

FACHARBEIT

im Fach
Chemie

Thema: Chem. Charakterisierung von Block-, Vollmilch -und Zartbitterschokolade

Verfasserin: Christiane Ochs

Die Schokolade für die praktischen Versuche wurde freundlicherweise von der Firma Vivani zur Verfügung gestellt



Inhaltsverzeichnis

1. Schokolade - Bestandteil einer gesunden Ernährung?.....	3
2. Die Geschichte der Schokolade.....	4-6
2.1 Die Olmeken.....	4
2.2 Die Maya.....	4
2.3 Die Azteken.....	4
2.4 Die erste europäische Berührung mit Kakao.....	4
2.5 Die Entdeckung des Kakaos.....	5
2.6 Der Genuss von Kakao in Europa bis 1800.....	5
2.7 Technische Neuerungen.....	6
3. Von der Kakaopflanze bis zur fertigen Schokolade.....	7-10
3.1 Allgemeines zur Kakaopflanze.....	7
3.2 Pflanzenteile.....	7
3.3 Anbau.....	8
3.4 Ernte.....	8
3.5 Fermentation.....	9
3.6 Rösten.....	9
3.7 Herstellung der Kakaomasse.....	9
3.8 Vor -und Feinwalzen.....	10
3.9 Conchieren (Endveredelung).....	10
3.10 Kristallisation.....	10
3.11 Endfertigung.....	10
4. Versuche zum chem. Vergleich von Block-, Vollmilch -und Zartbitterschokolade.....	11-20
4.1 Fett -und Zuckerreif.....	11-12
4.2 Zuckernachweis mit Tollens-Reagenz.....	12-14
4.3 Fettgehalt einer Tafel Schokolade.....	14-16
4.4 Qualitative Eiweißbestimmung.....	16-19
4.5 "Brennengehalt" von Schokolade.....	19-20
5. Die Vielfalt von Schokolade.....	21
6. Literatur -und Quellenverzeichnis.....	22-23

1. Schokolade - Bestandteil einer gesunden Ernährung?

Auf diese häufig gestellte Frage soll im folgenden Abschnitt eine Antwort gefunden werden. Dazu werden erst einmal die Inhaltsstoffe von Schokolade und ihre Wirkung auf den menschlichen Körper näher betrachtet. Im Wesentlichen besteht diese aus Fett, Zucker und Eiweiß und hat somit einen enorm hohen Nährwert. Also liefert Schokolade viel Energie, die durch körperliche Ertüchtigung wieder verbraucht werden sollte. Denn eine übermäßige Energiezufuhr auf Dauer kann zu Übergewicht führen und beeinträchtigt somit die Gesundheit erheblich. Des Weiteren liefert Schokolade auch die für unseren Organismus wichtigen Mineralstoffe wie z.B. die Spurenelemente (nur in geringer Konzentration im Organismus enthalten) Eisen und Jod oder die Mengenelemente (hohe Konzentration im Körper) Magnesium und Kalium. Mineralstoffe sind anorganischer Natur und für unseren Körper unverzichtbar, denn die meist als Ionen vorliegenden Stoffe sind z.B. Bestandteil von Hormonen oder Erhalten den osmotischen Druck in Körperzellen aufrecht. Da sie essentiell sind, d.h. sie können nicht von unserem Körper synthetisiert werden, müssen sie über die Nahrung aufgenommen werden. Zudem sind in Schokolade einige stimulierende Substanzen enthalten. Aus der darin vorkommenden Aminosäure Tryptophan kann, begünstigt durch die Saccharose, das Hormon Serotonin gebildet werden, welches auch als "Glückshormon" bekannt ist und unserem Gehirn bei der Weiterleitung von Impulsen behilflich ist. Der Serotoninspiegel wird von den relativen Sonnenstunden pro Tag beeinflusst, was auch erklärt warum man vor allem in den kalten Jahreszeiten zu Schokolade greift. So einen ähnlichen Mechanismus besitzen auch Tiere, deren "innere Uhr" durch das Hormon Melatonin gesteuert wird. Auch eine Art Opiat ist in Schokolade enthalten, nämlich das Peptid Endorphin, das von unserem Körper selbst hergestellt wird und eine ähnliche Wirkung wie die Droge Opium besitzt. Es wirkt auf unseren Organismus schmerzhemmend und ruft ein angenehmes Gefühl in uns hervor. Die gleiche Wirkung besitzen auch Anandamid, das Derivat einer mehrfach ungesättigten Fettsäure, der Arachidonsäure, und Phenylethylamin. In ihrer Wirkweise beide dem Cannabis ähnlich, treten sie genau wie das Endorphin in so geringen Mengen auf, dass eine körperliche Abhängigkeit ausgeschlossen werden kann und keine Suchtgefahr wie bei den Drogen besteht. Schokolade enthält neben Serotonin und Phenylethylamin weitere Alkaloide, die Xanthine Koffein und Theobromin. Beide wirken auf unseren Organismus stimulierend und regen unseren Stoffwechsel an. Im Fall von Koffein kann dies so weit führen, dass es zu erhöhtem Blutdruck und somit zu Kreislaufproblemen und sogar Herzrasen kommen kann. Jedoch ist auch hier die Menge in Schokolade so geringfügig, dass keine Bedenken geäußert werden müssen. Die Substanz N-Phenylpropenoyl-L-aminosäureamid, auch CocoHeal genannt, wurde erst vor kurzem in der Universität Münster erforscht. Es wurde nachgewiesen, dass es wunder Haut zu einer schnelleren Regeneration verhilft und das Risiko von Magengeschwüren herabsetzt. Auch die Polyphenole (Gerbstoffe) wirken sich positiv auf die Gesundheit der Haut aus, speziell das Flavanol. Des Weiteren verhindern sie Fettablagerungen an den Arterien und wirken als Antioxidand zum Schutz vor freien Radikalen, die die Körperzellen schädigen. Da in Schokolade über 600 Bestandteile enthalten sind, die bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht hinreichend erforscht wurden, können auch nur Vermutungen über Schokolade und ihre Auswirkungen auf unsere Gesundheit angestellt werden. Doch bisweilen kann man davon ausgehen, dass der Genuss von Schokolade keine negativen Folgen mit sich zieht, solange man dies in angemessenen Umfang vollzieht und an keinen Erkrankungen wie Diabetes oder Atherosklerose leidet. [6.2.1; 6.2.7; 6.2.8; 6.2.29 - 6.2.31]

2. Die Geschichte der Schokolade

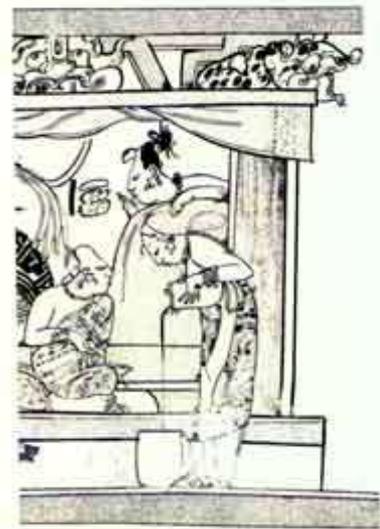
2.1 Die Olmeken

Wissenschaftler vermuten, dass die Olmeken das erste Volk waren, das den Kakao als Nutzpflanze für sich entdeckte und einen Trunk daraus herstellte. Denn Sprachforscher konnten das Wort 'cacao' bis auf die Sprache Mixe-Zoque zurückführen, derer sich die Olmeken bedienten und in der 'cacao' 'kakawa' ausgesprochen wird. Schon etwa 1000 v. Chr. siedelten sich die Olmeken am Golf von Mexiko in Mittelamerika an, von wo aus sich Teile ihrer Sprache in Richtung Südamerika ausbreiteten und der Kakao in andere Kulturen eindrang. [6.2.9]

