

Organisch-chemisches Praktikum für das Lehramt (LA)

Torsten Lasse
 Leitung: Dr. P. Reiß
 WS 2008/09

Assistent: Tobias Gerhardt

Schulversuch (Gruppe 8/Verseifung): Verseifung eines Fettes

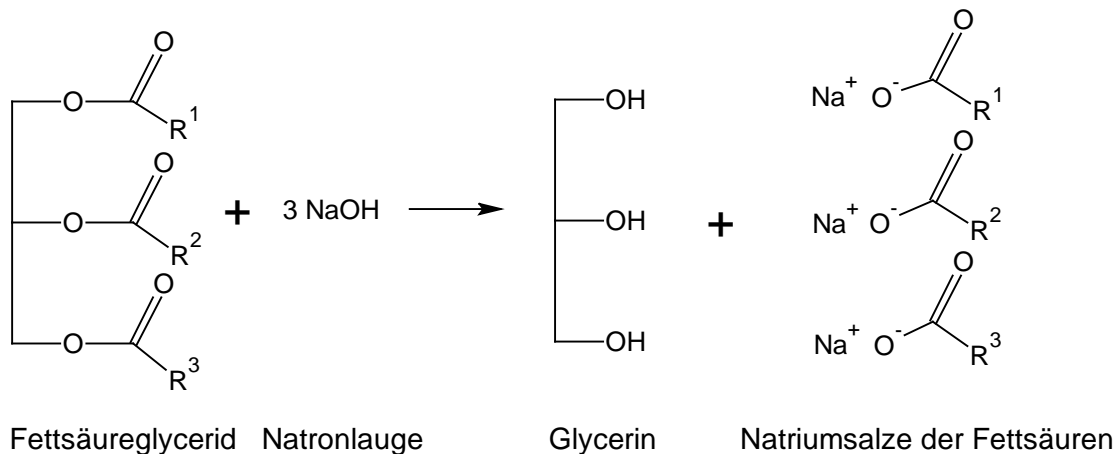
Handelsübliche Butter wird verseift.

Zeitbedarf

Vorbereitung: 10 Minuten

Durchführung: etwa 45 Minuten

Nachbereitung: etwa 10 Minuten

Reaktionsgleichung**Chemikalien und eingesetzte Substanzen**

Eingesetzte Stoffe	Summenformel	Menge	R-Sätze	S-Sätze	Gefahrenkennzeichnung / Bemerkung	Schuleinsatz (nach Soester Liste u. HessGiss)
Natronlauge (w=32%)	NaOH * H ₂ O	10 mL	35	26-37/39-45	C	SI
Natriumchlorid	NaCl	nach Bedarf				SI
Phenolphthalein (in Ethanol/Wasser)	C ₂₀ H ₁₄ O * C ₂ H ₅ OH / H ₂ O	1 Tropfen	11	7-16	F	SI
Butter	-	etwa 5 g	-	-	-	-

Geräte und Materialien

Magnetrührer mit Heizplatte und Wasserbad, Rührfisch
Dimroth-Kühler
Thermofühler (nicht zwingend)
Rundkolben 100 mL
Schütteltrichter 100 mL
Saugflasche mit Büchnertrichter, Filterpapier
Membranvakuumpumpe
Erlenmeyerkolben 20 mL

Versuchsaufbau



Abb. 1. Versuchsaufbau. Erhitzen unter Rückflusskühlung

Durchführung

Etwa 5 g handelsübliche Butter wurden im 100-mL-Rundkolben mit 5 mL Wasser (entionisiert) versetzt und ein Rührfisch zugefügt. Im nächsten Schritt wurden langsam 10 mL konzentrierte Natronlauge zugefügt. Der Rundkolben wurde dann in ein Wasserbad auf dem Magnetrührer

eingespannt und ein Dimroth-Kühler aufgesetzt. (s. Abb. 1). Im weiteren Verlauf des Versuches zeigte sich, dass eine zusätzliche Wasserkühlung des Kühlers nicht notwendig war.

Nachdem der Ansatz etwa 30 Minuten lang unter intensivem Rühren und Rückflusskühlung im siedenden Wasserbad erhitzt worden war, erfolgte eine Abkühlung des Kolbens unter fließendem Wasser auf Raumtemperatur (s. Abb. 2).



