

Kantonsschule Schaffhausen

■ **FACHBEREICH CHEMIE**

Maturaarbeit 2006

Leitprogramm rund um das Ei



Patrick Müller

Betreuungsperson: Dr. Rainer Steiger

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	4
2	Aufbau und Struktur eines Eis [1]	6
2.1	Die Entstehung eines Eis	6
2.2	Eiklar / Eidotter [2]	9
2.2.1	Experiment: Tyndall-Effekt	9
3	Eischale	12
3.1	Experiment I: Auflösen der Eischale durch Essig	13
4	Proteine (Eiweiss) [2] [3]	16
4.1	Begriffsklärung: "Protein"	16
4.2	Struktur der Proteine	16
4.2.1	a) Primärstruktur	18
4.2.2	b) Sekundärstruktur	18
4.2.3	c) Tertiärstruktur	19
4.2.4	d) Quartärstrukturen	20
4.3	Sphäroproteine	22
4.4	Proteide	22
4.4.1	Experiment: Biuret-Reaktion	23
5	Chemische Eigenschaften von Eiweiss	25
5.1	Denaturierung von Eiweiss	25
5.2	Denaturierung durch Hitze [4]	26
5.3	Denaturierung durch eine Säure	30
5.3.1	Experiment: Xanthoprotein-Reaktion	30
5.4	Denaturierung durch mechanische Einwirkung [5]	32
6	Cholesterin [6]	33
6.1	Struktur und Eigenschaften von Cholesterin	33
6.2	Funktion	33
6.3	Transport	34
6.4	Synthese und Abbau	34
6.5	Cholesterin und Eier	35
7	Schwefel und Eisen im Ei und ihre Auswirkungen	36

7.0.1	Experiment: Eisensulfid in Abhängigkeit der Kochzeit	36
8	Mathematik und Physik rund um das Hühnerei	38
8.1	Oberflächenberechnung	38
8.2	Das Ham-Sandwich-Theorem [7]	42
8.3	Luftströmung am Ei	44
8.3.1	Experiment: Druckabfall an der Eioberfläche	44
9	Glossar [8]	47
10	Antworten	50
	Literaturverzeichnis	52

1 Vorwort

Über die Homepage meines Chemielehrers bin ich auf dieses Thema gestossen. Es gab dort einen Themenvorschlag über die physikalische Temperaturverteilung im Ei. Nach einer Rücksprache mit Herrn Steiger habe ich mich für ein Leitprogramm rund um das Ei entschieden. Die Motivation für dieses Thema lag für mich vor allem in den vielfältigen Themenbereichen, welche von der Chemie über die Biologie bis zur Physik reichen, natürlich mit Schwerpunkt Chemie. Neben der biologischen Entstehung eines Eis habe ich mich z.B. mit dem Nachweis von Proteinen im Eiklar beschäftigt sowie mit der Oberflächenberechnung der Eischale. Bereits an diesen drei Beispielen lässt sich die grosse Spannweite meines Themas erahnen. Interessiert haben mich unter anderem auch die möglichen Experimente. Die Praxis zeigt immer am eindrucklichsten die verschiedensten Phänomene. Eine Theorie klingt zwar oft schon sehr interessant, aber wenn diese dann noch in die Praxis umgesetzt werden kann, ist sie um ein Vielfaches interessanter.

Von meinen am Anfang gewählten Leitfragen musste ich ein bisschen Abstand nehmen, nachdem ich mich für das "Leitprogramm rund um das Ei" entschieden habe. Dies natürlich, weil die blossе Beantwortung dieser Leitfragen nicht mein Ziel verfolgt hätte, möglichst viele Informationen rund um das Ei in meiner Arbeit zusammenzutragen. Es ist aber falsch zu sagen, ich hätte das Thema gewechselt, vielmehr habe ich es erweitert und mich nicht mehr nur auf die Leitfragen konzentriert. So möchte ich meine Arbeit nun in einem Satz zusammenfassen: Meine Arbeit befasst sich möglichst vollständig mit den verschiedensten Themen, welche sich direkt oder indirekt mit dem Hühnerei beschäftigen, und deren Sachverhalte zum Teil in die kleinsten Details ausführlich erläutert sind.

Die beste ausführliche Zusammenfassung meiner Arbeit ist wohl das vorangehende Inhaltsverzeichnis. Darum werde ich mich in den folgenden Zeilen auf die Entstehung meiner Arbeit konzentrieren.

Verschiedene Etappenziele brachten mich schlussendlich termingerecht zum Ziel. Diese verschiedenen Deadlines habe ich mit Herrn Steiger abgesprochen. Ein erster Teil war die Sammlung von Informationen und die Notierung aller Stichwörter die ich zu meinem Thema gefunden habe. Später dann, die Definition von meinem "Produkt", was denn überhaupt herauskommen soll. In den Sommerferien stand dann Lektüre rund um das Hühnerei auf dem Tagesplan. Die Büchernamen sind kennzeichnend für meine Arbeit: "Reise zum Mittelpunkt eines Frühstückseis" oder "Baltisches Lebensmittelchemie", usw.

Schon bald stand die Deadline für die Abgabe eines ersten Teils der Arbeit vor der Türe. Dieser hat sich hauptsächlich auf die theoretischen Dokumentationen beschränkt. In einem zweiten Teil, während den Herbstferien, habe ich mich um den praktischen Teil meiner Arbeit bemüht, und dann später verschiedene Experimente zuhause, wie auch in der Schule durchgeführt sowie diese ausführlich dokumentiert.

Das entstandene "Produkt" ist nun dieses Leitprogramm rund um das Ei. Es kann vielseitig verwendet werden. Entweder als komplette Unterrichtseinheit, oder einfach nur Ausschnitte aus dem Leitprogramm separat. Jedes Kapitel kann für sich behandelt werden, das heisst, dass die nachfolgenden Kapitel nicht, oder nur teilweise, auf den vorherigen aufbauen.

Da es sich bei meiner Arbeit um ein Leitprogramm handelt, habe ich die verschiedenen Themen mit Kontroll- und Verständnisfragen ergänzt. Die Antworten auf die gestellten Fragen lassen sich unter dem Kapitel "Antworten" einsehen, welches ganz am Schluss zu finden ist.

Auch im Anhang meiner Arbeit ist ein Glossar vorzufinden. Dort sind alle Wörter erklärt, welche in meiner Arbeit fett markiert sind. Die wichtigsten Fachbegriffe, die ich für meine Arbeit verwendet habe, können so schnell nachgeschlagen werden.

Zum Schluss meiner Einführung möchte ich Herr Dr. Steiger für die Betreuung meiner Maturaarbeit ganz herzlich danken!

2 Aufbau und Struktur eines Eis [1]

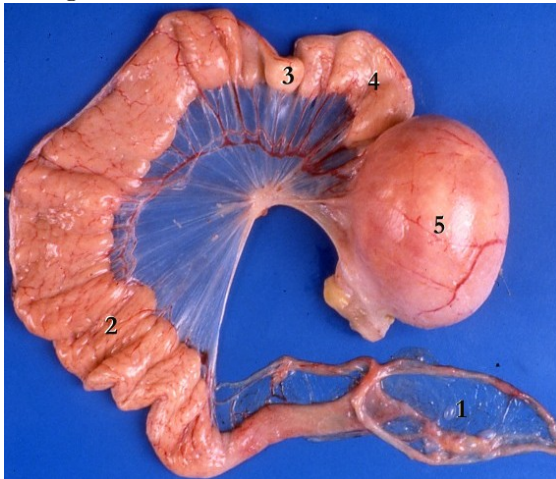
2.1 Die Entstehung eines Eis

Die numerischen Ziffern verweisen auf die systematische Darstellung des Hühnereis, während die römischen Ziffern auf den abgebildeten Legedarm hinweisen.

Die Entstehung eines Eis beginnt im Eierstock der Henne (bei weiblichen Vögeln ist der Geschlechtstrakt nur links ausgebildet). In diesen Eierstöcken befinden sich Tausende von Eizellen, die nach und nach durch Anlagerung von gelbem Dotter zu grossen Dotterkugeln (8) heranwachsen. Diese Dotterkugel gelangt in den Eileiter (Oviductus, Legedarm). Im Eileitertrichter (Infundibulum (I)) (ca. 9cm lang) bildet sich eine lockere Membran um die Dotterhaut, aus der später die Hagelschnüre (4, 13) hervorgehen. Im Infundibulum kann das Ei durch Spermien eines Hahnes befruchtet werden. Falls dies geschieht, bildet sich an der Dotterkugel eine Keimscheibe. Anschliessend werden die Vorstufen des Eiklars (5, 6) im Magnum (II) gebildet und an das Ei angelagert. Für eine gleichmässige Anlagerung sorgt eine Drehung um die eigene Achse. In der gleichen Phase entsteht auch die Hagelschnur, welche die Aufgabe hat, das Dotter in der Mitte festzuhalten und es so vor Erschütterungen an der Kalkschale zu schützen. Im sich anschliessenden Isthmus (III) erfolgt die Bildung der Schalenhaut (2, 3). Im hinteren Teil des Eileiters befindet sich der rund 10 cm lange Uterus (IV) (Eihälter), in dem die porige Kalkschale (1) aufgebaut wird. Die braune Farbe von gewissen Eiern wird erst in den letzten 4-5 Stunden bei der Schalenbildung angelagert. Es kann vorkommen, dass das Ei den Schalenbildungsprozess zu schnell durchläuft und so schalenlose Eier (Windeier) entstehen. Diese werden nur von der Schalenhaut (2, 3) zusammengehalten. In der gleichen Phase der Eientwicklung entsteht auch die Luftkammer (14). Bis heute ist es aber noch ein ungeklärtes Rätsel, warum sich diese Luftkammer immer am stumpfen Ende des Eis befindet.

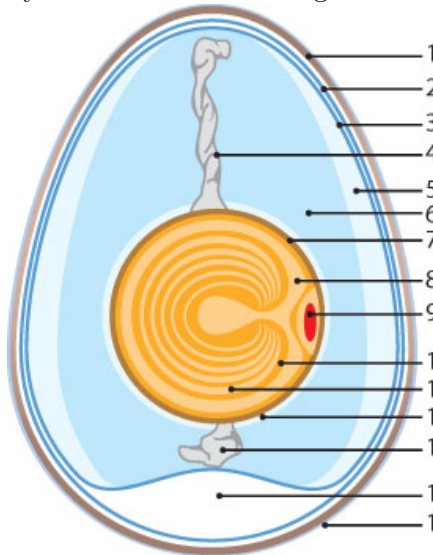
Im letzten Abschnitt, der Vagina (V), wird das Eiobehütchen (**Kutikula**) gebildet (15). Die Kutikula dichtet die porige Kalkschale ab und verhindert das Eindringen von Bakterien. Eier, welche nicht sofort verzehrt werden, darf man nicht waschen, da dabei das Oberhäutchen zerstört wird und Bakterien in das Ei gelangen und sich dort vermehren können. Ein bisschen Schmutz oder Kot auf einem Ei ist viel weniger problematisch, solange die Kutikula intakt ist.

Legedarm



- 1. -> I) Infundibulum
- 2. -> II) Magnum
- 3. -> III) Isthmus
- 4. -> IV) Uterus
- 5. -> V) Vagina mit Ei

Systematische Abbildung von einem Hühnerei



- 1. Kalkschale
- 2. Schalenhaut
- 3. Schalenhaut
- 4. Chalaza (Hagelschnur)
- 5. äusseres Eiklar (dünnflüssig)
- 6. mittleres Eiklar (dickflüssig)
- 7. Dotterhaut
- 8. Bildungsdotter
- 9. Keimfleck (Hahnentritt)
- 10. Gelber Dotter
- 11. Weisser Dotter
- 12. inneres Eiklar (dünnflüssig)
- 13. Chalaza (Hagelschnur)
- 14. Luftkammer
- 15. Kutikula

Die Ei-Bildung dauert ca. 24 h. Ein Huhn kann daher pro Tag maximal ein Ei legen. Die Legeleistung von Hennen wird wie folgt gemessen: Anzahl Eier (eines Tages) pro 100 Hühner und das Ganze wird als Bruchteil von 1 ausgedrückt. 0.8 bedeutet also: 80 Eier pro 100 Hennen.

Gelegentlich kommt es vor, dass zwei Dotterkugelchen gleichzeitig aus dem Eierstock in den Eileiter wandern. An beiden lagert sich dann Eiklar an; es kommt zu einem Ei mit zwei Dottern. Da für zwei Küken nicht genügend Platz im Ei ist, sterben beide im Verlauf der Entwicklung ab. Dies wird auch als Doppeldotter bezeichnet.

Ob Hennen die Eier in einem Nest ausbrüten hängt von Rasse, Tageslichtlänge und Umgebungstemperatur ab. Der Bruttrieb (=erhöhter Spiegel des Hormons Prolaktin) wird durch 12h-Tage gefördert, ebenso durch den Druck vieler Eier (bis zu 30) gegen den Unterbauch der Henne. Er endet nach 21 Tagen oder mit dem Piepsen der ersten Küken.

- 1) 75 Hennen legen an einem Tag 45 Eier, welcher Legeleistung entspricht dies?*
- 2) Ein Ei ist nach einigen Tagen verdorben. Was könnte die Ursache sein?*

2.2 Eiklar / Eidotter [2]

Das Eiklar ist eine gelartige Flüssigkeit rund um den Eidotter. Es enthält ca. 11% Eiweiss und wird daher fälschlicherweise oft als "Eiweiss" bezeichnet, da der Eidotter, resp. das "Eigelb" mehr Eiweiss enthält (ca. 16%). Eiweisse sind im chemischen Sinne nichts anderes als Proteine. Das Eiklar besteht aus zwei relativ dünnflüssigen Schichten, wobei diese durch unterschiedliche **Viskosität** voneinander zu trennen sind. Bisher sind 8 **Proteine** bekannt, die sich im Eiklar finden lassen. **Ovalbumin** macht da den Hauptanteil aus mit 65% des Gesamtproteins. Ovalbumin kann auch durch schütteln **denaturiert** werden. Damit lässt sich die Verarbeitung des Eiklars zu Eischnee, bzw. Baiser erklären. Das Molekulargewicht steigt durch **Aggregation** auf das 2-20fache. In kleinen Mengen enthält das Eiklar das Protein Avidin. Avidin bindet das Vitamin Biotin, daher sollte man auf den Verzehr grösseren Mengen von rohem Ei verzichten, da ansonsten Mangelerscheinungen des Vitamins Biotin hervortreten können. Mögliche Folgen sind: Haarausfall, neurologische Störungen oder Dermatitis. Durch Erhitzen wird das Avidin denaturiert. Durch das Denaturieren von Avidin, kann das Protein keine Verbindungen mehr mit Biotin eingehen, gekochte und gebratene Eier sind also "ungefährlich". Lysozym ist als **Enzym** zu 4-5% im Eiklar vorhanden. Es wirkt enzymatisch als Mucopolysaccharidase und kann daher gewisse Kohlenhydratketten spalten, dadurch werden Bakterienwände angegriffen.

