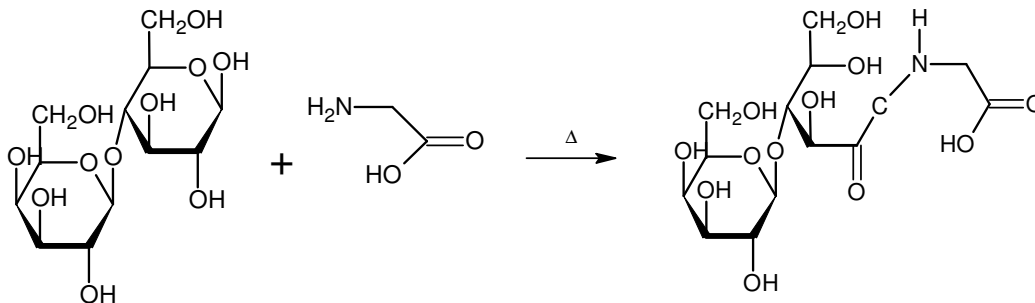


## Versuchsprotokoll

### Maillard-Reaktion

Gruppe 10, Typ: Eigenversuch

#### 1. Reaktionsgleichung



#### 2. Zeitbedarf

	Teil 1
Vorbereitung	5 min
Durchführung	5 min
Nachbearbeitung	2 min

#### 3. Chemikalien

Name	Summenformel	Gefahrensymbol	R-Sätze	S-Sätze	Einsatz in der Schule
Lactose	$C_{12}H_{22}O_{11} \cdot H_2O$	-	-	-	S I
Methionin	$C_5H_{11}NO_2S$	-	-	-	S I
Glycin	$H_2N-CH_2-COOH$	-	-	-	S I
Cystein	$C_3H_7NO_3S$	Xn	22, 36/37/38	26, 36	S I
Wasser	$H_2O$	-	-	-	S I

#### Gefahrensymbole



#### 4. Materialien/Geräte

3 Reagenzgläser, Spatel, Waage, Pipette, Bunsenbrenner

#### 5. Versuchsaufbau

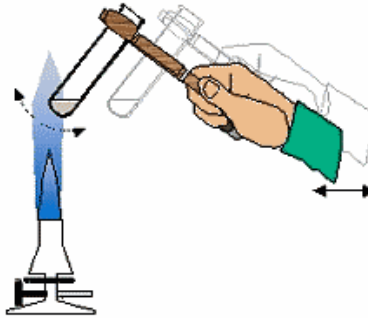


Abb. 1: Erhitzen über dem Bunsenbrenner<sup>[4]</sup>

#### 6. Versuchsdurchführung

Man gibt je 0,1 g Methionin, Glycin und Cystein in je eins der drei Reagenzgläser, gibt je die gleiche Menge Lactose hinzu und 3 Tropfen Wasser. Anschließend erhitzt man die Reagenzgläser über dem Bunsenbrenner und überprüft den Geruch.

#### 7. Beobachtung

Sowohl alle drei Aminosäuren, als auch die Lactose sind weiße pulverförmige Substanzen. Werden diese mit 3 Tropfen Wasser versetzt, so erfolgt lediglich eine Anfeuchtung der Substanzen. Nach kurzem Erhitzen mit dem Bunsenbrenner steigen in allen drei Reagenzgläser weiße Nebelschwaden auf, der Rückstand im Reagenzglas mit dem Methionin bleibt weiß mit einigen braunen Flecken, der mit Glycin ist braun und der mit Cystein blau, ebenfalls mit einigen braunen Flecken. Nach dem Abkühlen zeigen sich außerdem Wassertropfen an den Reagenzgläsern.

Die Mischung mit Methionin riecht nach Kartoffeln, die mit Glycin nach Bratkartoffeln und Cystein nach Popcorn.

