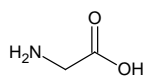


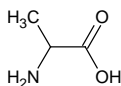
Gruppe 10 – eigener Versuch

Maillard-Reaktion

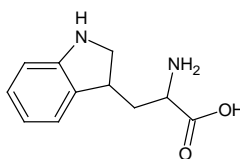
Reaktion:



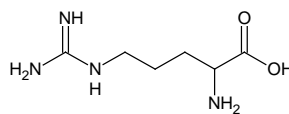
Glycin



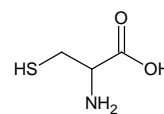
L-Alanin



L-Tryptophan



L-Arginin



L-Cystein

Zeitbedarf:

Vorbereitung: 15 min
 Versuchsdurchführung: 10 min
 Nachbereitung: 5 min

Chemikalien:

Chemikalien	Summenformel	Menge	R-Sätze	S-Sätze	Gefahrensymbole	Schuleinsatz (HessGiss)
Glucose	$C_6H_{12}O_6$	6 g	-	-	-	S 1
Glycin	NH_2CH_2COOH	2 g	-	22-24/25	-	S 1
L-Alanin	$CH_3CH(NH_2)COOH$	1 g	-	-	-	S 1
L-Tryptophan	$C_{11}H_{12}N_2O_2$	1 g	-	22-24/25	-	S 1
L-Arginin	$C_6H_{14}N_4O_2$	1 g	-	-	-	S 1
L-Cystein	$C_3H_7NO_2S$	1 g	22-36/37/38	26-36	Xn	S 1

Geräte und Materialien:

- 7 x Reagenzgläser
- Reagenzglasklemmer
- Gasbrenner

Versuchsaufbau:

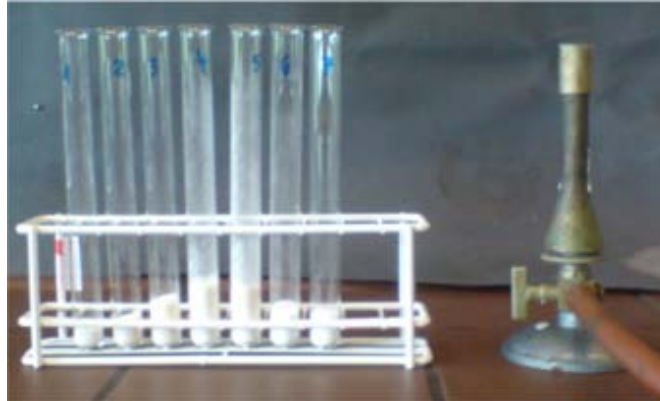


Abb. 1: Vorbereitete, mit Glucose und verschiedenen Aminosäuren befüllte Reagenzgläser und Gasbrenner.

Versuchsdurchführung:

In je ein Reagenzglas (RG) werden der Reihe nach je 1 g der folgenden Substanzen eingefüllt:

- RG 1: Glucose
- RG 2: Glycin
- RG 3: Glucose und Glycin
- RG 4: Glucose und Alanin
- RG 5: Glucose und Tryptophan
- RG 6: Glucose und Arginin
- RG 7: Glucose und Cystein

Danach wird jedes Reagenzglas über der Brennerflamme erhitzt und der Geruch der aufsteigenden Dämpfe durch Zufächeln überprüft.

Beobachtungen:

Beim Erhitzen über der Brennerflamme verkohlte der Inhalt der Reagenzgläser unter Rauchbildung schon nach kurzer Zeit. Je stärker erhitzt wurde, desto heftiger war die Rauch und

Rußbildung. Die Glucose wurde beim Erhitzen zunächst braun, bevor sie sich anschließend schwarz verfärbte. Der aufsteigende Rauch wies jeweils folgende Gerüche auf:

RG 1: süßlich und karamellartig;

RG 2: Röstaromen, Popkorngeruch;

RG 3: süßlich, nicht karamellartig, Röstaromen;

RG 4: süßlich, rauchig, leichter Ammoniak Geruch;

RG 5: Geruch nach Eiern, rauchige Röstaromen, Popkorngeruch;

RG 6: rauchig, nussig, Ammoniak Geruch

RG 7: pikanter Popkorngeruch.



Abb. 2: Reagenzgläser mit verkohltem Inhalt.

Entsorgung:

Der abgekühlte Inhalt der Reagenzgläser wurde in der Feststofftonne entsorgt.

Fachliche Analyse:

Bei Aminosäuren handelt es sich um Carbonsäuren, die eine Amino-Gruppe im Molekül enthalten. Derzeit sind über 500 natürlich vorkommende Aminosäuren bekannt. In der Natur sind am häufigsten die 2-Aminosäuren, auch α -Aminosäuren genannt, vertreten. Wie aus der Bezeichnung und der allgemeinen Formel $RCH(NH_2)COOH$ hervorgeht, befindet sich bei den α -Aminosäuren die Amino-Gruppe am C_2 -Atom des Moleküls. Beim Rest R kann eine Vielzahl an funktionellen Gruppen (Alkyl-, Aryl-, Hydroxy-, Amino-, Mercapto-, Sulfid- oder Carboxy-Gruppe) auftreten.

