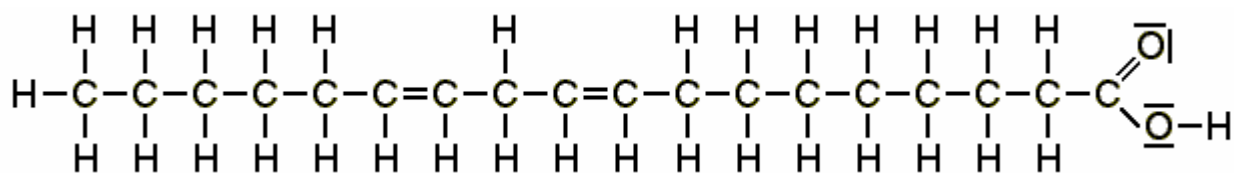
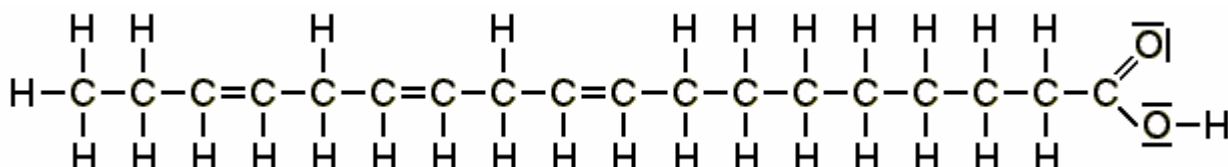




Strukturformel von Linolsäure ( $C_{17}H_{31}COOH$ ):



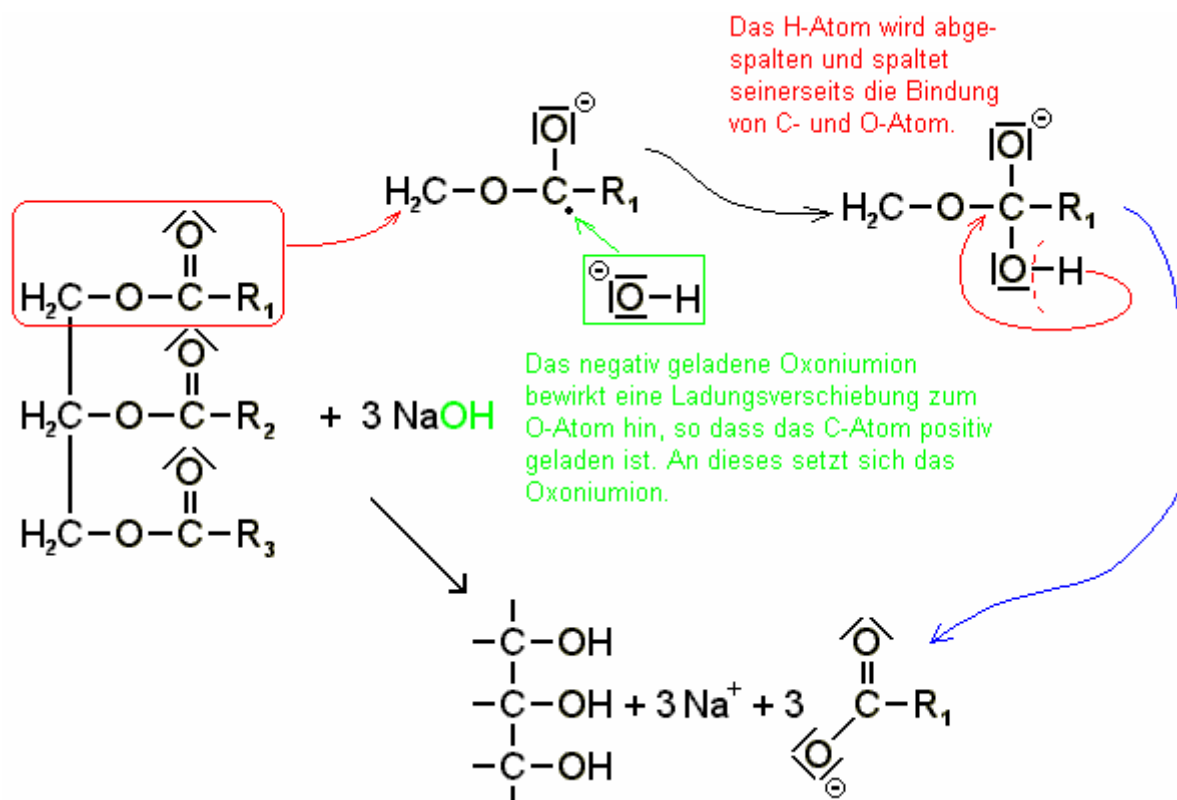
Strukturformel von Linolensäure ( $C_{17}H_{29}COOH$ ):



