

# Praktikum zur Organischen Chemie für Studierende des Lehramts

## WS 2010/11

Praktikumsleitung: Dr. Reiß

Assistent(in): Sarah Henkel

Name: Johannes Hergt

Datum: 1.2.2011

Methodik: Forschend-entwickelnder Unterricht (Kompetenz: Erkenntnisgewinn)

Gruppe 11: Naturstoffe und Lebensmittel

Versuch: Denaturierung von Eiklar

### Zeitbedarf

Vorbereitung: 15 Minuten

Durchführung: 15 Minuten

Nachbereitung: 10 Minuten

### Zusammenfassung

Polypeptid/Protein  $\xrightarrow{\text{Wärme, Säure, Alkohol}}$  Zerstörung der Sekundär- und Tertiärstruktur

### Chemikalien <sup>[2,3]</sup>

Tab. 1: Verwendete Chemikalien.

Eingesetzte Stoffe	Summenformel	Menge	R-Sätze	S-Sätze	Gefahrensymbole	Schuleinsatz
Eiklar						
Salzsäure (halbkonz.)	HCl <sub>(aq)</sub>	5 mL	34-37	(1/2)-26-45	C	S1
Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>(l)</sub>	5 mL	11	(2)-7-16	F	S1
Kochsalz	NaCl <sub>(s)</sub>	2-3 Spatelspitzen				S1

### Geräte

- Mittelgroßes Becherglas (250 mL)
- 3 kleine Bechergläser (je 50 mL)
- Magnetrührer
- Rührfisch
- 2 Spritzen (je 5 ml)
- Bunsenbrenner
- Dreifuß
- Asbestnetz
- Schwarze Pappe (Hintergrund)

## Aufbau

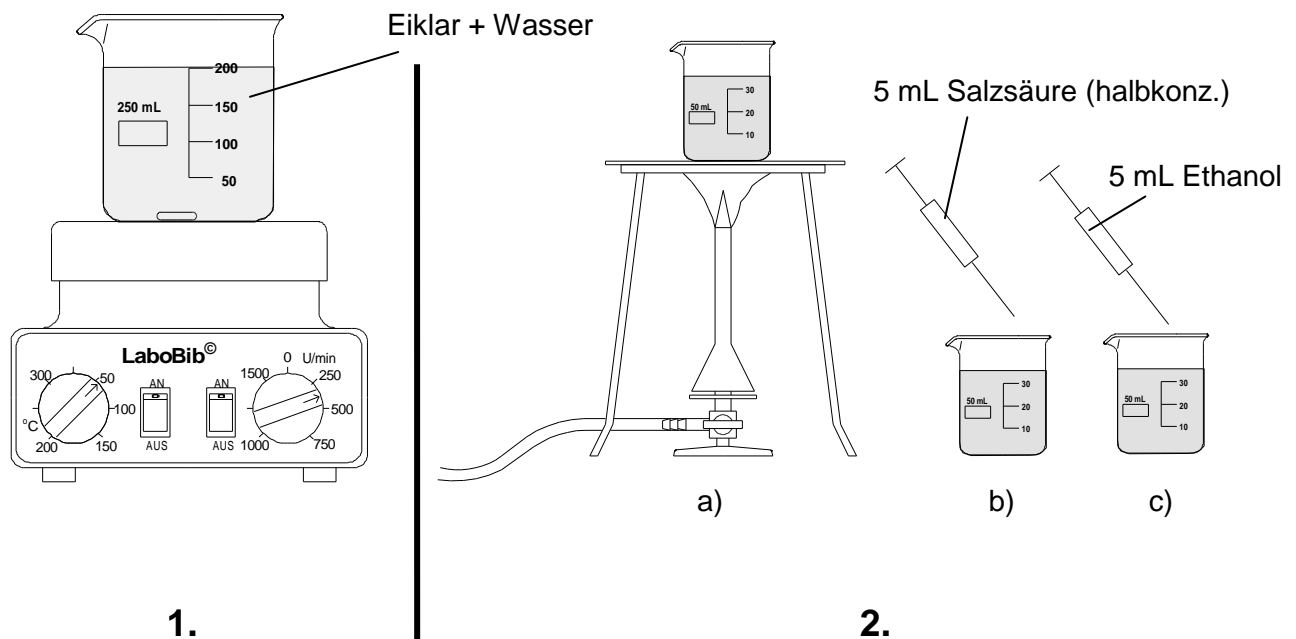


Abb. 1: Versuchsaufbau.

## Durchführung

Ein Ei wird über dem 250 mL-Becherglas aufgeschlagen und das Eigelb vom Eiweiß getrennt. Dazu wird das Eigelb von der einen Eierschale in die andere (hin und her) gekippt. Das Eigelb kann in den Ausguss gegeben werden, nur das Eiweiß wird benötigt.

Das Becherglas wird bis zum 200 mL-Eichstrich mit Wasser aufgefüllt und die Lösung auf dem Magnetrührer mit dem Rührfisch gemischt. Spatelweise wird nun so lange Kochsalz unter ständigem Rühren zugeführt bis eine klare Lösung vorliegt (Ein paar Schlieren sind nicht problematisch).

