuchs sind wir zu

keinem Ergebnis gekommen. Vermutlich haben die oben genannten Probleme zu starke Auswirkungen auf den Versuchsverlauf gehabt, sodass keine Aminosäuren entstanden sind.

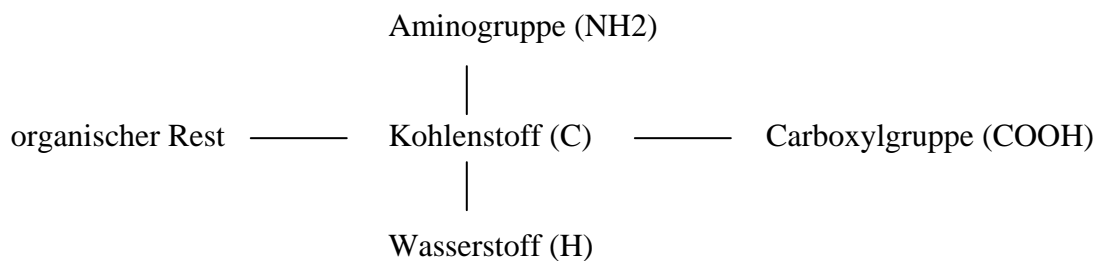


Da es technisch nicht möglich war unter der UV-Lampe eine Fotografie von dem Chromatogramm zu machen, haben wir eine Skizze angefertigt.

Unser Chromatogramm sieht bezüglich der Form nicht so aus, wie es der Literatur zufolge aussehen sollte, aber trotzdem sind die grünlich fluoreszierenden Stoffe gut sichtbar.

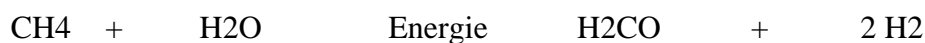
5.5.2 Chemische Auswertung

Die Strukturformel einer Aminosäure:



Glycin ist eine der einfachsten Aminosäuren und damit auch eine, die sich auf der Uerde wahrscheinlich mit am häufigsten gebildet hat, deshalb werde ich im Folgenden diese Synthese näher betrachten. Die chemische Synthese gliedert sich in vier Schritte.

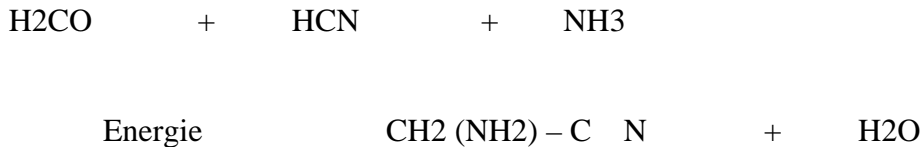
Im ersten Schritt reagieren Methan und Wasser zu Formaldehyd und Wasserstoff:



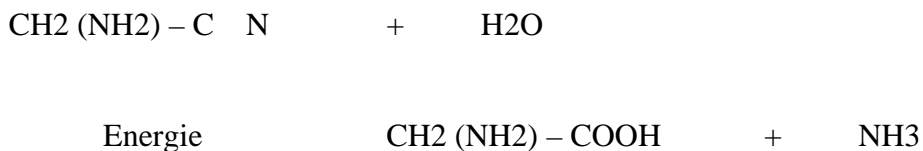
Außerdem reagiert Methan mit Ammoniak zu Blausäure und Wasserstoff:



Im dritten Schritt reagieren Formaldehyd, Blausäure und Ammoniak zu Aminoacetonitril und Wasser:



Letztendlich reagiert das Aminoacetonitril mit Wasser zu der Aminosäure Glycin und Ammoniak:



6.Schlusswort

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Durchführung des Millerschen Ursynthese Experiments nach dem Bausatz der Firma Maey das erwartete Ergebnis hervorgebracht hat. Wir konnten die Bildung von Aminosäuren unter den angenommenen urzeitlichen Bedingungen nachweisen.

Allerdings war es teilweise schwierig unter den gegebenen Vorraussetzungen in der Schule optimale Versuchbedingungen zu erzeugen. Zur Gewährung der Sicherheit mussten wir Abänderungen vornehmen und auch technische Schwierigkeiten bewältigen. Ich möchte an dieser Stelle Herrn Ködding für seine umfangreiche Unterstützung danken.

7. Literaturverzeichnis

Bayrhuber, Horst Prof. Dr. /Prof. Dr. Ulrich Kull (Hrsg.), Linder Biologie Gesamtband, 22. Auflage, Braunschweig 2005

Dickerson, Richard E., Chemische Evolution und der Ursprung des Lebens, in: Spektrum der Wissenschaft. Evolution – Die Entwicklung von den ersten Lebensspuren bis zum Menschen, Heidelberg 1988, S.42-60

Eigen, Manfred, Stufen zum Leben. Die frühe Evolution im Visier der Molekularbiologie, München 1987

Grzimek, Bernhard Dr. Dr. H.C. /Prof. Dr. Gerhard Heberer /Herbert Wendt (Hrsg.), Grzimeks Tierleben. Entwicklungsgeschichte der Lebewesen, Zürich 1972

Haase, Christian, Lexikoneintrag über Aminosäuren, 05.08.2002,
© www.biosicherheit.de/lexikon/34.lexi.html – 07.04.2006

Maey, Prof. Dr., Urzeugung. Abiogene Synthese von Aminosäuren (Stanley-Miller-Versuch), in: Biologie in unserer Zeit, Nr.1 (1980), 10. Jahrg.

Neukamm, Martin, Zitate, 24.03.2006, © www.martin-neukamm.de/zitate.htm – 27.3.2006

Pape, Michael Ralf, Die Grundlagen, der Urknall Theorie, 14.01.2000,
© <http://fam-pape.de/raw/ralph/studium/urknalltheorie> – 16.03.2006

Rohner, Peter, Basiswissen Aminosäuren, März 2006,
© www.acibas.net/Aminosaeuren/index.shtml – 07.04.2006

Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, Lexikoneintrag über Aminosäuren,
© www.wissenschaft-online.de/abo/lexikon/bio/2870 – 07.04.2006

Wikipedia, Aminosäuren, 05.04.2006,
© <http://de.wikipedia.org/wiki/Aminos%C3%A4ure> – 07.04.2006

8. Selbstständigkeitserklärung

Mit meiner Unterschrift versichere ich, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und alle Quellen angegeben habe.