### Verseifung von Fetten

20 ml Fett und 20 ml Brennspritus werden gemischt und im Rückfluss mit 30 ml Natronlauge [w(NaOH) = 40%] 15 Minuten bis zum Sieden erhitzt. Nach dem Erkalten wird das Reaktionsgemisch in 100 ml gesättigte Kochsalzlösung gegeben. Die Seife wird abgeschöpft und mit Papier abgepresst.

Reaktionsgleichung der Fettspaltung (= Verseifung):

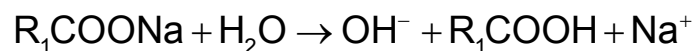


→ Die Kochsalzlösung wird eingesetzt, um weitere  $\text{Na}^+$ -Ionen bereitzustellen:



Dadurch erhält man viel mehr Kernseife und mehr negative Reste werden erfasst. Weiterhin wird eingelagertes Wasser entzogen, so dass die Seife sich nicht lösen kann.

→ Wird ein Indikator zu der Seife gegeben, so gibt er einen pH-Wert von circa 10 an. Die Seife ist basisch, was auch durch die Reaktionsgleichung von  $\text{R}_1\text{COONa}$  mit Wasser deutlich wird.



Kernseifen:

Die Verseifung von Estern mit Natronlauge synthetisiert Kernseifen.

Schmierseifen:

Die Verseifung von Estern mit Kalilauge synthetisiert Schmierseifen.

Versuch:

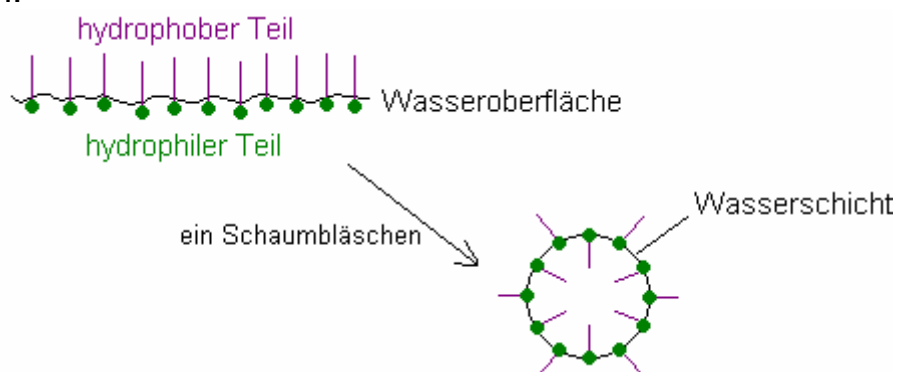
Zu etwas Seifenlösung wird destilliertes Wasser, Leitungswasser bzw. Kalkwasser gegeben.

Beobachtungen:

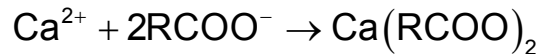
Wird die Seifenlösung mit destilliertem Wasser versetzt, bildet sich Schaum und es liegt eine Trübung vor. Bei Zugabe von Leitungswasser bildet sich ebenfalls Schaum und die Lösung trübt sich milchig. Das Kalkwasser bewirkt eine starke Trübung und kaum Schaumbildung.

Erklärung:

In Lösung mit Wasser spaltet sich das Seifenmolekül in Säurerestion und Natrium- bzw. Kaliumion auf. Das Säurerestion ( $\text{C}_x\text{H}_y\text{COO}^-$ ) hat sowohl einen hydrophoben als auch einen hydrophilen Teil, so dass es zum Teil im Wasser gelöst ist. Durch das „Eindringen“ dieser Säurerestionen verringert sich die Oberflächenspannung von Wasser und es bildet sich Schaum.