Je 10 mL der Lösung werden in die drei kleinen 50 mL-Bechergläser gegeben und nochmals mit je 25 mL Wasser aufgefüllt. a) Eine der drei Lösungen wird mit dem Bunsenbrenner erhitzt (nicht bis zum Sieden, nur kurz!). b) Zu einer weiteren Lösung werden 5 mL halbkonzentrierte Salzsäure (mit Spritze) gegeben. Anschließend wird das Becherglas auf die schwarze Pappe gestellt. c) Zu der letzten Lösung werden 5 mL Ethanol (mit Spritze) gegeben und das Becherglas ebenfalls auf die schwarze Pappe gestellt.

## Beobachtung

Bei der Zugabe von Wasser zum Eiklar wird eine trübe Lösung erhalten. Nach der Zuführung von drei Spatelspitzen Salz sind die weißen Schlieren größtenteils verschwunden, die Lösung klart auf.

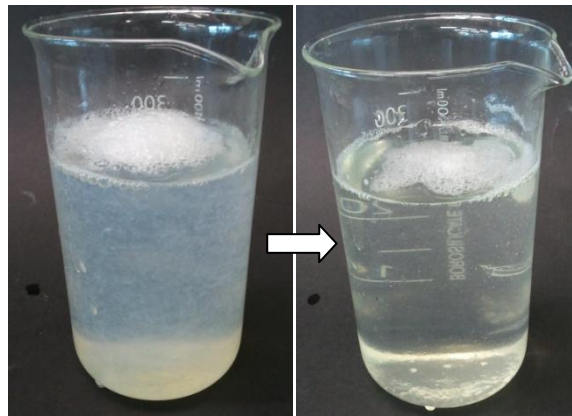


Abb. 3: Eiklarlösung vor (links) und nach (rechts) Kochsalzzugabe.

Wird die weiter verdünnte Eiklarlösung nun über der Bunsenbrennerflamme erwärmt, trübt sie sich wieder. Es liegen jedoch keine weißen Schlieren, wie in Abb. 3 (links), sondern ein sehr feiner, milchiger Niederschlag vor.

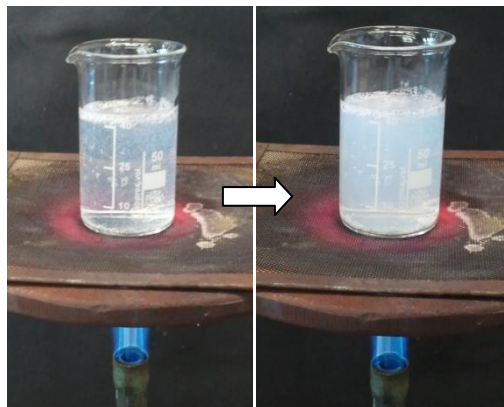


Abb. 4: a) Trübung der Eiklarlösung während des Erwärmens.

Auch nach der Zugabe von Ethanol und Salzsäure, kommt es nach jeweils ca. 10 Minuten zu einer Trübung. Diese fällt im Fall der Salzsäure stärker aus als im Fall von Ethanol.

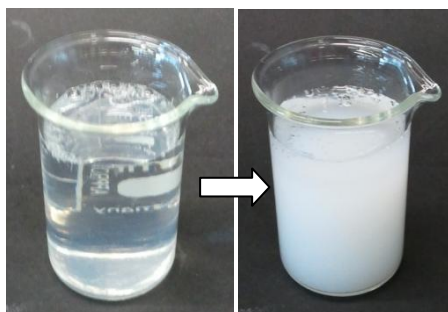


Abb. 5: b) Trübung der Eiklarlösung nach der Zugabe von Salzsäure.

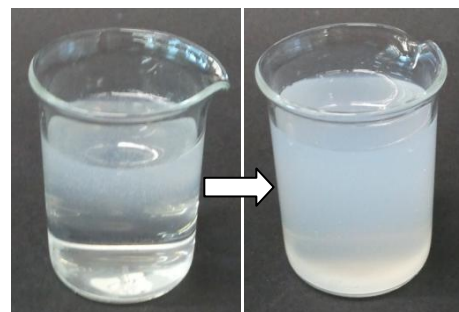


Abb. 6.: c) Trübung der Eiklarlösung nach der Zugabe von Ethanol.

## Entsorgung

Die ethanolhaltige Eiklarlösung wird im Sammelbehälter für organische Lösungsmittelabfälle entsorgt. Die salzsaure Lösung kann neutral mit der erwärmten Eiklarlösung in den Ausguss gegeben werden.

## Fachliche Auswertung der Versuchsergebnisse <sup>[4-7]</sup>

### Welcher chemische/physikalische Prozess steckt hinter der Denaturierung von Eiklar?

Um diese Frage zu beantworten, muss zunächst die Struktur von Proteinen geklärt werden: Proteine entstehen durch die Polymerisierung von Aminosäuren. Diese Reaktion findet unter Abspaltung von Wasser statt. Aus diesem Grund handelt es sich dabei um eine sog. Polykondensation. Dies geschieht unter der Ausbildung von sog. Peptidbindungen.