Der Eidotter ist zwiebelschalenartig aufgebaut und enthält neben Lipoproteinen (das heisst Proteine, die **Lipoide** gebunden enthalten) auch Phosphorproteine mit einem Phosphorgehalt von etwa 10%. Im Kapitel "Schwefel und Eisen im Ei und ihre Auswirkungen" ist ein Experiment beschrieben in dem der Eisengehalt im Eidotter und der Schwefelwasserstoff im Eiklar untersucht wird.

ZUSAMMENSETZUNG IN PROZENT	EIKLAR	EIDOTTER
Wasser	87.9	48.7
Eiweiss	10.6	16.6
Fett	Spur	32.6
Kohlenhydrate	0.9	1.0
Mineralstoffe	0.6	1.1

2.2.1 Experiment: Tyndall-Effekt

Ein Lichtstrahl, welcher quer durch eine Kochsalzlösung führt, erzeugt in der Flüssigkeit keine Leuchtspur, da fast keine Lichtstreuung entsteht, denn Kochsalzionen und Wassermoleküle haben einen Durchmesser von weniger als einem Nanometer. Wenn die Lösung nun allerdings gelöste Teilchen im Grössenbereich von 1 nm bis 1 μm aufweist, streut der Lichtstrahl, es bildet sich eine sichtbarere Lichtspur durch die Flüssigkeit. Dieses Phänomen wird Tyndall-Effekt genannt, nach seinem Entdecker John Tyndall (1820-1893) [9].

Systeme welche diesen Effekt aufweisen bezeichnet man als Kolloide oder als kolloide Lösungen. Es gibt verschiedene Kolloide:

- Tensidmoleküle
- Makromolekulare Lösungen (z.B. **Proteine** im Eiklar)
- Disperse Systeme (Milch, Tonerde in Wasser)
- Aerosol (z.B. Abgase)

Geräte und Chemikalien für das Experiment:

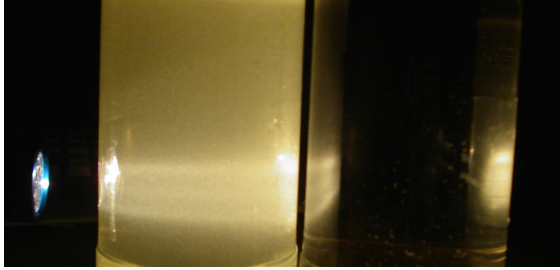
2 Bechergläser, Lichtquelle, 1%ige Kochsalz-Lösung, verdünnte Salzsäure, 1 Hühnerei.

Durchführung:

Das Eiklar vom Hühnerei in ca. 300 ml 1%iger Kochsalzlösung lösen (1%ige Kochsalzlösung: 1 g Kochsalz in 100 ml H₂O lösen). In anderen Becher nur Kochsalz lösen mit der gleichen Konzentration. In einem abgedunkelten Raum mit einer punktförmigen Lichtquelle (z.B. kleine Taschenlampe) in die Lösung leuchten. Bei seitlicher Betrachtung zeichnet sich im Becher mit dem gelösten Eiklar eine Leuchtspur ab. Beim Becher rechts hingegen ist nichts zu erkennen.



Glas links: Eiklarlösung - Glas rechts: Kochsalzlösung



Glas links: Eiklarlösung - Glas rechts: Kochsalzlösung

Erklärung:

Die Wassermoleküle und die Ionen des Kochsalzes sind so klein, dass sie einfallendes Licht praktisch nicht streuen. **Proteinmoleküle** sind dagegen um das 100 bis 10.000-fache grösser. Dadurch tritt eine deutliche Lichtstreuung auf, auch wenn die Lösung noch transparent ist. Vergleiche oben.

- 1) *Weshalb sollte man rohe Eier mit Vorsicht geniessen?*
- 2) *Wie viele Proteine lassen sich im Eiklar finden?*
- 3) *Wie nennt man eine Lösung, bei der man den Tyndall-Effekt beobachten kann?*

3 Eischale

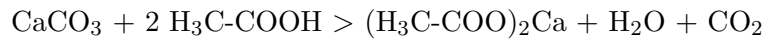
Die stark kalkhaltige Eischale dient dem Ei-Inhalt während der Brutzeit als Schutz vor mechanischen Einwirkungen, und dient als Kalzium-Reservoir für den Aufbau des Embryonalskeletts. Die Eischale ist ca. 0.3-0.4 Millimeter dick und besteht aus 90% Kalk.

Etwa 10'000 Poren lassen sich auf der Eischale finden. Diese gewährleisten beim Brutvorgang den nötigen Luftaustausch zwischen Ei-Inhalt und Aussenwelt. Leider ermöglichen sie auch das Eindringen von Fäulnisbakterien, Schimmelpilzsporen und Salmonellen. Vor dieser Gefahr schützt das Eiobehäutchen, die Cuticula. Die Cuticula ist der eingetrocknete Rest der Schleimschicht, mit der das Ei vor dem Legen überzogen wird. Eier sollten daher erst kurz vor dem Verzehr gewaschen werden, da ansonsten diese Schutzschicht zu früh zerstört wird. [10]

1) Welche speziellen Eigenschaften weist die simple Hühnereischale auf? Nenne drei Stichwörter

3.1 Experiment I: Auflösen der Eischale durch Essig

Da die Eischale hauptsächlich aus Kalk besteht, lässt sie sich relativ gut mit verdünnter Essigsäure auflösen. Wie sie z.B. in Speiseessig, oder auch im Putzessig zu finden ist:



Das entstandene Calciumacetat $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{-COO})_2$ ist im Gegensatz zum Kalk leicht wasserlöslich.

Zwei gleich grosse Eier werden in zwei unterschiedliche Gläser gelegt mit unterschiedlich konzentrierten Essigsäuren.



Glas links (A): Speiseessig - Glas rechts (B): Putzessig
(Die beiden Löffel haben keine Bedeutung für das Experiment, sie sorgen lediglich dafür, dass das Hühnerei vollständig im Essig liegt.)

Glas A:

1 dl Speiseessig, Konzentration: 45 g/l Essigsäure, im Glas vorhandene Essigsäure: 4.5 g

Glas B):

1 dl Putzessig, Konzentration: 95 g/l Essigsäure, im Glas vorhandene Essigsäure: 9.5 g

Beobachtungen nach 1 h:

Glas A: Es haben sich um das ganze Ei winzige Luftblasen entwickelt. Die Essigsäure löst die Eischale langsam auf, daher entstehen die Luftblasen (CO_2).

Glas B: Gleiche Beobachtungen wie in Glas A, allerdings mit grösserer Geschwindigkeit: mehr Luftblasen!

Beobachtungen nach 24 h:

Glas A: Es bildet sich ein Schaum an der Essigoberfläche. Die Eischale hat sich teilweise bereits aufgelöst.

Glas B: Es bildet sich ebenfalls ein Schaum an der Essigoberfläche. Die Eischale hat sich hier beinahe vollständig aufgelöst.

-> Als nächstes werden beide Eier gedreht, damit die Essigsäure überall gleichmässig angreifen kann!

Beobachtungen nach 36 h:

Glas A: Der Auflösungsprozess geht voran, die Eischale nimmt immer mehr ab. Der Schaum bildet sich zurück.

Glas B: Die harte Eischale wurde komplett aufgelöst. Das Ei wird nun nur noch durch die elastische Schalenhaut zusammengehalten. Der Schaum bildet sich zurück.



”Geschältes“ Ei aus Glas B nach 48 h

Beobachtungen nach 48 h: Glas A: Die Eischale ist nun mindestens zur Hälfte aufgelöst. Glas B: Es sind keine weiteren Veränderungen mehr an der Eioberfläche zu erkennen. Das ”geschälte“ Ei wächst allerdings, saugt sich also mit Wasser voll. Kein Schaum mehr vorhanden. Versuch abgeschlossen.

Beobachtungen nach 96 h: Glas A: Der Auflösungsprozess ist nicht mehr weiter fortgeschritten. Die Eischale bleibt teilweise auch nach 96 h noch erhalten.



Teilweise ”geschältes“ Ei aus Glas A nach 96 h

These: Es war zu wenig Essigsäure vorhanden in Glas A. Nicht die tiefere Konzentration war schuld, sondern die 4.5 g Essigsäure waren mengenmässig zu wenig um die vollständige Kalkschale aufzulösen.

Um das zu überprüfen, werde ich den Versuch mit 2 dl Speiseessig wiederholen.

Wie erwartet war beim 2. Versuch mit 2 dl Speiseessig nach 48 h die komplette Eischale aufgelöst. Das heisst, es sind mehr als 4.5 g nötig, jedoch weniger als 9 g Essigsäure um die Eischale komplett aufzulösen.

Zusammenfassung:

Die Hühnerschale aus Kalk hat sich in Glas B in relativ kurzer Zeit aufgelöst, da ausreichend Essigsäure vorhanden war. Bei Glas A war dies anfangs nicht gegeben, die Kalkschale wurde nicht vollständig aufgelöst. Bei einem zweiten Versuch, mit doppelter Menge Speiseessig, hat sich aber auch hier die Eischale vollständig aufgelöst. Das bringt mich auf das Ergebnis, dass die Konzentration der Essigsäure keine bedeutende Rolle spielt, sondern lediglich die Menge expliziter Essigsäure.

1) Warum entstehen bei der Reaktion von Kalk und Essigsäure Luftbläschen an der Eischale?

4 Proteine (Eiweiss) [2] [3]

4.1 Begriffsklärung: "Protein"

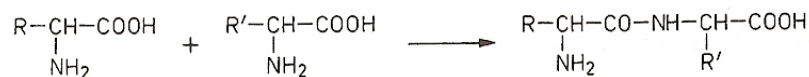
Bei einer Aneinanderreihung von Aminosäuren nach dem **Peptid**prinzip gelangt man bei einer Kettenlänge von etwa 100-1000 Aminosäuren zu den Proteinen. Der Begriff wurde in der heutigen Form erstmals von dem Biologen Berzelius gebraucht und tauchte zuerst in "Mulders Lehrbuch" im Jahre 1840 auf. Proteine sind im menschlichen Körper für zahlreiche Lebensfunktionen verantwortlich. Man kann daher sagen: Kein Leben ohne Proteine. Sie sind ein Bestandteil jeder Zelle. Umgangssprachlich werden Proteine oft als Eiweisse bezeichnet.

4.2 Struktur der Proteine

Vom Bakterium über Hühnereier bis zum Menschen bestehen Proteinmoleküle aller Organismen immer aus einer Kombination mit bis zu 20 verschiedenen Aminosäuren, die sich ihrerseits aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel zusammensetzen. Die verschiedenen Aminosäuren sind untereinander kettenartig über die so genannte Peptidbindung verbunden.

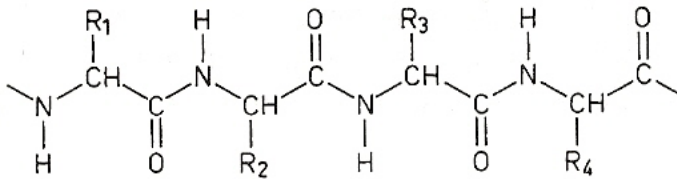
Die schier endlosen Kombinationsmöglichkeiten in der Sequenz (Folge) der Aminosäuren und deren Faltung (Anordnung im Raum), können die zahlreichen Funktionen erklären, welche Proteinmoleküle in der Natur innehaben. [11]

Kondensiert man die Carboxyl-Gruppe einer Aminosäure mit der Aminogruppe einer Zweiten, so entsteht über eine Peptidbindung ein **Dipeptid**:



Entsprechend der Anzahl gebundener Aminosäuren spricht man von Di-, Tri-, Tetra- usw.-Peptiden. Bei unbestimmter, oder sehr hoher Anzahl, spricht man von Oligopeptiden (bis zu 10 Aminosäuren) und von Polypeptiden (mehr als 10 Aminosäuren), resp. von Makropeptiden mit mehr als 100 Aminosäuren. Die Abgrenzung zwischen Oligo- und Polypeptiden einerseits, und zwischen Polypeptiden und Proteinen andererseits, ist dabei nicht scharf; die angegebenen Grenzen der Kettenlängen sind vielmehr grobe Richtwerte.

Auch im Eiweiss sind Aminosäuren peptidartig miteinander verknüpft, so dass folgendes Bauschema vorliegt:



Die Vielfältigkeit von Eiweissstrukturen vermag diese Formel nicht zu erklären. Die Seitengruppen R sind hier in ihrer Reihenfolge entscheidend, sie bestimmen die Eigenschaften eines Proteins, indem sie ihm spezielle, energetisch bevorzugte Raumstrukturen aufzwingen, die durch verschiedene Bindungstypen stabilisiert werden. Die Vielzahl von Aufbaumöglichkeiten lässt sich erst erkennen, wenn man die Kombinationsmöglichkeiten ausrechnet. So gibt es für den Aufbau eines aus 50 Aminosäuren zusammengesetzten Polypeptides (20^{50}) verschiedene Bausteinfolgen. Was daraus entsteht, sind vielfältig gewundene, gedrehte oder geknickte Moleküle, die sich zusätzlich zu grösseren Einheiten zusammenlagern können, so dass zur Beschreibung einer räumlichen Molekülstruktur (Konformation) mehrere Strukturaussagen beitragen müssen:

- a) Primärstruktur (bezeichnet die Kette aus Aminosäuren)
- b) Sekundärstruktur (drückt Raumstrukturen aus)
- c) Tertiärstruktur (Stabilisierung von Molekülknäueln durch Neben- und Hauptvalenzbindungen)
- d) Quartärstrukturen (Aneinanderreihung von mehreren Eiweissmolekülen)

Im folgenden werden diese vier Strukturbeschreibungen kurz dargelegt.