Abb. 2: Der Ansatz nach der erfolgten Abkühlung

Nun wurden 20 mL gesättigte Natriumchloridlösung zugeführt, umgerührt und etwa 2/3 des Ansatzes in einen Büchnertrichter mit Filterpapier überführt. Unter angelegtem Unterdruck konnte der Ansatz nun abfiltriert werden.

Beobachtung

Zurück blieb das feste Endprodukt, was auf einem Filterpapier unter dem Abzug getrocknet wurde (s. Abb. 3).



Abb. 3: Das getrocknete Endprodukt

Die restlichen 1/3 des Ansatzes wurden vom Filterpapier in ein Reagenzglas überführt und etwa 1/2 mL Wasser zugeführt. Nach einer sehr kurzen Erwärmung des Reagenzglases über der Bunsenbrennerflamme löste sich das Endprodukt unter Schütteln auf. Gleichzeitig erkannte man eine starke Schaumbildung im Reagenzglas (s. Abb.4).

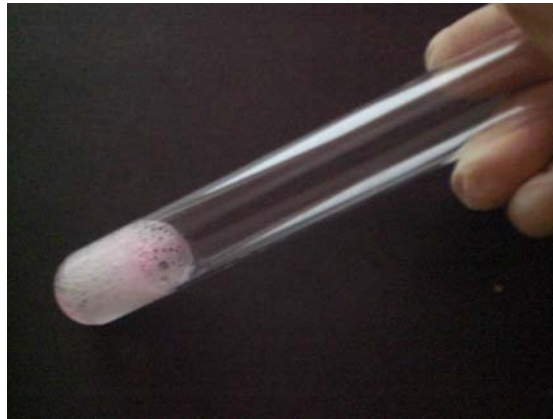


Abb. 4: Ein Teil des Endproduktes in Wasser. Durch Schütteln starke Schaumbildung

Entsorgung

Die flüssigen Abfälle konnten nach vorhergehender Neutralisation im organischen Lösungsmittelabfall entsorgt werden. Die angefallenen Feststoffe wurden nach vorhergehender Trocknung in der Feststofftonne entsorgt.

Fachliche Analyse

Die dem Versuch zugrunde liegende Reaktion wird als Verseifung bzw. Saponifikation bezeichnet. Generell handelt es sich hierbei um eine irreversible, basische Hydrolyse eines Esters. Es bildet sich der für die Estersynthese verwendete Alkohol zurück sowie das entsprechende Salz der Carbonsäure. Bedingt durch die Tatsache, dass der entstehenden Carbonsäure ein Proton fehlt (die Säure liegt als Salz vor), erklärt sich die Irreversibilität der Reaktion (im Gegensatz zur säurekatalysierten Hydrolyse eines Esters).

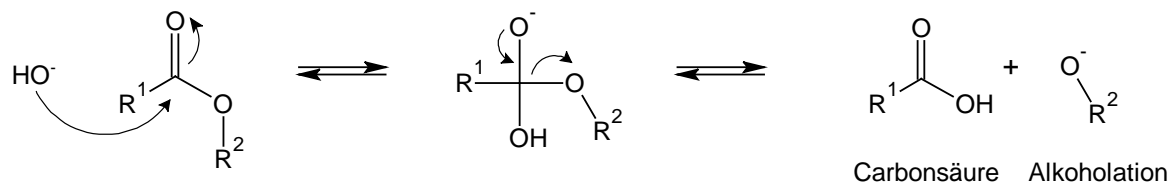
Der Begriff der Verseifung stammt ursprünglich von der in Seifensiedereien praktizierten Seifenherstellung. Hier wurden höhere Fettsäuren (langkettige Carbonsäuren¹) von Triglyceriden (Fette oder Öle tierischen und pflanzlichen Ursprungs) für die Reaktion verwendet. Bedingt durch den chemischen Bau der Triglyceride, bildet sich neben den Alkalisalzen der Fettsäuren der zugrunde liegende Alkohol, das Glycerin, zurück.

¹ Die Stoffgruppe der Carbonsäuren schließt die ebenfalls als Fettsäuren bezeichneten Moleküle mit ein. Da natürliche Fettsäuren, bedingt durch deren Biosynthese, meist eine gerade Anzahl von Kohlenstoff-Atomen besitzen und unverzweigt sind, kann als einfachste Fettsäure die Butansäure (Buttersäure) zählen. Der Kohlenstoffanteil höherer Fettsäuren ist jedoch im Durchschnitt wesentlich höher (über C10).