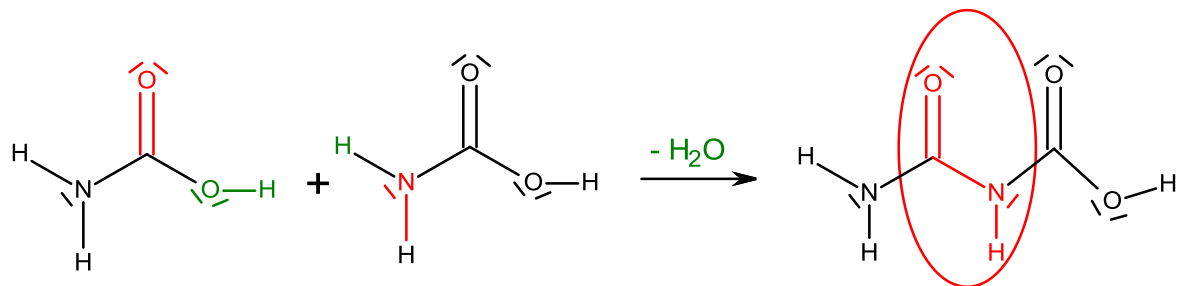


Abb. 1: Bildung einer Peptidbindung (eingekreist) am Beispiel der Reaktion zweier Alaninmoleküle.

Durch Polykondensation werden aus Aminosäuren langkettige Makromoleküle (Polymere) gebildet.

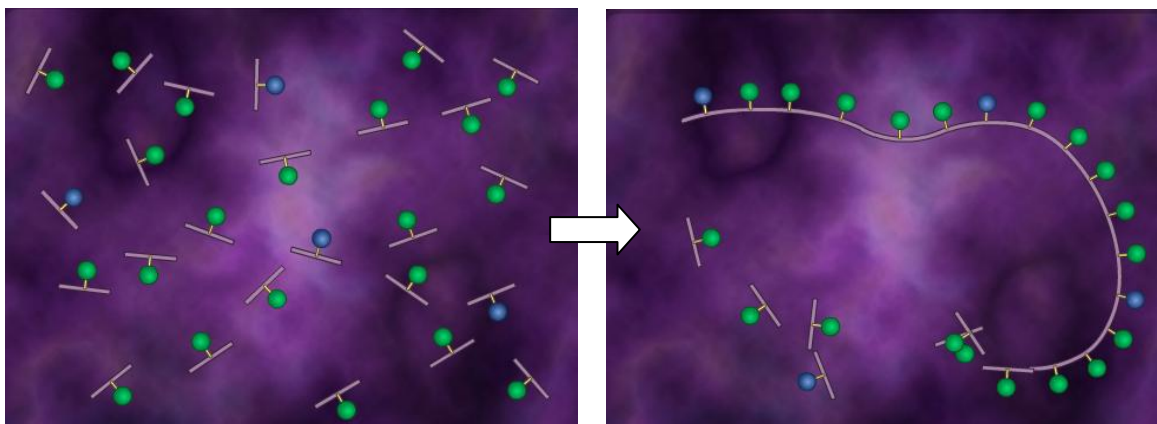


Abb. 7: <sup>[5]</sup> Polymerisierung einzelner Aminosäuren zu langkettigen Makromolekülen.

Bei der in Abb. 7 rechts dargestellten Struktur, also der Sequenz aus einzelnen Aminosäuren, handelt es sich um die sog. Primärstruktur. Die Reste der Aminosäuren, die nicht an der Peptidbindung beteiligt sind, können sowohl polar (grüne Kugeln in Abb. 7) als auch unpolar (blaue Kugeln in Abb. 7) sein. Diese Restgruppen stehen senkrecht zu der Aminosäurekette.

Neben der Primärstruktur, wird die dreidimensionale Form der Proteine auch von der Sekundär- und Tertiärstruktur geprägt. Die Sekundärstruktur ergibt sich dabei aus der helikalen (→ Helix-bildenden) Anordnung der Aminosäurekette. Diese wird durch das Ausbilden von Wasserstoffbrückenbindungen der polaren Reste der Aminosäuremonomere bewirkt.

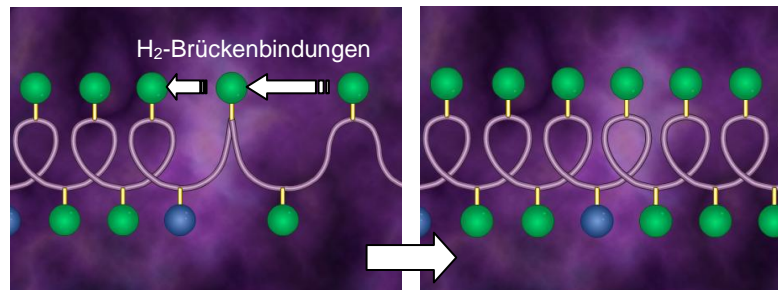


Abb. 8: <sup>[5]</sup> Ausbildung der Sekundärstruktur eines Proteins.

In Abb. 8 ist zu erkennen, dass sich die hydrophoben Reste der Monomere auf einer Seite der Helix anordnen.

