

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorwort	1
2.	Einführung	1
2.1	Fett- und Ölherstellung gestern und heute	1
2.2	Geschichte der Seifenherstellung	2
3.	Hauptteil	3
3.1	<i>Experimenteller Teil</i>	3
3.1.1	Ölextraktion aus Walnüssen	3
3.1.2	Herstellung einer Seife aus Walnussöl	5
3.2	<i>Theoretischer Teil</i>	5
3.2.1	Prinzip der Extraktion und Soxhlet-Apparatur	6
3.2.2	Die Stoffklasse der Fette	7
3.2.3	Reaktionsmechanismus der Verseifung / Seifenherstellung	7
3.2.4	Struktur der Seifen	9
3.2.5	Die Reinigungswirkung der Seifen	10
3.2.6	Nachteile der Seifen beim Waschen von Textilien	13
3.2.7	Die heutige Bedeutung der Seifen	14
3.2.8	Wichtige Verbesserungen durch moderne Waschmittel	15
4.	Schlussüberlegungen	17
5.	Anhang	18
6.	Literatur- und Quellenverzeichnis	20
6.1	Bücher	20
6.2	Zeitschriften	20
6.3	Internetquellen	20
6.4	Sonstige Quellen	21
6.5	Abbildungsverzeichnis	22
7.	Versicherung der selbstständigen Erarbeitung	23
8.	Veröffentlichungseinverständnis	23
9.	Internetausdrucke	24

1. Vorwort

Die vorliegende Facharbeit zum Thema „Von der Ölextraktion zur Seife“ handelt von einer Stoffklasse, die allen von uns sehr gut bekannt ist: die Seifen. Der Chemiker meint, wenn er von „den Seifen“ spricht, allerdings nicht das herkömmliche „Stück Seife“ zum Waschen, sondern die Stoffklasse der Seifen. Diese Stoffklasse ist sehr wichtig, da sie die am längsten bekannte Gruppe der waschaktiven Substanzen, der so genannten Tenside, darstellt, auf deren Prinzip auch alle modernen Wasch- und Reinigungsmittel beruhen. Deshalb ist es sehr interessant, sich die Waschwirkung der Seifen zu verdeutlichen, wenn man die Funktionsweise der täglich von uns genutzten Tenside, wie z.B. Waschmittel, Duschgel oder Zahnpasta, verstehen möchte.

Diese Arbeit ist in verschiedene Teile gegliedert. Den Anfang macht die Einleitung, welche einen kurzen geschichtlichen Überblick über die Öl- und Fettherstellung, sowie die Seifenproduktion bietet. Daran schließt sich der experimentelle Teil an, in dem die Versuche beschrieben werden, die ich zu dem Thema durchführte. Nun folgt der theoretische Teil, in dem die Struktur der Fette und Seifen, die Waschwirkung der Seifen und deren Nachteile, sowie kurz einige Verbesserungen des Waschprozesses durch moderne Waschmittel erläutert werden. Am Ende der Arbeit befinden sich einige knappe Schlussüberlegungen, in denen die wesentlichen Ergebnisse der Arbeit reflektiert werden.

2. Einführung

2.1 Fett- und Ölherstellung gestern und heute

Fette und Öle gehören zu den wichtigsten Stoffen der Chemie, der Industrie und des Alltags. Zum Einen ist der Rohstoff Fett für Lebewesen zur langfristigen Energiespeicherung im Körper sehr wichtig. Zum Anderen werden Fette und Öle in der Industrie und im Alltag gebraucht. So benutzt und benutzte man diese Stoffe als Brennstoff, Schmiermittel oder als Grundlage zur Seifenherstellung.

In der Antike hat man Fette zum größten Teil aus tierischem Material gewonnen. So kannte man unter anderem bereits Hammeltalg oder Schweineschmalz. Diese Fettsorten wurden durch Ausdünsten aus verschiedenen Tieren gewonnen. Auch die Herstellung von Butter ist schon seit dem frühen Mittelalter bekannt. Die Butterherstellung war bis ins 19. Jahrhundert sehr mühsam. Man musste dazu Fässer mit entrahmter Milch so lange stampfen, bis Butter entstand. 1877 wurde schließlich die Zentrifuge entwickelt und die Butterherstellung dadurch erleichtert.

Besonders im Mittelmeerraum ist die Gewinnung von Öl aus Pflanzensamen schon seit vielen Jahrhunderten bekannt. Das ist vor allem durch das Vorkommen von ölhaltigen Pflanzen, wie z.B. der Olive, im mediterranen Raum bedingt. Früher gewann man das

Öl durch Pressen aus den Früchten solcher ölhaltigen Pflanzen. Dazu wurden Schraubenpressen mit schweren Steinen benutzt. Solches Öl wird sogar schon in der Bibel erwähnt¹.

Durch die aufkommende Seefahrt im 15. Jahrhundert wurden neue ölhaltige Pflanzen nach Europa gebracht. So konnte man zur Zeit des Imperialismus² auch Pflanzen wie die Sojabohnen, Erdnüsse oder Walnüsse kultivieren und daraus Öl gewinnen.

Heute werden Fette und Öle auf verschiedene Arten hergestellt. Pflanzliche Fette und Öle werden durch Auspressen oder Extraktion³ gewonnen. Tierische Fette stellt man aus dem Fettgewebe von Tieren oder im Falle von Butter aus Milch her. In der Industrie werden heute kaum noch tierische oder pflanzliche Fette eingesetzt. Die meisten Schmier- und Brennstoffe werden in der heutigen Zeit vielmehr aus Erdöl gewonnen.

2.2 Geschichte der Seifenherstellung

Die Tradition der Seifenherstellung ist lang. Es sind Schriften von den Sumerern⁴ überliefert, die die Herstellung von seifenähnlichen Substanzen aus Asche und verschiedenen Fetten beschreiben. Auch den Ägyptern, Germanen und Römern waren diese Techniken bekannt. In der Antike wurde Seife aber nur als Luxusartikel für kosmetische Zwecke benutzt (siehe auch Abb. 13 im Anhang).

In der Zeit der Industriellen Revolution im 18. und 19. Jahrhundert bekamen die Menschen durch Fortschritte in der Wissenschaft ein neues Hygienebewusstsein. Man forschte zum ersten Mal an Bakterienkulturen und erkannte, dass ein regelmäßiges Waschen vor Krankheiten schützen kann. Somit stieg die Nachfrage an Seife in dieser Zeit rasant an.

Durch neue Methoden zur Herstellung von Soda (Natriumcarbonat, Na_2CO_3) wurde dieses zu einem preiswerten Rohstoff und ersetzte bald die Asche bei der Seifenherstellung. Welche Prozesse sich bei der Seifenherstellung überhaupt abspielen, war bis zum 19. Jahrhundert nicht bekannt. Die reinigende Wirkung von Seife wurde also eher durch Zufall herausgefunden. Das so genannte Seifensieden war damals eine regelrechte Kunst. Erst der Franzose Chevreul⁵ begann zu Beginn des 19. Jahrhunderts mit der systematischen Erforschung des Verseifungsprozesses.

¹ siehe z.B. Exodus 29, 2 oder Lukas 16, 6

² Bezeichnung für das Zeitalter der aufkommenden Kolonialisierung ab dem 15. Jh.

³ von lat. *extrahere* = herausziehen; Trennung von Stoffen durch Herauslösen einer Substanz in einem Lösungsmittel; meist mit anschließender Abdestillation des Lösungsmittels; vgl. hierzu auch Kap. 3.2.1

⁴ antike Hochkultur in Mesopotamien (heutiger Irak), ca. 4.000 bis 2.500 v.Chr.

⁵ Michel Eugène Chevreul (1786 - 1889), frz. Chemiker

Am Anfang des 20. Jahrhunderts wurde die Seife auch zunehmend zur Reinigung von Textilien eingesetzt. Doch die Benutzung von Seife hat beim Waschen einige Nachteile. Diese wurden nach und nach durch die Entwicklung neuer Waschmittel ausgemerzt. Heute stellt die Seifen- und Waschmittelindustrie einen wichtigen Wirtschaftszweig in Deutschland dar.

3. Hauptteil

3.1 Experimenteller Teil

In diesem Teil der Facharbeit werden die Experimente vorgestellt, die ich zu dem Thema „Von der Ölextraktion zur Seife“ durchgeführt habe und deren Ergebnisse dargelegt. Im wesentlichen führte ich zwei Versuche durch: Zum einen eine Extraktion von Nussöl aus Walnüssen und zum anderen die Weiterverarbeitung des selbst extrahierten Öles zu einer Seife. Nach der Ölextraktion wurde zusätzlich noch der Fettgehalt der eingesetzten Walnüsse bestimmt.