2.2 Die Maya

Über die Maya und ihre Art Kakao zu konsumieren ist weitaus mehr bekannt als es dies bei den Olmeken der Fall ist. Archäologische Funde wie z.B. Schriften oder Wandmalereien zeigen, dass Kakao als Getränk kredenzt wurde. Dieses war adeligen Männern vorbehalten und hatte einen bitteren Geschmack, der teilweise noch durch Gewürze wie Chilipfeffer verstärkt wurde. Besonders großer Beliebtheit erfreute sich eine Schaumkrone auf dem Getränk, die durch Hin -und Herschöpfen in Gefäße erreicht wurde. Jedoch wurden die Kakobohnen auch pulverisiert und fungierten dann als Gewürz. Zulässig war auch der Kakao als Zahlungsmittel, wobei Betrüger durch Bearbeitung der Bohnen, z.B. durch Färbung, versuchten, eine edle Sorte

Abb.
1: Hin -und Herschöpfen
vorzutäuschen. [6.2.10]



des Kakaos

2.2 Die Azteken

Die Funktionen des Kakaos als Genuss -und Zahlungsmittel wurden bei den Azteken weitergeführt und sogar noch vertieft. Mittlerweile wurde das daraus hergestellte Getränk kalt serviert und 'xocolatl' (bitteres Wasser) genannt. Innerhalb des Volkes hatte Kakao eine so enorme Bedeutung errungen, dass die Azteken Eroberungszüge bestritten, um genügend davon vorrätig zu haben, da sie keine eigenen Plantagen besaßen. Auch in Ritualen oder religiösem Treiben spielte Kakao eine wichtige Rolle. [6.2.4; 6.2.11]

2.3 Die erste europäische Berührung mit Kakao

Als Christopher Columbus im Jahre 1502 seine vierte Reise nach Amerika unternahm, stieß er in Honduras an der Küste von Guanaja auf ein Kanu der Maya, das mit Kakao-bohnen beladen war. Er befahl seiner Mannschaft das Kanu zu überfallen und war im höchsten Maße darüber verwundert, dass die Maya den Bohnen so viel Beachtung schenkten und sie wieder einsammelten. Da er auf Grund von Verständigungsproblemen den Wert von Kakao nie zu schätzen wusste, blieb ihm und vorerst auch Europa der Genuss verwehrt. [6.2.4; 6.2.12]

2.4 Die Entdeckung des Kakaos

In den Jahren von 1517 bis 1519 gerieten Mittel- und Südamerika immer mehr in die Fänge der spanischen Eroberer, an deren Spitze nun Hernán Cortés stand. Ihr Sieg über die Einheimischen wurde 1521 vollzogen und die Spanier entdeckten allmählich die Kakaobohne als Zahlungsmittel, weswegen sie auch Interesse am Anbau äußerten und sich so "Geldplantagen"^[1] anlegten. Des Weiteren wurde intensiver Kulturaustausch betrieben indem Maya oder Azteken sich mit Spaniern vermählten. So wurde auch das Wort 'cacauatl' der spanischen Sprache angepasst und hieß ab sofort 'cacao'. Zudem konnten sich die Eroberer allmählich mit dem Kakaogetränk anfreunden, dessen bitteren Geschmack sie durch einige Gewürze oder zuletzt Zucker verdrängten. Sie bevorzugten es auch, Kakao warm zu sich zu nehmen, wie es bei den Maya üblich war. [6.2.4; 6.2.13]



Abb.2: Hernán Cortés

2.5 Der Genuss von Kakao in Europa bis 1800

1528 ließ Hernán Cortés zum ersten Mal Kakaobohnen nach Spanien überführen, von wo aus sich diese über Jahre hin in ganz Europa verbreiteten. Am spanischen Hof war das gesüßte Kakaogetränk anstelle von Wasser mit Milch aufgeschäumt worden und erfreute sich v.a. zu der Zeit des Fastens bei den Adligen größter Beliebtheit, da es Abwechslung bot. Jedoch kamen Diskussionen zustande, in denen man versuchte zu klären, ob die Schokolade nun als Getränk oder eher als Nahrungsmittel anzusehen war. Denn im zweiten Fall hätte das einen Bruch des Fastens dargestellt. Auch in Italien wurde das Dilemma intensiv behandelt, da v.a. hier die katholische Kirche ihren Sitz hatte. Letztendlich wurde von mehreren Päpsten entschieden, dass der Genuss von Kakao auch in der Fastenzeit unbedenklich sei, da es sich um ein Getränk handle. In Italien wurde die Rezeptur noch zunehmend verfeinert, um möglichst liebliche Aromen zu kreieren. Diese wurden auch in Frankreich am königlichen Hof besonders geschätzt, zu dem der Kakao etwa um 1615 durch Beziehungen innerhalb von Klöstern und den europäischen Königsfamilien gelangt war. Ein paar Jahre später, ca. 1650, fand sich der Kakao auch in England wieder. Hier wurde die Rezeptur so simpel wie möglich gehalten, da das Getränk hauptsächlich in Kaffeehäusern verkauft wurde und somit für jede Schicht zum Verkauf offen stand. Im 17. Jhdt. gelangten auch die Niederlande zu einem großen Kakaomonopol und liefen Spanien den Rang ab. Die Beliebtheitswelle schwappete von hier aus nach Deutschland über, wo neben Holland die ersten Schokoladenfabriken im europäischen Raum erbaut wurden. Auch in Deutschland war es nur der Bourgeoisie vergönnt in den Genuss zu kommen, da der Preis von Kakao durch Abgaben und Zölle in die Höhe getrieben wurde. Neben den Dichtern Goethe und Schiller, war auch Friedrich der Große ein bekennender Freund der süßen Versuchung. [6.1.2; 6.2.5; 6.2.14 - 6.2.19]

[1] <http://www.schokolade-historisch.de/azteken.html>

2.6 Technische Neuerungen

Zum Ende des 18. Jhdts. hin wurde in Bristol eine Watt'sche Dampfmaschine von der englischen Firma Fry&Sons entwickelt, um Kakobohnen zu mahlen, welcher Vorgang vorher manuell per Mörser ausgeführt wurde. 1828 folgten zwei Erfindungen des Holländers Christian van Houten, der die Methodik der hydraulischen Presse entwickelte, um Kakaopulver mit möglichst geringem Fettanteil herzustellen, das durch anschließende Behandlung mit Alkalisalzen einen milderer Geschmack erhielt. In der Schweiz wurde von Philippe Suchard zum ersten Mal ein Mélangeur (Mixer) benutzt, um die Grundmasse für die Schokolade, nämlich Zucker und Kakaomasse, miteinander zu vermengen. Diese Technik wurde von Fry&Sons 1847 perfektioniert und die erste Tafelschokolade entstand. Im Jahr 1875 konnte der Schweizer Daniel Peter die Entwicklung von Henri Nestlé, der erstmals kondensierte Milch in Form von Pulver herstellte, für die Schokoladenherstellung nutzen und kreierte eine neue Sorte, die Milkschokolade. 1879 folgte noch die Conche von Rodolphe Lindt, dessen Verfahren noch heute ein wichtiger Produktionsschritt in der Schokoladenherstellung ist und auf den im Punkt 3.9 genauer eingegangen wird. Einhergehend mit der Industrialisierung und der Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Schokoladenproduktion, entstanden hierfür 1850 die ersten Lebensmittelgesetze, da sich des öfteren Kartoffelstärke, Erbsenmehl und sogar Materialien wie Eisen oder Gummi in Schokolade befanden. [6.1.2; 6.2.6; 6.2.20 - 6.2.22]



Abb.3. Conche



Abb.4: Plakat (van Houten)



Abb.5: Werbeschild (Suchard)