4.2.1 a) Primärstruktur

Sie beschreibt die Sequenz, das heisst die Folge, in der die Aminosäure-Bausteine hintereinander folgen. Vereinfacht gesagt, könnte man sich eine Kette vorstellen, in der jede Perle eine Aminosäure darstellt (siehe Abbildung 4.3.). Die **Primärstruktur** stellt lediglich die Aminosäuresequenz, jedoch nicht den räumlichen Aufbau dar.

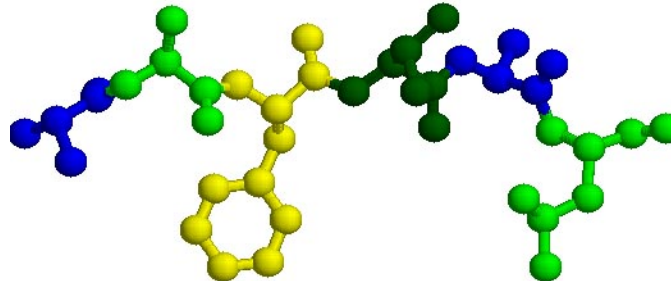


Abbildung 4.1: Primärstruktur (die verschiedenen Aminosäuren sind hier farblich voneinander verschieden dargestellt)

4.2.2 b) Sekundärstruktur

Die **Sekundärstruktur** drückt Raumstrukturen aus, die sich aus den kettenförmig angeordneten Aminosäure-Sequenzen dadurch ausbilden, dass räumlich günstig zueinanderstehende funktionelle Gruppen der Aminosäuren durch **Wasserstoffbrückenbindungen** zusätzlich miteinander verbunden werden. So bilden sich unter anderem spiralförmige Anordnungen (alpha-Helix mit 3.6 Aminosäure-Resten pro Windung) oder Faltblattstrukturen aus.

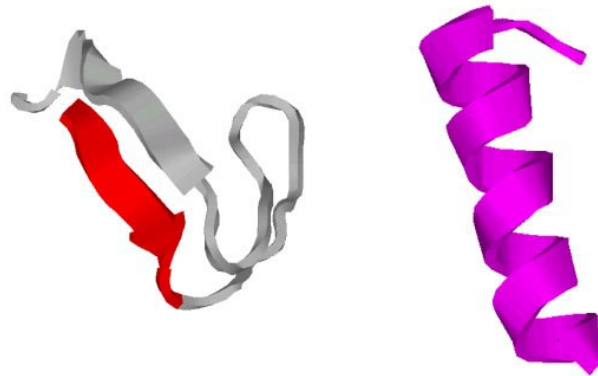


Abbildung 4.2: Sekundärstruktur (Beta-Faltblatt links, alpha-Helix rechts)

4.2.3 c) Tertiärstruktur

Die **Tertiärstruktur** ist eine der Sekundärstruktur übergeordnete räumliche Anordnung der Polypeptidkette. Sie wird von den Kräften und Bindungen zwischen den Resten (Seitenketten) der Aminosäuren bestimmt. Als Bindungskräfte, die diese dreidimensionale Struktur stabilisieren, wirken beispielsweise **Disulfidbrücken (kovalente Bindungen)** zwischen den Schwefelatomen zweier Cysteinreste) oder vor allem nicht-kovalente Wechselwirkungen wie Wasserstoffbrückenbindungen. Zusätzlich spielen **hydrophobe**, ionische und **Van-der-Waals**-Wechselwirkungen eine wichtige Rolle. Durch diese Kräfte und Bindungen faltet sich das Protein weiter.

So enthält zum Beispiel das aus 129 Aminosäuren aufgebaute Hühnerei-Lysozym durchaus auch Spiralstrukturen, die dennoch eine Knäuelbildung nicht verhindern. Das Knäuel ist in diesem Fall durch Cystin-Brücken mehr oder minder stark fixiert:

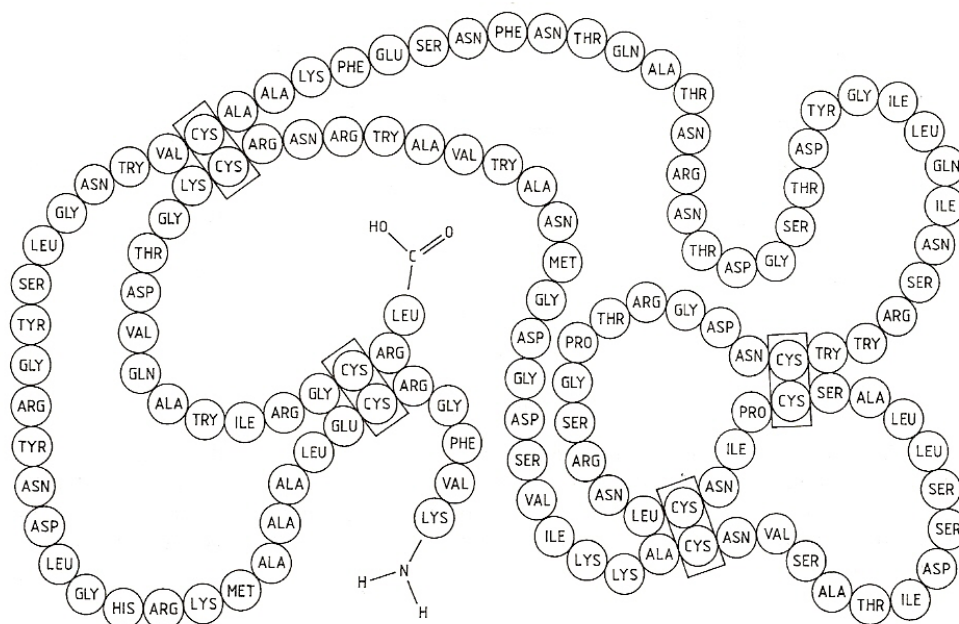


Abbildung 4.3: Tertiärstruktur von Hühnerei-Lysozym

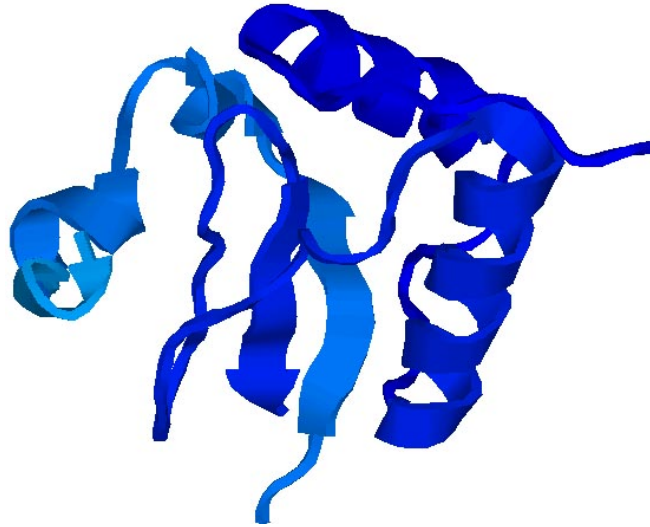
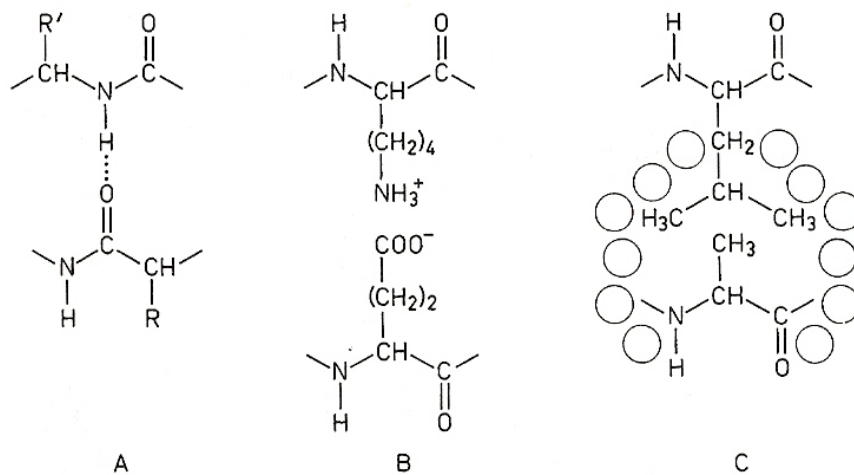


Abbildung 4.4: Tertiärstruktur

4.2.4 d) Quartärstrukturen

Um Quartärstrukturen handelt es sich, wenn Proteine nicht aus einem einzigen Proteinmolekül, sondern aus einer Aneinanderlagerung mehrerer Einheiten bestehen. Da Proteine mit einem Molekulargewicht von mehr als 100'000 nicht mehr thermodynamisch stabil sind, muss bei Proteinen mit hohem Molekulargewicht mit mehreren, durch Nebenvalenzen aneinander gebundenen Einzelketten gerechnet werden. Tatsächlich setzen sich aber schon Proteine erheblich niedrigerer Molekulargewichte aus mehreren Einzelmolekülen zusammen. So besteht Lactoglobulin ($M=35'400$) aus zwei definierten Untereinheiten, und im Hämoglobin ($M=64'000$) lassen sich vier definierte Polypeptid-Ketten finden, die durch Nebenvalenzbindungen zusammengehalten werden. Die wichtigsten Nebenvalenzbindungen sind hier abgebildet:



Unter diesen Bindungen sind das Vorkommen von Wasserstoffbrücken-Bindungen (A) und ionischen Bindungen (B) am einfachsten zu erklären. Vor allem Wasserstoffbrücken bilden sich zwischen CO- und NH-Gruppen aus und sind nicht zuletzt für die Ausbildung von **Sekundärstrukturen** verantwortlich. Den grössten Anteil zur Stabilisierung der Protein-Konformationen hat jedoch die hydrophobe Bindung (C) zu leisten, da in den meisten Proteinen etwa 30 bis 50% der Aminosäuren apolare Seitenketten besitzen. Eine Konformation ist umso stabiler, je mehr apolare Seitenketten miteinander in Berührung kommen, um so genannte "hydrophobe Micellen" im Proteinmolekül zu bilden. Die Energie dieser Bindungen setzt sich sowohl aus **Van-der-Waals** Kräften als auch durch die Bildung von Molekülschwärmen (**Cluster**) des umgebenen Wassers. Deshalb ist das Ordnungsprinzip eines Proteinmoleküls zum grossen Teil durch den Aufbau der Seitenketten R im Zusammenhang mit dem umgebenen Lösungsmittel zu verstehen, dessen Polarität für die Bindungsstärke wesentlich ist. Gerade das im Eiklar reichlich enthaltene Wasser, welches ohnehin zu **Cluster**bildungen neigt, leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Stabilität der Konformation.

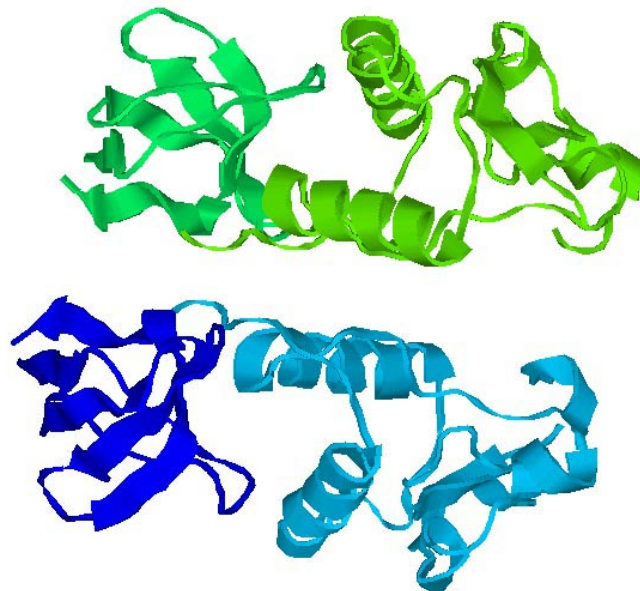


Abbildung 4.5: Quartärstrukturen

Die verschiedenen Erscheinungsformen von Proteinmolekülen lassen sich durch diese vielfältigen Bindungsmöglichkeiten erklären.

Grundsätzlich werden folgende Gruppen von Eiweissstoffen / Proteinen unterschieden:

EIWEISSGRUPPE	BEZEICHNUNG	BEISPIELE
1. Globuläre Eiweisse	Sphäroproteine	Serumalbumin und -globulin
2. Gerüsteiweisse	Skleroproteine	Keratin, Kollagen
3. Zusammengesetzte Eiweisse	Proteide	Nucleo- und Glykoproteide

Davon werden die Gruppen 1 und 3 im Folgenden noch kurz erläutert, da diese für das Hühnerei von Bedeutung sind.

4.3 Sphäroproteine

Sphäroproteine sind Eiweisse mit mehr oder weniger ausgebildeten kugelförmigen **Tertiärstrukturen**. Ihre Untergruppen beziehen sich dabei auf unterschiedliches Löslichkeitsverhalten, welches dem Verhältnis zwischen polaren und unpolaren Strukturelementen im Molekül zugeschrieben werden dürfte. Vor allem zeigt es sich, dass die Löslichkeit immer dann am grössten ist, wenn Salzbildungen eintreten können, während sie im **Isoelektrischen Punkt**, wenn das Molekül gleich viele positive und negative Ladungen besitzt, ein Minimum durchläuft. Beim Ausfällen eines Eiweisses wird darum der **pH-Wert** der Lösung auf den Isoelektrischen Punkt eingestellt. Bei diesem pH-Wert weist das Eiweiss dann auch seine grösste Stabilität auf.

Das Albumin-Protein vom Hühnerei hat seinen Isoelektrischen Punkt bei 4.84-4.91.

4.4 Proteide

Zur Eiweissgruppe der Proteide gehören zusammengesetzte Eiweisse, die in mehr oder weniger grossen Konzentrationen auch nicht-eiweissartige Gruppen tragen, wie Zucker (Glykoprotein), Fette (Lipoprotein) oder Nukleinsäuren (Nukleoprotein). Solche Proteide findet man unter anderem in den Körperschleimen, aber auch das Ovomuroid des Eiklars gehört in diese Gruppe.