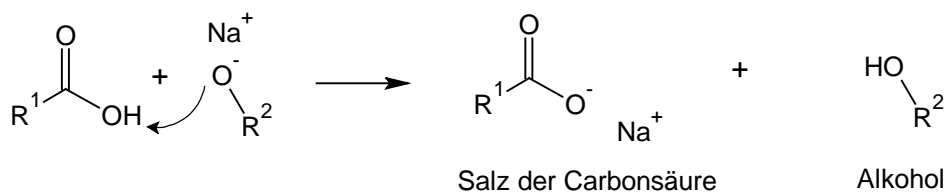
Die Natrium- oder Kaliumsalze höherer Fettsäuren – die so genannten Seifen – zählen zu den ältesten bekannten Waschmitteln. Hinweise auf deren Verwendung fand man auf bereits etwa 4500 Jahre alten sumerischen Tontafeln. Bei der ursprünglichen Herstellung wurden vermutlich diverse Pflanzenöle mit Pottasche (Kaliumcarbonat) verkocht.

Die Kaliumsalze höherer Fettsäuren haben eine schmierige, zähflüssige Substanz. Sie werden als Schmierseife bezeichnet. Hingegen weisen die Natriumsalze höherer Fettsäuren eine feste Konsistenz auf, sie werden als Kernseife bezeichnet.

Am Beispiel eines ‚einfachen‘ Esters soll nun der Mechanismus dargestellt werden. In einem ersten Schritt greift das Hydroxid-Ion das Carbonyl-C-Atom des Esters nukleophil an. Die daraufhin temporär aufgelöste Doppelbindung der Carbonylgruppe bildet sich schließlich unter Abspaltung des Alkoholations und der Bildung einer Carbonsäure zurück.



Das Alkoholation entzieht daraufhin der Carbonsäure ein Proton, es bildet sich der entsprechende Alkohol sowie das Salz der Carbonsäure – im dargestellten Fall das Natriumsalz der Carbonsäure. Im Gegensatz zu den vorhergehenden Schritten ist anzumerken, dass dieser letzte Schritt der Verseifung irreversibel ist.

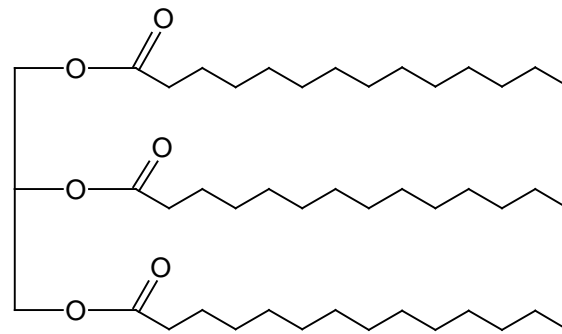


Im hier durchgeführten Versuch mit Butter als Ausgangsmaterial werden die drei mit Glycerin veresterten Carbonsäuren verseift, d.h. die oben genannten Schritte wiederholen sich dreimal.

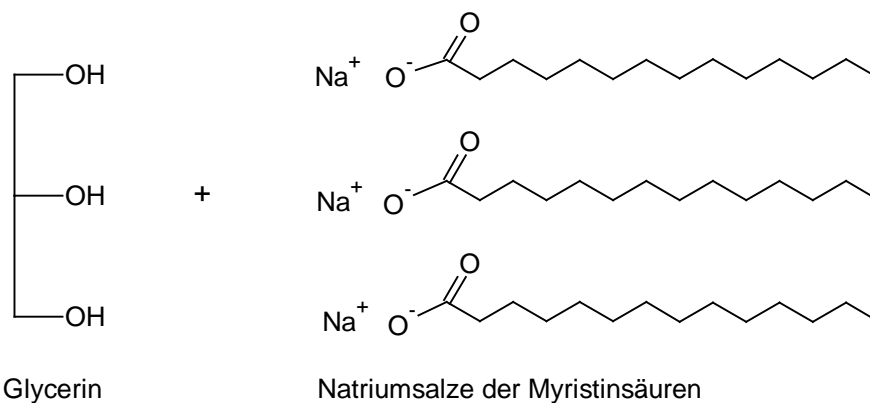
Butter besteht zu etwa 80% aus Milchlipp, welches einen hohen Anteil an der kurzkettigen Butansäure (Buttersäure) aufweist. Daneben finden sich Fettsäuren mit bis zu 18 Kohlenstoffatomen (darunter nur eine mehrfach ungesättigte Fettsäure (Linolsäure)). Ungefähr die Hälfte aller vorkommenden Säuren baut die Kuh biosynthetisch selber auf, die anderen