3. Von der Kakaopflanzung bis zur fertigen Schokolade

3.1 Allgemeines zur Kakaopflanze

Der Name des Kakaobaumes *Theobroma cacao* L. leitet sich aus dem Griechischen von den Wörtern „theós“ (≡ Gott) und „brōma“ (≡ Speise) ab und bedeutet »Speise der Götter«. Für das „L.“ stand der schwedische Wissenschaftler Linné (*1707; †1778) Pate, der dieser Pflanze ihren Namen verlieh und sich im Allgemeinen mit der biologischen Systematik beschäftigte. *Theobroma cacao* L. ist eine von 22 Arten der Gattung *Theobroma*. Diese gehört der Familie der Malvaceae (Malvengewächse)- früher Sterculiaceae (Sterkuliengewächse)- oder genauer der Unterfamilie Byttnerioideae (Kakao-Geschwister) an. Des Weiteren lässt sich der Kakaobaum in verschiedene Sorten einteilen. Die zwei für die Kakaoerzeugung wichtigsten sind Criollo (span.: einheimisch) und Forastero (span.: fremd). Die erstere wird zu den so genannten »Edelsorten« ("Flavour Beans") gezählt, da sie durch ihre hocharomatischen Bohnen besticht. Jedoch ist ihr Ertrag relativ gering. Diese Tatsache wird durch ihre niedrige Schädlingsresistenz und ihre Empfindlichkeit gegenüber klimatischen Einflüssen bestärkt. Relativ gegenteilige Eigenschaften weist die Sorte Forastero auf. Gegenüber Fremdeinwirkungen ist sie ziemlich widerstandsfähig und sie liefert regelmäßig eine hohe Ausbeute, weswegen sie die »Konsumsorte« ("Commercial Beans") schlechthin ist. Diese beiden Hauptsorten lassen sich beliebig kreuzen, wie die relativ junge Sorte Trinitario zeigt. Ihr Name leitet sich von der Insel Trinidad ab, auf welcher der ursprünglich angebaute Criollo, der durch Epidemien geschädigt wurde, mit Forastero wieder aufgeforstet wurde. Der Trinitario weist eine gute Kombination aus aromatisch und robust auf, beteiligt sich aber wie der Criollo nur gering am Weltmarkt. [6.1.1; 6.2.23; 6.2.24]

3.2 Pflanzenteile

Der wildwachsende Baum trägt immergrüne Blätter. In einem durchaus jahrelang andauernden Prozess bilden sich die in Büscheln stehenden, kleinen Blüten. Diese sind aus fünf roséfarbigen Kelch –und wiederum fünf Blütenblättern mit weiß-gelblicher oder roter Färbung aufgebaut. Der Kakaobaum selbst kann eine Höhe von 10-15 m erreichen. Auf Plantagen beträgt diese nur 2-4 m um die Ernte zu erleichtern. Die gurkenförmige Frucht, die aus botanischer Sicht als Beere gilt, entwickelt ihre grüne Färbung bei der Reifung zu gelb, gelbrot oder sogar tiefrot. Ihre Länge kann, bei einer Dicke von 7-10 cm, von 10-25 cm reichen. Unter der 10-15 mm starken Schale befindet sich ein schleimiges Fruchtfleisch (-mus), das auch Pulpa genannt wird und 10% Fructose und Glucose enthält. Darin sind circa 25-50 Samen (Bohnen) eingebettet von oval-abgeplatteter Form mit einer Länge von etwa 2 cm und Dicke von 1 cm. Ihre Färbung reicht von weiß über hell –bzw. graubraun bis zu braunviolett oder tiefem violett. Die Bohne verbirgt unter einer spröden Schale einen Embryo mit zwei dicken Keimblättern (Nibs) und dem 5 mm langen, 1 mm dicken Keimwurzeln. [6.1.1; 6.2.23]



Abb.6: Früchte am Stamm



Abb.7: Blüten des Kakaobaumes

3.3 Anbau

Die Herkunft des Kakaobaumes findet sich im nördlichen Südamerika wieder und sein Anbau erstreckt sich heutzutage über Länder, deren Entfernung vom Äquator nicht mehr als 15 Breitengrade beträgt. Hier befinden sich die wärmsten und regenreichsten Tropen mit einer mittleren Jahrestemperatur von 24 bis 28 °C. Denn als Tropenpflanze bedarf es dem *Theobroma cacao* L. an heißem Klima mit extremer Luftfeuchtigkeit. Jedoch gedeiht er nicht, wenn man ihn Sonne und Wind aussetzt. Weshalb blattreiche Schattenpflanzen als Nachbarn sehr von Vorteil sind. Auch ein Boden erster Güte begünstigt sein Wachstum, das bis zu einer Anbauhöhe von 600 m stattfinden kann. [6.1.1]

3.4 Ernte

Die Ernte kann das ganze Jahr über stattfinden, jedoch wird die Einrichtung einer Haupt- und Nebenernte bevorzugt. Im Sommer sind diese ertragreicher und von qualitativ höherem Standard als im Winter, da, wie oben bereits erwähnt, *Theobroma cacao* L. kalte Luft scheut. Sein Maximum an Ausbeute erreicht ein Kakaobaum erst im Alter von 20-30, da er frühestens ab seinem 5. Jahr zum ersten Mal abgeerntet werden kann. Ab ungefähr dem 40. Jahr stellt sich eine Erschöpfung ein. Die etwa 20-50 Früchte eines Baumes bringen circa alle 6-9 Monate eine Ausbeute von bis zu 3 kg fermentierter und getrockneter Bohnen, wenn sich eine volle Ertragsfähigkeit eingestellt hat. Bedeutend für die daraus hergestellten Produkte und ihr Aroma ist es, die Früchte im richtigen, also im vollreifen Zustand zu ernten. Auch entscheidend ist es, die Früchte vorsichtig vom Baum zu trennen, was meistens mit einer Machete vollzogen wird, um eine Beschädigung der Samen zu vermeiden. [6.1.1]

3.5 Fermentation

Nach der Ernte werden diese, noch in der Pulpa eingebettet, vor dem Trocknen einer Fermentation unterzogen, wobei sich der typische Kakaogeschmack bildet. Bei diesem Vorgang werden die Bohnen inklusive des Fruchtmuses meistens in speziell angefertigte Kästen oder Körbe gegeben, in denen sie variabel nach der Sorte 2-8 Tage verweilen. Durch Umsetzen wird dem Ganzen Sauerstoff zugeführt, der die Temperatur schnell auf 45-50 °C ansteigen lässt, was den Samen ihre Keimfähigkeit nichtig macht. Bei der sauren Reaktion der Fermentation wird der Zucker der Pulpa in Alkohol umgesetzt, der anschließend enzymatisch durch Bakterien oder Hefen in organische Säuren umgewandelt wird und als Gärstoff abfließt. So verändert sich die Bohne in Aroma, Farbe und Geschmack, der durch die Kakaobutter (ein Lipid), die löslichen Purine (hier: Theobromin und Coffein) und die organischen Säuren (hier: Essigsäure, eine Carbonsäure) zustande kommt. Neben diesen Stoffen enthält die fermentierte Kakaobohne auch noch Wasser, Polyhydroxyphenole (Gerbstoffe), Rohprotein, Mono -und Oligosaccharide, Stärke, Cellulose, Pentosane (Hemicellulose; Bestandteil der Zellwand pflanzlicher Zellen) und Asche. [6.1.1]