1) *Was ist der isoelektrische Punkt eines Proteins?*

4.4.1 Experiment: Biuret-Reaktion

Geräte und Chemikalien für das Experiment:

3 Reagenzgläser, Glycin, 1 mol Natronlauge, 1 mol Kupfersulfat-Lösung, 1 Ei, Kochsalz

Vorbereitung:

2.7g NaCl in 300 ml Wasser lösen, damit eine 0.9% Kochsalzlösung entsteht.

Das Eiklar vom Eigelb trennen und in der Kochsalzlösung lösen.

1 M Kupfersulfat-Lösung herstellen: CuSO_4 :

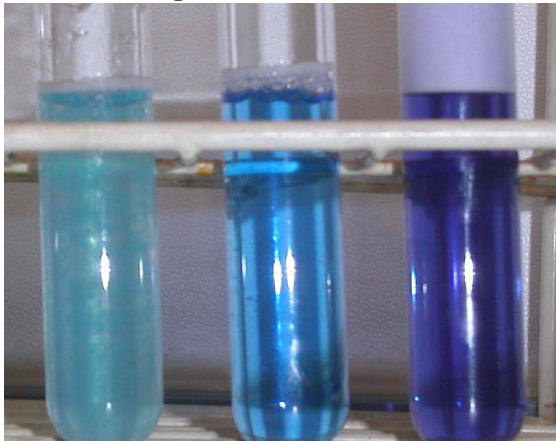
0.8 g CuSO_4 in 5ml Wasser lösen

1 M Natronlauge herstellen: NaOH (Vorsicht: Konzentrierte Natronlauge wirkt auf der Haut stark ätzend, auch stark verdünnte Natronlauge kann die Hornhaut der Augen so schädigen, dass es zu Erblindung kommt!!)

0.2 g NaOH in 5 ml Wasser lösen

Durchführung:

In alle drei Reagenzgläser 5 ml Wasser füllen. In das zweite Glas zusätzlich noch eine Spatelspitze Glycin und in das dritte Glas 0.5 ml der Eiweisslösung dazugeben und im Wasser lösen. Nun kommen in jedes Reagenzglas 5 Tropfen CuSO_4 -Lösung und 5 Tropfen NaOH-Lösung.



Beobachtungen:

Es bildet sich ein hellblauer Niederschlag im ersten Glas, im zweiten eine dunkelblaue Lösung und im dritten Glas nach kurzer Zeit eine violette Lösung.

Erklärung:

Bei Zugabe einer Lauge zu einer Lösung von Cu^{2+} -Ionen fällt hellblaues Kupfer(II)-hydroxid ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) aus. Im mittleren Glas bilden die Glycin-Aminosäuren einen dunkelblauen Komplex mit den Cu^{2+} -Ionen. Dieser ist so stabil, dass die Fällung ausbleibt. Mit Peptiden und Proteinen (rechtes Glas) bilden die Cu^{2+} -Ionen einen violetten Komplex. Diese Reaktion tritt ab mindestens zwei Peptidbindungen auf, das heisst mit Tripeptiden und längeren Aminosäureketten. Kupfer wird dabei von vier Peptidbindungen komplexiert. Diese Farbreaktion bezeichnet man als Biuret-Reaktion. Mit dieser Reaktion lassen sich Peptide und Proteine auch in sehr geringen Konzentrationen nachweisen. In unserem Experiment haben wir mit dieser Biuret-Reaktion die Proteine im Hühnereiklar nachgewiesen.

- 1) *Wie viele Aminosäuren gibt es?*
- 2) *Welche Struktur beschreibt die Sequenz der Aminosäure-Bausteinen?*
- 3) *Was versteht man unter einer hydrophoben Bindung?*
- 4) *Was passiert bei Zugabe einer Lauge zu Cu^{2+} -Ionen?*

5 Chemische Eigenschaften von Eiweiss

5.1 Denaturierung von Eiweiss

Unter welchen Umständen gerinnt das Eiweiss vom Hühnerei?

Erstmal eine kurze Erklärung dazu, was man unter einer **”Denaturierung“** versteht. Definition von Wikipedia: ”Denaturierung bezeichnet eine strukturelle Veränderung von Biomolekülen wie zum Beispiel Proteinen (Eiweisse) oder der Desoxyribonukleinsäure (DNA).

Die durch äussere Einflüsse hervorgerufene Veränderung der Proteinstruktur, insbesondere der **Sekundär- und Tertiärstruktur** eines Proteins (und damit eventuell auch seiner **Quartärstruktur**) erfolgt, ohne dass sich die Reihenfolge der Aminosäuren (**Primärstruktur**) ändert. Der Vorgang kann irreversibel sein, das heisst der ursprüngliche, räumliche Aufbau kann nicht wiederhergestellt werden. Es gibt auch reversible Veränderungen, die durch die Neutralisation der Situation wieder rückgängig zu machen sind (z.B. bei RNA). In der Regel führt die Denaturierung dazu, dass das Molekül seine Funktion, die in der Molekularbiologie oft in enger Verbindung mit der Struktur steht, nicht mehr korrekt ausführen kann.“ [12]

Beim Hühnerei handelt es sich beim Prozess vom flüssigen Eiklar zu einem ”festen“ Zustand um eine irreversible Denaturierung, da die räumliche Strukturänderung nicht mehr rückgängig gemacht werden kann, nachdem das Eiweiss erst einmal ”fest“ geworden ist.

Mögliche Mittel zur Denaturierung von Hühnereiweiss:

1. Hitze
2. Extreme Kälte
3. Säuren
4. Alkohol
5. Schwermetalle
6. Mikrowellenstrahlung
7. Mechanisch (Eischnee)

Die Punkte 1,3 und 7 werden im Folgenden genauer erläutert.

5.2 Denaturierung durch Hitze [4]

Das Ei in dem dunkelblauen Eierbecher mit dem goldenen Rand war drei und eine Drittel Minuten gekocht. Es war ein ganz frisches, fleckiges braunes Ei von französischen Marans-Hennen, die sich eine Freundin Mays auf dem Land hielt. Bond verabscheute Eier mit weisser Schale und, spleenig wie er bezüglich kleiner Dinge war, machte er sich einen Spass aus der Behauptung, es gäbe so etwas wie das perfekt gekochte Ei. (Ian Fleming)

Energie

Energie ist nach dem heutigen Stand des Wissens der Grundstoff des Universums. Sie tritt in verschiedenen Formen auf: Als Wärme, Licht, Mikrowelle, Elektrizität oder Magnetismus, aber alle diese Formen haben eines gemeinsam: Mann kann sie verwenden, um Dinge zu bewegen. Das gilt natürlich auch für die Zubereitung von Eiern, wo man mit Hilfe von Energie die Moleküle in Bewegung bringt, die sich dann von selber neu arrangieren.

Der Wärmetransport in Stoffen ist ein physikalisches Problem, seine Gesetze sind aber so einfach, dass man sie auch ohne physikalische Vorbildung verstehen kann. Bis weit in die Mitte des 19. Jahrhunderts herrschte die Meinung vor, dass Wärme eine Art Flüssigkeit sein musste.

Benjamin Thompson räumte mit dieser Vorstellung aber eigentlich schon 50 Jahre früher auf:

Ich sollte das Aufbohren eines Kanonenrohrs überwachen und war von dem Grad an Hitze verblüfft, den die Messingkanone binnen kürzester Zeit durch den Bohrprozess annahm. Noch heisser - weit heisser als kochendes Wasser, wie ich durch Experimente feststellte - waren die Metallspäne. ...Die Quelle der durch Reibung erzeugten Erwärmung schien bei diesen Experimenten unerschöpflich. Es ist kaum nötig anzufügen, dass es keine materielle Substanz sein kann, die ein isolierter Körper ohne Begrenzung zu liefern in der Lage ist. Es erschien mir äusserst schwer, wenn nicht ganz unmöglich, mir eine bestimmte Vorstellung von etwas zu machen, was in einer Weise angeregt und übertragen werden kann, wie die Wärme in diesen Experimenten - es sei denn Bewegung.

Wenn wir heute also vom Erhitzen sprechen, stellen wir uns vor, dass die Moleküle in schnellere Bewegung geraten, dabei zerfallen und sich neu gruppieren. Beim Hühnerei werden die langen Albuminmoleküle des Eiweisses, die bei Zimmertemperatur locker zu Bällen gebündelt sind, entfalten und herumwedelnd, wenn das Ei erhitzt wird. Schliesslich verknäueln sie sich miteinander und bilden ein dreidimensionales Netz, in dem das Wasser des Eis gefangen ist: Das zuvor flüssige und durchsichtige Eiweiss wird fest und undurchsichtig. Mit dem Konzept, Wärme als Bewegung von Molekülen, lässt sich vieles verstehen. So zum Beispiel lässt sich erklären, warum man ein Ei stundenlang bei 50°C kochen kann, ohne dass das Eiweiss gerinnt, während dies bei 70°C innerhalb von 15 Minuten geschieht und bei 100°C in 3 Minuten.

Dieser Temperatureffekt lässt sich mit der alten Phlogiston-Theorie (Wärme als Flüssigkeit) nicht erklären. Mit der Vorstellung von Wärme als Energie der Molekularbewegung ist dies aber leicht zu verstehen. Die Albuminfäden des rohen Eiweisses werden durch schwache Anziehungskräfte zwischen den Molekülketten zusammengehalten, die sich überkreuzen und eine lose Ballstruktur bilden, die als "random coil" bezeichnet wird. Diese Struktur ist in ständiger Bewegung, da die Moleküle von den umgebenen Wassermolekülen in Bewegung gehalten werden. Wenn nun die Temperatur ansteigt, steigt auch die Energie der Wassermoleküle und zugleich die innere Vibration der Albuminketten. Bei ca. 63°C ist dann der Punkt erreicht, an dem die Bewegungsenergie ausreicht, um die schwachen Bindungen zu durchbrechen, von denen die Struktur zusammengehalten wird. Unterhalb dieser Temperaturschwelle kann das Ei noch so lange im warmen Wasser liegen, die Albuminstruktur bleibt erhalten, das Eiweiss gerinnt nicht. Oberhalb von 63°C entfalten sich die Albuminmoleküle und werden frei, um zusammen mit anderen freigewordenen eine neue Struktur zu bilden: Ein dreidimensionales Netz.

Man muss sich den Unterschied zwischen Wärme und Temperatur vor Augen halten, damit da keine Verwechslungen passieren.

Nicholas Kurti hat eine Definition mit Hilfe des Energiebegriffs gemacht: *Die Wärme bezieht sich auf die Gesamtenergie. Die Temperatur eines Stoffs wird hingegen durch die durchschnittliche Energie eines Moleküls bestimmt.*

Die Gesamtenergie, die beim Kochen eines Eis zugeführt wird, hängt von der Kocheinrichtung ab. Kochplatten liefern die Wärmeenergie mit einer Rate, die für einen bestimmten Gerätetyp konstant ist. Daher ist die Gesamtenergie von der Zubereitungszeit und vom Gerätetyp abhängig. Ein Mikrowellenherd führt die Energie hingegen in Pulsen gleicher Stärke zu, wobei die An- und Aus-Zeiten der Pulse je nach Gerät unterschiedlich sind. Die Menge an Energie, die von dem Gericht im Mikrowellenherd absorbiert wird, ist von dessen Wassergehalt und seiner Position im Herd abhängig, da das Mikrowellenfeld im Raum unterschiedlich stark ist. Die Auswirkungen der aufgenommenen Energie auf den Verlauf der Temperatur, ist erstens von der Masse des Gerichts abhängig (umso grösser das Gericht, desto mehr Moleküle müssen bewegt werden), zweitens von seiner Zusammensetzung und drittens von der Art und Weise, wie sich die Wärmeenergie im Gericht ausbreitet.

1) *Was verändert sich beim Erhitzen einer Substanz auf der molekularen Ebene?*

Wärmetransport

Das Hauptproblem beim Kochen, ist die richtige Temperaturverteilung zu erreichen. Ausser der Strahlung gibt es zwei weitere Möglichkeiten um Wärme zu transportieren: Wärmeleitung und **Konvektion**. Alle Stoffe leiten Wärme. Zwischen "Leitern" und "Isolatoren" besteht der Unterschied nur in der Rate. Wenn das Kochgut beweglich ist, spielt die Konvektion eine grosse Rolle. Die Konvektion funktioniert wie folgt: Die spezifische Dichte z.B. von Wasser nimmt je nach Temperatur zu oder ab. Das erwärmte Wasser am Topfboden steigt auf, weil die spezifische Dichte kleiner ist wie die vom kalten Wasser.

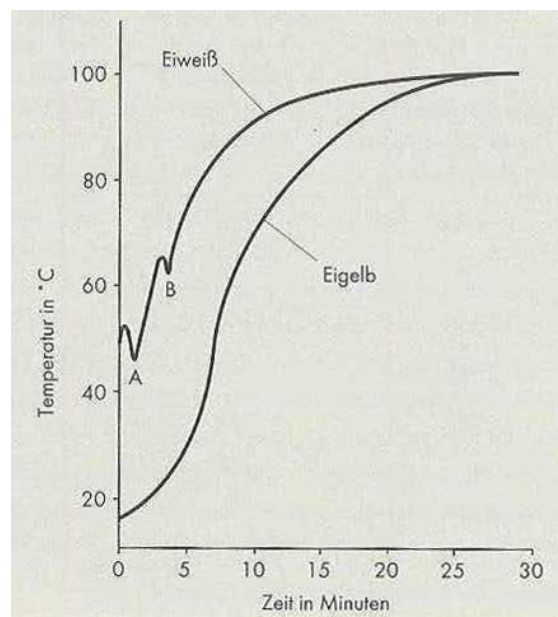
Das Ergebnis ist eine kontinuierliche Zirkulation, die letztlich die Wärme in alle Bereiche des Topfs befördert. Durch Umrühren kann man diesen Vorgang unterstützen.

Im Ei, das gekocht wird, ist die Konvektion leider weitgehend unterbunden, da die von der Erwärmung erzeugten Dichteunterschiede im Eiweiss zu klein sind, um den dickflüssigen Stoff nennenswert umzuschichten. Der Hauptmechanismus zum Transport von Wärme ist in diesen Fällen die Wärmeleitung. Dem Nachteil einer langen Zubereitungszeit ohne bedeutender Konvektion, stehen dafür zwei Vorteile gegenüber: Zum einen bleibt das fertig gekochte Ei länger warm, und zum anderen lässt sich die Zubereitungszeit durch recht einfache Gesetze ausrechnen.