Säuren muss das Tier durch die Nahrung aufnehmen. Alle vorkommenden Fette bzw. Fettsäuren können bei der Reaktion verseift werden.

Am Beispiel der C14-Carbonsäure Myristinsäure wird deutlich, dass sich der dreiwertige Alkohol Glycerin sowie die entsprechenden Natriumsalze der Carbonsäuren bilden.



Myristinsäure



Glycerin

Natriumsalze der Myristinsäuren

Die Verseifung in dem durchgeführten Versuch erfolgte mit Natronlauge, der entstehende Alkohol ist das Glycerin, das im abschließenden Schritt abfiltriert wurde. Unmittelbar zuvor wurde jedoch Natriumchlorid zugeführt, um die Löslichkeit der entstandenen Seifen für die kommende Filtration abzusetzen. Der so gewonnene feste Rückstand auf dem Filterpapier sind die Natriumsalze der höheren Fettsäuren – und stellt somit eine typische Kernseife dar.

Die Bildung der entsprechenden Natriumsalze der Carbonsäuren konnten durch das Schütteln und der daraus folgenden Schaumbildung (s.u.) nachgewiesen werden².

Die Waschwirkung der Seifen beruht auf deren Eigenschaften in wässriger Lösung (s. Abb. 5). Der lange Alkylrest weist hydrophobe Eigenschaften auf, hingegen ist die Carboxylatgruppe

² Ein weiterer Test erfolgte durch die Zugabe von etwas Cerammoniumnitrat-Reagenz. Als Alkoholnachweis kann hiermit auf das Vorhandensein des Glycerins – und somit indirekt auf eine erfolgreiche Verseifung – geschlossen werden. Der Test verlief positiv (Rotfärbung) – jedoch konnte das zugehörige Bild aus technischen Gründen leider nicht in das Protokoll mit aufgenommen werden.

durch ihre hydrophile Eigenschaft gekennzeichnet. Werden Seifen in Wasser gelöst, so erfolgt (bei geringer Konzentration) eine Anreicherung der Seifenionen an der Phasengrenze Wasser-Luft. Hierbei orientieren sich die hydrophilen Carboxylat-Gruppen im Wasser, die hydrophoben Alkylreste jedoch weisen aus dem Wasser heraus. Dies bedingt, dass bereits bei geringen Seifenmengen die Oberflächenspannung des Wassers herabgesetzt wird³. Stoffe, die die Oberflächenspannung des Wassers herabsetzen, werden als Tenside bezeichnet.

Bei höherer Konzentration an Seifen lagern sich die Seifenanionen in der wässrigen Phase zu den kugelförmigen Objekten, so genannten Micellen, zusammen (s. Abb. 5). Diese bestehen aus etwa 100 Seifenanionen (in Abb. 5 sind aus Gründen der Übersicht nur wenige Seifenanionen dargestellt). Dabei orientieren sich die hydrophilen Carboxylat-Gruppen zur wässrigen Phase, die Alkylreste hingegen weisen ins Innere der Micellen. So wird der Kontakt der hydrophoben Alkylreste mit dem Wasser möglichst vermieden.

Hierin begründet sich letztlich auch die Neigung zur Schaumbildung von Seifenwasser (hier erfolgter Nachweis). Aufgrund der abgesenkten Oberflächenspannung können micellenähnliche Wassereinlagerungen die wässrige Phase verlassen.