Aminosäuren sind die Grundbausteine der Proteine. Über Peptidbindungen können die einzelnen Monomere, die Aminosäuren, zu langen Polymerketten, den Proteinen, verknüpft werden. In Abhängigkeit der Aminosäuresequenzen und der Funktionellen Gruppen der einzelnen Aminosäuren erhält das Protein seine spezifischen Eigenschaften. Die meisten Proteine, vom

Menschen, bis zu den Bakterien, sind aus zwanzig verschiedenen Aminosäuren aufgebaut. Von diesen zwanzig Aminosäuren können acht Stück nicht vom menschlichen Organismus synthetisiert werden. Bei diesen Vertretern handelt es sich um die so genannten *essentiellen Aminosäuren*. Sie müssen mit der Nahrung aufgenommen werden.

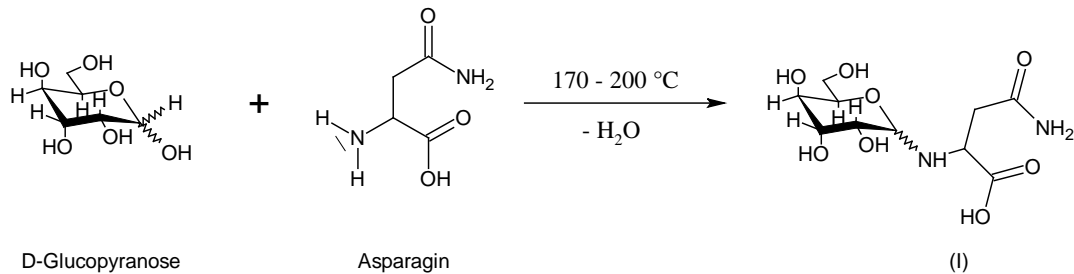
Beim Kochen und Backen wird in der Regel mit einer Vielzahl von Nahrungsmitteln gearbeitet, die Proteine und damit Aminosäuren enthalten. Werden diese Nahrungsmittel mit einem reduzierenden Stoff wie z. B. Glucose kombiniert und erhitzt, so reduziert der Zucker das α -Kohlenstoff-Atom der Aminosäuren. Diese Reaktion wurde nach ihrem Entdecker Maillard-Reaktion benannt. Da unter anderem durch die Vielfalt der Aminosäuren eine Vielzahl an unterschiedlichen Einzelreaktionen und Produkten möglich ist, könnte auch im Plural von Maillard-Reaktionen gesprochen werden. Dennoch werden alle Reaktionen unter der Bezeichnung Maillard-Reaktion zusammengefasst.

Der Verlauf einer Maillard-Reaktion kennzeichnet sich optisch durch eine Braunfärbung des Reaktionsgemisches. Dies kann zum Beispiel an einer brauner werdenden Kruste beim Backen von Brot oder beim Rösten eines Bratens beobachtet werden. Dieser Bräunungsvorgang ist jedoch nicht vergleichbar mit dem Braunwerden eines frisch durchgeschnittenen Apfels. Die Braunfärbung des Apfels resultiert aus einer enzymatischen Reaktion mit dem Luftsauerstoff. Die Maillard-Reaktion dagegen verläuft ohne Biokatalysatoren. Auch ist der Bräunungseffekt der Maillard-Reaktion nicht mit der Karamellisierung des Zuckers in Reagenzglas 1) vergleichbar. Zwar ist ebenfalls eine Braunfärbung des Zuckers zu beobachten, dennoch sind keine Aminosäuren an diesem Prozess beteiligt.

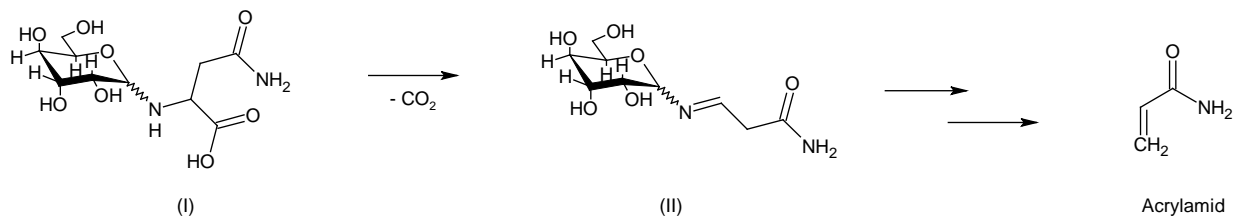
Durch die Maillard-Reaktion werden außerdem charakteristische Aromastoffe gebildet, die einen Beitrag zum typischen Geruch und Geschmack der jeweiligen Speisen leisten. Je nach Dauer, Höhe der Temperatur und eingesetzter Aminosäure können im Experiment eine Vielzahl an unterschiedlichen Gerüchen erzeugt werden. Hierbei entwickelt jede Aminosäure aufgrund unterschiedlicher Reaktionsprodukte individuelle Duftnoten.