1) *Warum gibt es im Ei praktisch keine Konvektionsströme?*

Wärmetransport nach dem quadratischen Gesetz

Fürs Ei gilt das quadratische Gesetz: Doppelte Dicke - Vierfache Zeit. Wie kommt es zu der quadratischen Abhängigkeit? Die Antwort auf diese Frage liegt im Mechanismus, mit dem die kinetische Energie zwischen den Molekülen des Eis transportiert wird. Der Kochvorgang beginnt, wenn die Wärme die Oberfläche des Eis erreicht und dort die kinetische Energie der Moleküle erhöht. Die bewegten Moleküle geben dann durch Stöße einen Teil der empfangenen Energie an ihre kälteren Nachbarn in den tieferen Schichten weiter: Die Energie wird somit wie der Stab bei einem Staffellauf weitergereicht. Die Weitergabe der Energie wird nun mit statistischen Gesetzen beschrieben: Die Weitergabe der Energie in jede Richtung erfolgt mit gleicher Wahrscheinlichkeit. Die benötigte Zeit zur Überbrückung einer bestimmten Distanz ist proportional zum Quadrat dieser Distanz. Um doppelt so weit zu kommen, braucht die Wärme viermal länger.



Richard Gardner setzte einem Ei zwei Thermofühler ein, einen ins Eiweiss und einen

ins Eigelb, und begann es zu kochen. Die erste Schwankung "A" hat keine Bedeutung, sie ist durch eine Bewegung des Thermofühlers entstanden. Die zweite Schwankung "B" entstand in dem Moment, als das Eiweiss zu gerinnen begann. Dieser Prozess erfordert Energie, und die Temperatur des Eiweisses bleibt nur konstant, wenn über die Wärmeleitung genug schnell Wärme herbeigeführt wird, wie es zur Neuordnung der Moleküle nötig ist. Wenn nun aber der Wärmenachschub stockt, sinkt die Temperatur für eine kurze Zeit ab.

Um ein perfektes weiches Frühstücksei zu erhalten, hätte man das Ei nach genau 3 1/2 Minuten aus dem kochenden Wasser nehmen sollen, zur Zeit der Delle "B" in der Temperaturkurve. Wenn man das Ei sofort aufgeschlagen hätte, so wäre es absolut perfekt gewesen. Vorausgesetzt, der Thermofühler im Eiweiss hätte eine Position nahe dem Eigelb gehabt.

Bei der Gerinnungstemperatur des Eiweisses bleibt das Eigelb noch weich. Das liegt daran, dass die Proteinmoleküle im Eigelb um winzige Öltröpfchen geschlungen sind und es mehr Energie braucht, sie von der Öloberfläche zu lösen als bei den Albuminmolekülen in der wässrigen Umgebung des Eiweisses. Die Proteine des Eigelbs bewegen sich erst bei 68°C frei herum und verknäulen sich dann miteinander. Die Kunst, ein weiches Ei zu kochen, besteht also darin, das Eiweiss auf über 63°C zu bringen, das Eigelb aber unter 68°C zu halten.

Charles Williams von der Exter University hat 1998 versucht, die Kochzeit von Eiern in einer Gleichung mit dem quadratischen Gesetz zu beschreiben.

Ei- durchmesser am Äquator in mm		Kochzeit in Minuten	
		Ausgangstemperatur: 20°C (Zimmer- temperatur)	Ausgangstemperatur: 4°C (Kühlschrank- temperatur)
Klein	39	3,34	3,75
Klein	40	3,5	4
Mittel	42	3,9	4,4
Mittel	44	4,25	4,8
Mittel	46	4,6	5,2
Groß	48	5	5,7
Groß	50	5,5	6,2

Wenn diese Zahlen stimmen, dann war das Testei 40 mm gross im Durchmesser und wurde bei Zimmertemperatur gelagert. So ergeben sich exakt 3 1/2 Minuten Kochzeit. Stehen nur mittelgrosse Eier von Raumtemperatur zur Verfügung, die man direkt ins

kochende Wasser gibt, so sind etwa 4 Minuten angemessen. Die Kochzeit darf abgekürzt werden, wenn das Ei nach dem Herausnehmen ruhen darf, bevor es geköpft wird. Auch wenn ein Ei aus dem kochenden Wasser genommen wird, geht der Erwärmungsprozess im Inneren weiter. Wenn wir dem Ei die Ruhezeit gewähren, so erhalten wir ein Ei von feinerer Konsistenz, dessen Eiweiss noch nicht ganz so gummiartig ist, weil sich noch keine Querverbindungen zwischen den Albuminmolekülen gebildet haben.

Das perfekte Frühstücksei

Um ein perfekt gekochtes Ei zu erhalten muss man das Ei nur in einer Flüssigkeit kochen, deren Siedepunkt zwischen 63°C und 68°C liegt. Das Eiweiss wird dann gerinnen, das Eigelb noch nicht, und die Kochzeit ist beliebig. Dies gelingt, wenn man Wasser unter vermindertem Druck zum Kochen bringt. Eine weitere Möglichkeit ist es eine Flüssigkeit zu suchen, deren Siedepunkt unter Normaldruck zwischen 64°C und 67°C siedet. Eine mögliche Flüssigkeit ist Methanol, ein primärer, einfacher Alkohol. Der Siedepunkt von Methanol liegt bei 64,6°C.

Es treten allerdings zwei entscheidende Probleme auf:

1. Der Geschmack des Methanols dringt durch die poröse Eischale.
2. Methanoldämpfe sind entzündlich, das heisst eine Herdplatte kann ausreichen, um eine Katastrophe auszulösen.

1) Erkläre den Denaturierungsprozess in einem Satz.

2) Weshalb denaturieren die Proteine des Eidotters erst bei einer höheren Temperatur, als diejenigen des Eiklars?

5.3 Denaturierung durch eine Säure

5.3.1 Experiment: Xanthoprotein-Reaktion

Geräte und Chemikalien für das Experiment:

4 Reagenzgläser, 2 Eier, Kochsalz, konzentrierte Salpetersäure (HNO₃), Petrischale

Vorbereitung:

2.7g NaCl in 300 ml Wasser lösen, damit eine 0.9% Kochsalzlösung entsteht.

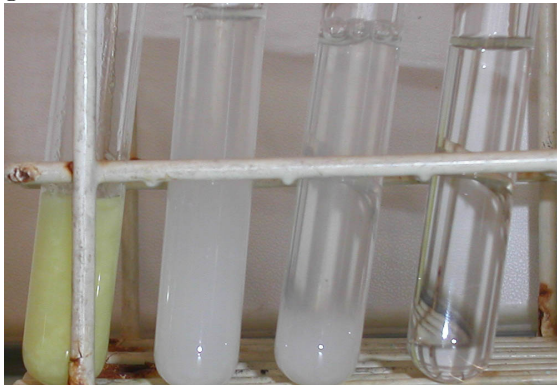
Das Eiklar vom Eigelb trennen und in der Kochsalzlösung lösen.

Ein Ei kochen (10 Minuten), schälen und halbieren.

Durchführung:

Vier Reagenzgläser mit der Eiweisslösung zur Hälfte füllen. In das erste Glas ca. 1 ml konzentrierte Salpetersäure dazugeben und schütteln. In das zweite Glas verdünnte Salpetersäure (1/4 konzentrierte Salpetersäure zu 3/4 Wasser) und in das dritte Glas verdünnte Salpetersäure (1/8 konzentrierte Salpetersäure zu 7/8 Wasser) geben und schütteln.

In das Reagenzglas ganz rechts, wurde eine konzentrierte Base gegeben.
Einige Tropfen konzentrierte Salpetersäure auf das gekochte Eiweiss auf der Petrischale geben.

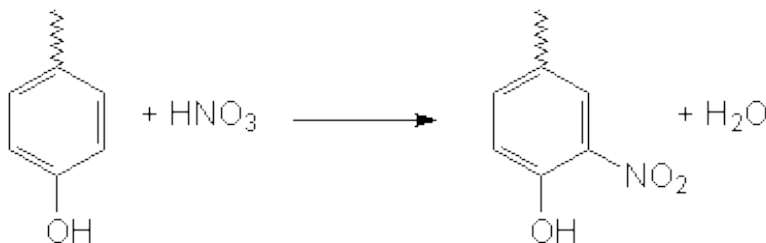


Beobachtungen:

Bei der Reaktion von konzentrierter Salpetersäure mit der Eiweisslösung beobachtet man eine Gelbfärbung der ausscheidenden Eiweissflocken. Bei den Reaktionen mit verdünnter Salpetersäure kann zwar immer noch die **Denaturierung** des Hühnereiwisses beobachtet werden, allerdings färbt sich dieses nicht mehr gelb. Im Reagenzglas mit der hinzu gegebenen basischen Lösung lässt sich keine Veränderung feststellen.

Erklärung

Aromatische Systeme können durch konzentrierte Salpetersäure nitriert werden:

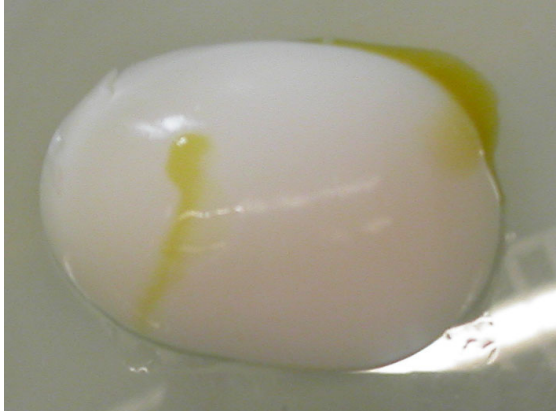


Nitriert werden auch die Aminosäuren Phenylalanin und Tyrosin an ihren Phenylresten, welche im Eiweiss vorhanden sind. Diese Nitroderivate zeigen eine intensiv gelbe Färbung. Die konzentrierte Salpetersäure koaguliert das Eiweiss unter gleichzeitiger Umwandlung in Nitroverbindungen.

Die Struktur der Proteine wird vor allem durch Wasserstoff-Brückenbindungen stabilisiert, die zwischen den Peptidbindungen sowie zwischen polaren Seitenketten ausgebildet werden. Durch die Änderung des **pH-Wertes**, in unserem Beispiel durch Zugabe der Salpetersäure, werden Carboxyl- und Aminogruppen in den Seitenketten protoniert, wobei **Wasserstoffbrückenbindungen** gelöst werden. Dadurch wird die Proteinstruktur aufgebrochen und das Protein fällt aus. (Das Eiweiss wird denaturiert) Der gleiche Prozess

geschieht auch im Magen. Der salzsaure Magensaft besitzt einen pH-Wert von 0.9-1.5. Durch die Denaturierung wird die Proteinkette aufgefaltet und dadurch für die Verdauungsenzyme besser zugänglich [13].

Bei den Reagenzgläser zwei und drei wird das Eiweiss zwar auch durch die verdünnte Salpetersäure denaturiert, allerdings reicht die Konzentration nicht mehr für eine Nitration.



Das Eigelb am oberen, rechten Ende des gekochten Eiweisses hat keine Bedeutung für das Experiment. Von Bedeutung ist nur die Gelbfärbung auf dem Eiweiss. Durch einzelne Tropfen der konzentrierten Salpetersäure werden die oben genannten Aminosäuren nitriert.

- 1) *Welche Aminosäuren vom Eiklar können nitriert werden?*
- 2) *Welche Rolle haben die Wasserstoffbrückenbindungen bei diesem Experiment?*
- 3) *Welche Parallelen lassen sich zum menschlichen Magen ziehen?*

5.4 Denaturierung durch mechanische Einwirkung [5]

Wenn Eiweiss lange mit dem Mixer oder der Hand aufgeschlagen wird, bildet sich ein fester Eiklarschaum. So werden aus 3,5 cl Eiweiss 15 cl Eiklarschaum. Interessant am Schaum ist die Frage, warum er fest wird und dies dann auch sehr lange bleibt. Beim Aufschlagen des Eiklars denaturiert und koaguliert (gerinnt) ein Teil des im Eiklar enthaltenen Eiweisses. Dies geschieht hauptsächlich an der Grenzfläche zwischen Eiklar und Luft. Zusätzlich kommt es noch zu einer Ausrichtung von globulären Proteinen an dieser Grenzfläche, die durch intermolekulare Kräfte zu einer Vernetzung führen, welche dem Schaum zusätzlichen Halt geben.

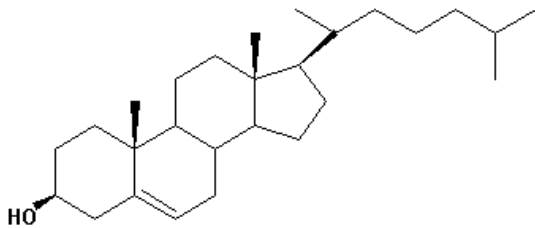
Es gibt mindestens zwei Möglichkeiten die Haltbarkeit des Schaums zu verlängern.

1. Eiweiss im Kupfergeschirr schlagen. Die Kupferionen tragen zu einer besseren Gerinnungsfähigkeit der Proteine bei.
2. Zucker beimischen. Der Zucker bindet einen Teil des im Eiweiss enthaltenen Wassers. Falls das Eiweiss zu lange geschlagen wird, spaltet es sich in zwei Teile: Einen flüssigen und einen festen Teil.

6 Cholesterin [6]

Ist das Ei tatsächlich die Cholesterinbombe schlechthin?

6.1 Struktur und Eigenschaften von Cholesterin



Strukturformel von Cholesterin

Summenformel: C₂₇H₄₆O

CAS-Nummer: 57-88-5

Eigenschaften

Molmasse: 386,66 g·mol⁻¹

Aggregatzustand: Fest

Schmelztemperatur: 146 °C

Löslichkeit: Unlöslich in Wasser

6.2 Funktion

Der Cholesteringehalt des menschlichen Körpers beträgt ungefähr 140 g. Cholesterin ist ein lebensnotwendiges Lipid. Es ist Hauptbestandteil der Plasmamembran, wo es deren Stabilität erhöht und, zusammen mit Proteinen in der Zellmembran, für die Ein- und Ausschleusung von Signalstoffen verantwortlich ist. Da Cholesterin nicht wasserlöslich ist, befinden sich über 95% des Cholesterins

Cholesterin ist ein lebensnotwendiges Lipid. Es ist Hauptbestandteil der Plasmamembran, wo es deren Stabilität erhöht und, zusammen mit Proteinen in der Zellmembran, an der Ein- und Ausschleusung von Signalstoffen beteiligt ist. Der Cholesteringehalt des menschlichen Körpers beträgt etwa 140 g.