Zur Darstellung der Versuche wird das übliche Versuchsprotokoll, unterteilt in Materialien, Aufbau, Durchführung und Ergebnis, verwendet. Der Punkt „Beobachtung“ spielt meiner Meinung nach keine wichtige Rolle, da es sich bei den Experimenten nur um reine Synthesen handelte.

3.1.1 Ölextraktion aus Walnüssen⁶

Material:

Soxhlet-Apparatur mit Extraktionshülse, Rückflusskühler, Rundkolben (500 ml), passende Heizhaube, Destillationsapparatur, Siedesteinchen, Walnüsse, Petroleumbenzin (Siedebereich 40 – 60° C), Glaswolle, Stativmaterial, Waage, Mörser mit Stößel

Aufbau:

Siehe Abb. 2 auf Seite 6

Durchführung:

Zuerst wird der leere Rundkolben gewogen und das Gewicht notiert. Dann fügt man 200 ml Petroleumbenzin und ein Siedesteinchen in den Kolben ein.

Nun werden einige Walnüsse geöffnet und die essbaren Kerne in einem Mörser zerkleinert. Von den zerkleinerten Nüssen wiegt man 20 g ab und gibt sie in die Extraktionshülse. Diese wird mit Glaswolle verschlossen und in die Soxhlet-Apparatur eingefügt.

Jetzt kann der mit Petroleumbenzin gefüllte Kolben in die Heizhaube gestellt werden. Die Soxhlet-Apparatur wird auf den Kolben aufgesetzt. Auf die Soxhlet-Apparatur

⁶ Versuchsvorschrift von der Kopiervorlage „Bestimmung des Fettgehaltes in Lebensmitteln“, Ernst Klett Verlag Stuttgart 1999

wiederum setzt man einen Rückflusskühler. Nachdem ein Kühlwasserfluss hergestellt wurde, kann die Heizhaube bis zum Sieden des Petroleumbenzins auf die höchste Stufe geschaltet werden. Nach Erreichen des Siedepunktes schaltet man eine mittlere Stufe ein. Nach ca. 30 bis 60 Minuten kann der Extraktionsvorgang beendet werden.

Nachdem sich der Kolben abgekühlt hat, wird er in eine Destillationsapparatur mit Liebigkühler eingefügt und das Lösungsmittel abdestilliert. Zurück bleibt das reine Öl. Anschließend wird der Kolben mit dem Öl nochmals gewogen. Von dem Ergebnis wird das Leergewicht des Kolbens subtrahiert und man erhält die Masse des gewonnenen Öles.

Ergebnisse:

Ergebnis dieses Versuches ist reines Walnussöl. Aus 20 g eingesetzten Walnüssen entstand 11,02 g Öl. Der Fettgehalt der Walnüsse berechnet sich also so:

$$\text{Fettgehalt in \%} = \frac{\text{Gewicht der eingesetzten Walnüsse}}{\text{Gewicht des entstandenen Öles}} \cdot 100$$
$$\text{Fettgehalt} = \frac{20\text{g}}{11,02\text{g}} \cdot 100 = 55,1\%$$

Die eingesetzten Walnüsse hatten also einen Fettgehalt von 55,1%. Dieser Wert stimmt unter Berücksichtigung von Messungenauigkeiten relativ gut mit dem angegebenen Wert auf der Verpackung der Walnüsse überein. Dort war ein Fettgehalt von 62,5% deklariert.⁷

⁷ bei dem Versuch wurden Walnüsse der Sorte „Seeburger Walnüsse Jumbo“ verwandt

3.1.2 Herstellung einer Seife aus Walnussöl⁸

Material:

Rundkolben (500 ml), passende Heizhaube, Rückflusskühler, Becherglas (100 ml), Siedesteinchen, Schutzbrille, Walnussöl, Natriumhydroxid (NaOH), Brennspritus, Natriumchlorid (NaCl), Stativmaterial, Waage

Aufbau:

siehe Abb. 1 auf der rechten Seite

Durchführung:

Ingesamt ergab die Ölextraktion 11 ml Walnussöl. Daraufhin werden nun alle Werte in der Versuchsbeschreibung auf diese Ölmenge umgerechnet.

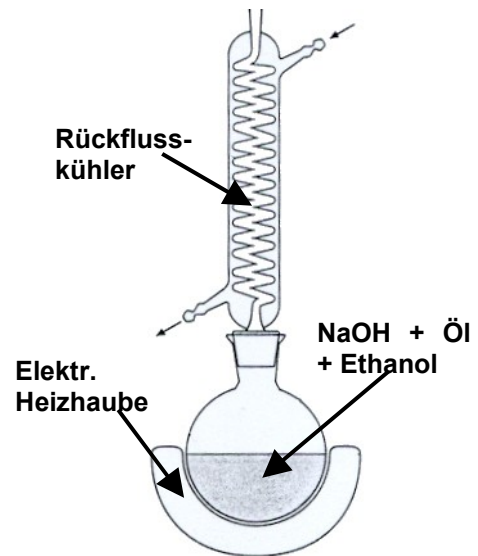


Abb. 1: Seifenherstellung

Zuerst wiegt man 3,66 g Natriumhydroxid ab und löst es mit 11 ml Wasser im Rundkolben auf. Danach werden das Öl, 7,3 ml Brennspritus und ein paar Siedesteinchen hinzu gegeben. Der Rundkolben wird dann in die Heizhaube gestellt und mit dem Rückflusskühler versehen. Nach Herstellung eines Kühlwasserstroms lässt man das Gemenge im Kolben ca. 20 Minuten leicht sieden, danach erhitzt man weitere 15 Minuten bei schwacher Wärmezufuhr knapp unter dem Siedepunkt. Anschließend kann die Heizhaube abgeschaltet werden.

Hat sich das Reaktionsgemisch abgekühlt, wird es in das Becherglas gegeben. Dazu gibt man noch 7,3 g Natriumchlorid und löst es durch Umrühren auf. Das Becherglas lässt man nun einige Tage stehen und beobachtet.

Ergebnis:

Es hat sich Seife gebildet, die nach und nach eine feste Konsistenz annimmt. Für diese Überführung der Seife in die feste Phase ist das hinzu gegebene Natriumchlorid verantwortlich. Das Stück Seife lässt sich nach Belieben formen.

3.2 Theoretischer Teil

Im theoretischen Teil dieser Arbeit werden die theoretischen Grundlagen zum Thema Fette und Seifen behandelt. Dabei wird zuerst, basierend auf dem praktischen Teil, die Extraktion und die dazu verwendete Soxhlet-Apparatur beschrieben. Daran schließt sich ein Kapitel über die Stoffklasse der Fette an. Nun schließlich folgt der Themenbereich Seife mit der Verseifungsreaktion, der Struktur der Seifen, dem

⁸ Versuchsvorschrift aus „Praxis der Naturwissenschaften Chemie: Umweltrelevante Themen für Arbeitsgemeinschaften“, Heft 3/44 April 1995, Aulis Verlag Köln, S. 7 - 11

Waschprozess der Seifen, sowie deren Nachteile und deren heutige Bedeutung. Zum Schluss folgt noch ein kurzer Überblick über die wichtigsten Verbesserungen des Waschprozesses durch moderne Waschmittel.

3.2.1 Prinzip der Extraktion und Soxhlet-Apparatur

Um das Prinzip der Extraktion⁹ zu verdeutlichen, möchte ich mit folgendem Zitat beginnen:

„Die Überführung einer Substanz aus einer Phase, in der sie gelöst oder suspendiert ist, in eine andere flüssige Phase wird Extraktion genannt. (...) Als Extraktionsmittel können z.B. Ether, Chloroform, Essigester, Petrolether aber auch alle anderen organischen flüssigen Lösungsmittel verwendet werden.“¹⁰

Die Extraktion ist also ein Trennverfahren, bei dem ein Stoff durch ein Lösungsmittel aus einer Lösung oder Suspension herausgelöst wird. Voraussetzung für eine erfolgreiche Extraktion ist, dass der zu extrahierende Stoff gut in dem Lösungsmittel löslich ist, die anderen Bestandteile des Gemisches jedoch nicht.

Um eine Extraktion von Lebensmitteln durchzuführen, benutzt man meist eine so genannte Soxhlet-Apparatur (siehe Abb. 2). An dieser Stelle soll kurz die Funktionsweise der Soxhlet-Apparatur beschrieben werden.