Leider werden durch die Maillard-Reaktion nicht nur erwünschte Geschmackstoffe gebildet. Durch die Vielfalt an Reaktionsmöglichkeiten werden zum Teil auch unerwünschte toxische, mutagene oder auch kanzerogene Stoffe gebildet. Ein Beispiel hierfür ist die Reaktion eines Glucose-Moleküls mit der Aminosäure Asparagin. Hierbei kommt es zur Bildung des kanzerogenen Stoffes Acrylamid. Sowohl Asparagin, als auch Glucose, in Form von Stärke, sind z. B. in Kartoffeln enthalten. Werden Kartoffeln lange und bei hoher Temperatur frittiert, so kommt es zur Bildung von Acrylamid. Der genaue Mechanismus dieser speziellen Maillard-Reaktion ist bis heute nicht genau bekannt. Der Angriff der Aminosäure erfolgt über das freie

Elektronenpaar des Stickstoffs der α -koordinierten Amino-Gruppe am C_1 -Atom der Glucose. Unter der Abspaltung eines Wassermoleküls kommt es zur Bildung eines Zwischenproduktes (I). Dieses reagiert unter Abspaltung eines CO_2 -Moleküls zum Zwischenprodukt (II) weiter. Hierbei wird die Carbonsäure-Gruppe als „vorgebildetes Kohlenstoffdioxid“ zur Abgangsgruppe und tritt aus dem Molekül aus.



Bis zur endgültigen Bildung des Acrylamids folgen weitere, nicht genau bekannte Reaktionsschritte.



Neben seiner krebserregenden Wirkung kann Acrylamid die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen. Deshalb sollte darauf verzichtet werden, Lebensmittel, die Asparagin und Stoffe mit reduzierenden Eigenschaften enthalten lange und bei hoher Temperatur zu erhitzen. Durch Zubereitungsmethoden unter niedrigeren Temperaturen wird versucht, die Bildung von Acrylamid auf ein Minimum zu reduzieren.

Methodisch-didaktische Analyse:

1. Einordnung

Der Versuch kann wie folgt in die Themengebiete des hessischen Lehrplans (G8) eingebettet werden.

Jahrgangsstufe u. Unterrichtseinheit	Themengebiet
7G.1	<i>Fakultativ: Veränderungen von Stoffen beim Erhitzen:</i> Erhitzen von Zucker, Zinksalbe, Eiweiß, etc.; auch Umwandlungen im Alltag beim Kochen und Backen.
11G.2	<i>Aminosäuren, Peptide, Polypeptide:</i> Struktur und Eigenschaften natürlicher Aminosäuren; Peptidbindung; Strukturen und Strukturaufklärung von Eiweißen; Vorkommen und Bedeutung; Nachweisreaktionen für Aminosäuren und Eiweiße.

2. Aufwand

Alle verwendeten Geräte zählen zum Grundbestand einer Chemie-Sammlung. Die verwendeten Chemikalien werden ausschließlich im Reagenzglasmaßstab verbraucht, so dass der Versuch keine hohen Kosten verursacht. Das Experiment ist sowohl als Demonstrationsversuch, als auch als Schülerexperiment innerhalb einer Schulstunde durchführbar. Insgesamt eignet sich der Versuch damit gut für den Einsatz in der Schule.

3. Durchführung

Der Versuch funktioniert sehr zuverlässig. Alle Effekte sind gut aus der Nähe wahrnehmbar. Da es bei diesem Versuch neben dem allmählichen Verkohlen der Gemische vor allem um die Geruchserfahrung geht, sollten die Schüler aktiv in den Versuch eingebunden werden. Jeder Schüler sollte die Möglichkeit haben, die verschiedenen Gerüche wahrzunehmen. Alle Chemikalien sind nach HessGiss für Schülerversuche ab der Sekundarstufe I freigegeben, so dass der Versuch auch gut als Schülerexperiment durchgeführt werden kann. Durch die einfache Versuchsanordnung ist der Versuch auch mit größeren Lerngruppen durchführbar. Ein weiterer Vorteil dieses Versuches ist der Bezug der Maillard-Reaktion zum Kochen und Backen. Der Bau dieser Brücke vom Chemieunterricht in die Erfahrungswelt der Schüler kann für zusätzliche Motivation sorgen.

Literatur:

- Versuchsvorschrift aus : <http://www.chids.de/dachs/praktikumsprotokolle/PP0167Maillardreaktion.pdf>; Zugriff: 29.06.09.
- <http://www.chids.de/dachs/praktikumsprotokolle/PP0093Maillardreaktion.pdf>
Zugriff: 24.07.09
- K. P. C. Vollhardt, N. E. Schore, **Organische Chemie, Dritte Auflage**, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2000.
- Charles E. Mortimer, Ulrich Müller, **Chemie, das Basiswissen der Chemie**, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2003.
- **HessGiss-Datenbank**, V 11.0 – 2006/2007.
- www.dguv.de, **GESTIS-Stoffdatenbank**, 2009, Zugriff: 01.07.09.
- **Lehrplan Chemie, Gymnasialer Bildungsgang, Jahrgangsstufen 7G bis 12G**, Hessisches Kultusministerium 2008.