Die Trübung mit Kalkwasser kommt deshalb zustande, weil das positive Calciumion jeweils zwei Säurerestionen an sich bindet, wodurch auch die Schaumbildung unterbunden wird. Da im Leitungswasser Kalk in geringen Mengen auftritt, lässt sich die milchige Trübung wie beim Kalkwasser erklären:



### Nachweise von Doppelbindungen in Fettsäuren

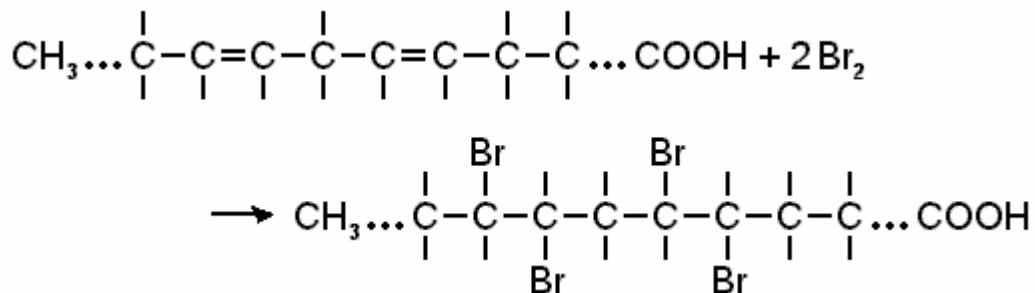
Versuch:

Linolsäure wird mit 1-Propanol gelöst. Im Abzug wird etwas Bromwasser hinzugegeben.

Beobachtung:

Die durch das Bromwasser bräunlich gefärbte Lösung wird kurz darauf wieder farblos.

Erklärung:



Bei der Reaktion, die *Bromaddition* genannt wird, wird an jede Doppelbindung ein Brommolekül addiert, wodurch die Br<sub>2</sub>-Moleküle verschwinden. Dadurch entfärbt sich die Lösung wieder.

Versuch 2:

Ölsäure wird mit 1-Propanol gelöst. Hinzu wird alkalische Kalziumpermanganatlösung gegeben.

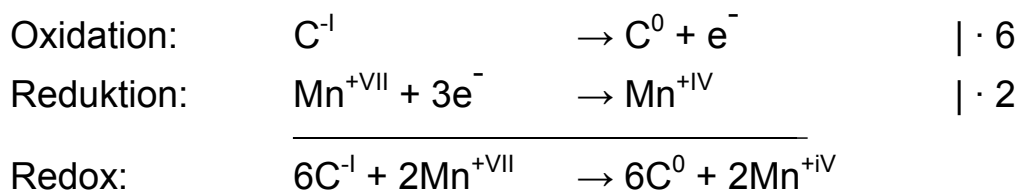
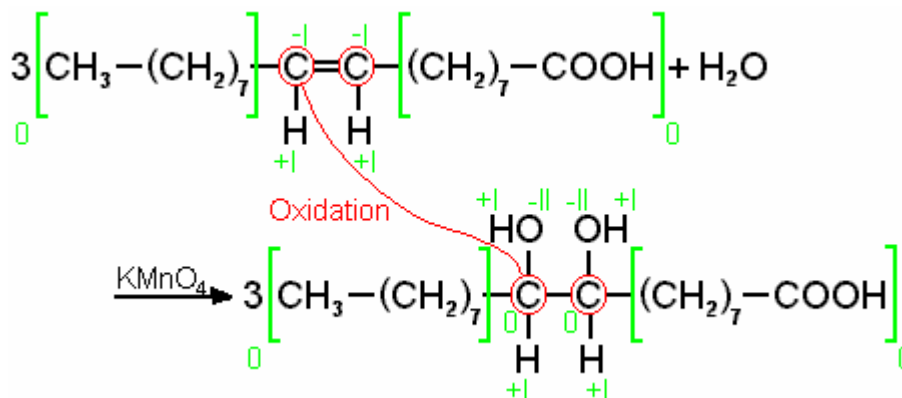
Beobachtung:

Unter Umrühren verfärbt sich die lilafarbene Lösung nach braun.