Anfangs befindet sich die Probe, also z.B. Nüsse, in einer so genannten Extraktionshülse innerhalb der Apparatur (siehe Abb. 2). Unter ihr befindet sich ein Kolben mit dem Lösungsmittel. Dieses wird zum Sieden gebracht, die Dämpfe steigen in der Soxhlet-Apparatur auf und werden am aufgesetzten Kühler wieder verflüssigt. Dann tropft das Lösungsmittel auf die Extraktionshülse. Der Lösungsmittelstand steigt immer weiter und der zu extrahierende Stoff wird dabei extrahiert.

Durch die ausgeklügelte Konstruktion steigt das Lösungsmittel gleichzeitig in dem Steigrohr mit auf. Irgendwann ist das Lösungsmittel in dem Rohr an dem 360° - Bogen angelangt und das gesamte Lösungsmittel mit dem extrahierten Stoff fließt wieder in den Kolben. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis man das Sieden des Lösungsmittels unterbricht.

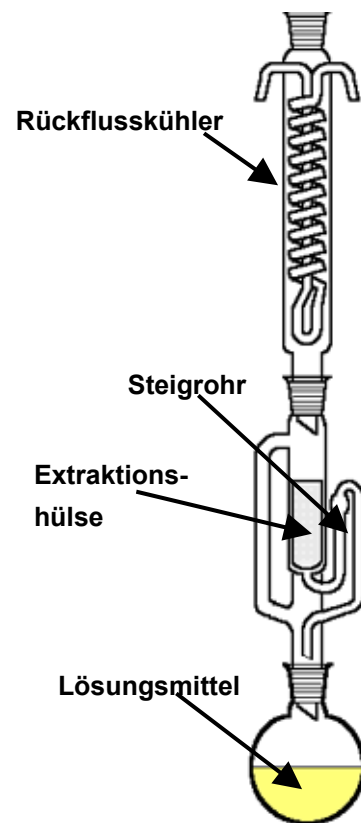


Abb. 2: Die Soxhlet-Apparatur

⁹ von lat. *extrahere* = herausziehen

¹⁰ aus Internetquelle „Extraktion – Theoretische Grundlagen“; Adresse: <http://www.falk-schuch.de/protokolle/ocscript/node53.html>

Solche Versuchsanordnungen laufen oft viele Stunden, um möglichst viel von dem zu extrahierenden Stoff in dem Lösungsmittel zu lösen. Ist der Extraktionsvorgang beendet, folgt darauf meist noch eine Destillation, um die gesuchte Substanz von dem Lösungsmittel zu trennen.

3.2.2 Die Stoffklasse der Fette

Fette sind so genannte **Ester** aus verschiedenen langkettigen Carbonsäuren und dem Alkohol Glycerin (Propantriol). Als Ester bezeichnet man im Allgemeinen Stoffe, die sich bei einer Reaktion zwischen Säuren und Alkoholen bilden. Bekannte Ester sind Essigsäureethylester, ein häufig verwendetes Lösungsmittel, und Propantrioltrinitrat - besser bekannt als Nitroglycerin - ein starker Sprengstoff.

Die am häufigsten verwendeten Carbonsäuren bei den natürlichen Fetten sind die

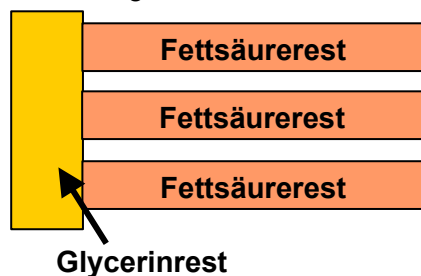


Abb. 3: Schematischer Aufbau der Fette

Stearin-, die Palmitin-, die Laurin-, die Myristin-, die Öl- und schließlich die Linolsäure. Es handelt sich dabei um Fettsäuren, deren Kohlenstoffkette mindestens elf Kohlenstoffatome aufweist. Der Glycerinrest in einem Fettmolekül trägt immer drei Carbonsäurereste. Meistens handelt es sich um drei verschiedene

Säurereste. Alle in der Natur vorkommenden Fette und Öle bestehen aus vielen verschiedenen Fettmolekülen, wobei bei jeder natürlichen Fettsorte ein bestimmtes Fett den größten Anteil hat.

Fette gehören neben den Kohlenhydraten und den Eiweißen zu den **Hauptnährstoffen** unserer Nahrung. Fette sind die wichtigsten Energielieferanten für den menschlichen Organismus. Unser Körper hat die Eigenschaft, Fette zu speichern. Diese Reserve legt er unter anderem für „schlechte Zeiten“ an, in denen der Mensch keine Nahrung zu sich nimmt. In unserer Wohlstandsgesellschaft, in der es mehr Nahrung gibt, als benötigt wird, führt das leider häufig zu Übergewicht. Besonders wichtig für den menschlichen Körper sind Fette, die Linol-, Linolen- und Arachidonsäure enthalten, da er diese Fette nicht selbst herstellen kann. Man bezeichnet solche Fette deshalb auch als **essentiell**.

3.2.3 Reaktionsmechanismus der Verseifung / Seifenherstellung

Um den Reaktionstyp der Verseifung zu verstehen, muss man zuerst den Reaktionsmechanismus der **Veresterung** kennen lernen. Eine Veresterung ist eine Reaktion, bei der sich ein Alkohol und eine Säure unter der Wirkung eines Katalysators zu einer neuen Substanz, dem so genannten Ester, verbinden. Bekannte Ester, die

schon in dieser Arbeit behandelt wurden, sind die Fette. Bei der Veresterung handelt es sich um eine Gleichgewichtsreaktion. Das bedeutet, die Reaktion besteht aus einer Hin- und einer Rückreaktion. Welche Reaktion die stärkere ist, bzw. welche Lage das Gleichgewicht hat, kann man durch verschiedene Faktoren beeinflussen. Die Hinreaktion bei einer Veresterung nennt man **Esterbildung**, die Rückreaktion **Esterspaltung**.

Lässt man eine Lauge mit einem Ester reagieren, so wird der Ester in den Alkohol und ein oder mehrere Säureanionen gespalten. Durch die OH-Gruppe der Lauge kommt es dabei zu einer Hydrolyse¹¹. Diese alkalische hydrolytische Esterspaltung nennt man auch **Verseifung**.

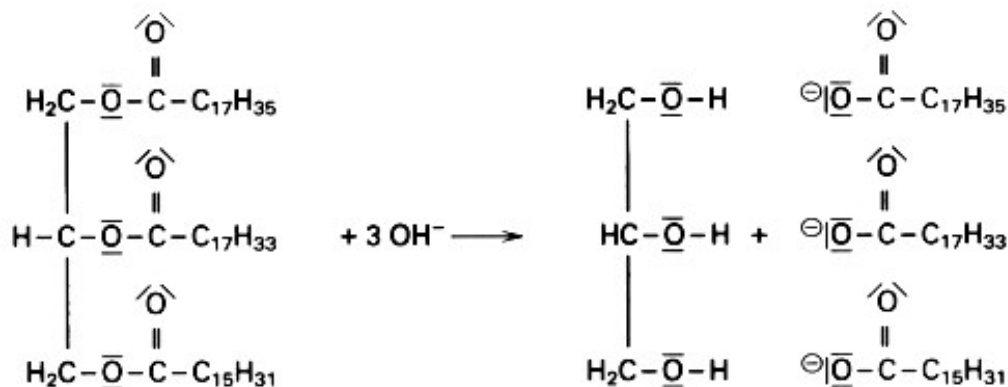


Abb. 4: Beispiel einer Fettverseifung; Schema: Fett + Lauge -> Glycerin + Seife

Nun spielen bei der Seifenherstellung nicht nur die OH⁻-Anionen der Lauge eine Rolle, sondern auch die Kationen. Für die Seifenherstellung benutzt man Natronlauge (NaOH) oder Kalilauge (KOH). Also befinden sich bei einer Verseifung noch Na⁺ bzw. K⁺-Ionen im Reaktionsraum. Diese Kationen verbinden sich nun mit den Anionen der Fettsäurereste des gespaltenen Fettes zu Salzen der entsprechenden Fettsäure, welche während der Reaktion im gelösten Zustand vorliegen.

Lässt man nun die Lösung einige Zeit stehen, verdunsten mit der Zeit alle beteiligten Flüssigkeiten und die Seife salzt aus. Allerdings befindet sich auch noch Glycerin (Propantriol) in der Seife, welches bei der Fettspaltung entstanden ist. Dies ist aber kein Nachteil, da Glycerin die Seife weich und geschmeidig macht. Das Glycerin ist also vorteilhaft für die Seife und wird auch anderen kosmetischen Artikeln hinzugefügt.