Cholesterin ist ausserdem die Vorstufe von Gallensäuren und Steroidhormonen wie zum Beispiel: Aldosteron, Testosteron, Östradiol, Cortison sowie Vitamin D.

6.3 Transport

Blut ist das Transportmittel für alle Nähr-, Wirk- und Aufbaustoffe des Körpers. Alle Fettstoffe (**Lipide**) werden daher auch im Blut transportiert. Neben den üblichen Fetten (Triglyceride) gehören auch noch andere Bestandteile der Fette zu dieser Gruppe, wie z.B. Phospholipid (eine Fettsäure des Triglycerids ist durch Phosphorsäure/Cholin ersetzt) und die Fettbegleitstoffe, zu denen das Cholesterin gehört. Transportvehikel für die Lipide sind unter anderem Lipoproteine (Fettstoff-Eiweissverbindungen), die nach ihrer Dichte unterschieden werden: HDL (High Density Lipoproteins) = Lipoproteine mit hoher Dichte, LDL (Low Density Lipoproteins) = Lipoproteine mit niedriger Dichte und VLDL (Very Low Density Lipoproteins) = Lipoproteine mit sehr niedriger Dichte [14].

6.4 Synthese und Abbau

Beim Menschen wird Cholesterin zum Grossteil (90%) im Körper selbst hergestellt (synthetisiert), beim Erwachsenen in einer Menge von 1 bis 2 g/Tag, und nur zu einem kleineren Teil mit der Nahrung aufgenommen. Die Cholesterinresorption beträgt höchstens 0.5 g/Tag und liegt im Durchschnitt bei 0.1 bis 0.3 g/Tag. Das entspricht 30 bis 60% des in der Nahrung enthaltenen Cholesterins.

Die Leber und die Darmschleimhaut sind die Hauptorte der Cholesterinsynthese beim Menschen. Die Biosynthese des Moleküls erfolgt über viele Zwischenstufen aus der aktivierten Essigsäure, dem Acetyl-Koenzym A. Ausser in der Leber und dem Darm kann die Cholesterinbiosynthese in fast allen Zellen des Körpers ablaufen. Das Gehirn z.B. synthetisiert "sein" Cholesterin vollständig selber, da dieses die Blut-Hirn-Schranke nicht passieren kann.

Neben dem Gehirn (1/4 des Gesamtverbrauchs) brauchen die **Steroidhormone** produzierenden Organe, wie z.B. Nebennieren, Eierstöcke und Hoden viel Cholesterin.

Cholesterin wird über die Leber ausgeschieden, indem es in Form von Gallensäuren über die Gallenwege in den Darm sezerniert wird. Gleichzeitig sind diese Gallensäuren für die Resorption wasserunlöslicher Nahrungsbestandteile, also auch Cholesterin, erforderlich. Dadurch wird etwa 90% des Cholesterins wieder aufgenommen. Durch die Einnahme von Medikamenten kann die Cholesterinausscheidung gesteigert werden. Allerdings wird die Senkung des Cholesterinspiegels teilweise durch eine vermehrte Neusynthese ausgeglichen.

Die Höhe des Cholesterinspiegels hängt vor allem von der körpereigenen Produktion ab

und erst in zweiter Linie von der Zufuhr über die Nahrung. Daneben gibt es eine Vielzahl genetisch bedingter Hypercholesterinämien. Auch als Folge anderer Erkrankungen kann der Cholesterinspiegel erhöht sein (z. B. Hypothyreose, Niereninsuffizienz, Metabolisches Syndrom).

6.5 Cholesterin und Eier

Das Hühnerei wurde und wird zum Teil immer noch wegen des hohen Cholesterinanteils oft als "Cholesterinbombe" angeprangert.

Im Lebensmittelführer, Wissenschaft für den Alltag (erschieden: 1990) ist z.B. folgendes zu lesen:

"Wegen des hohen Cholesteringehalts sollte man nicht mehr als 3 Eier pro Woche essen." (S.82)

Bis heute wurde aber durch verschiedene Studien nachgewiesen, dass die Einnahme von Cholesterin nur einen sehr geringen Einfluss auf den Cholesterinspiegel im Körper hat. So verliert auch das Hühnerei seinen Ruf als Cholesterinbombe, obwohl das Hühnerei mit 250 Milligramm Cholesterin pro Ei relativ cholesterinreich ist. Das gleichzeitig im Hühnerei vorhandene Lecithin verhindert eine vollständige Aufnahme des Cholesterins.

1) *Wovon hängt die Höhe des körpereigenen Cholesterinspiegels ab?*

2) *Welche Organe benötigen viel Cholesterin?*

3) *Nenne 3 Gründe warum ein Ei trotz des hohen Cholesteringehalts ohne schlechtes Gewissen verspeist werden kann?*

7 Schwefel und Eisen im Ei und ihre Auswirkungen

Warum man Eier nicht mit Silberlöffeln essen sollte

Während dem Kochen kommt es im Eiweiss zur Freisetzung von Schwefelwasserstoff (H_2S), der sich mit dem Silber zu Silbersulfid verbinden kann. Optisch kann man diesen Vorgang daran erkennen, dass das Silber schwarz wird, geschmacklich daran, dass das Ei den typischen Geruch nach faulen Eiern bekommt [5].

Warum das Eigelb bei hart gekochten Eiern am Rande grünlich wird

Die grünliche Färbung kommt von dem entstanden Eisensulfid während dem Kochen. Es entsteht in einer durch das Kochen eingeleiteten chemischen Reaktion, die auch nach dem Kochvorgang noch weitergeht. Die grüne Färbung wird deshalb umso deutlicher, je länger die Eier nach dem Kochen noch liegen [15].

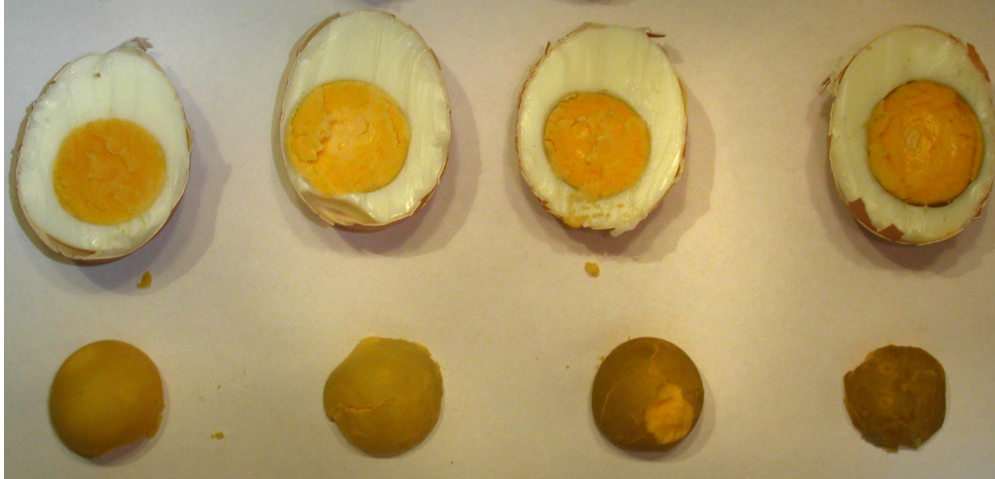
7.0.1 Experiment: Eisensulfid in Abhängigkeit der Kochzeit

Geräte und Chemikalien für das Experiment:

1 Kochtopf, 4 rohe Eier, Herdplatte / Bunsenbrenner

Durchführung:

Das Wasser wird erhitzt bis es kocht. Danach werden gleichzeitig alle vier Eier ins Wasser gelegt. Nach 10 Minuten wird das erste Ei aus dem Wasser genommen, nach 15 Minuten das zweite, nach 20 Minuten das dritte und nach 30 Minuten das vierte Ei. Nachdem das letzte Ei aus dem Wasser genommen wurde, werden die Eier halbiert.



Beobachtungen:

Bereits bei den halbierten Eier lassen sich klar die unterschiedlich intensiv grünlichen Ränder am Rande des Eigelbs feststellen. Wenn man nun Vorsichtig das Eigelb aus dem Eiweiss trennt, so lässt sich das grünliche Eisensulfid auf der Eigelboberfläche noch besser erkennen. Abhängig von der Kochzeit erscheint dieser Rand deutlicher. Einen grossen Unterschied ist vor allem zwischen 15 und 20 Minuten Kochzeit zu beobachten. Beim 20 Minuten Ei ist die grünliche Färbung ungleich stärker. Bei allen Eiern riecht man Schwefel, allerdings konnte ich keinen bedeutenden Unterschied zwischen den verschiedenen Eiern feststellen.

Erklärung:

Im Inneren des Eigelbs befinden sich so genannte Granula, das sind winzige Körnchen, die ein Eisen bindendes Protein (Phosvitin) enthalten. Beim Kochen wird das Eisen daraus freigesetzt und diffundiert unter anderem in Richtung Eiklar. Im Eiklar befinden sich Proteine, die schwefelhaltige Aminosäuren enthalten. Durch das Kochen wird aus ihnen Schwefelwasserstoff freigesetzt, der unter anderem in Richtung Eigelb diffundiert. Treffen Schwefelwasserstoff und Eisen schliesslich aufeinander, bilden sie Eisensulfid. Nach etwa fünfzehn Minuten Kochen hat sich genug Eisensulfid an der Grenze zwischen Eigelb und Eiklar gebildet, um einen sichtbaren grünlichen Ring zu bilden [15].

8 Mathematik und Physik rund um das Hühnerei

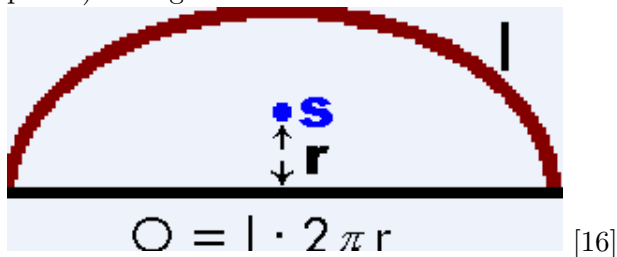
8.1 Oberflächenberechnung

Die Oberfläche eines Eis lässt sich mit dem ersten Guldinschen Gesetz berechnen.

Herr Paul Guldin wurde 1577 in St. Gallen geboren und ist 1643 in Graz verstorben. Er stellte die so genannten Guldinschen Regeln auf:

Erstes Guldinsches Gesetz

Die Mantelfläche eines Rotationskörpers, dessen Rotationsachse die erzeugende Linie nicht schneidet, ist gleich dem Produkt aus der Länge der erzeugenden Linie und dem Umfang des durch die Rotation des Schwerpunktes der Umfangslinie (Linienschwerpunkt) erzeugten Kreises:

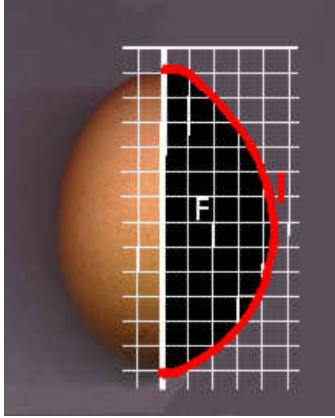


$$O = l \cdot 2\pi r$$

O = Oberfläche des Rotationskörpers (Eischalenoberfläche)

l = Länge der erzeugenden Linie (siehe Foto)

r = Radius des Linienschwerpunktes



[16]

"l" lässt sich relativ einfach experimentell bestimmen. Hierzu messen wir mit einem Messband der Eischalenlänge entlang von einem Pol zum anderem.

"r" kann mit folgender Formel näherungsweise berechnet werden:

$r \approx \frac{d}{3}$ wobei "d" dem Durchmesser des Ei-Äquators entspricht.

So erhält man folgende Formel für die Eioberfläche: $O \approx l \cdot 2\pi \frac{d}{3}$

Analog zu der Eioberfläche lässt sich so natürlich auch jede andere Oberfläche von Rotationskörpern näherungsweise bestimmen. So zum Beispiel auch die Kugel:

Für "d" setzten wir $2R$ ein, für "l" πR

So erhalten wir für den Schwerpunktradius: $r \approx \frac{2R}{3}$

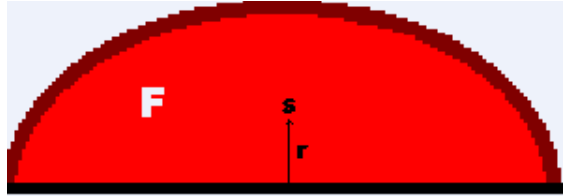
Und schlussendlich für die Oberfläche: $O \approx \frac{4\pi^2 R^2}{3}$

Näherungsweise kann nun π mit 3 gekürzt werden und man erhält die Oberflächenformel einer Kugel:

$$O = 4\pi R^2$$

Zweites Guldinsches Gesetz

Das Volumen eines Rotationskörpers ist gleich dem Produkt aus dem Flächeninhalt der erzeugenden Fläche und dem Umfang des durch die Rotation des Schwerpunktes dieser Fläche erzeugten Kreises:



$$V = F \cdot 2 \pi r \quad [16]$$

$$V = F \cdot 2\pi r$$

V = Volumen des Rotationskörpers

F = Flächeninhalt der erzeugenden Fläche

r = Radius des Flächenschwerpunktes

Der Beweis beider Guldinschen Regeln erfolgt mit Hilfe der Analysis (Integralrechnung).

Im Internet, auf der Homepage der Universität Würzburg [16], habe ich eine Formel gefunden, welche die beiden Gesetze kombiniert. Bei dieser Formel wurde allerdings angenommen, dass die beiden Radien (Linien- und Flächenschwerpunktradius) gleich gross sind. Leider ist diese Annahme falsch. Im Folgendem werde ich dies durch einen Gegenbeweis zeigen.

Würde man beide Gesetze kombinieren, mit der Annahme, dass beide Radien gleich gross sind, so kommt man auf folgende Gleichung:

$$O = l \cdot 2\pi r \text{ und } V = F \cdot 2\pi r$$

$$\frac{O}{l} = \frac{V}{F}$$

$$O = \frac{l \cdot V}{F}$$

Auch die Kugeloberfläche sollte sich natürlich mit dieser Formel berechnen lassen, da es sich bei der Kugel auch um einen Rotationskörper handelt.