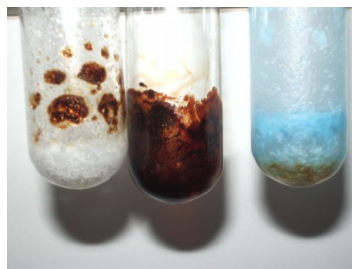


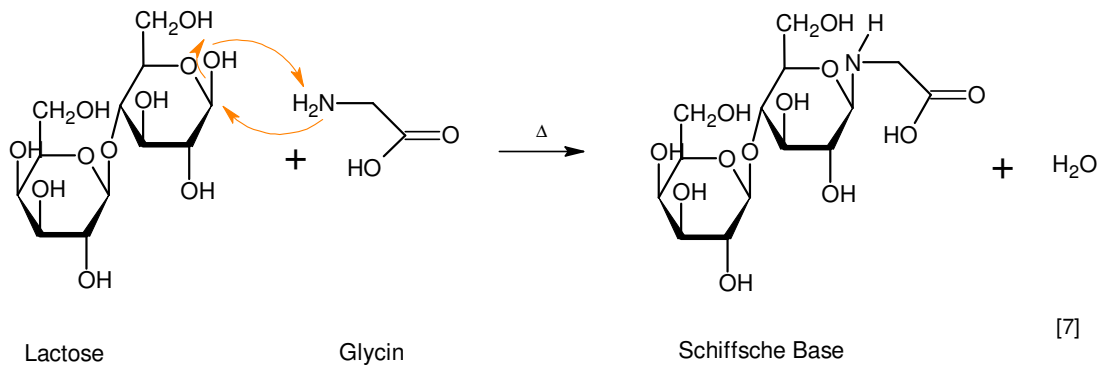
Abb. 2: Gemische nach dem Erhitzen  
(links: Methionin, mitte: Glycin, rechts: Cystein)

## 8. Entsorgung

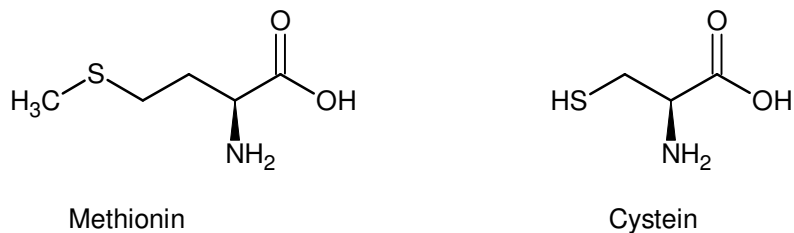
Die Rückstände werden in Schwefelsäure gelöst und neutral im Behälter für organische Lösungsmittel entsorgt.

## 9. Fachliche Analyse

Für die Maillard-Reaktion wird ein Zucker, eine Aminosäure (hier immer die L-Aminosäure) und Hitze benötigt. Im ersten Schritt spaltet sich Wasser bei 140 °C ab, wodurch es zu einer Verbindung zwischen dem Zucker und der Aminosäure kommt. Das Stickstoffatom der Aminosäure greift dabei das C1-Atom der Lactose an, dessen Hydroxy-Gruppe ein Wasserstoffatom des Stickstoffs bindet und sich als Wasser abspaltet. Außerdem entsteht eine Schiffsche Base. Schiffsche Basen sind Verbindungen, die bei der Kondensationsreaktion von Aldehyden bzw. Ketonen mit primären Aminen gebildet werden. Sie werden auch als Imine bezeichnet. Diese Reaktion ist am Beispiel der Lactose mit Glycin beschrieben, verläuft mit Methionin und Cystein jedoch analog:

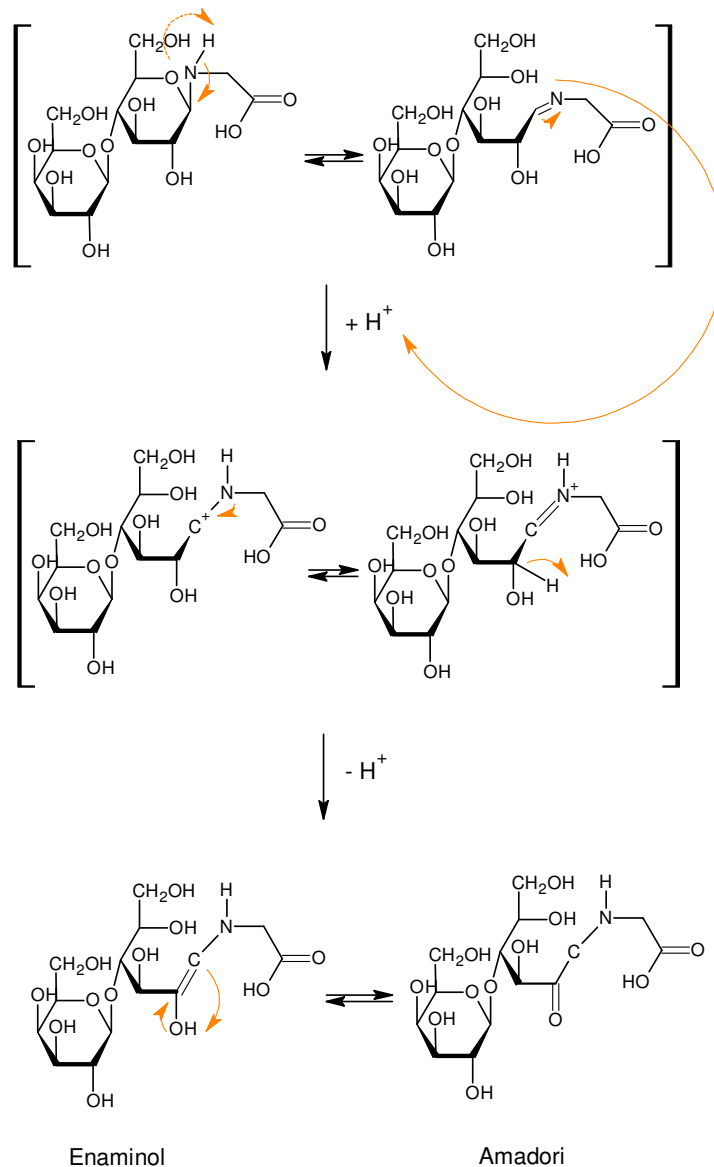


Zum Vergleich werden hier die Strukturformeln der Aminosäuren Methionin und Cystein abgebildet:



Die Schiffsche Base, die oben in der Halbacetal-Form gezeichnet ist, reagiert nun nach der Amadori-Umlagerung weiter, die zu einer nichtenzymatischen Bräunung führt. Dabei greift das Stickstoffatom ein Wasserstoffatom und bindet dieses, wodurch die Doppelbindung zum benachbarten Kohlenstoffatom aufbricht und sich eine Einfachbindung ausbildet. Das Kohlenstoffatom, das immer noch ein Wasserstoffatom trägt (welches hier nicht eingezeichnet ist) bekommt dadurch eine positive Ladung. Diese Struktur liegt jedoch im Gleichgewicht mit der Struktur vor, in der das Stickstoffatom die positive Ladung trägt. Dafür wird das freie Elektronenpaar des Stickstoffs zur Ausbildung der Doppelbindung zum Kohlenstoffatom verwandt. Wird nun das Wasserstoffatom vom C2-Kohlenstoffatom abgespalten bildet sich eine Doppelbindung zwischen dem C2- und dem C1-