Seifen sind also Kalium- oder Natriumsalze langkettiger Fettsäuren. Man gewinnt sie durch hydrolytische Spaltung von Fetten mit Natron- oder Kalilauge. Die Natriumsalze sind in der Konsistenz fester als die Kaliumsalze und man bezeichnet sie als **Kernseifen**. Die Kaliumsalze werden aufgrund ihrer dickflüssigen und glitschigen Konsistenz als **Schmierseifen** bezeichnet.

¹¹ (von griech. hydor = Wasser und lyo = lösen) Aufspaltung einer Bindung unter dem Einfluss von Wassermolekülen

In der Industrie gibt es verschiedene Verfahren zur Seifenherstellung. Der hier beschriebene Mechanismus beruht auf der Spaltung von Fetten. Diese Methode ist schon seit den Anfängen der Seifenherstellung bekannt und wird auch als **Seifensieden** bezeichnet. Heute wird sie allerdings nur noch selten praktiziert. Man ist viel mehr dazu übergegangen, den Weg der Erzeugung von Fettsäuren durch Fettsäure zu verlassen und stellt das Zwischenprodukt Fettsäure meist durch die Oxidation von Alkanen her. Der weitere Weg ist dem oben beschriebenen Verfahren ähnlich, wobei die Natronlauge bzw. die Kalilauge auch durch Natriumcarbonat (Na_2CO_3) bzw. Kaliumcarbonat (K_2CO_3) ersetzt werden können. Diesen alternativen Weg der Seifenherstellung nennt man **Carbonatverfahren**, den traditionellen Weg **Laugenverfahren** (siehe auch Abb. 10 im Anhang).

3.2.4 Struktur der Seifen

Die besondere Struktur der Seifenmoleküle ist für ihre Waschwirkung verantwortlich. Ein Seifenmolekül lässt sich in zwei grundsätzlich verschiedene Bereiche einteilen. Zum einen ist es eine relativ lange Kohlenwasserstoffkette, die unpolar ist und damit nicht in polaren Lösungsmitteln wie Wasser löslich. Die geringe Polarität der Kohlenwasserstoffkette in den Seifenmolekülen, auch Alkylrest genannt, rührt von dem geringen Elektronegativitätsunterschied¹² zwischen den Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen in der Kette. Zudem sind solche Alkylreste symmetrisch aufgebaut, so dass die Schwerpunkte der sehr schwachen negativen und der positiven Teilladungen aufeinander treffen. Alkylreste sind also völlig unpolar und daher nicht in Wasser löslich. Man bezeichnet sie deshalb als hydrophob¹³.

Der zweite Teil der Seifenmoleküle wird von einer Carboxylatgruppe gebildet. Diese besteht im gelösten Zustand aus einem Kohlenstoffatom, einem Sauerstoffatom und einem negativ geladenen Sauerstoffanion. Die Elektronegativitätsdifferenz zwischen einem Kohlenstoff- und einem Sauerstoffatom ist aber sehr groß, daher ist dieser Teil des Seifenmoleküls polar und damit wasserlöslich. Man bezeichnet diesen Teil daher als hydrophil¹³.

Teilchen, die wie die Seifen aus einem hydrophilen Teil und einem hydrophoben Teil bestehen, bezeichnet man auch als amphiphil¹⁴.

¹² Elektronegativität = Fähigkeit eines Atoms, Bindungselektronen anzuziehen; angegeben in willkürlichen Zahlenwerten von Linus Pauling

¹³ (von griech. hydor = Wasser; phobos = Feind; philos = Freund) hydrophob = wasserfeindlich; hydrophil = wasserfreundlich

¹⁴ von griech. amphi = auf beiden Seiten

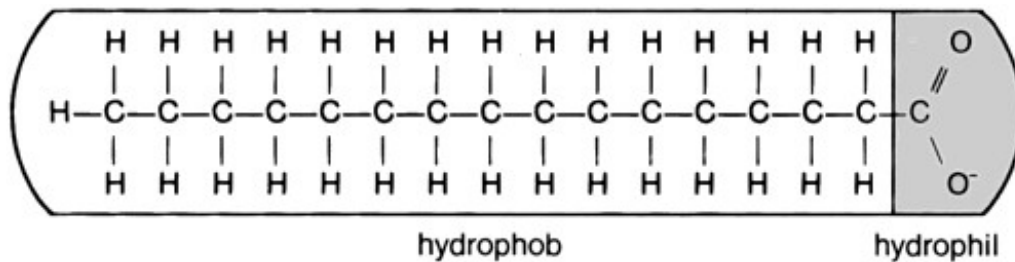


Abb. 5: Beispiel für ein Seifenanion (hier $C_{15}H_{31}COO^-$)

Zu diesem Seifenanion, welches aus dem hydrophoben Alkylrest und der hydrophilen Carboxylatgruppe besteht, kommt natürlich noch das Kalium- bzw. Natriumkation, welches sich in der Reaktion mit Natron- bzw. Kalilauge mit dem Fettsäurerest verbunden hat. Da Seifen aber immer in gelöster Form auftreten, liegen die beiden Seifenteile (Seifenanion + Natrium- bzw. Kaliumkation) als Ionen vor. Für den Waschprozess von Bedeutung ist nur das Seifenanion.

3.2.5 Die Reinigungswirkung der Seifen¹⁵

Die Reinigungswirkung von Seifen vollzieht sich in drei Schritten, welche nachfolgend ausführlich erläutert werden:

1. Benetzung von hydrophobem Schmutz
2. Ablösung des Schmutzes vom Gewebe
3. Feinstes Zerteilen des Schmutzes

Mit Wasser allein lässt sich zwar auch so manche Verschmutzung von Haut und Kleidung lösen, doch viele Flecken, besonders Fettflecken, Staub- oder Rußverschmutzungen, lassen sich nicht mit reinem Wasser entfernen. Das hat vor allem zwei Gründe. Erstens ist Wasser durch seinen Dipolcharakter ein stark polarer Stoff. Daher lösen sich unpolare Verschmutzungen in ihm nicht auf. Der zweite Grund ist, dass Wasser eine hohe Oberflächenspannung besitzt und daher den Schmutz nicht richtig benetzen kann.

Die Oberflächenspannung ist ein Phänomen von Flüssigkeiten, das sich an Grenzflächen zeigt, wie z.B. die Grenzfläche zwischen der Luft und einem Wassertropfen. Eine Oberflächenspannung entsteht, weil sich alle Moleküle in einer Flüssigkeit durch die so genannten **Kohäsionskräfte** untereinander anziehen. Innerhalb der Flüssigkeit heben sich die Kräfte auf, da sie in alle Richtungen zeigen und in der Flüssigkeit jedes Molekül in allen Richtungen von weiteren Molekülen umgeben ist. Nur bei der allerletzten Molekülschicht an einer Grenzfläche ist das anders. Hier sind die Moleküle nur in Richtung des Flüssigkeitsinneren von weiteren Molekülen umgeben. In Richtung der Grenzfläche wirken keine Kohäsionskräfte. Daher

¹⁵ vgl. Amann, Wolfgang u.a.: elemente chemie II, Klett Verlag Stuttgart 1989, S. 240 - 242 sowie Naturwissenschaften im Unterricht: Waschen und Waschmittel, Heft 2, Februar 1982, Aulis Verlag Köln, S. 39 - 41

werden die Kräfte nicht mehr ausgeglichen und die resultierende Kraft zeigt genau in den Mittelpunkt der Flüssigkeit, z.B. eines Wassertropfens. Alle äußeren Flüssigkeitsmoleküle werden also in das Flüssigkeitsinnere gezogen, es bildet sich an der Grenzfläche eine elastische Haut. So lässt sich z.B. erklären, warum eine Stecknadel auf dem Wasser schwimmt oder ein Wasserglas bis knapp über den Rand gefüllt werden kann.

Diese Grenzflächenspannung ist bei Wassermolekülen durch deren Dipolcharakter besonders groß. Daher hat Wasser auch ein besonders großes Bestreben danach, sich zu Tropfen zusammenzufügen. Deshalb kann Wasser die Fasern von Kleidung, die Haut oder den Schmutz nicht richtig benetzen.