$O_K = \frac{l \cdot V}{F}$ setzt man nun bei dieser Gleichung für "V" das Volumen der Kugel ein, für "l" den halben Umfang einer Schnittfläche durch den Mittelpunkt und für "F" die halbe Fläche dieser Schnittfläche, so erhält man:

$$O_K = \frac{\pi r \cdot \frac{4}{3} \pi r^3}{\frac{\pi r^2}{2}}$$

Nachdem man gekürzt hat, erhält man:

$$O = \frac{8}{3}\pi r^2$$

Die tatsächliche Oberflächenformel einer Kugel lautet aber:

$$O_K = 4\pi r^2$$

Dieses Beispiel beweist, dass die Formel falsch ist. Der Fehler liegt, wie bereits erwähnt, in der Annahme, dass beide Schwerpunktsradien gleich gross sind.

Am Beispiel der Kugel ist aber klar zu erkennen, dass dies nicht der Fall sein kann.

Der Schwerpunktradius (r) einer Kreisfläche berechnet sich mit folgender Formel:

$$r_1 = \frac{4R}{3\pi}$$

Derjenige einer Kreislinie jedoch mit dieser Formel:

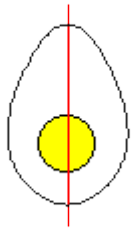
$$r_2 = \frac{2R}{\pi}$$

$$r_1 \neq r_2!!$$

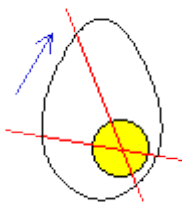
8.2 Das Ham-Sandwich-Theorem [7]

Stell dir vor, du möchtest ein Ei in exakt zwei gleichgrosse Teile schneiden. Also genau die Hälfte von Eiklar und Eidotter auf der einen Seite, und exakt die anderen Hälften auf der anderen Seite haben. Um das Problem zu vereinfachen schauen wir das Problem erst nur im zweidimensionalen Raum an.

Solange das Ei eine einfache Symmetrieachse aufweist, ist das Problem trivial. Die Lösung wäre in diesem Falle ein senkrechter Schnitt der Symmetrieachse entlang.



Ist das Eigelb allerdings verschoben, in diesem Fall z.B. nach rechts, so lässt sich keine Symmetrieachse mehr finden. Trotzdem ist auch hier relativ einfach ein perfekter Schnitt zu finden, der die zwei Teile in exakt dieselben Hälften teilt. Das Eigelb ist nach wie vor rund, das heisst der Schnitt muss durch das Zentrum vom Eigelb. Nun muss man sich nur noch auf das Eiklar konzentrieren, verschiebt man die Linie nach oben, so erhält man mehr Eiweiss im unteren Teil, verschiebt man die Linie nach unten, so hat man mehr Eiweiss im oberen Teil. Der perfekte Schnitt muss demnach irgendwo in der Mitte liegen.



Diese Argumentation funktioniert allerdings nicht mehr, wenn das Eigelb nicht mehr perfekt rund ist, sondern auch verteilt auf der Ebene liegt. Allerdings sagt nun das Borsuk-Ulam-Theorem, dass beides mit einem perfekten Schnitt in exakt gleich grosse Hälften geteilt werden kann. Dabei spielt die Verteilung in der Ebene absolut keine Rolle.

In drei Dimensionen lässt sich dies sogar noch erweitern. Wir haben mehrere Möglichkeiten die Richtung einer Ebene auszuwählen, welche diese zwei Teile exakt in zwei Hälften teilt. Aus diesem Grund kann man noch ein drittes Volumen dazunehmen. In unserem

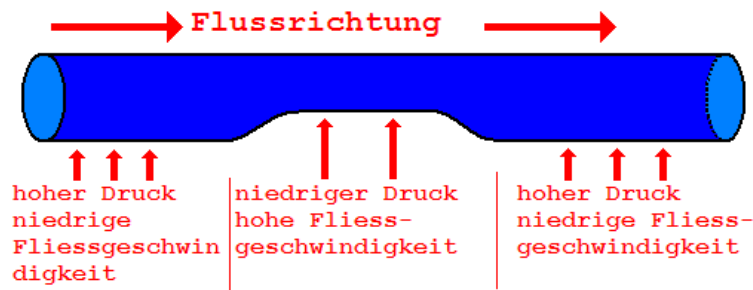


Fall bietet sich dafür die Eischale an. Damit lässt sich nun also nicht nur das Eigelb und Eiweiss exakt teilen, sondern auch gleich noch die Eischale mit einem einzigen Schnitt. Diese verblüffende Tatsache wird oft als "the ham sandwich problem" bezeichnet, da es erlaubt, den Käse, den Schinken und das Brot eines Schinkensandwiches exakt in zwei Hälften zu teilen, auch wenn der Käse und der Schinken nicht symmetrisch ausgelegt worden sind.

Das Ham-Sandwich-Theorem sagt also aus, dass es für n -Regionen (n -Volumenkörper) im n -dimensionalen Raum mindestens eine Schnittfläche gibt, welche die einzelnen Regionen exakt in ihre Hälften teilt, gemessen am Volumen.

8.3 Luftströmung am Ei

Giovanni Battista Venturi entdeckte, dass sich die Geschwindigkeiten eines durch ein Rohr strömenden **Fluids** zu einem sich verändernden Rohrquerschnitt umgekehrt proportional verhält.



Die Geschwindigkeit eines Fluids ist dort am grössten, wo der Durchmesser des Rohres am engsten ist. Das Fluid muss die Engstelle mit dem gleichen Durchfluss (Menge/Zeit) passieren, wie den Rest des Rohres, da nach dem Kontinuitätsgesetz dieselbe Fluidmenge aus dem Rohrende austritt, die am Anfang eingeführt worden ist.

Aufbauend auf den Erkenntnissen von Venturi entdeckte Daniel Bernoulli die Beziehung zwischen der Fließgeschwindigkeit einer Flüssigkeit und deren Druck. Er fand heraus, dass in einem strömenden Fluid ein Geschwindigkeitsanstieg immer von einem Druckabfall begleitet ist. Dieser Druckabfall kann als Differenz zwischen Ruhe- und **Staudruck** aufgefasst werden. Ohne Luftströmung ist der Gesamtdruck des Fluids gleich seinem Ruhedruck, denn der Staudruck ist Null. Bei Strömung nimmt der Ruhedruck um den Staudruck ab, denn die Summe ist konstant [17].

8.3.1 Experiment: Druckabfall an der Eioberfläche

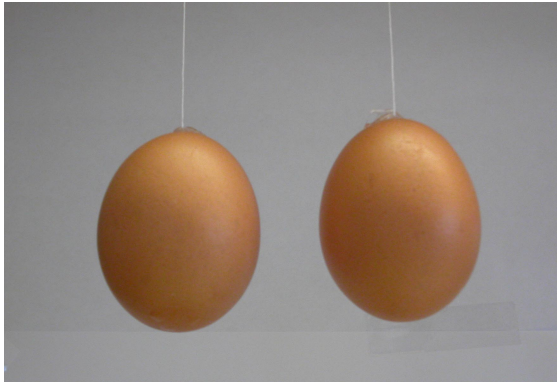
Geräte und Chemikalien für das Experiment:

1 Haarföhn, 2 Eier, reissfester Faden, Heisskleber

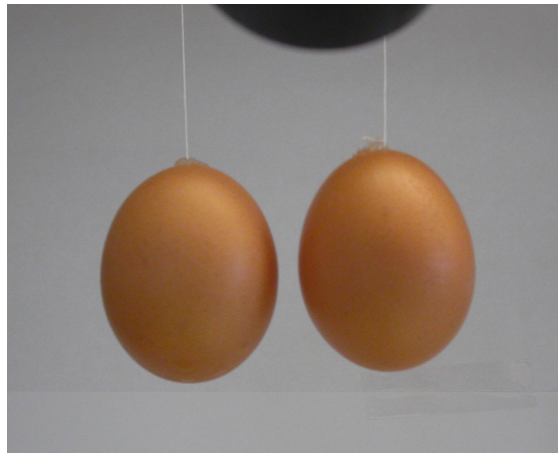
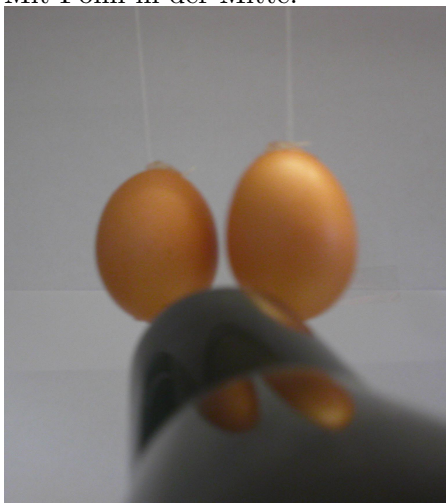
Durchführung:

An den beiden Eiern werden die zwei Enden vom Faden mit Heisskleber befestigt. Nun wird der Faden so befestigt, dass die beiden Eier nebeneinander in einem Abstand von wenigen Zentimetern frei in der Luft hängen. Den Haarföhn richten wir nun zuerst in die Mitte der beiden Eier, danach auch nach rechts und links von den beiden Eiern und beobachten was passiert.

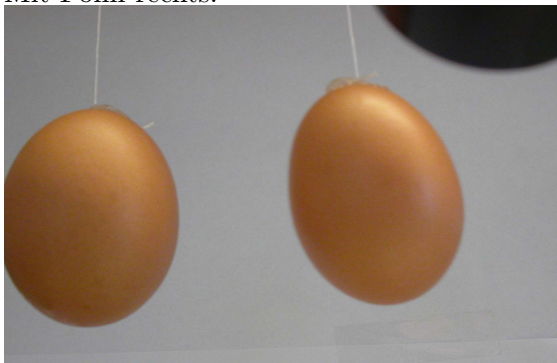
Ohne Föhn:



Mit Föhn in der Mitte:



Mit Föhn rechts:



Beobachtungen:

Wenn man den Föhn in Richtung Mitte der beiden Eier hält, so schwenken die Eier nicht auseinander, wie man vielleicht naiv erwarten würde, sondern werden gegen die Mitte gedrückt. Beim Halten des Föhns an der rechten Aussenseite von den Eiern schwenkt das rechte Ei nach aussen, während das linke Ei unberührt bleibt.

Erklärung:

Dieser Effekt lässt sich leicht mit den weiter oben beschriebenen Zusammenhängen zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Luftdruck erklären: An einer gewölbten Oberfläche bewegt sich eine Luftströmung schneller. Demnach natürlich auch an der ovalen Schale vom Hühnerei. Beim Pusten oder Föhnen wird die Luft an der gewölbten Oberfläche beschleunigt, dadurch fällt laut den Bernoulli Gesetzen der Druck ab, die beweglichen Eier werden durch den höheren Druck links, beziehungsweise rechts gegeneinander gedrückt.

- 1) *Warum ist bei einem Ei, welches 30 Minuten gekocht wurde, einen grünlichen Rand am Rande des Eidotters zu sehen, bei einem 5-10 Minuten Ei hingegen nicht oder einen sehr viel kleineren?*
- 2) *Welche Beziehung gilt zwischen der Grösse eines Rohres und der Geschwindigkeit des durchfliessenden Fluids?*
- 3) *Weshalb gibt es an der Eioberfläche einen Druckabfall?*

9 Glossar [8]

Dieses Glossar soll dem schnellen Nachschlagen von Fachausdrücken dienen, welche ich im Verlaufe meiner Arbeit gebraucht habe.

Aggregation

Die Aggregation ist eine (lockere) Zusammenlagerung von Atomen, Molekülen und/oder Ionen zu einem grösseren Verband. Dies wird durch Van-der-Waals-Bindungen oder andere chemische Verbindungsarten hervorgerufen. Das ganze wird auch Aggregat genannt.

Cluster

Unter einem Cluster versteht man eine Ansammlung von Atomen oder Molekülen, deren Atomanzahl zwischen $n = 3$ und $n = 50.000$ liegt.

Denaturierung

Denaturierung bezeichnet eine strukturelle Veränderung von Biomolekülen wie zum Beispiel Proteinen (Eiweisse) oder der Desoxyribonukleinsäure (DNA). (siehe Kapitel: Denaturierung von Eiweissen)

Disulfidbrücke

Disulfidbrücke oder Disulfidbrückenbindung bezeichnet in der Biochemie eine Atombindung (Elektronenpaarbindung, kovalente Bindung) zwischen zwei Schwefel-Atomen, die in Aminosäureseitenketten von zwei Cysteinresten vorkommen.

Enzym

Ein Enzym ist ein Protein (oder eine RNA), das eine chemische Reaktion katalysieren kann.

Fluid

Ein Fluid ist ein Stoff, der als Kontinuum (weist keine Risse, Brüche, Löcher oder Hohlräume auf) betrachtet wird. Alle Gase und Flüssigkeiten sind zum Beispiel Fluide.

Hydrophobie

Der Begriff hydrophob stammt aus dem Griechischen und bedeutet "wassermeidend". Das Mass für den Ausprägungsgrad der Hydrophobie von Stoffen ist die Hydrophobizität. Mit diesem Fachausdruck aus der Chemie werden Substanzen charakterisiert, die sich nicht mit Wasser mischen und es auf Oberflächen meist "abperlen" lassen.

Isoelektrischer Punkt

Bei einem bestimmten pH-Wert, dem so genannten isoelektrischen Punkt (IEP oder auch pI), sind bei Aminosäuren exakt gleich viele Säuregruppen negativ geladen, wie Aminogruppen positiv geladen sind. Am isoelektrischen Punkt wandern Aminosäuren im elektrischen Feld nicht mehr, da die Summenladung neutral ist.

Konvektion

Konvektion ist eine durch temperaturbedingte Dichteunterschiede angetriebene zyklische Strömung in Flüssigkeiten.

kovalente Bindungen

Die kovalente Bindung (oder auch Atombindung) ist eine chemische Bindung und als solche bei chemischen Stoffen für den festen Zusammenhalt von Atomen in Verbindungen verantwortlich.

Kutikula

Als Kutikula wird das Eioberhäutchen bezeichnet, welches das Ei vor schädlichem Bakterienbefall schützt.