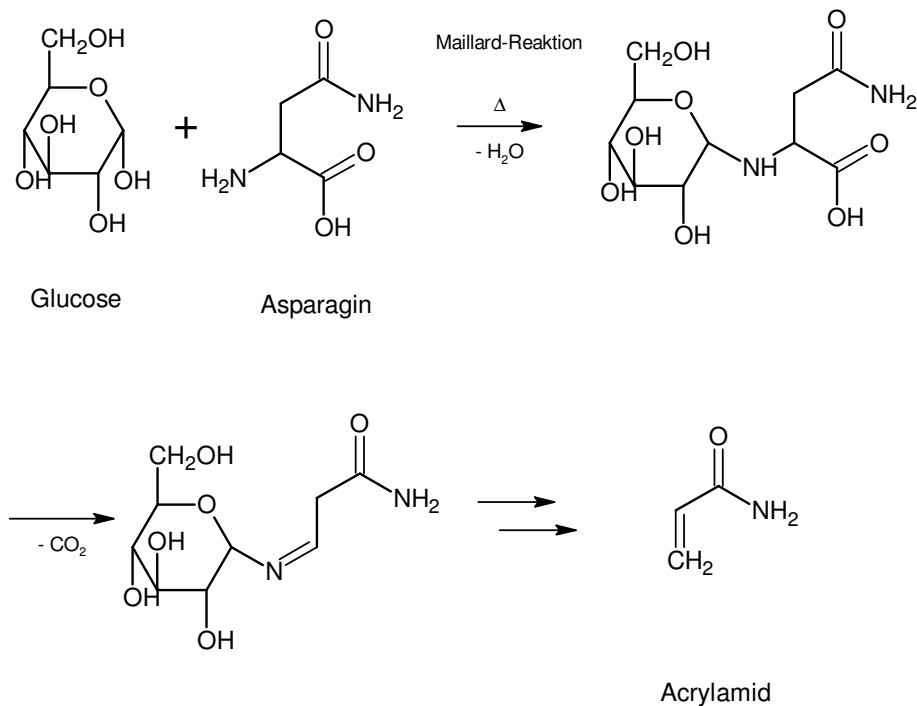
Kohlenstoffatom aus und es entsteht das Enaminol. Durch Umlagerung des Wasserstoffatoms der Hydroxygruppe des C2-Kohlenstoffs entsteht das Keton, die so genannte Amadori-Verbindung.



[7]

Die hier gezeigte Reaktion spielt eine sehr große Rolle in der Lebensmittelindustrie und jeder Küche. Die Endprodukte, die Melanoidine, die durch Erhitzen von Lebensmitteln entstehen wie z.B. beim Rösten von Kaffee, sind ein wichtiger Aroma- und Geschmacksstoff und sind für die Färbung von proteinhaltigen Lebensmitteln verantwortlich. Außerdem machen diese Substanzen als Antioxidantien die Lebensmittel länger haltbar, da sie den Luftsauerstoff, der dazu beiträgt, dass Nahrungsmittel schneller verderben, binden. Somit werden auch schädliche Stoffe von den Melanoidinen gebunden, wodurch sie sich durch ihre antibakterielle Wirkung positiv auf die Gesundheit auswirken. Bis heute ist den Wissenschaftlern jedoch noch nicht gelungen z.B. im Kaffee alle Melanoidine chemisch zu identifizieren oder sie zu isolieren. So konnte ihnen bisher auch noch keine eindeutige Struktur zugeordnet werden, was wiederum begründet, dass auch ihre Wirkungsweise noch nicht geklärt werden konnte.

Es gibt jedoch leider auch unerwünschte Maillard-Reaktionen. Wird die Aminosäure Asparagin mit einem reduzierenden Zucker wie z.B. Glucose unter Abwesenheit von Wasser erhitzt, entsteht Acrylamid, was beim Menschen canzerogen und Nerven schädigend wirkt.



Wenn auch bis heute nicht nachgewiesen werden konnte, inwiefern das Acrylamid wirkt, so kann man jedoch folgende Rückschlüsse ziehen. Acrylamid ist ein guter Akzeptor für Nucleophile. Die DNA-Basen, sowie viele Proteine sind solche Nucleophile. Sollten diese also an Acrylamid addieren, kann es zu einer Schädigung der DNA bzw. einer Funktionsstörung der Proteine kommen.

Die bisher einzig bekannte Methode sich vor Acrylamiden zu schützen, ist die Back-, Brat-, Grill- und Frittieretemperatur möglichst klein zu halten, sowie auf eine Bräunung der Lebensmittel zu verzichten.