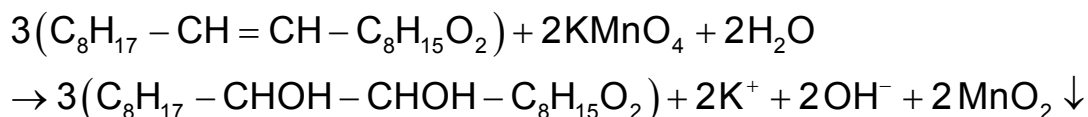
Erklärung:

Das Kalziumpermanganat reagiert mit der Fettsäure unter Bildung von Braunstein (MnO<sub>2</sub>) und eines Diols (Verbindung mit zwei OH-Gruppen).

Reaktionsgleichung für die Fettsäure:



Gesamtreaktionsgleichung:



Durch diese Reaktion, auch Baeyer-Reagenz genannt, setzt sich jeweils eine OH-Gruppe an jede Doppelbindung des Fettsäuremoleküls. Der Farbumschlag lässt sich durch die Bildung von Braunstein erklären.

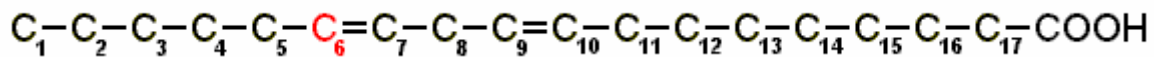
### Omegafettsäuren

Omega-3- und Omega-6-Fettsäuren zählen zu den langkettigen mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Das heißt, sie bestehen aus mindestens 18 Kohlenstoffatomen und haben mehr als ein Doppelbindung. Die Zahl vor dem Doppelpunkt gibt an, wie viele Doppelbindungen insgesamt vorliegen. Das Omega oder n steht dafür, dass die Kette der Fettsäuren von der Methylgruppe her nummeriert wird und die Angabe 3 bzw. 6 bezeichnet die Position von der ersten Doppelbindung am dritten bzw. sechsten Kohlenstoffatom.

Der menschliche Organismus kann weder die Omega-3-Fettsäure  $\alpha$ -Linolensäure noch die Omega-6-Fettsäure Linolsäure aus anderen Fettsäuren aufbauen, weshalb diese beiden Fettsäuren als essentiell gelten.

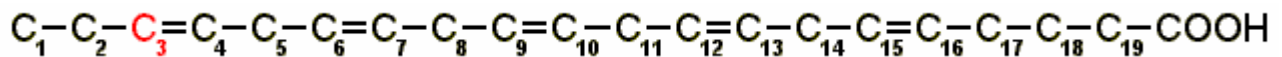
Zu den Omega-6-Fettsäuren gehören:  $\gamma$ -Linolensäure, Linolsäure und Arachidonsäure.  $\gamma$ -Linolensäure wirkt entzündungshemmend und wird vor allem bei Neurodermitis angewendet.

Strukturformel von Linolsäure (18:2 $\omega$ 6):



Zu den Omega-3-Fettsäuren gehören:  $\alpha$ -Linolensäure, Eicosapentaensäure (EPA), Docosahexaensäure (DHA).  $\alpha$ -Linolensäure ist vorrangig pflanzlicher Herkunft, während die anderen beiden Omega-3-Fettsäuren vor allen in fettem Seefisch vorkommen. Omega-3-Fettsäure wirken sich positiv auf den Fettstoffwechsel aus, weil sie erhöhte Cholesterin- und Triglyceridwerte und damit auch das Arterioskleroserisiko senken können.