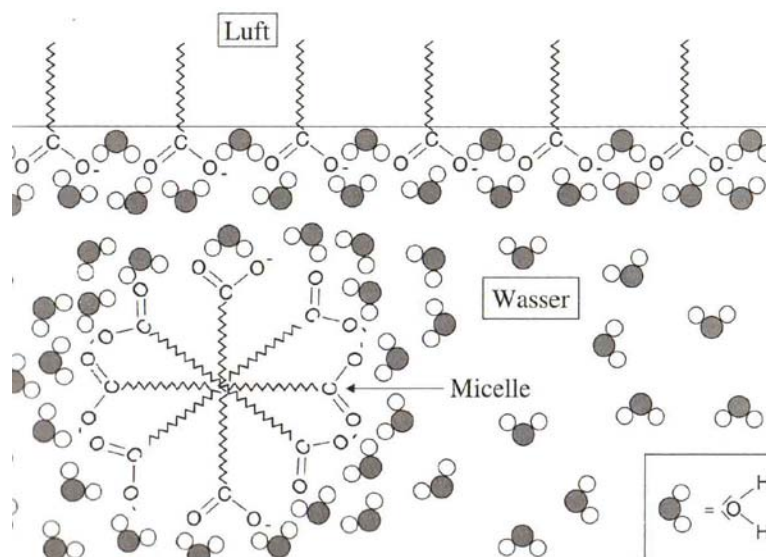


Abb. 5: Seife in Wasser, Orientierung der Seifenionen (Quelle: Wollrab, 2002)

Die Waschwirkung der Seifen beruht auf den geschilderten Eigenschaften. Die Herabsetzung der Oberflächenspannung geschieht nicht ausschließlich an der Phasengrenze Wasser/Luft, sondern z.B. auch an der Phasengrenze Textilfaser/Wasser bzw. Öltröpfchen/Wasser (Grenzflächen-

³ Die Oberflächenspannung des Wassers ist ursächlich in dem starken Zusammenhalt der dipolaren Wassermoleküle durch Wasserstoffbrückenbindungen. An der Phasengrenze Wasser/Luft wirkt dieser Zusammenhalt nur seitlich und nach innen – nicht in die Gasphase.

spannung). Die hydrophoben Alkylreste orientieren sich an der ebenfalls hydrophoben Verschmutzung (als Beispiel Öltröpfen an Textilfaser), die Carboxylat-Gruppen richten sich in die wässrige Phase aus (s. Abb. 6). Die Verschmutzung (sowie die gesamte Textilfaser) ist schließlich mit negativen Ladungsträgern umgeben. Die Verschmutzung kann sich aufgrund der gegenseitigen Abstoßung gleichnamiger Ladungen von der Textilfaser ablösen. Die umschlossenen Öltröpfchen werden zudem in kleinere (umschlossene) Tröpfchen zerteilt (Dispersion), welche sich, bedingt durch ihre Oberflächenladung, nicht erneut zusammenballen. Durch ein anschließendes Abtrennen der verunreinigten Seifenlösung und nachfolgendes Auswaschen mit Wasser ist der Waschvorgang abgeschlossen.

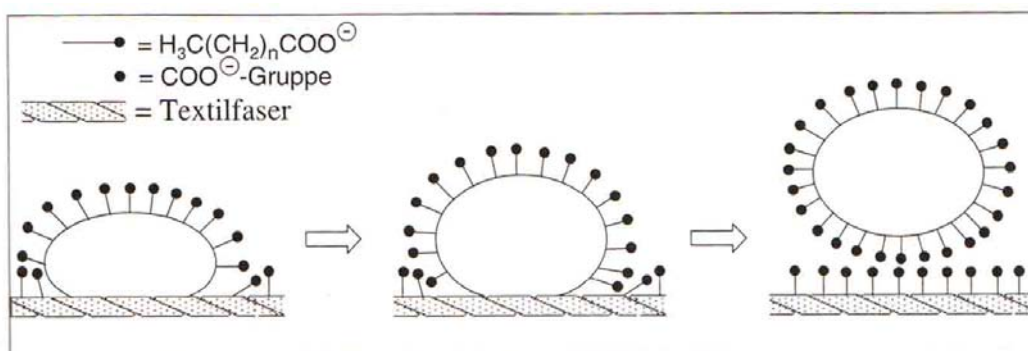
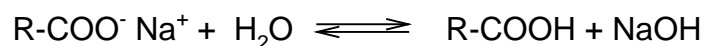


Abb. 6: Waschvorgang: Ein Öltröpfchen wird von einer Textilfaser abgelöst (Quelle: Wollrab, 2002)

Nachteile der Seifen

Da Seifen im Wasser mit den darin enthaltenen Ca^{2+} -Ionen schwerlösliche Calciumsalze (Kalkseifen) bilden, sind als Folge Verhärtungen und krustige Ablagerungen auf den Textilien zu beobachten („Grauschleier“). Damit einher geht ein höherer Seifenverbrauch.