3.6 Rösten

Nun sind die Bohnen bereit, an Betriebe überzugehen. Dort werden sie zuerst von verschiedenen Apparaturen gereinigt, die Fremdstoffe wie Schmutz, Sand und kleine Steine entfernen. Nach Größen sortiert, können die Kakaobohnen thermischer Behandlung unterzogen werden, bei der die Farbe und das Aroma noch einmal intensiviert werden. Weitere Effekte sind das leichtere Ablösen der Schale, die Vernichtung von schädlichen Mikroorganismen, die Entsäuerung (Abbau der Essigsäure), die Entgasung (Oxidation der Gerbstoffe) und das Herabsenken des Feuchtigkeitsgehalts auf etwa 2%. Dieses Verfahren kann auf vier unterschiedliche Weisen vollzogen werden: Infrarot (Mikronisieren), Darren, Trocknen und Rösten. Wobei letzteres am häufigsten durchgeführt wird. Bei dieser trockenen Hitzebehandlung werden die Bohnen durch eine offene Gasflamme einer Temperatur zwischen 120 und 150 °C ausgesetzt und abhängig von Größe und Sorte in einem Zeitraum von 20 bis 30 Min. geröstet. Um höchstmögliche Ausbeute zu erhalten und Beschädigungen der Bohnen zu vermeiden, sind strengste Einhaltung des Verfahrens erforderlich und eine anschließende Kühlung unerlässlich. [6.1.1; 6.1.3]

3.7 Herstellung der Kakaomasse

In speziellen Maschinen werden Schale und Nibs entfernt. Besonders ist darauf zu achten, dass hierbei extrem gründlich verfahren wird um Staub -und Keimbildung zu vermeiden. So können 80 bis 84% der gereinigten Bohnen sichergestellt werden. Im Anschluss kann aus diesen durch Vor -und Feinvermahlung die Kakaomasse produziert werden. Durch das Reiben werden die Zellen zerstört, in denen sich die Kakaobutter befindet, die nun abfließen kann und die Überbleibsel der Zellen umhüllt. So entsteht eine homogene, zähflüssige Suspension (\equiv Kakaomasse). Um daraus Schokolade herstellen zu können, werden der Masse noch Kakaobutter und Kristallzucker (bei Bioschokoladen Roh-Rohrzucker) zugeführt. Je nach Sorte können noch weitere Zutaten, wie z.B. Milchkpulver bei Vollmilchschokolade, folgen. [6.1.1; 6.1.3]

3.8 Vor -und Feinwalzen

Nach dem Mischen wird das Ganze solange durchgeknetet bis eine einheitliche, formbare Masse entsteht. Durch die Prozesse des Vor- und Feinwalzens wird die Partikelgröße auf ungefähr 35µm reduziert, denn der Feinheitsgrad ist für die Qualität und den Schmelz der fertigen Schokolade von großer Bedeutung. Mittlerweile beläuft sich der Fettgehalt auf einen Wert, der zwischen 23 und 28% anzusiedeln ist. Da die Partikel sich jedoch noch nicht vollständig miteinander arrangiert haben, ist der gewünschte Geschmack noch nicht vorhanden und die trockene Masse befindet sich in einem pulverähnlichen Zustand. [6.1.1]

3.9 Conchieren (Endveredelung)

Somit steht noch ein wichtiges Prozedere bevor, das Conchieren. Hierbei wird in muschelförmigen Behältnissen, den Conchen (span.: Muschel); durch eine Reibungswärme von durchschnittlich 80°C, die gleichzeitig den Feuchtigkeitsgehalt auf unter 1% reduziert, eine flüssige Konsistenz erreicht. Zudem werden flüchtige Aromen "(Ethanal, Aceton, Diacetyl, Methanol, Ethanol, i-Propanol, i-Butanol, i-Pentanol, Essigsäureethylester)"^[2] verdrängt und die feinen Bestandteile sind durch die Kakaobutter in eine Art Fettfilm eingebettet. Nach der ca. 12-36 Stunden andauernden Prozedur wird die Temperatur der Schokoladenmasse auf etwa 50 °C herabgekühlt. [6.1.1]

3.10 Kristallisation

In weiteren Temperieranlagen sinkt bei stetigem Rühren diese noch einmal kurzzeitig auf 18 °C um anschließend wieder auf etwa 30 °C erhöht zu werden. Dieser Vorgang stellt die sog. Kristallisation dar, wobei "[e]ntscheidend ist, da[ss] sich (...) [hierbei] möglichst viele und möglichst kleine Fettkristalle mit möglichst hohem Schmelzpunkt bilden, da sich dann beim anschließenden Abkühlen der Schmelzmasse ein homogenes, feinkristallines, wärmostabiles Fettgefüge mit guten Schmelzeigenschaften und schönem Oberflächenglanz bildet."^[3] [6.1.1]

3.11 Endfertigung

Nach diesem Produktionsschritt kann die Schokolade in vorgewärmte Formen gegossen werden, die zumeist aus Metall oder Kunststoff gefertigt sind. Damit sich in der Schokolade keine Bläschen bilden, wird dieser durch starkes Rütteln die Luft entzogen. Bevor die Schokolade nun verpackt und aus der Fabrik exportiert werden kann, muss sie zuerst noch einige Kühlbahnen passieren, die die Temperatur schrittweise auf 10 °C herabsetzen, bis die fertige Schokolade selbstständig ihrer Form entweicht. [6.1.1]

^[2] Belitz, H.-D.; Grosch, W. : Lehrbuch der Lebensmittel, Springer Verlag 1982, S. 731, Spalte 2, Z. 1ff

^[3] Belitz, H.-D.; Grosch, W. : Lehrbuch der Lebensmittel, Springer Verlag 1982, S. 731, Spalte 2, Z. 32-39

4. Versuche zum chem. Vergleich von Block-, Vollmilch -und Zartbitterschokolade

4.1 Fett -und Zuckerreif

4.1.1 Durchführung

In einem ca. 60 °C heißen Wasserbad wird eine gewisse Menge Schokolade, die von der Größe des Gefäßes abhängt, erwärmt. Wenn diese dann geschmolzen und in einen flüssigen Zustand übergegangen ist, wird durch Schwenken des Behältnisses eine homogene Verteilung darin bezweckt. Um den Vorgang des Erhärtens der Schokolade zu beschleunigen und damit schneller einen Effekt zu erzielen, kann zusätzlich noch ein Kühlschrank hinzugezogen werden. [nach 6.2.27]

4.1.2 Beobachtung

Sobald die Schokolade wieder ihren festen Zustand erreicht hat, sind eine gleichmäßige Braunfärbung und der typische Oberflächenglanz zu erkennen. Diese charakteristischen Merkmale werden jedoch nach einem gewissen Zeitraum von einem weißen Belag verdrängt, der von Laien als Schimmel ausgelegt wird. Dabei handelt es sich aber lediglich um Zucker -und Fettkristalle, weswegen das Phänomen auch Fett -und Zuckerreif (engl. fat-bloom/sugar-bloom) genannt wird.

Beim Vergleich der beiden Arten der Vollmilchschokolade mit denen der Zartbitterschokolade lässt sich feststellen, dass der Fett -und Zuckerreif extrem bei ersteren auftritt und diese komplett überzieht. Diese Beobachtung tritt bei den Zartbittersorten nur gering ein. Zusätzlich besteht noch ein Unterschied zwischen der Vollmilchblock – und Tafelschokolade, wenn man den Fettreif betrachtet. Dieser ist bei der Tafelschokolade stärker ausgeprägt.



Abb.8: Blockschokolade (Vollmilch)



Abb.9: Tafelschokolade (Vollmilch)



Abb.10: Blockschokolade (Zartbitter)



Abb.11: Tafelschokolade (Zartbitter)

4.1.3 Erklärung

Durch zu hohe Temperaturen, etwa im Bereich von 30°C wie z.B. bei zu warmer Aufbewahrung, oder zu starken Schwankungen der Lagertemperaturen, können die in der

Schokolade enthaltenen Fette rekristallisieren und es bildet sich ein sog. Fetteis. Dieser kann auch dadurch entstehen, dass sich das Fett aus Ingredienzien wie z.B. Nüssen oder auch aus Füllungen an die Oberfläche verflüchtigt.