## 10. Didaktische Analyse

Dieser Versuch kann in der Jahrgangstufe 12 zum Thema „Kohlenstoffchemie II: Technisch und biologisch wichtige Kohlenstoffverbindungen“ mit dem Unterthema der Aminosäuren durchgeführt werden. Die Farbänderungen, aber vor allem die guten Gerüche werden die Schüler motivieren sich mit dem Thema zu befassen. Die Maillard-Reaktion zeigt außerdem einen guten Alltagsbezug. Die Acrylamide, die durch diese Reaktion entstehen, sind vor nicht allzu langer Zeit stark durch die Presse gegangen, da man herausgefunden hat, dass diese vor allem in gerösteten Kartoffeln (z.B. Chips) vorhandenen Stoffe krebserregend sind.

Da für diesen Versuch weder viel Material noch Chemikalien verwandt werden, können die Schüler diesen Versuch entweder selber in der Schule durchführen, oder aber sogar als experimentelle Hausaufgabe zu Hause (z.B. Haferflocken und Glucose). Man könnte den Schülern verschiedene

Aminosäuren geben, damit alle möglichst viele Gerüche vertreten sind. Da dieser Versuch sehr schnell geht, kann jeder Schüler auch zwei oder drei verschiedene Aminosäuren ausprobieren. Im Vorfeld sollten die Schüler die Naturstoffklasse der Kohlenhydrate kennen gelernt haben, damit nicht mehr auf den Aufbau von den reduzierenden Zucker eingegangen werden muss. Außerdem sollten sie die Strukturen und Eigenschaften der Aminosäuren behandelt haben. Da aber dieser Versuch genau in dieses Thema einzuordnen ist, dürfte hier kein Problem bestehen, wenn man diesen Versuch nicht gerade als Einstiegsversuch wählt.

## 11. Literatur

Versuchsquelle:

[1] Tausch, M.W., *Maillard-Reaktion*, Uni-Wuppertal, Chemiedidaktik, [http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/alte\\_seite\\_du/material/milch/lactose/maillard.pdf](http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/alte_seite_du/material/milch/lactose/maillard.pdf), (letzter Zugriff: 19.1.09, 19:13 Uhr)

Fachquellen:

[2] Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V., *26 In unserem täglichen Brot: Melanoidine - die rätselhaften Substanzen*, <http://www.gdch.de/oearbeit/press/2004/26.htm>, 2004, (letzter Zugriff: 19.1.09, 19:13 Uhr)

[3] Mertens, S., *Acrylamid*, <http://www.chemieonline.de/campus/mdm/acrylamid/index3.php>, (letzter Zugriff: 19.1.09, 19:13 Uhr)

[4] Landesinstitut für Schulentwicklung (LS) Stuttgart, Ministerium für Kultus, Jugend und Sport; Landesbildungsserver Baden-Württemberg, *Erhitzen von Flüssigkeiten*, <http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/chemie/material/unter/einf/teil6.html> (letzter Zugriff: 19.1.09, 19:13 Uhr)

[5] *Lehrplan Chemie für die Jahrgangsstufen G7 bis G12* des hessischen Kultusministeriums, 2005 ([http://www.kultusministerium.hessen.de/irj/HKM\\_Internet?uid=3b43019a-8cc6-1811-f3ef-ef91921321b2](http://www.kultusministerium.hessen.de/irj/HKM_Internet?uid=3b43019a-8cc6-1811-f3ef-ef91921321b2))

[6] Unfallkasse Hesse (UKH), Hessisches Kultusministerium, *Hessisches GefahrstoffInformations System Schule (HessGISS)*, Version 11.0, 2006/2007

[7] Willig, H.-P., Amadori-Umlagerung, <http://chemie-schule.de/chemieWiki/index.php?title=Amadori-Umlagerung>, (letzter Zugriff: 19.01.09, 15:09 Uhr)

[8] Wikimedia Foundation Inc., <http://de.wikipedia.org> (letzter Zugriff: 19.01.09, 15:09 Uhr)