Die Tertiärstruktur ergibt sich aus dem „Abknicken“ des helikal angeordneten Polymers. Auf diese Weise entstehen Regionen innerhalb eines Proteins die eher hydrophil (= wasserliebend o. polar) oder hydrophob (= wasserabstoßend o. unpolar) sind.

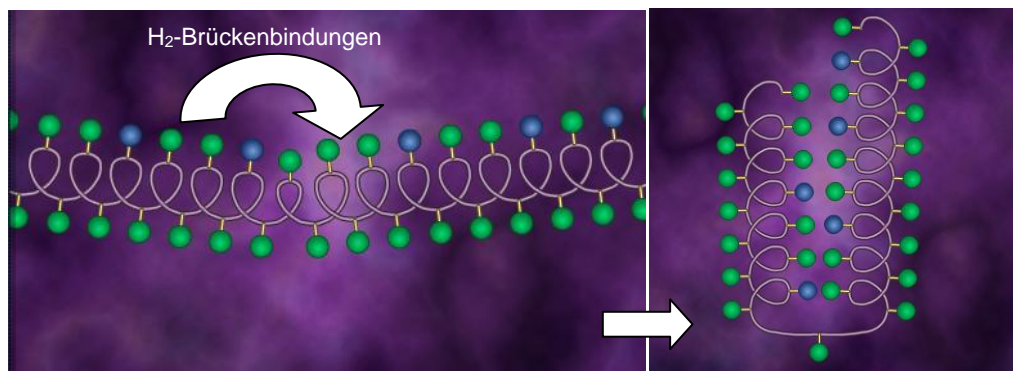


Abb. 9: <sup>[5]</sup> Ausbildung der Tertiärstruktur eines Proteins.

In Abb. 9 liegen die hydrophoben Gruppen eher zentral und die hydrophilen Gruppen stehen nach außen. Sie können jedoch auch umgekehrt angeordnet sein.

Was passiert aber nun bei der Denaturierung von Eiweiß?

Wie der Begriff „Denaturierung“ impliziert, handelt es sich um eine Art „Auflösung“ der natürlichen Form, die chemisch (Zugabe von Säure oder Alkohol) oder physikalisch (Hitze) ausgelöst wird.

Werden Proteine erhitzt (wie im Versuch) so ist die zugeführte Wärmeenergie ausreichend stark, um die relativ schwachen Wasserstoffbrückenbindungen aufzubrechen. Auf diese Weise werden die Primär- und Sekundärstruktur der Proteine zerstört. Die Primärstruktur bleibt hingegen erhalten.

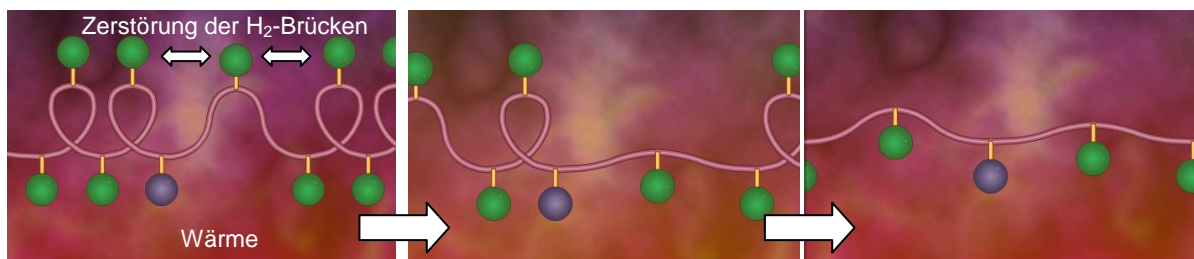


Abb. 10: <sup>[5]</sup> Zerstörung der Wasserstoffbrückenbindungen durch Zuführung von Wärmeenergie.

Die Zuführung von Säure oder Alkohol zerstört auf chemischem Weg die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den hydrophilen Resten.

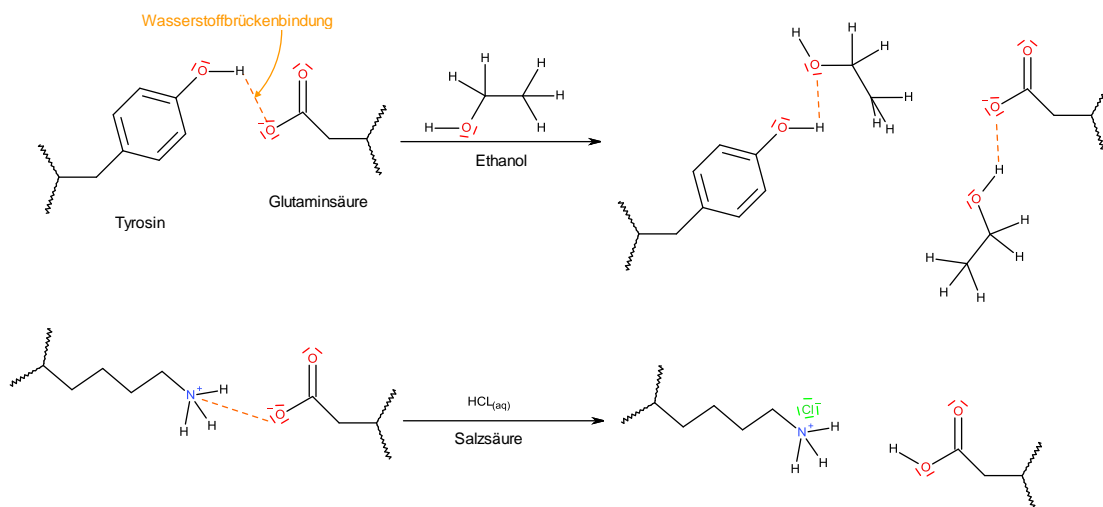


Abb. 11: <sup>[5]</sup> Beispiel einer Wasserstoffbrückenbindung in der Tertiärstruktur. (Zugabe von Ethanol oder Salzsäure)