Auch beim Zuckeris spielt die Temperatur eine erhebliche Rolle, denn dieser entsteht durch einen kalt-warm Klimaschock. Kommt es zu eben genannter Temperaturveränderung, findet auf Grund hoher Luftfeuchtigkeit eine Kondensation an der Schokoladenoberfläche statt. Dadurch löst sich der Zucker und kristallisiert wieder aus, sobald das Wasser verdampft ist. Somit erhält die Schokolade eine unebenmäßige Struktur.

(Hier siehe: 1.4 Zutaten) Der deutliche Unterschied beim Fett –und Zuckeris von den Vollmilchsorten gegenüber Zartbitter ist darauf zurückzuführen, dass die dunklen Sorten auf Grund ihres hohen Kakaoanteils sowohl weniger Zucker als auch weniger Kakaobutter enthalten. Zudem bestehen Vollmilchschokoladen, wie der Name schon vermuten lässt, aus einem bestimmten Anteil von Milch, die ebenfalls wie auch die Kakaobutter Fett enthält. Die Vollmilchtafelchokolade weist einen stärkeren Fetteis im Gegensatz zu der dazugehörigen Blockschokolade auf, da diese noch zusätzlich Sahne – und Magermilchpulver enthält, in dem auch Fett ein Bestandteil ist.

4.1.4 Zutaten

→ Blockschokolade

- Vollmilch: Roh-Rohrzucker, Kakaobutter, Vollmilchpulver, Kakaomasse, Emulgator (Lezithine), Bourbon Vanille
mindestens Kakao: 34%
Milchbestandteile: 18%
- Zartbitter: Kakaomasse, Roh-Rohrzucker, Kakaobutter
mindestens Kakao: 70%

→ Tafelchokolade

- Vollmilch: Roh-Rohrzucker, Kakaobutter, Vollmilchpulver, Kakaomasse, Sahnepulver, Magermilchpulver, Bourbon Vanille
mindestens Kakao: 32%
Milchbestandteile: 26%
- Zartbitter: Kakaomasse, Roh-Rohrzucker, Kakaobutter
mindestens Kakao: 72%

4.2 Zuckernachweis mit Tollens-Reagenz

4.2.1 Durchführung

Für die Herstellung des Tollens-Reagenz werden 10g Natriumhydroxid und 1g festes Silbernitrat mit jeweils 10ml Wasser versetzt, wobei letztere Lösung unbedingt in einem lichtundurchlässigen Gefäß aufzubewahren ist, um eine vorzeitige Reaktion zu vermeiden. Sobald das Reagenz benötigt wird, werden die beiden Lösungen zu gleichen Teilen miteinander vermischt. Zusätzlich wird noch so lange Ammoniak hinzugegeben, bis das ausfallende Silberoxid wieder gelöst ist.

Die zu testenden Substanzen (Zuckerhaltiges/-freies Kakaopulver, Traubenzucker) werden in Wasser gelöst und anschließend in gereinigte Behältnisse filtriert.

Für den Nachweis wird ein Wasserbad angesetzt, in dem die Proben für kurze Zeit erhitzt werden, nachdem ihnen ein paar Tropfen Tollens-Reagenz zugeführt wurde. [nach 6.2.25]

4.2.2 Beobachtung

Bei der Synthese des Tollens-Reagenz bildet sich ein braun-gräulicher Niederschlag, der eintritt, sobald zu der Silbernitratlösung die 10%ige Natronlauge gegeben wird, und löst sich wieder bei Zugabe von Ammoniak.

Bei dem Kakaopulver mit Zucker ist sehr deutlich und wie zu erwarten ein dunkelbrauner Niederschlag zu erkennen. Jedoch das Kakaopulver, das keinen Zucker enthält, zeigt keine Farbveränderung und ist somit auch keine Reaktion eingegangen. Einzig und allein der Traubenzucker weist den für diesen Nachweis typischen 'Silberspiegel' auf.

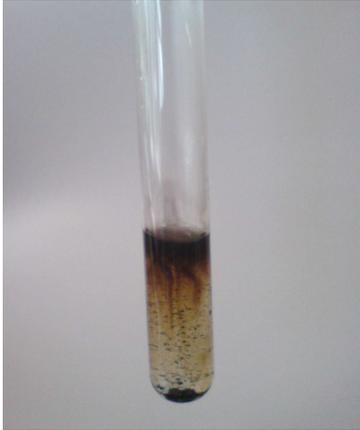


Abb.12:
Kakaopulver mit Zucker



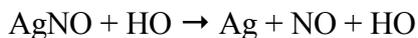
Abb.13:
Kakaopulver ohne Zucker



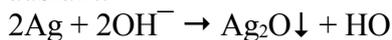
Abb.14:
Traubenzucker

4.2.3 Erklärung

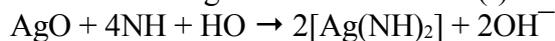
a) Das Silbernitrat wird von den Wassermolekülen in seine Ionen aufgespalten:



b) Die Silberionen reagieren zusammen mit den Hydroxidionen der Lauge zu Silberoxid, das eine schwerlösliche Substanz ist und somit als Niederschlag ausfällt:

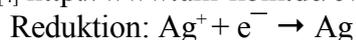


c) Ammoniak ist jedoch in der Lage diesen aufzulösen und aus der Reaktion mit dem Silberoxid geht ein Diamminsilber(I)-komplex hervor:

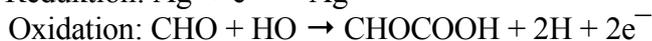


d) "Mit dem so hergestellten Tollens-Reagenz können reduzierende Substanzen oxidiert werden. Hier wird Glucose zu Gluconsäure oxidiert. Silber(I)-Ionen werden zu elementarem Silber reduziert." [4]

[4] <http://www.uni-köln.de/ew-fak/Chemie/schokomaterialien/v1.pdf>



1*2



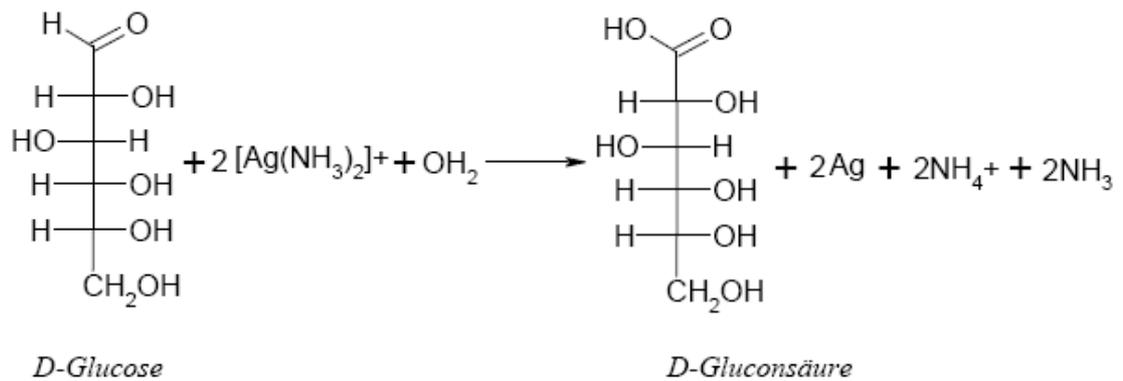


Abb.15: Redoxreaktion

4.3 Fettgehalt einer Tafel Schokolade



Abb.16: Destillationsapparatur

4.3.1 Durchführung/Beobachtung

Durch ein Wasserbad werden 5g Schokolade, nach Möglichkeit gerieben, in 100ml Heptan zum Lösen gebracht und im Anschluss in ein Gefäß filtriert. Währenddessen kann das Gewicht eines leeren Kolbens ermittelt werden um später den genauen Fettgehalt bestimmen zu können. Zusammen mit einigen Siedesteinen kann die Lösung nun in den Rundkolben einer Destillationsapparatur übergeführt werden. Sobald das Heptan

seinen Siedepunkt erreicht hat, der bei 98,4 °C (1013hPa) liegt, kondensiert dieses und fließt in einen zweiten Kolben ab. Nach etwa einer viertel Stunde ist dieser Vorgang beendet und einzig das Fett zurückgeblieben, das nach dem Abkühlen ausgewogen werden kann. [nach 6.1.2]