Lipide

Lipide sind eine Sammelbezeichnung für Naturstoffe, die sich in ihrer chemischen Struktur teilweise erheblich unterscheiden, aber aufgrund ihrer geringen Polarität (das heisst die elektrische Ladung ist gleichmässig im Molekül verteilt) in Wasser unlöslich, in hydrophoben bzw. lipophilen (unpolaren) Lösungsmitteln wie Benzin, Benzol, Ether oder Chloroform hingegen gut löslich sind.

Lipoide

Bezeichnung für fettähnliche Substanzen, wie z.B. Lecithin, Wachse, Cholesterin und Naturstoffe.

Ovalbumin

Ovalbumin ist das wichtigste Protein im Hühnerei. (siehe Kapitel: Eiklar)

Peptid

Ein Peptid ist eine organische chemische Verbindung, die aus einer Verknüpfung mehrerer Aminosäuren hervorgegangen ist.

pH-Wert

Der pH-Wert ist ein Mass für die Stärke der sauren bzw. basischen Wirkung einer Lösung. Er ist definiert über den negativen Zehnerlogarithmus der Oxoniumionenkonzentration

$pH < 7$ entspricht einer sauren Lösung

$pH = 7$ entspricht einer neutralen Lösung

$pH > 7$ entspricht einer alkalischen Lösung

Primärstruktur

Die Primärstruktur bezeichnet die Kette aus Aminosäuren eines Moleküls.

Protein

Proteine, umgangssprachlich auch Eiweisse genannt, sind Makromoleküle, die aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff aufgebaut sind und auch andere Elemente wie Schwefel und Selen beinhalten können. Sie gehören zu den Grundbausteinen aller Zellen. (siehe Kapitel: Proteine)

Sekundärstruktur

Die Sekundärstruktur drückt die Raumstrukturen eines Moleküls aus.

Staudruck

Der Staudruck ist in inkompressiblen Strömungen die Druckdifferenz zum statischen Druck der freien Anströmung, wenn die Strömung verlustfrei zum Stillstand gebracht wird. Idealisiert geschieht dies im Staupunkt von Strömungshindernissen.

Steroidhormone

Steroidhormone sind eine von drei Stoffklassen der Hormone. Zu ihnen gehören die Sexualhormone der Keimdrüsen und die Corticoide der Nebennierenrinde. Da sie lipophil und hydrophob sind, gelangen sie durch erleichterte Diffusion durch die Zellmembran

ins Zellplasma. Dort binden sie an ihre entsprechenden Rezeptoren und können so ihre Wirkung entfalten.

Tertiärstruktur

Die Tertiärstruktur stabilisiert die Molekülknäueln durch Neben- und Hauptvalenzbindungen.

Van-der-Waals-Bindung

Die Van-der-Waals-Kraft ist eine im Vergleich zur Atombindung und Ionenbindung schwache Kraft. Sie tritt grundsätzlich immer auf, macht sich allerdings nur bei Abwesenheit der letztgenannten Kräfte bemerkbar. Ursachen der Van-der-Waals-Bindung:

Ein temporärer Dipol trifft auf ein Atom oder Molekül, das ebenfalls eine temporäre Ladungsverschiebung aufweist: die Atome ziehen sich an.

Ein temporärer Dipol trifft auf ein Atom / Molekül ohne Partiaalladung: Der Dipol induziert in den Nicht-Dipol ein dem seinen entgegengesetztes Dipolmoment, wodurch ebenfalls wieder eine Anziehungskraft zwischen beiden Atomen besteht.

Viskosität

Die Viskosität ist ein Mass für die Zähflüssigkeit eines Fluids.

Wasserstoffbrückenbindung

Wasserstoffbrücken entstehen, wenn zwei Moleküle oder zwei geeignet weit voneinander getrennte Abschnitte eines Makromoleküls über Wasserstoffatome (H) in Wechselwirkung treten. Dazu muss das H kovalent an ein stark elektronegatives Atom (z. B. N, O, F und in manchen Fällen auch Cl) gebunden sein, was dem H eine positive Partiaalladung und dem Bindungspartner des H eine negative Partiaalladung verschafft, weil das elektronegativere Atom eine starke Anziehungskraft auf das gemeinsame Elektronenpaar ausübt

10 Antworten

(Seite 8, Abschnitt 2.1)

1) 75 Hennen legen an einem Tag 45 Eier, welcher Legeleistung entspricht dies?

$$75 \cdot \frac{4}{3} = 100 \quad 45 \cdot \frac{4}{3} = 60 \Rightarrow \frac{60}{100} = 0.6$$

2) Ein Ei ist nach einigen Tagen verdorben. Was könnte die Ursache sein?

Wahrscheinlich wurde das Ei gewaschen und somit die Kutikula verletzt, dadurch konnten Bakterien durch die Eischale ins Eiinnere eindringen. -> Das Ei verdirbt.

(Seite 11, Abschnitt 2.2.1)

1) Weshalb sollte man rohe Eier mit Vorsicht geniessen?

Das rohe Eiklar enthält Avidin. Avidin bindet das wichtige Vitamin Biotin, welches bei Fehlen zu Haarausfall, neurologischen Störungen oder Dermatitis führen kann. Durch Erhitzen des Avidins denaturiert dieses, dadurch kann es keine Verbindung mehr mit dem Vitamin Biotin eingehen.

2) Wie viele Proteine sind im Eiklar zu finden?

Bisher sind acht Proteine bekannt, die sich im Eiklar finden lassen.

3) Wie nennt man eine Lösung, bei der man den Tyndall-Effekt beobachten kann?

Kolloide Lösung

(Seite 12, Abschnitt 3)

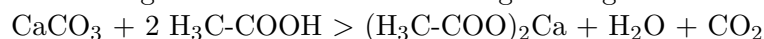
1) Welche speziellen Eigenschaften weist die simple Hühnereischale auf? Nenne drei Stichwörter.

Guter Schutz vor mechanischen Einwirkungen, Kalzium-Reservoir für den Aufbau des Embryonalskeletts, Poren für den Luftaustausch, Kutikula schützt vor Bakterienbefall.

(Seite 15, Abschnitt 3.1)

1) Warum entstehen bei der Reaktion von Kalk und Essigsäure Luftbläschen an der Eischale?

Die Lösung lässt sich in der Reaktionsgleichung erkennen:



Die entstandenen Luftbläschen sind nichts anderes als Kohlendioxid (CO₂).

(Seite 22, Abschnitt 4.4)

1) Was ist der isoelektrische Punkt eines Proteins?

Der Isoelektrische Punkt ist erreicht, wenn ein Molekül gleich viele positive wie negative Ladungen besitzt. Am isoelektrischen Punkt wandern Aminosäuren im elektrischen Feld

nicht mehr, da die Summenladung neutral ist. Liegt der pH darunter, nimmt die Dissoziation der Säuregruppe ab, und die Aminosäure trägt eine positive Summenladung. Liegt der pH darüber, nimmt die Dissoziation der Säure zu, und die Aminogruppe gibt das Wasserstoffion ab, das Molekül trägt eine negative Summenladung.

(Seite 24, Abschnitt 4.4.1)

1) Wie viele Aminosäuren gibt es?

Es gibt ca. 20 Aminosäuren

2) Welche Struktur beschreibt die Sequenz der Aminosäure-Bausteinen?

Primärstruktur.

3) Was versteht man unter einer hydrophoben Bindung?

Die hydrophobe Bindung entsteht durch Ansammlung von Wasser, so genannten Molekülschwärmen (Cluster).

4) Was passiert bei Zugabe einer Lauge zu Cu^{2+} -Ionen?

Es fällt hellblaues Kupfer(II)-hydroxid aus.

(Seite 27, Abschnitt 5.2)

1) Was verändert sich beim Erhitzen einer Substanz auf der molekularen Ebene?

Beim Erhitzen werden die Moleküle in eine schnellere Bewegung versetzt. Dadurch können diese zerfallen und sich eventuell neu gruppieren.

(Seite 28, Abschnitt 5.2)

1) Warum gibt es im Ei praktisch keine Konvektionsströme?

Bei der Konvektion ist der Dichteunterschied zwischen den verschiedenen temperierten Bestandteilen entscheidend. Beim Ei wird diese Konvektion jedoch durch die relativ zähflüssigen Bestandteile fast vollständig unterbunden.

(Seite 30, Abschnitt 5.2)

1) Erkläre den Denaturierungsprozess in einem Satz.

Der Prozess, der durch äussere Einflüsse hervorgerufene Veränderung der Proteinstruktur auslöst, das heisst der Sekundär-, Tertiär-, und Quartärstruktur, ohne eine Änderung der Primärstruktur, also der Reihenfolge der Aminosäuren, nennt man Denaturierung.

2) Weshalb denaturieren die Proteine des Eidotters erst bei einer höheren Temperatur, als diejenigen des Eiklars?

Beim Eigelb sind die Proteinmoleküle um winzige Öltröpfchen geschlungen und brauchen daher mehr Energie um sich von der Oberfläche zu lösen, als bei den Albuminmoleküle des Eiklars.

(Seite 35, Abschnitt 6.5)

1) Wovon hängt die Höhe des körpereigenen Cholesterinspiegels ab?

Beim Menschen wird Cholesterin zum Grossteil (90%) im Körper selbst hergestellt (synthetisiert), beim Erwachsenen in einer Menge von 1 bis 2 g/Tag, und nur zu einem

kleineren Teil mit der Nahrung aufgenommen, das heisst, dass die Nahrung bei gesunden Menschen nur einen sehr kleinen Einfluss auf den Cholesterinspiegel hat.

2) Welche Organe benötigen viel Cholesterin?

Gehirn, Nebennieren, Eierstöcke, Hoden

3) Nenne 3 Gründe warum ein Ei trotz des hohen Cholesteringehalts ohne schlechtes Gewissen verspeist werden kann?

1. Eier enthalten einen Stoff, der das Cholesterin bindet.
2. Grosse Studien zeigen, dass kein Zusammenhang zwischen Eikonsum und erhöhtem Herzinfarkttrisiko besteht.
3. Der gesunde Körper reguliert seinen Cholesterinspiegel ganz von allein.

(Seite 46, Abschnitt 8.3.1)

1) Warum ist bei einem Ei, welches 30 Minuten gekocht wurde, einen grünen Rand am Rande des Eidotters zu sehen, bei einem 5-10 Minuten Ei hingegen nicht oder einen sehr viel kleineren?

Das Eisen und der Schwefel sind im Ei in unterschiedlichen Proteinstrukturen vorhanden. Erst beim längeren Kochen werden diese Strukturen aufgelöst und damit Schwefelwasserstoff sowie Eisen freigesetzt.

2) Welche Beziehung gilt zwischen der Grösse eines Rohres und der Geschwindigkeit des durchfliessenden Fluids?

Die Geschwindigkeit eines durch ein Rohr strömenden Fluids zu einem sich verändernden Rohrquerschnitts verhält sich umgekehrt proportional.

3) Weshalb gibt es an der Eioberfläche einen Druckabfall?

An einer gewölbten Oberfläche bewegt sich eine Luftströmung schneller, dadurch fällt laut den Bernoulli Gesetzen der Druck ab.

(Seite 52, Abschnitt 10)

1) Welche Aminosäuren vom Eiklar können nitriert werden?

Phenylalanin und Tyrosin.

2) Welche Rolle haben die Wasserstoffbrückenbindungen bei diesem Experiment?

Die Struktur der Proteine wird vor allem durch Wasserstoff-Brückenbindungen stabilisiert. Durch die Änderung des pH-Wertes, in unserem Beispiel durch Zugabe der Salpetersäure, werden Carboxyl- und Aminogruppen in den Seitenketten protoniert, wobei Wasserstoffbrückenbindungen gelöst werden. Dadurch wird die Proteinstruktur aufgebrochen und das Protein fällt aus.

3) Welche Parallelen lassen sich zum menschlichen Magen ziehen?

Der salzsaure Magensaft besitzt einen pH-Wert von 0.9-1.5. Durch die Denaturierung wird die Proteinkette aufgefalteter und dadurch für die Verdauungsenzyme besser zugänglich?

Literaturverzeichnis

- [1] WIKIPEDIA: *Hühnerei* — *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*, 2006.
<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=HC3BChnerei&oldid=24600814>
- [2] BALTES, DR. WERNENR: *Baltes Lebensmittelchemie*. Springer Verlag, Berlin, New York, 1983.
- [3] WIKIPEDIA: *Protein* — *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*, 2006.
<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Protein&oldid=24765888>
- [4] FISHER, LEN: *Reise zum Mittelpunkt des Frühstückseis*. Campus Verlag, London, 2002.
- [5] KINDT, MICHAEL: *Kleine Hühnereikunde für Männer*.
<http://www.inform24.de/eierkunde.html>
- [6] WIKIPEDIA: *Cholesterin* — *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*, 2006.
<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Cholesterin&oldid=24542608>
- [7] *Chickscope*.
http://chickscope.beckman.uiuc.edu/explore/eggmath/wy/white_yolk.html
- [8] *Wikipedia*.
<http://www.wikipedia.org/>
- [9] *Chemie Studienseiten*. http://www.ch-4.de/16-20_tenside/Tyndall-Effekt.html
- [10] SCHÖNECKE.
http://www.schoenecke.de/Eier-Info/Ei_Aufbau.htm
- [11] *Fundus*.
<http://fundus.org>
- [12] WIKIPEDIA: *Denaturierung (Biologie)* — *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*, 2006.
http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Denaturierung_28Biologie29&oldid=24673141
- [13] *A. Schunk*, 2000.
<http://www.axel-schunk.net/experiment/edm0007.html>
- [14] GÜNTER VOLLMER, GUNTER JOSST, DIETER SCHENKER WOLFGANG STURM NORBERT VREDEN: *Lebensmittelführer*. Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1990.

- [15] TERNES, PROF. WALDEMAR: *Wissenschaft im Dialog*.
http://www.wissenschaft-im-dialog.de/faq_detail.php4?ID=268
- [16] WÜRZBURG, UNI: *Symmetrie*.
<http://www.didaktik.mathematik.uni-wuerzburg.de/mathei/symmetrie/guldin.html>
- [17] WIKIPEDIA: *Strömung nach Bernoulli und Venturi* — *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*, 2006.
http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=StrC3B6mung_nach_Bernoulli_und_Venturi&oldid=24622020