Das Protein liegt nun denaturiert, d.h. in einer nichthelikalen, ungefalteten, offenen Struktur vor. Dies bedeutet, dass die polaren, hydrophilen Aminosäurereste nun offen und ungebunden vorliegen. In einer wässrigen Umgebung ziehen diese nun die polaren Wassermoleküle an (deshalb hydrophil=wasserliebend). Nun liegen neben den hydrophilen Gruppen jedoch auch die weniger zahlreich vorhandenen hydrophoben, unpolaren Aminosäurereste offen vor. Diese lösen sich sehr schlecht in Wasser. Aus diesem Grund lagern sich die hydrophoben Reste einer Aminosäurekette mit den hydrophoben Resten anderer Ketten zu großen unpolaren Einheiten zusammen. Es kommt sozusagen zu einer



Masse verknäulter Proteine, die in Wasser unlöslich sind (im Versuch → milchiger Niederschlag).

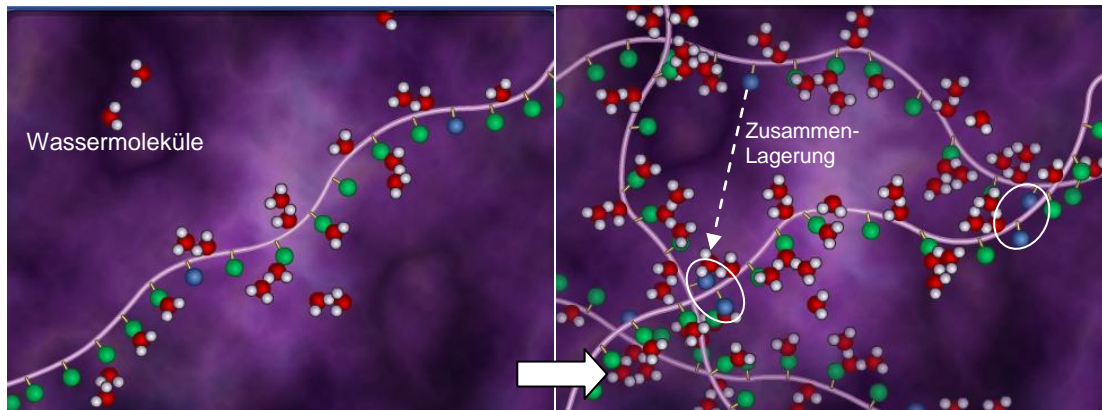


Abb. 12:<sup>[5]</sup> Hydrophile Aminosäurereste ziehen Wasser an (links).  
Die hydrophoben Reste verschiedener Proteinketten nähern sich einander an (rechts).

Genau dieser Prozess der Denaturierung findet beispielsweise beim Braten eines Spiegeleis statt. Dabei wird das zuerst klare Eiweiß zu einer gelartigen Masse. Dies liegt an dem Einschluss von Wassermolekülen (Abb. 12 rechts) in einer ansonsten wasserunlöslichen, festen („verknäulten“) Masse.

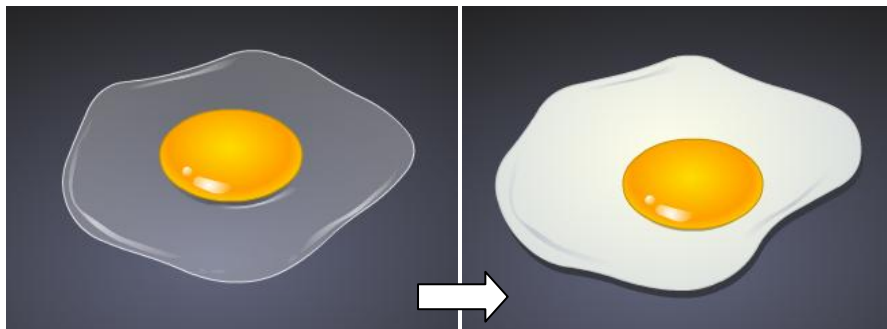


Abb. 13:<sup>[5]</sup> Das Braten eines Eis als Beispiel der Denaturierung von Eiweiß.

Neben Wasserstoffbrückenbindungen sind auch sog. kovalente Disulfidbrücken für die Ausbildung der Tertiärstruktur von Proteinen verantwortlich. Diese sind in der Zahl zwar weniger oft in einem Protein enthalten als Wasserstoffbrückenbindungen, sind jedoch stabiler. Sie können durch Reduktionsmittel (z.B. Schwermetallsalze) allerdings ebenfalls aufgebrochen werden.