Die Seifen haben nun die Aufgabe, die Grenzflächenspannung des Wassers herabzusetzen. Durch den besondere Aufbau der Seifenanionen, die aus einem hydrophoben und einem hydrophilen Teil bestehen (siehe Kap. 3.2.4), haben sie das Bestreben, sich im gelösten Zustand an Grenzflächen anzuordnen. Gibt man also Seife in Wasser, ordnen sich die Seifenanionen an der Grenzfläche Wasser/Luft an. Der hydrophile Teil des Seifenanions taucht dabei ins Wasser ein, wobei der hydrophobe und damit wasserunlösliche Teil aus dem Wasser herausragt. Ist die gesamte Oberfläche des Wassers mit Seifenanionen besetzt, lagern sich die übrigen Seifenanionen zu kugel- oder stabförmigen Gebilden, den so genannten **Micellen**, zusammen. Dabei zeigen die hydrophoben Teile der Seifenanionen in die Mitte der Micelle, wobei die wasserlöslichen Teile ins Wasser ragen.

Solche Micellen lassen sich im Wasser durch den **Tyndall-Effekt**¹⁶ nachweisen. Beleuchtet man nämlich eine Seifenlösung mit einem feinen Lichtstrahl, kann man Streuungen innerhalb der Lösung erkennen, die von den in der Lösung enthaltenen Micellen hervorgerufen werden. Man bezeichnet solche Lösungen als **kolloidale Lösungen**, die keine wirklichen Lösungen sind, sondern in denen Moleküle in kleinen Anhäufungen einer Größe von 1 nm bis 1000 nm vorliegen¹⁷.

Bei der Anordnung der Seifenanionen an einer Grenzfläche werden viele Wasserteilchen voneinander getrennt. Dadurch sinkt die Oberflächenspannung der Seifenlösung und sie kann die Gewebefasern der Kleidung oder die Haut besser benetzen und besser in feine Kapillaren eindringen. Aufgrund dieser Eigenschaft gehören die Seifen zu den grenzflächenaktiven Stoffen, den so genannten **Tensiden**¹⁸.

Durch die Tensidwirkung der Seifen werden nun also Fasern und Schmutzteilchen benetzt. Sind Faser und Schmutz nun hydrophob, wie z.B. Fettschmutz, verteilen sich die Tensidteilchen auf den Fasern und den Schmutzteilchen, indem sie mit ihrem

¹⁶ J. Tyndall (1820 - 1893): irischer Physiker

¹⁷ vgl. Becker, Harald: Abitur-Training Chemie - Biomoleküle / Stoffwechsel / Organische Chemie des Alltags, Stark Verlag Freising 1998, S.196

¹⁸ von lat. tendere = spannen

hydrophoben Ende in den Schmutz eindringen und sich mit diesem Ende auf den Fasern anordnen. Die hydrophilen Teile der Seifenanionen ragen ins Wasser. Nun sind die Fasern der zu waschenden Kleidung und die Schmutzteilchen beide mit Tensidmolekülen benetzt. Da die Seifenanionen insgesamt negativ geladene Ionen sind, stoßen sich nun Faser und Schmutz ab; der Schmutz löst sich also von der Faser, oder auch von der Haut, ab.

Im nächsten Schritt werden die einzelnen Schmutzteilchen immer weiter von den Tensidmolekülen zerteilt. Dieser Zerteilungsprozess wird von den Micellen übernommen, die sich ja schließlich noch in der Seifenlösung befinden. Die Schmutzteilchen, bzw. die Fettverschmutzungen werden immer weiter verteilt und es bildet sich eine Suspension, bzw. eine Emulsion. Diese Eigenschaft von Tensiden nennt man auch **Dispergiervermögen**. Der Schmutz ist also nun endgültig von dem zu reinigendem Gewebe entfernt. Die Dispersion des Schmutzes wird durch mechanische Bewegung und durch Wärme unterstützt. Daher ist bei Waschmaschinen die Wäsche immer in Bewegung und wird auf Temperaturen bis 95°C erhitzt.

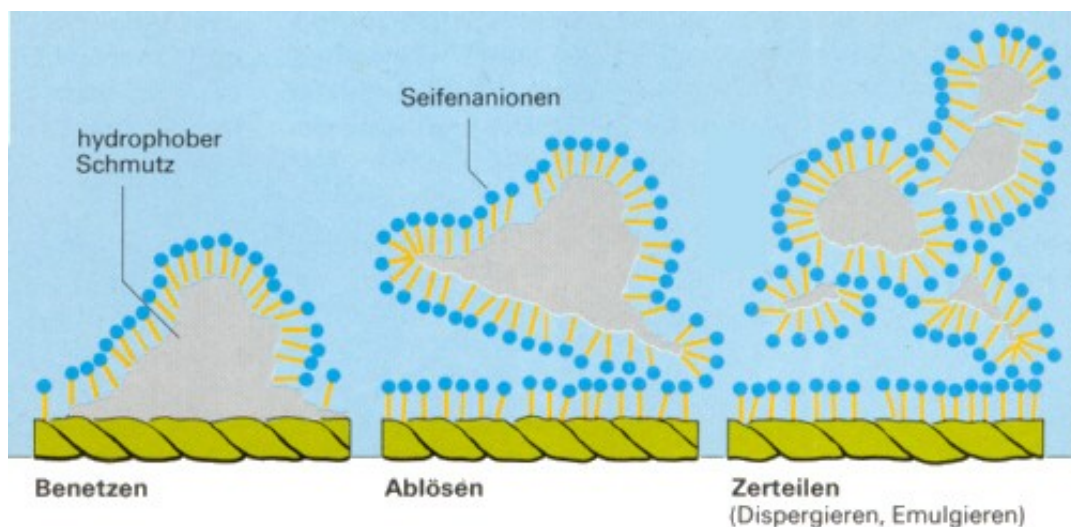


Abb. 6: Schema des textilen Waschprozesses

Der bisher beschriebene Weg gilt aber nur für hydrophobe Textilfasern. Sind die Textilfasern aber durch stark polare Gruppen hydrophil, benötigt man andere Ionen als die Seifenanionen, um Schmutz von diesem Fasertyp zu entfernen. Man verwendet dazu OH⁻-Ionen, die Hydroxidionen. Diese werden über Wasserstoffbrückenbindungen an die Faser gebunden. Dadurch sind die Fasern wiederum negativ geladen und stoßen die von negativen Seifenanionen umgebenen Schmutzteilchen ab. Aus diesem Grunde wäscht man in alkalischem Milieu, da eine alkalische Wirkung durch das Vorhandensein von Hydroxidionen hervorgerufen wird.

3.2.6 Nachteile der Seifen beim Waschen von Textilien¹⁹

Das Waschen von Textilien mit herkömmlicher Seife birgt einige gravierende Nachteile in sich. Deshalb benutzt man heute auch keine Seife mehr zum Waschen, sondern moderne Waschmittel. Die wichtigsten Nachteile der Seife sollen hier kurz dargestellt werden.

Ab einer bestimmten Konzentration von Seife beim Waschen reagieren die Seifenanionen in einer Säure-Base-Reaktion mit Wassermolekülen. Dabei werden Hydroxidionen (OH⁻-Ionen) frei, die die Waschflüssigkeit alkalisch reagieren lassen. Daher kommt auch die umgangssprachliche Bezeichnung „Seifenlauge“ für eine wässrige Seifenlösung. Die Hydroxidionen erleichtern zwar den Waschprozess (siehe Kap. 3.2.5), die alkalische Reaktion ist jedoch schädlich für die Haut, die normalerweise einen Säureschutzmantel mit dem pH-Wert 5,5 besitzt. Dieser wird durch die Seifenlauge zerstört. Die Regeneration dauert einige Stunden. Währenddessen kann es zu Reizungen der Haut oder zu bakteriellen Infektionen kommen. Die Fettsäuren, die bei dieser Reaktion entstehen, sind unlöslich, fallen aus und behindern so zusätzlich den Waschprozess.

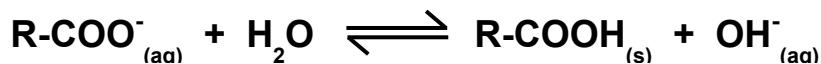


Abb. 7: Seife reagiert mit Wasser zu Fettsäuren und Hydroxidionen

Ein weiterer Nachteil der Benutzung von Seifen beim Waschen von Textilien ist, dass die Seifenanionen in einem sauren Milieu mit den dann vorhandenen Hydroniumionen (H₃O⁺-Ionen) zu Fettsäuren und Wasser reagieren. Die Fettsäuren sind nicht wasserlöslich und fallen aus. Das behindert den Waschprozess und die Fettsäuren können unerwünschte Flecken und Krusten auf der zu waschenden Kleidung zurücklassen. Es kommt relativ häufig vor, dass die Kleidung, die gewaschen werden soll, mit sauer reagierenden Flecken verschmutzt ist. Diese entstehen z.B. durch Schweiß (Buttersäure) oder Obstflecken (u.a. Zitronensäure, Ascorbinsäure).