Strukturformel von Eicosapentaensäure (20:5 $\omega$ 3):



Um die ganzen C-Atome nicht zeichnen zu müssen, zeichnet man die Strukturformeln auch auf diese Weise (am Beispiel von EPA):

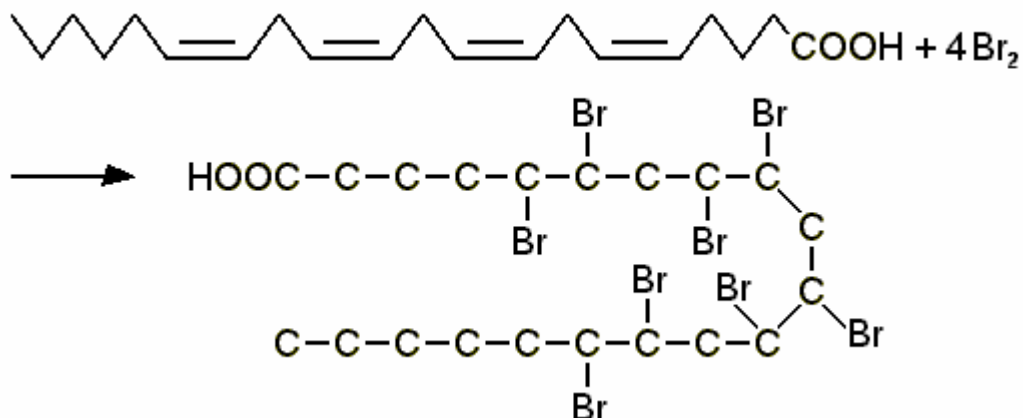


→ Beide Zeichnungen berücksichtigen nicht die Besonderheit in der Struktur von Fetten. Die an Doppelbindungen übliche cis-trans-Isomerie gibt es nicht. Es gibt nur Cis-Bindungen.

Versuch:

Arachidonsäure wird mit Bromwasser umgesetzt.

Ergebnis:



→ Würde das Experiment mit Kalziumpermanganatlösung durchgeführt, würden sich OH-Gruppen an die Doppelbindungen setzen.

## Säurezahl

In einem Erlenmeyerkolben werden 5 g Leinöl in einem Ether-Ethanolgemisch (1:1) gelöst und mit Kalilauge [ $c(\text{KOH}) = 0,1 \text{ mol} \cdot \ell^{-1}$ ] titriert. Indikator ist PPT. Es soll die Masse des benötigten Kaliumhydroxids ermittelt werden.

Messung:  $V(\text{KOH}) = 1,5 \text{ ml}$

Berechnung der Kaliumhydroxidmasse:

$$\begin{aligned} m(\text{KOH}) &= M(\text{KOH}) \cdot n(\text{KOH}) \\ &= M(\text{KOH}) \cdot V(\text{KOH}) \cdot c(\text{KOH}) \\ &= 56 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \ell \cdot 0,1 \frac{\text{mol}}{\ell} \\ m(\text{KOH}) &= 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ g} \end{aligned}$$



Säurezahl (SZ):

Die Säurezahl gibt an, wie viel mg KOH zur Neutralisation der freien organischen Säuren, die in einem Gramm Fett enthalten sind, benötigt wird:

$$SZ = \frac{m(\text{KOH}) [\text{mg}]}{1 \text{ g Fett}}$$

Verantwortlich für die freien Säuren ist ein Alterungsprozess. Es lief ein enzymatischer Abbau bzw. eine Oxidation unter dem Einfluss von Mikroorganismen und Licht ab (→ Verseifung).

Berechnung der Säurezahl für die vorige Titration:

$$SZ = \frac{m(\text{KOH})}{m(\text{Fett})} = \frac{8,4 \cdot 10^{-3} \text{ g}}{5 \text{ g}} = \frac{8,4 \text{ mg}}{5 \text{ g}} = 1,68 \left[ \frac{\text{mg KOH}}{\text{g Fett}} \right]$$

## Verseifungszahl

In einem Rundkolben werden zu 4,5 g Fett 50 ml einer alkoholischen Kaliumhydroxidlösung [ $c(\text{KOH}) = 0,5 \text{ mol} \cdot \ell^{-1}$ ] gegeben. Ein Heizpilz erwärmt die Lösung bis zum Sieden. Nach ungefähr 20 Minuten ist eine homogene Lösung entstanden. Diese Lösung wird nach Zugabe von PPT mit Salzsäure titriert.