Abb.17: Rundkolben mit Fett



Abb.18: Rundkolben mit Fett von oben

4.3.2 Auswertung

- 1.Rechnung:
$$\frac{\text{Gewicht von Rundkolben mit Fett} - \text{Gewicht vom leeren Rundkolben}}{\text{Fettgehalt in 5g Schokolade}}$$
- 2. Rechnung: Das Ergebnis der 1.Rechnung mit 20 multiplizieren um den Fettgehalt einer ganzen Tafel Schokolade (100g) zu erhalten

4.3.3 Ergebnis

(leerer Rundkolben: 47,73g)

	Rundkolben mit Fett	Fettgehalt pro 5g	Fettgehalt pro 100g
Tafelschokolade: Vollmilch	49,19g	1,46g	29,2g
Tafelschokolade: Zartbitter	49,12g	1,39g	27,8g
Blockschokolade: Vollmilch	48,85g	1,12g	22,4g
Blockschokolade: Zartbitter	48,81g	1,08g	21,6g

Vergleich mit Ergebnissen aus PdN-Ch. 6/46. Jg. 1997:

Untersuchte Schokolade	Fettgehalt in g/100g
Vollmilchschokolade	28,61
Zartbitterschokolade	27,26
Blockschokolade	21,68
Weißer Schokolade	27,91

Die erste Tabelle zeigt im Vergleich zur zweiten leicht höhere Werte an. Ein Grund dafür könnte sein, dass unterschiedliche Schokolade verwendet wurde, denn der Fettgehalt kann je nach Hersteller variieren. Zudem könnte es daran liegen, dass bei den Versuchen zur ersten Tabelle das Lösungsmittel nicht zu 100% kondensiert ist und ein geringerer Restteil noch im Fett zurückgeblieben ist.

4.4 Qualitative Eiweißbestimmung

4.4.1 Durchführung

Die Testsubstanz ist eine Suspension aus 60ml heißem Wasser, in das etwa 10g so fein wie möglich gehackte Schokolade gegeben wurde. Da sich diese nicht vollkommen löst, wird der Rückstand herausfiltriert. Nun ist das Gemisch soweit, dass an ihm die folgenden Nachweisreaktionen durchgeführt werden können.

In der Biuret-Probe wird die Lösung zuerst mit Natronlauge versehen, da diese Reaktion nur im Alkalischen ablaufen kann. Anschließend werden noch einige Tropfen verdünnter Kupfer(II)-sulfatlösung zugeführt.

Die endotherme Ninhydrin-Probe erfordert das Erhitzen des Filtrats, mit etwas Ninhydrin versetzt, über einem Bunsenbrenner. [nach 6.1.2; 6.2.2; 6.2.3; 6.2.28]

4.4.2 Beobachtung

Bei der positiven Biuret-Probe bildet sich ein hellblauer Niederschlag und die Lösung zeigt eine tiefblaue bis violette Färbung:



Abb. 19

Reihenfolge von links nach rechts:

- a) Tafelschokolade Vollmilch
- b) Tafelschokolade Zartbitter
- c) Blockschokolade Vollmilch
- d) Blockschokolade Zartbitter

Die positive Ninhydrin-Probe brodeln beim Erhitzen und färbt sich violett:

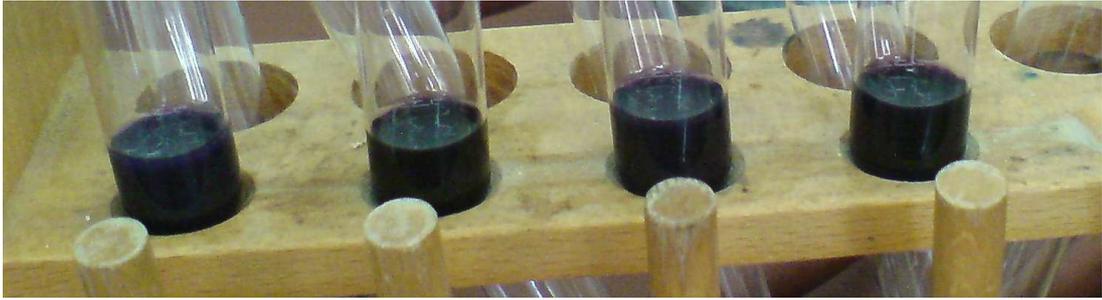


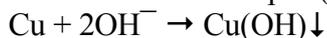
Abb.20 (Dieselbe Reihenfolge wie bei der Biuret-Probe)

4.4.3 Erklärung

In beiden Reaktionen wurde nachgewiesen, dass Schokolade Eiweiße bzw. Polypeptide enthält, die aus Aminosäuren aufgebaut sind. "Während luftgetrocknete Kakaokerne etwa 11,5% Eiweiß enthalten, liegt dieser Wert in milchfreien Schokoladen zwischen 3,5 und 7,1%, in milchhaltigen Schokoladen zwischen 6,6 und 11,6%." [5]

Deswegen ist bei der Biuret-Probe zwischen den Sorten a)+c) und b)+d) ein deutlicher Farbunterschied zu erkennen. Die hellere Färbung der Vollmilchsorten lässt auf ihren höheren Eiweißgehalt schließen. Auch bei der Ninhydrin-Probe ist dies festzustellen, wenn auch nur schwer erkennbar.

Der hellblaue Niederschlag bei der Biuret-Probe ist schwerlösliches Kupferhydroxid, das sich aus dem Kupfer(II)-sulfat und der Natronlauge gebildet hat:



Weitere Hydroxidionen entziehen den Stickstoffatomen des Polypeptids jeweils ein Wasserstoffatom. So entsteht Wasser und die negative Ladung des Peptides:

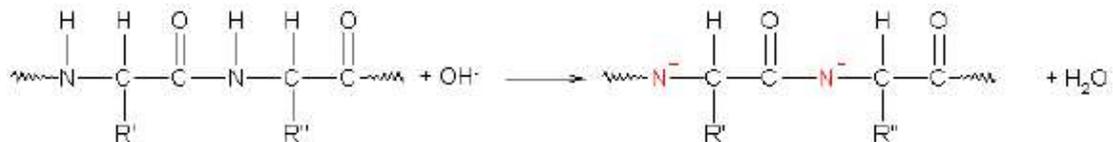


Abb.21

Die negativ geladenen Stickstoffatome verbinden sich mit den Kupferionen zu einem zweifach negativ geladenen Protein-Kupfer(II)-Komplex:

siehe S. 16, Abb.19

[5] Bader, H.J.; Flint, A. : Frankfurter Beiträge zur Didaktik der Chemie Band 1
Zeitgemäßer Chemieunterricht-Schokolade-PVC, Verlag
Harri Deutsch, 1. Auflage, 1998. S. 65, Z.10-14

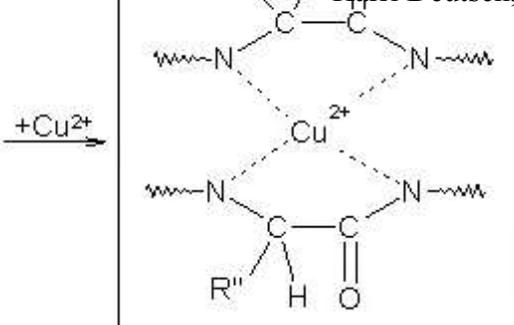


Abb.22

Die Ninhydrin-Probe ist eine Nachweisreaktion für Aminosäuren, deren charakteristische Färbung nach ihrem Entdecker auch "Ruhemannsches Purpur" genannt wird. Sowohl bei Aminosäuren als auch bei Ninhydrin treten Gleichgewichtsreaktionen auf. Bei Ninhydrin kann eine solche nur existieren, wenn es Wasser aufnimmt, das in diesem Fall aus dem Filtrat stammt:

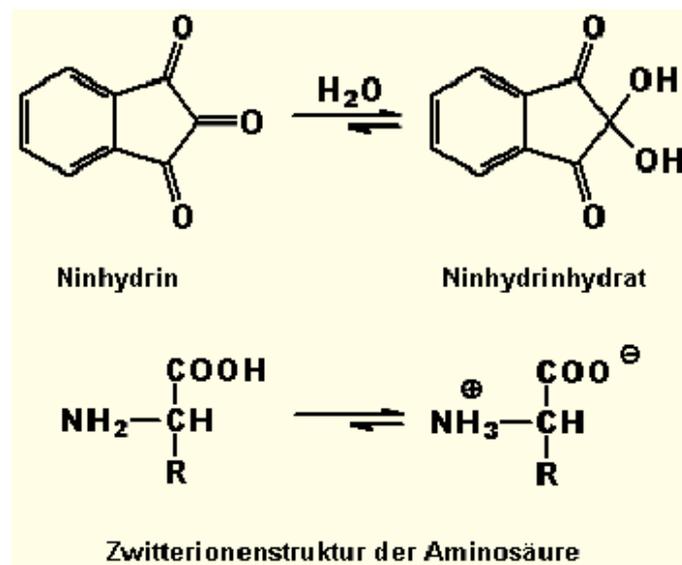


Abb.

23

Die weitere Reaktion beider Moleküle miteinander ist in zwei Schritte untergliedert:

- a) Nach der Wasserabspaltung des Ninhydrinhydrat, kann dieses unter Decarboxylierung der Aminosäure zu einem Aminoketon reagieren:

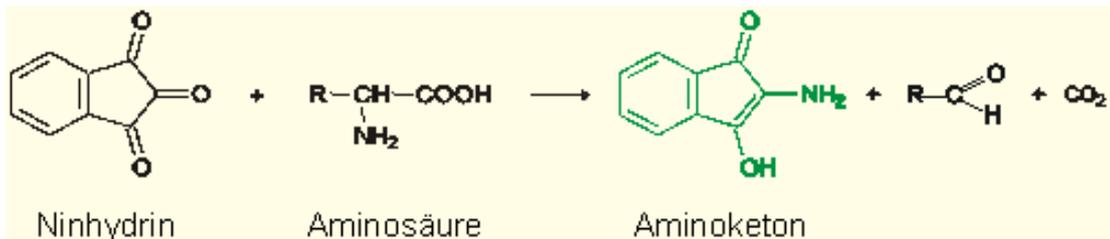


Abb.24



Abb.25: Erhitzen

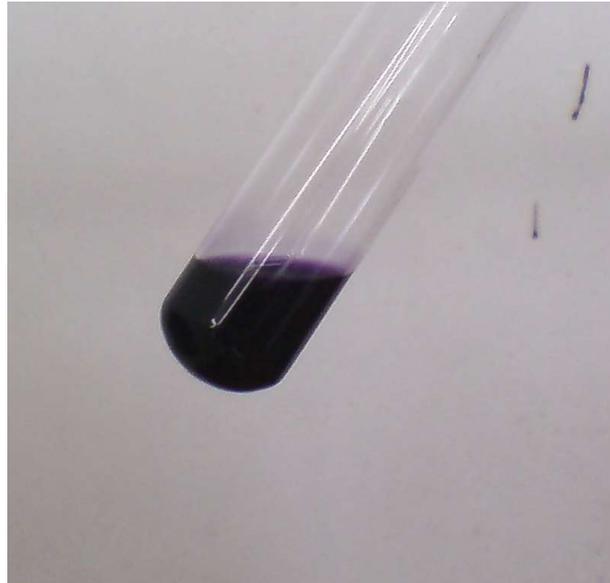


Abb.26: "Ruhemannsches Purpur"

- b) Die Temperatur der Reaktion wird durch Erhitzen erhöht, um diese zeitlich zu beschleunigen und eine Wasserabspaltung (siehe a)) zu erreichen (\rightarrow Wasser verdunstet). Durch ein weiteres Ninhydrinmolekül und eine Reaktion dessen mit einem Aminoketon, entsteht letztendlich ein blauvioletter Farbstoff:

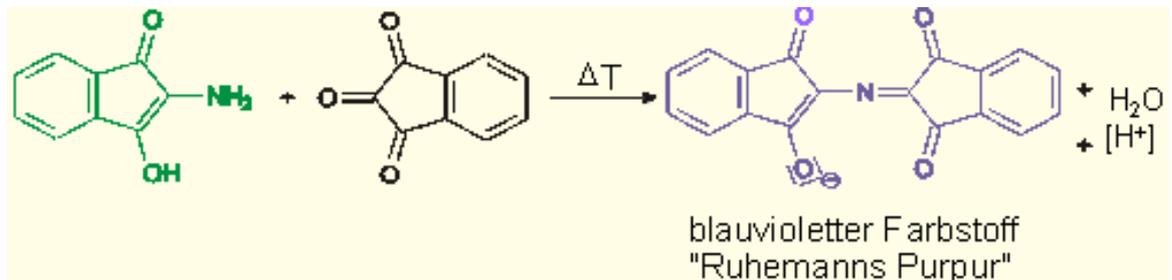


Abb.27

4.5 "Brennwert" von Schokolade

4.5.1 Erläuterung

Die Hauptbestandteile von Schokolade beschränken sich im Wesentlichen auf die Energielieferanten für den menschlichen Körper schlechthin: Fette, Kohlenstoffhydrate (Zucker), Eiweiße. Diese wurden auch in den vorherigen Versuchen hinreichend nachgewiesen. Im Körper werden sie mit Hilfe von Enzymen in einfachere Moleküle gespalten, wobei Energie in Form von Wärme frei wird, die für uns Menschen unerlässlich ist um gewisse Prozesse wie z.B. Bewegung, durchführen zu können. Auf Lebensmitteln wird diese Energie in 'kcal' angegeben, von denen Schokolade je nach Sorte an die 500 bis 600 aufweisen kann. Im Vergleich dazu benötigt der menschliche Körper an die 2000kcal, abhängig von Alter, Größe und Gewicht. Man kann also erkennen, dass Schokolade soviel Energie liefert, die auch dazu reicht ein Spiegelei zu braten. Wie das funktioniert, wird im folgenden Versuch geklärt.

4.5.2 Durchführung/Beobachtung

Wichtig ist es für dieses Experiment vorgekühlte Schokolade zu benutzen, auf der sich bereits Fettreif gebildet hat, denn nur so kann diese auch angezündet werden. Dies wird solange betrieben, bis die Schokolade leicht angekokelt ist. Damit sie jedoch noch fest genug ist, sollte man dies nur vorsichtig am Rand geschehen lassen. Im Anschluss wird die Schokolade noch einmal in den Kühlschrank verfrachtet, damit sie wieder in ihren ursprünglichen Aggregatzustand übergehen und sich der Fettreif noch stärker ausbilden kann.