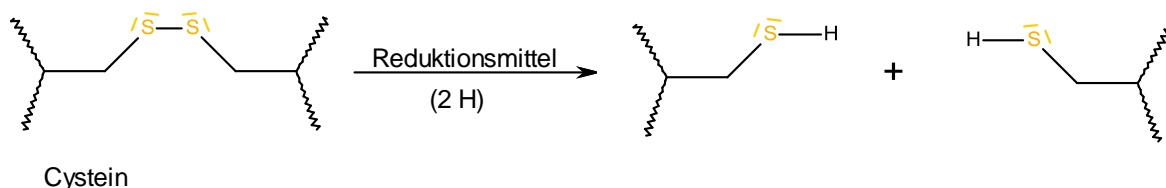


Abb. 14: Spaltung einer Disulfidbrücke.

Der Friseur nutzt diese Möglichkeit des Aufbrechens zur Formung der Haare (Dauerwelle). Dabei werden durch ein Reduktionsmittel die Disulfidbrücken zunächst aufgebrochen und anschließend durch ein Oxidationsmittel wieder gebildet. Die Haare bleiben nach dem Herausnehmen der Lockenwickler aufgrund der neu gebildeten Disulfidbrücken weiterhin lockig. Die Tertiärstruktur der Haarproteine hat sich verändert und daraus folgt eine neue, lockige Haarfrisur.



Abb. 10.<sup>[6]</sup> Dauerwellen-Apparat 1929.

## Methodisch-Didaktische Analyse

### **1 Einordnung**<sup>[8]</sup>

Laut hessischem Lehrplan werden Proteine und ihre Strukturen in der Qualifikationsphase 2 (zweites Halbjahr der elften Klasse) unter dem Gesamthema Naturstoffe behandelt.

Der Versuch besitzt einen sehr guten Alltagsbezug, da viele Phänomene auf die Denaturierung von Eiweiß zurückzuführen sind (v.a. beim Kochen: Sahne schlagen, Pudding, Käse, Milchhaut). Da es sich bei Eiweißen um Biopolymere handelt, besteht zudem eine gute inhaltliche Verknüpfung zum Thema Kunststoffe (synthetische Polymere), die laut hessischem Lehrplan ebenfalls in der Qualifikationsphase 2 behandelt werden sollten. Wurden synthetische Polyamide (z.B. Nylon) bereits im Unterricht durchgenommen, bildet der Versuch eine gute Wiederholung bereits erworbenen Wissens.

Über die Durchführung des Experiments und dessen Theorie kommen die Schüler zu einem Erkenntnisgewinn, da sie im Nachhinein die oben genannten alltäglichen Phänomene verstanden haben sollten. Sie müssten nun in der Lage sein, die dabei stattfindenden physikalischen bzw. chemischen Prozesse zu erklären.

### **2 Aufwand**

Der Versuch ist mit keinem großen Aufwand verbunden. Die Chemikalien, die neben den Lebensmitteln (Eier, Kochsalz) benötigt werden, sind zudem nicht teuer und können somit ohne Weiteres in größeren Mengen im Schülerversuch verwendet werden. Es werden keine größeren Apparaturen benutzt, lediglich Bechergläser sind in größerer Zahl von Nöten.

Aufgrund des geringen Aufwands, dem aber ein großer Erkenntnisgewinn gegenübersteht, ist der Versuch deshalb als sehr geeignet anzusehen.

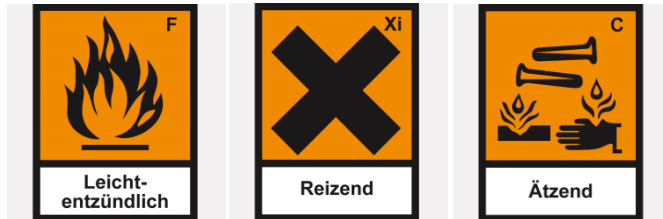
### **3 Durchführung**

Soll der inhaltliche Erkenntnisgewinn methodisch unterstützt werden, bietet es sich an, die Versuchsvorschrift offen zu gestalten und die Schüler so selbst zu Forschern zu machen. Ein möglicher Arbeitsauftrag könnte beispielsweise wie auf der folgenden Seite dargestellt aussehen.



# Denaturierung von Eiklar

## Gefahrensymbole



## Chemikalien

Eiklar (aus 1 Ei)

Salzsäure (halbkonz.) C, Xi

Ethanol F

Kochsalz (Natriumchlorid)

*Ethanol von offener Flamme fernhalten!*

*Abzug benutzen!*

## Geräte

- Mittelgroßes Becherglas (250 mL)
- 3 kleine Bechergläser (je 50 mL)
- Magnetrührer
- Rührfisch
- 2 Spritzen (je 5 ml)
- Bunsenbrenner
- Dreifuß
- Asbestnetz
- Schwarze Pappe (Hintergrund)

## Durchführung

1. Setze eine Eiklarlösung an, indem du ein Eiweiß in einem 250 mL-Becherglas mit Wasser verdünnst.
2. Gib so viel Kochsalz dazu, bis du eine klare Lösung vorliegen hast.
3. Erforsche nun mit den dir zur Verfügung stehenden Geräten und Chemikalien, das Verhalten der Eiklarlösung unter verschiedenen Bedingungen! Notiere deine Beobachtungen!