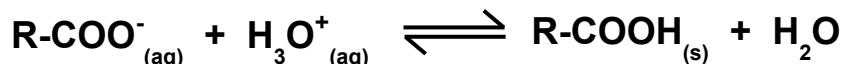


Abb. 8: Seife reagiert mit Hydroniumionen zu Fettsäuren und Wasser

Der letzte wichtige Nachteil der Seifen ist, dass sich die Seifenanionen in hartem Wasser zu schwer löslichen Erdalkalimetallsalzen verbinden. Als „hartes“ Wasser bezeichnet man Wasser, welches viele Magnesium- und Calciumionen enthält. Diese kommen in das Grundwasser, indem sich einige Mineralien in ihm lösen. Der Anteil von

¹⁹ vgl. Amann, Wolfgang u.a., a.a.O., S. 243

Mineralien im Boden ist von Region zu Region unterschiedlich, somit sind auch je nach Region verschieden viele Erdalkalimetallionen im Grundwasser enthalten. Diese Calcium- und Magnesiumsalze der Seifenanionen sind wasserunlöslich und setzen sich auf der zu waschenden Kleidung ab. Dadurch verkrustet die Kleidung immer mehr, die Farben verblassen und die Textilfasern werden brüchig. Man bezeichnet diese unangenehmen Ablagerungen auch als Kalkseife.

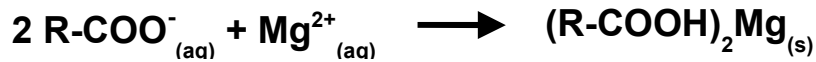


Abb. 9: Seife reagiert mit Erdalkalimetallionen zu den so genannten Kalkseifen

Aufgrund dieser gravierenden Nachteile der Seifen werden sie heute nicht mehr für die Wäsche eingesetzt. Man benutzt vielmehr Waschmittel, die aus neuen, synthetischen Tensiden bestehen und viele weitere Zusatzstoffe enthalten.

3.2.7 Die heutige Bedeutung der Seifen

Im 19. Jahrhundert war die Seife ein hohes Gut und wurde von einigen sogar als Indikator für Wohlstand angesehen. So sagte Justus von Liebig²⁰ einmal über die Bedeutung der Seife:

"Die Seife ist ein Massstab für den Wohlstand und die Kultur der Staaten. Es ist gewiss, dass man bei der Vergleichung zweier Staaten bei gleicher Einwohnerzahl denjenigen für den reicheren, wohlhabenderen und kultivierteren erklären kann, welcher am meisten Seife verbraucht!"²¹

Heute ist die Bedeutung der herkömmlichen Seifen bei Weitem nicht mehr so hoch einzuschätzen. Aufgrund ihrer vielen Nachteile beim Waschprozess werden Seifen nicht mehr zum Waschen verwendet. Es wird aber trotzdem noch relativ viel Seife auf der Welt produziert. Das liegt zum einen daran, dass in vielen Handseifen, Duschgelen usw. noch teilweise herkömmliche Seifen enthalten sind und zum anderen daran, dass in den Ländern der Dritten Welt viele Menschen ihre Wäsche noch nach dem herkömmlichen Prinzip mit Kernseife waschen. Außerdem sind konventionelle Seifen auch heute noch zum Teil Bestandteil moderner Vollwaschmittel. Sie sind dafür verantwortlich, die Schaumbildung der Waschmittel zu regulieren und den pH-Wert zu erhöhen.

Die Produktion von Tensiden, zu denen ja auch die Seifen zählen, stellt einen nicht unerheblichen Faktor in der Weltwirtschaft dar. So wurden allein in Deutschland im Jahre 1997 830.000 Tonnen²² Tenside produziert, von denen 440.000 Tonnen²² im

²⁰ Justus von Liebig (1803 - 1873); dt. Chemiker, der vor allem für seine Erkenntnisse über den Nährstoffbedarf von Pflanzen bekannt ist.

²¹ zitiert nach: Internetquelle „EducETH - Chemie - Seifen und Waschmittel“; Adresse: <http://www.educeth.ch/chemie/puzzles/seifen/gruppe1.html>

²² Werte nach Internetquelle <http://www.atv.de/fachth/arbeitsberichte/ind-abw-719-723.pdf>

eigenen Land verbraucht wurden. Im selben Jahr lag die weltweite Produktion von Tensiden bei 17 Millionen Tonnen²³. Immerhin ungefähr die Hälfte davon bestand aus Seife.

3.2.8 Wichtige Verbesserungen durch moderne Waschmittel²⁴

Wie bereits ausgeführt haben Seifen viele gravierende Nachteile beim Waschen von Textilien. Daher wurden nach und nach neue Tenside und viele Zusatzstoffe entwickelt, um den Waschprozess zu optimieren. Diese neuen Inhaltsstoffe moderner Waschmittel werden hier nur sehr knapp beschrieben, da der Schwerpunkt dieser Arbeit bei den herkömmlichen Seifen liegt.

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts wurden sehr viele neue Tenside hergestellt. Man unterscheidet vier verschiedene Tensidklassen:

1. **Anionische Tenside** mit einer negativ geladenen Gruppe; hierzu zählen auch die Seifen mit ihrer im gelösten Zustand elektrisch negativ geladenen Carboxylatgruppe.
2. **Kationische Tenside**, die aus einer quartären Ammoniumgruppe bestehen, an der sich vier Alkylreste befinden. Das Anion zu dieser Tensidgruppe ist meist ein Chloridion. Kationische Tenside werden meist als Weichspüler benutzt.
3. **Nichtionische Tenside** sind elektrisch neutral und bestehen hauptsächlich aus Ethergruppen und einer Hydroxylgruppe.
4. **Amphotere Tenside** sind „Zwittertenside“, da sie an einem Ende positiv und an einem anderen Ende negativ geladen sind. Sie sind von allen Tensidtypen am besten zum Waschen geeignet, aber verhältnismäßig teuer in der Herstellung.

All diesen Tensiden ist das Grundprinzip der grenzflächenaktiven Substanzen gemein: Sie besitzen einen Teil der im Lösungsmittel löslich ist und einen weiteren Teil der in diesem unlöslich ist. Der Waschprozess läuft bei allen Tensiden prinzipiell wie in Kap. 3.2.5 beschrieben ab.

Moderne Waschmittel sind ein Gemisch aus verschiedenen Tensiden und vielen weiteren Zusatzstoffen. Die wichtigsten Zusatzstoffe sind:

Builder: Die so genannten Builder haben die Aufgabe, mit Ca^{2+} - und Mg^{2+} -Ionen, welche die Wasserhärte hervorrufen, zu reagieren, um das Wasser weicher zu machen. In hartem Wasser wird der Waschprozess gehemmt, da die härtebildenden Ionen mit den Tensiden reagieren können und deren Wirkung dadurch zerstören.

Ionenaustauscher: Auch Ionenaustauscher haben die Aufgabe das Wasser weicher zu machen. Bekannte Ionenaustauscher wie das Zeolith A bestehen aus miteinander

²³ Wert nach Internetquelle <http://www.studref.de/zips/doc/seife.doc>

²⁴ vgl. Amann, Wolfgang u.a., a.a.O. S. 244 - 248

verknüpften Kuboktaedern, in deren Hohlräumen sich Natriumionen befinden. Diese werden in hartem Wasser durch Calcium- oder Magnesiumionen ausgetauscht. Dabei werden die Natriumionen abgegeben; diese haben aber keinen Einfluss auf die Wasserhärte.

Bleichmittel: Einige hartnäckige farbige Verschmutzungen müssen nicht nur mit Tensiden behandelt, sondern auch geblichen werden um vollständig entfernt werden zu können. Man benutzt dazu heute hauptsächlich Natriumperborat, welches ab 60° C unter anderem in Wasserstoffperoxid (H₂O₂) zerfällt. Wasserstoffperoxid ist ein starkes Oxidationsmittel, welches farbige Verbindungen oxidiert und in farblose Stoffe überführt.

Enzyme: Eiweiß- und Stärkehaltige Verschmutzungen wie durch Blut oder Eigelb lassen sich mit herkömmlichen Tensiden nicht so einfach entfernen. Daher sind in modernen Vollwaschmitteln geringe Anteile an eiweißabbauenden Enzymen vorhanden, um diese Flecken auszuwaschen.