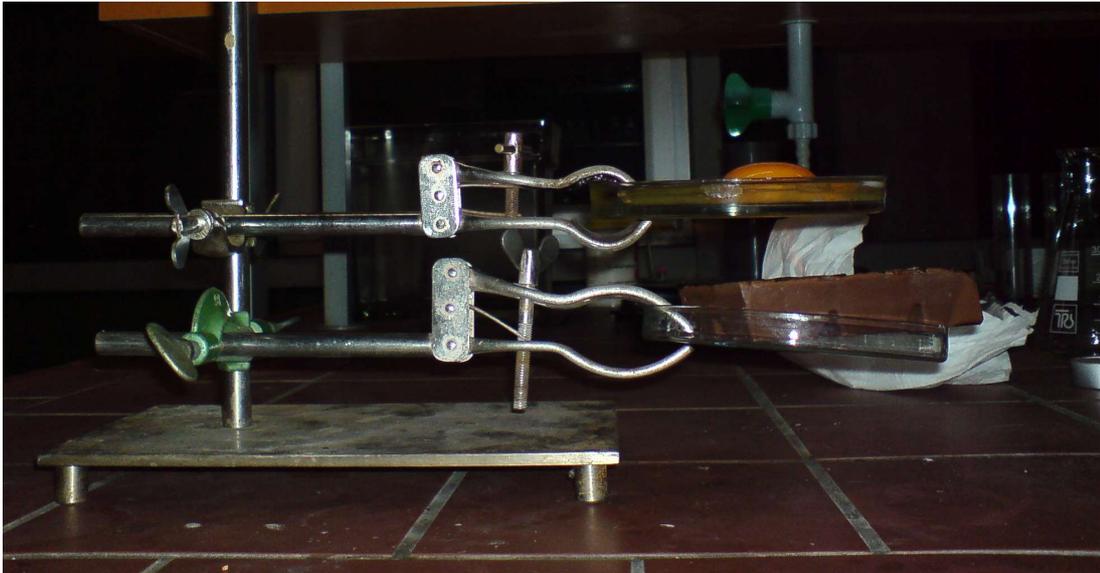


Abb.28: Stativ mit zwei eingespannten Uhrgläsern

Folgende Apparatur, wie sie in Abbildung zu sehen ist, kann nun aufgebaut werden. Zwei Uhrgläser werden mit geringem Abstand zueinander in ein Stativ eingeklemmt. In das obere wird etwas Öl gegeben und ein Ei darin aufgeschlagen. Sobald die Schokolade ihren gewünschten Zustand erreicht hat, kann sie in das untere Uhrglas gelegt und entzündet werden. Wenn dies gelungen ist, brennt die Schokolade zumindest solange bis das Ei zu einem Spiegelei gebraten wurde. [nach 6.2.26]



Abb.30: Ei halb durchgebraten



Abb.32: fertiges Spiegelei

5. Die Vielfalt von Schokolade

Die obigen Versuche zeigen nur zwei Beispiele von Schokoladensorten, die heutzutage in einer ungeheuren Vielfalt auftreten. Mittlerweile tendieren die Schokoladenhersteller zu einem hohen Kakaoanteil, da dies für die Gesundheit förderlich ist und Kalorien einspart. Desweiteren entsteht eine immer größere Palette an Füllungen, die von Alkohol über Cremes bis hin zu Nüssen reichen können. Nicht außer Acht zu lassen ist auch die ursprüngliche Variante des Kakaos, nämlich als Getränk. Jedoch geht der Gebrauch von Schokolade weit darüber hinaus. Inzwischen ist sie auch in unseren Hauptspeisen zu finden, ob als Schokonudeln oder auch als Soße, die gern in Kombination mit Chili gereicht wird, wie es schon Brauch bei den Maya war. Somit ist Schokolade zu einem mittlerweile unverzichtbaren Lebensmittel geworden, das sich in Deutschland größter Beliebtheit erfreut.

6. Literatur -und Quellenverzeichnis

6.1 Literatur

6.1.1 Belitz, H.-D.; Grosch, W. : Lehrbuch der Lebensmittel, Springer Verlag 1982

6.1.2 Bader, H.J.; Flint, A. : Frankfurter Beiträge zur Didaktik der Chemie Band 1
Zeitgemäßer Chemieunterricht-Schokolade-PVC, Verlag
Harri Deutsch, 1. Auflage, 1998

6.1.3 Pflugmacher, A. : Süßwaren-Schule Teil 1 Schokolade, Zentralfachschule der
Deutschen Süßwarenwirtschaft, Esto Ingenieurbüro

6.2 Quellen aus dem Internet

6.2.1 http://www.br-online.de/umwelt-gesundheit/sprechstunde/200212/st20021203_2.shtml

6.2.2 <http://www.netexperimente.de/netexperimente/index.php?c=chemie§ion=098>

6.2.3 <http://www.old.uni-bayreuth.de/departments/ddchemie/umat/ninhydrin/ninhydrin.htm>

6.2.4 <http://www.schokolade-historisch.de/azteken.html>

6.2.5 <http://www.schokolade-historisch.de/neuewelt.html>

6.2.6 <http://www.schokolade-historisch.de/getraenk.html>

6.2.7 <http://www.theobroma-cacao.de/gesund/gesund.htm>

6.2.8 <http://www.theobroma-cacao.de/gesund/polyphenole.htm>

6.2.9 <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/altamerika/olmeken.htm>

6.2.10 <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/altamerika/maya.htm>

6.2.11 <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/altamerika/azteken.htm>

6.2.12 <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/altamerika/entdeckung.htm>

6.2.13 <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/altamerika/eroberung.htm>

6.2.14 <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/alteuropa/nachspanien.htm>

6.2.15 <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/alteuropa/ganzeuropa.htm>

6.2.16 <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/alteuropa/ganzeuropateil2.htm>

- 6.2.17 <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/alteuropa/ganzeuropateil3.htm>
- 6.2.18 <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/alteuropa/kirche-medizin.htm>
- 6.2.19 <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/alteuropa/debis1800.htm>
- 6.2.20 <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/europanach1850/revolution.htm>
- 6.2.21 <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/europanach1850/neuerezepte.htm>
- 6.2.22 <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/europanach1850/lebensmittelgesetze.htm>
- 6.2.23 <http://www.theobroma-cacao.de/pflanze/pflanze.htm>
- 6.2.24 <http://www.theobroma-cacao.de/pflanze/trinitario.htm>
- 6.2.25 <http://www.uni-köln.de/ew-fak/Chemie/schokomaterialien/v1.pdf>
- 6.2.26 <http://www.uni-köln.de/ew-fak/Chemie/schokomaterialien/v2.pdf>
- 6.2.27 <http://www.uni-köln.de/ew-fak/Chemie/schokomaterialien/v5.pdf>
- 6.2.28 <http://www.versuchschemie.de/ptopic,111777.html>
- 6.2.29 <http://de.wikipedia.org/wiki/Schokolade>
- 6.2.30 <http://de.wikipedia.org/wiki/Mineralstoffe>
- 6.2.31 <http://de.wikipedia.org/wiki/Alkaloid>

6.3 Abbildungen

- 6.3.1 Abb.1: <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/altamerika/maya.htm>
- 6.3.2 Abb.2: <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/altamerika/eroberung.htm>
- 6.3.3 Abb.3: <http://www.theobroma-cacao.de/personen/lindt.htm>
- 6.3.4 Abb.4: <http://www.theobroma-cacao.de/personen/houten.htm>
- 6.3.5 Abb.5: <http://www.theobroma-cacao.de/geschich/europanach1850/revolution.htm>
- 6.3.6 Abb.6+7: <http://www.theobroma-cacao.de/pflanze/pflteile.htm>
- 6.3.7 Abb.15: <http://www.uni-köln.de/ew-fak/Chemie/schokomaterialien/v1.pdf> ; S.4
- 6.3.8 Abb.21+22: <http://www.versuchschemie.de/ptopic,111777.html>
- 6.3.9 Abb.23+24+27: <http://www.old.uni-bayreuth.de/departments/ddchemie/umat/>

[ninhydrin/ninhydrin.htm](#)