## Entsorgung:

Gib die ethanolhaltigen und die salzsäurehaltigen Lösungen in die dafür vorgesehenen Sammelbehälter. Reine Eiklarlösung kannst du in den Ausguss geben.

Zusätzlich zur offenen Versuchsvorschrift könnte eine Theoriestation (siehe **Fachliche Auswertung der Versuchsergebnisse**) konstruiert werden, sodass sich die Schüler das Wissen zum Versuch selbst aneignen können. Sinnvoll wäre es hier, in die Theoriestation integrierte Fragen mit gestuften Lernhilfen für schwächere Schüler einzuarbeiten. Diese Lernhilfen könnten in Briefen eingepackt vor der Station liegen, sodass sich der Schüler stets die Frage stellen muss: „Brauche ich diese Hilfe wirklich?“. So kann der Schüler, ohne den Lehrer um Unterstützung zu bitten (was meist mit einer gewissen Hemmung verbunden ist), selbst entscheiden, ob er Hilfe in Anspruch nehmen will.

Exemplarische Fragen, die im Theorieteil eingebettet sein könnten:

- 1) *Frage: Welcher synthetisch hergestellte Kunststoff, den wir im Unterricht bereits durchgenommen haben, verfügt ebenfalls über Peptidbindungen?*

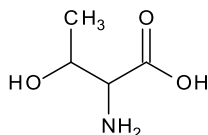
Antwort: \_\_\_\_\_

*Lernhilfe: Es handelt sich um einen elastischen Kunststoff den ihr aus zwei Phasen „gezogen“ habt.*

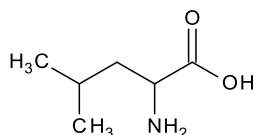
*Lösung: Nylon*

Wiederholungsfrage, die der inhaltlichen Verknüpfung dient, falls Kunststoffe bereits im Unterricht behandelt wurden. (Nylon)

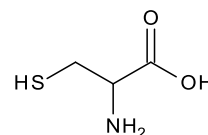
- 2) *Übung: Markiere an folgenden Aminosäuren die funktionellen Gruppen, die durch Polykondensation zu Peptidbindungen reagieren (siehe Abb. 1). Überlege dann, ob die Restgruppe einen polaren oder unpolaren Charakter besitzt.*



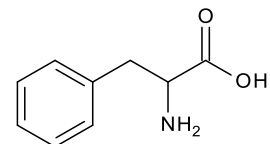
Theronin



Leucin



Cystein



Phenylalanin

polar

polar

polar

polar

unpolar

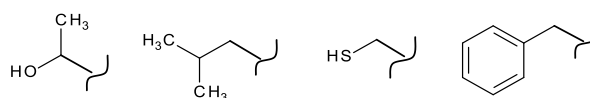
unpolar

unpolar

unpolar

*Lernhilfe 1: Betrachte zwei benachbarte Atome der Restgruppe und beurteile, ob der Bindungscharakter polar oder unpolar ist (→ Elektronegativität der Atome).*

*Lernhilfe 2: Die jeweiligen Restgruppen sehen wie folgt aus:*

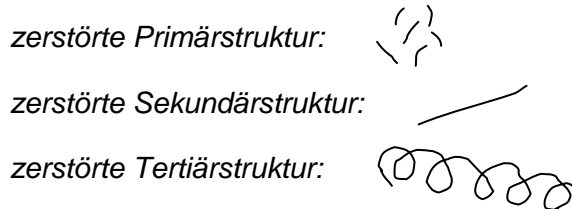


*Lösung: Theronin - polar, Leucin - unpolar, Cystein - polar, Phenylalanin - unpolar*

3) Frage: Welche Struktur(en) werden bei der Denaturierung von Eiweiß zerstört?

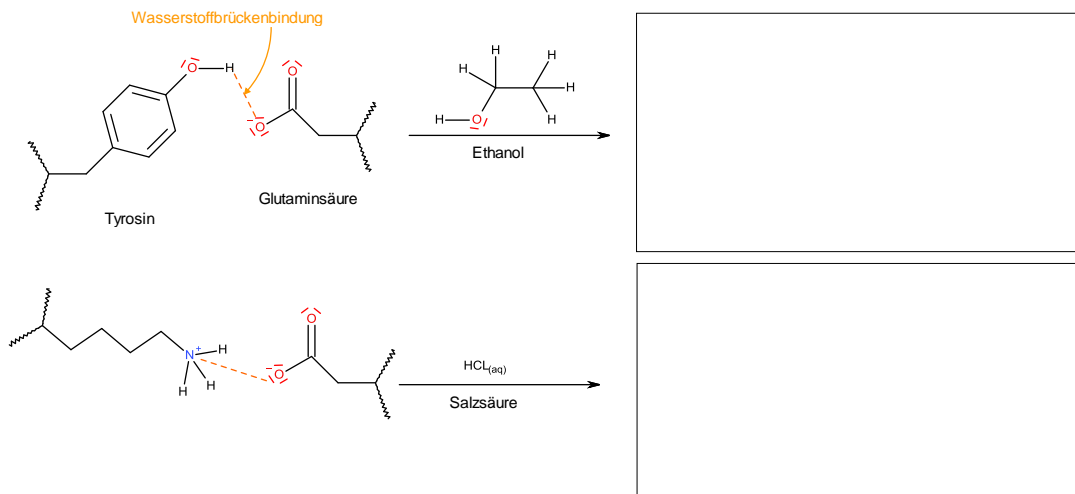
- Primärstruktur
- Sekundärstruktur
- Tertiärstruktur

Lernhilfe:



Lösung: Die Sekundär- und Tertiärstruktur werden bei der Denaturierung von Eiweiß zerstört.