Optische Aufheller: Weiße Wäsche erscheint nach der Wäsche oft gelblich. Das liegt daran, dass bestimmte Reaktionsprodukte, die beim Waschvorgang entstehen und an den Textilfasern haften bleiben, blaues Licht absorbieren. Stoffe, die weiß erscheinen, absorbieren aber normalerweise keine Farbe und reflektieren alle Farben. Wird nun blaues Licht absorbiert, verschiebt sich das reflektierte Licht so im Spektrum, dass wir es als gelblich ansehen. Optische Aufheller haben nun die Aufgabe, blaues Licht auszusenden, um die Lücke im Spektrum der weißen Wäsche auszugleichen.

Das sind nur einige der Wirkstoffe, die modernen Vollwaschmitteln zusätzlich hinzugefügt werden. Man sieht also, dass die Chemie der Waschmittel sehr umfangreich und kompliziert ist und selbst ein gutes Thema für eine Facharbeit darstellt!

4. Schlussüberlegungen

Durch diese Facharbeit wurde mir ein Prozess verdeutlicht, der uns jeden Tag begegnet, dessen Funktionsweise aber nur den wenigsten von uns bekannt ist: der Waschprozess. Für mich war es sehr spannend, einmal der Frage auf den Grund zu gehen, was Seife und andere Tenside eigentlich sind, wie sie funktionieren und wie sie hergestellt werden.

Besonders interessant war es für mich, selbst Seife herzustellen. Die kurioseste Erkenntnis dabei war wohl, dass man Seife aus Nüssen herstellen kann und dass die Seifenherstellung eigentlich nicht besonders kompliziert oder aufwendig ist. Dafür ist die Funktionsweise dieser doch recht einfach gebauten Stoffe sehr komplex.

Durch diese Facharbeit hat es sich wieder gezeigt, wie viel Chemie in unserem Alltag steckt und wie kompliziert für uns ganz alltägliche Vorgänge sein können.

5. Anhang

Im Anhang dieser Facharbeit gibt es einige ergänzende Tabellen und Grafiken.

Fettsäuren	Butterfett	Schweinefett	Kokosfett	Olivenöl	Sonnenblumenöl	Leinöl
Buttersäure C_3H_7COOH	3	-	-	-	-	-
Laurinsäure $C_{11}H_{23}COOH$	3	-	48	-	-	-
Myristinsäure $C_{13}H_{27}COOH$	9	2	15	2	-	-
Palmitinsäure $C_{15}H_{31}COOH$	24	27	9	15	5	7
Stearinsäure $C_{17}H_{35}COOH$	13	14	3	2	2	3
Ölsäure $C_{17}H_{33}COOH$	30	45	6	71	27	18
Linolsäure $C_{17}H_{31}COOH$	2	8	2	8	65	14
Linolensäure $C_{17}H_{29}COOH$	1	-	-	-	-	58

Tabelle 1: Die Zusammensetzung verschiedener tierischer und pflanzlicher Fette. Angaben beziehen sich auf den durchschnittlichen Massenanteil der Fettsäuren in Prozent²⁵

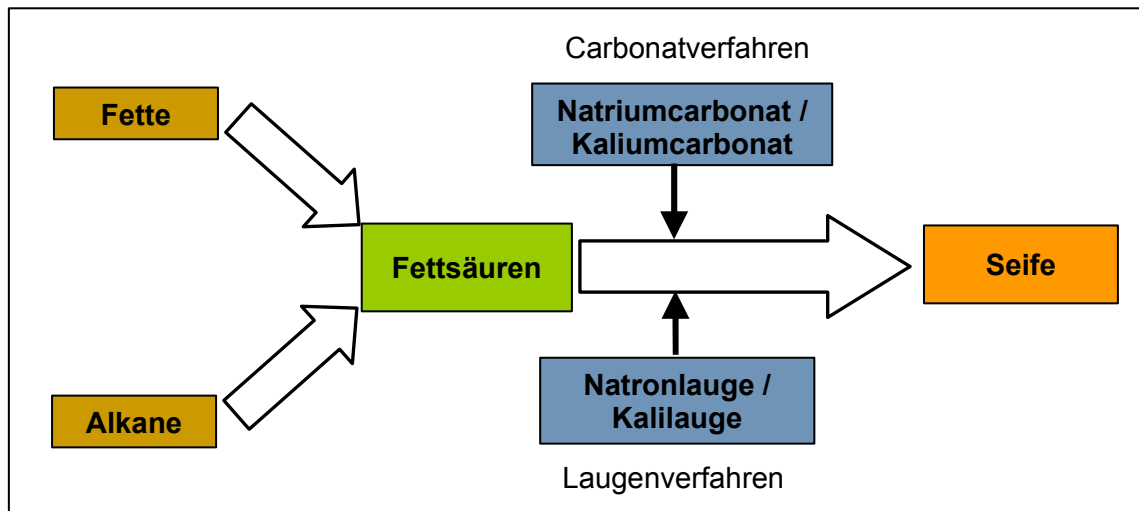


Abb. 10: Schematische Darstellung der Seifenherstellung²⁶

²⁵ Werte übernommen aus Eisner, Werner u.a.: elemente chemie I, Ernst Klett Verlag Stuttgart 1986, S. 295

²⁶ vgl. „Praxis der Naturwissenschaften Chemie: Umweltrelevante Themen für Arbeitsgemeinschaften“, Heft 3/44 April 1995, Aulis Verlag Köln, S. 9

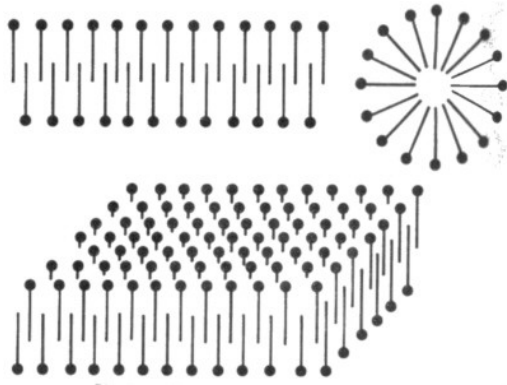


Abb. 11: Verschiedene Micellen

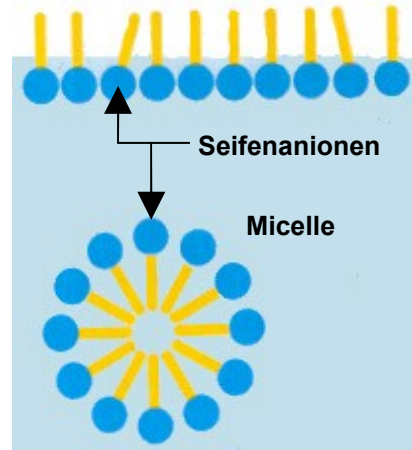


Abb. 12: Seifenanionen in Wasser

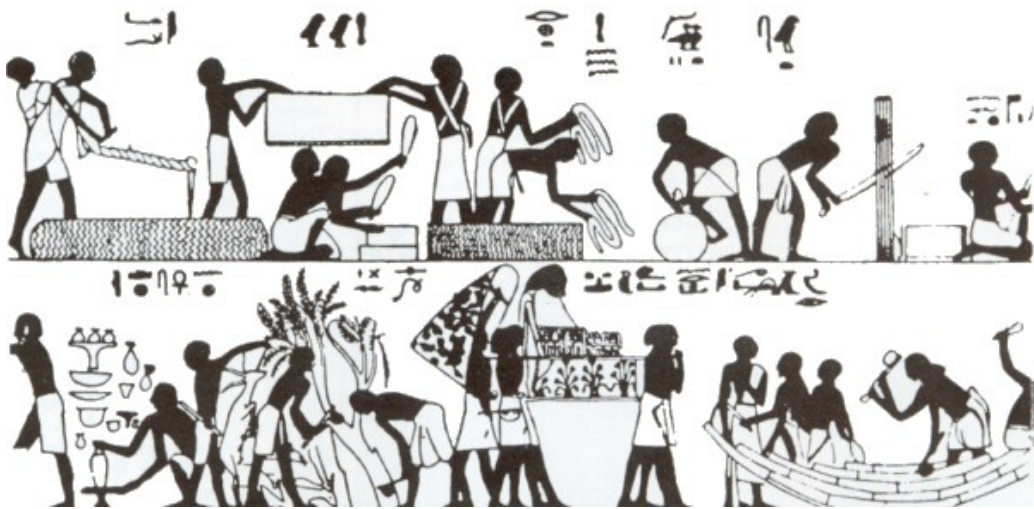


Abb. 13: Wandgemälde, ca. 2.000 v. Chr.; es zeigt Ägypter beim Waschen von Kleidungsstücken ihrer Weiterverarbeitung