Durch die Hydrolyse der Seife im Wasser und der beobachtbaren alkalischen Reaktion des Seifenwassers wird bei empfindlichen Stoffen (wie z.B. Wolle) eine Verfilzung gefördert.



Daher beschränkt sich die Anwendung von Seifen heute fast ausschließlich auf die Körperpflege. Waschaktive synthetische Substanzen weisen die beschriebenen Nachteile nicht auf.

Methodisch-didaktische Analyse

Im Rahmen der Behandlung der Alkansäuren und ihrer Derivate kann die Verseifung eines Fettes in der 11. Jahrgangsstufe sowohl im Grund- wie auch im Leistungskurs durchgenommen werden. Sinnvollerweise sollte zuvor die Esterbildung thematisiert worden sein.

Durch den Bezug zu Waschmitteln kann weiterhin eine Überleitung in das Themengebiet der grenzflächenaktiven Substanzen vorgenommen werden – wobei dieses jedoch im Lehrplan der 12. Jahrgangsstufe vorzufinden ist.

Die Vor- und Nachbereitungszeit beträgt jeweils etwa 10 Minuten, hingegen liegt die einzuplanende Zeit für die Durchführung aufgrund der halbstündigen Wartezeit bei etwa 45 Minuten. Die wenigen notwendigen Chemikalien sind für einen Schülerversuch geeignet und sollten zudem in jeder Schule vorhanden sein. Der apparative Aufwand ist sehr gering. Bei der gleichzeitigen Durchführung des Versuchs in mehreren Gruppen kann es jedoch notwendig sein, bei den verwendeten Materialien zu improvisieren. Die Apparatur könnte dann durchaus auch abgewandelt werden, indem der Versuchsaufbau den gegebenen Umständen angepasst wird. So kann bspw. auf die Kühlung verzichtet werden. Jedoch sollte dann das beim Sieden verdunstete Wasser stets nachgefüllt werden.

Es ist durchaus ratsam, den Versuch dahingehend abzuwandeln, dass das Endprodukt, in diesem Fall die Seife, auch verwendet werden kann. Dies würde eine Variation des Versuches hin zu einer größeren Menge an gebildeter Seife sowie evtl. eine Parfümierung (mit gewünschten Aromastoffen) derselben erfordern. Selbstverständlich müsste hierfür auch eine entsprechend saubere, lebensmittelreine Apparatur verwendet werden.

Literatur

McMurry J: Organic Chemistry; 4. Auflage 1996, Brooks/Cole Publishing Company; Pacific Grove, CA, USA

Wollrab A: Organische Chemie; 2. Auflage 2002, Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York

Idee aus:

<http://www.uni-koeln.de/med-fak/biochemie/biomed/versuche/v04.pdf> ; Zugriff am 4.12.08

[http://www.chemie.uni-](http://www.chemie.uni-regensburg.de/Anorganische_Chemie/Pfitzner/demo/demo_ss06/DKEHWasch.pdf)

[regensburg.de/Anorganische_Chemie/Pfitzner/demo/demo_ss06/DKEHWasch.pdf](http://www.chemie.uni-regensburg.de/Anorganische_Chemie/Pfitzner/demo/demo_ss06/DKEHWasch.pdf) ; Zugriff am 4.12.08

Anmerkung: Der Versuch wurde von den Vorlagen abgewandelt.

Weitere Quellen:

http://www.chids.de/dachs/praktikumsprotokolle/PP0058Verseifung_von_Butter.pdf; Zugriff am 4.1.09

Hessisches Gefahrstoffinformationssystem Schule; <http://www.hessgiss.de/>; Version 2006/07

Soester Liste; <http://h105.ath.cx/fwe.de/gefahstoffdaten.de/index.html>; Zugriff am 4.1.09

Hessischer Lehrplan Chemie G8; unter <http://www.kultusministerium.hessen.de/>; Zugriff am 5.1.09