4) Aufgabe: Versuche, die Zerstörung der Wasserstoffbrückenbindungen durch Alkohol oder Salzsäure anhand der dargestellten, unvollständigen Reaktionsgleichungen zu erklären. Zeichne dazu die Strukturen des Reaktionsprodukts auf.



Lernhilfe 1: Die Hydroxylgruppe des Ethanols kann Wasserstoffbrückenbindungen mit anderen Hydroxylgruppen oder geladenen funktionellen Gruppen eingehen.

Lernhilfe 2: Protonen ( $H^+$ ) einer starken Säure können mit Anionen eines Salzes einer schwächeren Säure reagieren.

Lösung: (siehe Abb. 11)

Des Weiteren können Zusatzfragen eingebracht werden, bei denen das erworbene Wissen angewendet werden muss. Zum Beispiel:

1) Warum bekommen Menschen bei Krankheiten oder Infektionen Fieber?

(Antwort: Menschen bekommen Fieber, um z.B. Bakterien durch Proteindenaturierung zu zerstören.)

2) *Warum ist Fieber über 42 °C für den Menschen gefährlich?*

(Antwort: Fieber über 42 °C ist gefährlich, weil menschliche Enzyme bei dieser Temperatur denaturieren.)

3) *Warum liegt der pH-Wert des Bluts im Normalfall bei 7,4 und nicht bei 7,0?*

(Antwort: Da Proteine (z.B. Enzyme) im Blut sonst denaturieren würden. (vgl. Versuch)

Im Plenum kann der Lehrer anschließend auf unbeantwortete Fragen eingehen und nach weiteren Protein-Denaturierungs-Phänomenen fragen.

#### **4     *Fazit***

Der Versuch eignet sich aufgrund der guten Einbettung in den Lehrplan, des geringen Aufwands, günstiger Chemikalien und dem aus ihm hervorgehenden Erkenntnisgewinn sehr gut als Schülerversuch.

## Quellenverzeichnis

- [1] Versuchsquelle: [http://www.conatex.com/mediapool/versuchsanleitungen/VAD\\_Chemie\\_Aminosaeuren.pdf](http://www.conatex.com/mediapool/versuchsanleitungen/VAD_Chemie_Aminosaeuren.pdf)  
Titel: Aminosäuren-Proteine: Bausteine des Lebens  
Urheber: CONTATEX-DIDACTIC Lehrmittel  
Zugriff am: 1. Februar 2011
- [2] GESTIS - Stoffdatenbank:  
<http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=templates&fn=main-hit-h.htm&2.0>  
(Zugriff am 4. Februar 2011)
- [3] HessGISS - GUV-Regel Umgang mit Gefahrenstoffen im Unterricht  
Ausgabe Januar 1998 (Aktualisierte Fassung Juni 2004)
- [4] Vollhardt, K. Peter C. und Neil E. Schore: *Organische Chemie*. Vierte Auflage. Wiley-VCH Verlag. Weinheim **2005**. S. 1384 ff.
- [5] [http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072943696/student\\_view0/chapter2/animation\\_\\_protein\\_denaturation.html](http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072943696/student_view0/chapter2/animation__protein_denaturation.html)  
Titel: Animation: Protein Denaturation  
Urheber: Seeley, Stephens, Tate  
Zugriff am: 4. Februar 2011
- [6] (nur Graphik)  
[http://de.academic.ru/pictures/dewiki/66/Bundesarchiv\\_Bild\\_102-08896\\_\\_Dauerwellen-Apparat.jpg](http://de.academic.ru/pictures/dewiki/66/Bundesarchiv_Bild_102-08896__Dauerwellen-Apparat.jpg)  
Titel: Dauerwellen-Apparat  
Quelle: Deutsches Bundesarchiv  
Zugriff am: 4. Februar 2011
- [7] <http://www.elmhurst.edu/~chm/vchembook/568denaturation.html>  
Titel: Denaturation of Proteins  
Urheber: Charles E. Ophart (Elmhurst College)  
Zugriff am: 7. Februar 2011
- [8] Hessischer Lehrplan: Chemie. **2010**  
[http://www.hessen.de/irj/HKM\\_Internet?uid=3b43019a-8cc6-1811-f3ef-ef91921321b2](http://www.hessen.de/irj/HKM_Internet?uid=3b43019a-8cc6-1811-f3ef-ef91921321b2)  
(Zugriff am 4. Februar 2011)