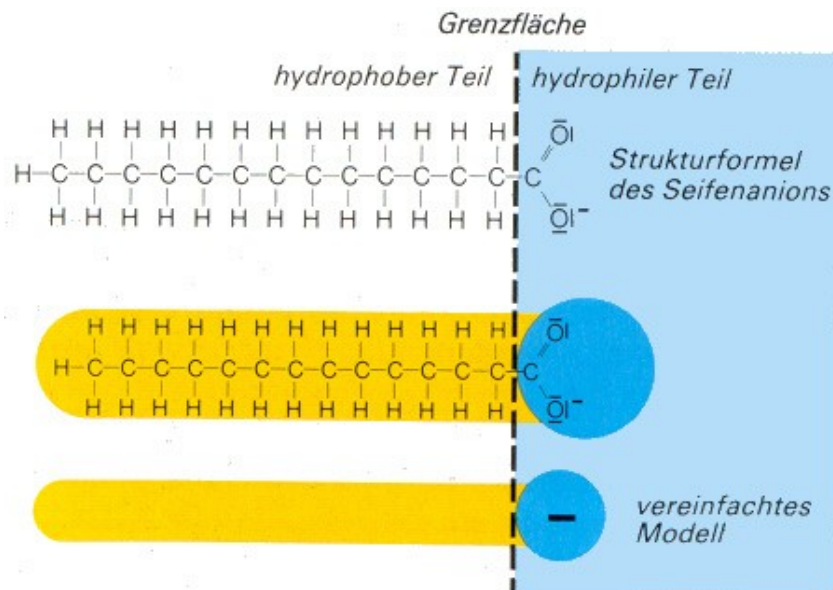


Abb. 14: Anordnung von Seifenanionen an einer Grenzfläche

6. Literatur- und Quellenverzeichnis

6.1 Bücher

- Amann, Wolfgang u.a.: elemente chemie II, Ernst Klett Verlag Stuttgart 1989
- Arndt / Halberstadt: Grundzüge der Chemie, Moritz Diesterweg Verlag Frankfurt am Main 1970
- Braun, Michael u.a.: Organische Chemie und Einführung in die Biochemie, Bayerischer Landwirtschaftsverlag GmbH München 1967
- Eisner, Werner u.a.: elemente chemie I, Ernst Klett Verlag Stuttgart 1986
- Becker, Harald: Abitur-Training Chemie - Biomoleküle / Stoffwechsel / Organische Chemie des Alltags, Stark Verlag Freising 1998
- Schuseil, Christine: Basiswissen für die Schule: Chemie, Corvus Verlag

6.2 Zeitschriften

- Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie: Waschen und Waschmittel, Heft 2 30. Jahrgang Februar 1982, Aulis Verlag Köln
- Praxis der Naturwissenschaften Chemie: Umweltrelevante Themen für Arbeitsgemeinschaften, Heft 3/44 April 1995, Aulis Verlag Köln, S. 7 - 11
- Unterricht Biologie: Nahrungsmittelherstellung, Heft 63 November 1981, Friedrich Verlag Seelze

6.3 Internetquellen

- Chemie der Seife -
<http://www.naturseife.com/seifenchemie.htm>
- Die Nachteile des Waschens mit Seife -
<http://www.uni-bayreuth.de/departments/didaktikchemie/umat/waschen/ndwmslink.html>
- Kohlenstoffverbindungen -
<http://www.hausarbeiten.de/rd/faecher/hausarbeit/che/6971.html>
- Ester 2 - Fette und Öle -
<http://mitglied.lycos.de/stuhli/4-est2.html>
- Nachteile beim Waschen mit Seife -
<http://www.uni-essen.de/chemiedidaktik/S+WM/NachteileSeife/IndexNacht.htm>
- Herstellung von Seifen und Waschmitteln -
<http://ac16.uni-paderborn.de/studienarbeiten/aulig/herstellung.html>

Geschichte der Öl- und Fettherstellung -

<http://www.dgfett.de/material/gesch.htm>

Seifen und Waschmittel -

<http://www.educeth.ch/chemie/puzzles/seifen/index.html>

<http://www.educeth.ch/chemie/puzzles/seifen/gruppe1.html>

Die Zusammensetzung moderner Vollwaschmittel -

<http://www.hausarbeiten.de/rd/faecher/hausarbeit/che/19117.html>

Tenside und Waschmittel -

<http://www.chemieunterricht.de/dc2/haus/tenside.htm>

Herstellung von Seife (Kernseife) -

<http://www.experimentalchemie.de/versuch-024.htm>

Fettverseifung -

<http://www.hausarbeiten.de/rd/faecher/hausarbeit/che/19117.html>

Tenside - Der textile Waschprozess -

<http://www.hausarbeiten.de/rd/faecher/hausarbeit/che/19117.html>

Geschichte der Butter -

<http://www.meggle.de/buttergeschichten/geschichte/>

Theoretische Grundlagen der Extraktion

<http://www.falk-schuch.de/protokolle/ocscript/node53.html>

Extrahieren -

<http://www.seilnacht.tuttlingen.com/versuche/extrah.html>

Labor/Grundpraktiken/Extrahieren -

<http://www.experimentalchemie.de/03-b-09.htm>

Woher weiß die Seife, was der Schmutz ist? -

<http://www.studref.de/zips/doc/seife.doc>

6.4 Sonstige Quellen

Kopiervorlage „Bestimmung des Fettgehaltes in Lebensmitteln“, Ernst Klett Verlag
Stuttgart 1999

6.5 Abbildungsverzeichnis

Hier werden die Quellen aller Abbildungen angegeben, die ich aus Büchern, Zeitschriften oder Internetseiten kopiert habe. Abbildungen ohne Quellenangabe stammen von mir. Einige aus den Quellen entnommenen Grafiken wurden von mir mit Bildbearbeitungssoftware bearbeitet und angepasst.

Deckblatt: <http://www.mpipks-dresden.mpg.de/mpi-doc/quantumchemistry/ChemieAlltag/Seife/seife.html>

<http://www.kidsnet.at/baum/sonstiges.htm>

Amann, Wolfgang u.a.: elemente chemie II, Ernst Klett Verlag Stuttgart 1989, S. 242

Abb. 1: Praxis der Naturwissenschaften Chemie: Umweltrelevante Themen für Arbeitsgemeinschaften, Heft 3/44 April 1995, Aulis Verlag Köln, S. 10

Abb. 2: <http://www.seilnacht.tuttlingen.com/versuche/extrah.html>

Abb. 4: Amann, Wolfgang u.a.: a.a.O., S. 240

Abb. 5: Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie: Waschen und Waschmittel, Heft 2 30. Jahrgang Februar 1982, Aulis Verlag Köln, S. 59

Abb. 6: Eisner, Werner u.a.: elemente chemie I, Ernst Klett Verlag Stuttgart 1986, S. 304

Abb. 11: Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie: Waschen und Waschmittel, a.a.O, S. 40

Abb. 12: Eisner, Werner u.a.: a.a.O, S. 303

Abb. 13: Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie: Waschen und Waschmittel, a.a.O, S. 38

Abb. 14: Eisner, Werner u.a.: a.a.O, S. 303

7. Versicherung der selbstständigen Erarbeitung

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Verwendete Informationen aus dem Internet sind dem Fachlehrer vollständig im Ausdruck zur Verfügung gestellt worden.

Anm.: Ich habe aufgrund der Menge an Internetquellen nur die Seiten ausgedruckt, aus denen ich direkt zitiert habe; bei den übrigen habe ich die genaue Adresse angegeben.

Strücklingen, den 20.03.03

Sebastian Wilken

8. Veröffentlichungseinverständnis

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, wenn die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Strücklingen, den 20.03.03

Sebastian Wilken

9. Internetausdrucke

Nun folgen Ausdrucke der Internetseiten, von denen in der Facharbeit zitiert wurde. Aufgrund der Fülle an benutzten Webseiten beschränke ich mich nur auf diese Seiten. Es handelt sich dabei um folgende Adressen:

- <http://www.educeth.ch/chemie/puzzles/seifen/gruppe1.html>
- <http://www.falk-schuch.de/protokolle/ocscript/node53.html>