Messung:  $V(\text{HCl}) = 4,1 \text{ ml}$

Berechnung der gesamten Kaliumhydroxidmasse:

$$\begin{aligned} m_G(\text{KOH}) &= M(\text{KOH}) \cdot n(\text{KOH}) \\ &= M(\text{KOH}) \cdot V_1(\text{KOH}) \cdot c(\text{KOH}) \\ &= 56 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 0,05 \ell \cdot 0,5 \frac{\text{mol}}{\ell} \\ m_G(\text{KOH}) &= 1,4 \text{ g} \end{aligned}$$

Da die Masse KOH ermittelt werden soll, die benötigt worden ist, um das Fett vollständig zu spalten, muss im nächsten Schritt die Masse des un-verbrauchten KOH berechnet werden.

Bei dieser Neutralisation sind die Stoffmengen der sauren und der alkalischen Lösung gleich. Es gilt:

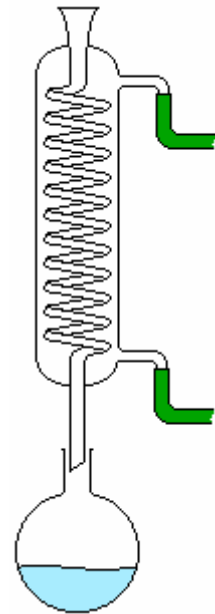
$$\begin{aligned} n(\text{HCl}) &= n(\text{KOH}) \\ V(\text{HCl}) \cdot c(\text{HCl}) &= V_2(\text{KOH}) \cdot c(\text{KOH}) \end{aligned}$$

Mit Hilfe dieser Gleichung kann die unbekannte Größe  $V_2(\text{KOH})$  ersetzen und die übrig gebliebene Menge KOH errechnen:

$$\begin{aligned} m_U(\text{KOH}) &= M(\text{KOH}) \cdot n(\text{KOH}) \\ &= M(\text{KOH}) \cdot V_2(\text{KOH}) \cdot c(\text{KOH}) \\ &= M(\text{KOH}) \cdot V(\text{HCl}) \cdot c(\text{HCl}) \\ &= 56 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 0,041 \ell \cdot 0,1 \frac{\text{mol}}{\ell} \\ m_U(\text{KOH}) &= 0,002296 \text{ g} \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich für das verbrauchte KOH:

$$m_V(\text{KOH}) = \Delta m(\text{KOH}) = m_G - m_U = 1,37704 \text{ g}$$





Verseifungszahl (VZ):

Die Verseifungszahl VZ gibt an, wieviel mg Kaliumhydroxid gebraucht werden, um die in 1 Gramm Fett enthaltenen freien Säuren zu neutralisieren und die veresterten Säuren zu verseifen. Es entstehen dabei die Kaliumsalze der Säuren.:

$$VZ = \frac{m(\text{KOH}) [\text{mg}]}{1 \text{ g Fett}}$$

Vorgehensweise:

1. Das Fett in Kaliumhydroxidlösung spalten.
2. Unverbrauchtes KOH durch Titration mit Salzsäure bestimmen.

Berechnung der Verseifungszahl:

$$VZ = \frac{\Delta m(\text{KOH})}{m(\text{Fett})} = \frac{1,37704 \text{ g}}{4,5 \text{ g}} = \frac{1377,04 \text{ mg}}{5 \text{ g}} = 306,01 \left[ \frac{\text{mg KOH}}{\text{g Fett}} \right]$$

Bestimmung der Molmasse des Fettes:

Mit Hilfe der Verseifungszahl kann man leicht die Molmasse des Fettes bestimmen. Dabei geht man von der Beziehung zwischen Molmassen und Masse eines Stoffes aus:

$$M(\text{Fett}) = \frac{m(\text{Fett})}{n(\text{Fett})} = \frac{m(\text{Fett})}{V(\text{Fett}) \cdot c(\text{Fett})}$$

Bei der Fettsplaltung läuft folgende Reaktion ab:



Unter Verwendung dieser Reaktionsgleichung kann man das Verhältnis der beiden Stoffmengen im ersten Teil des Experimentes aufstellen:

$$n(\text{Fett}) = \frac{1}{3} \cdot n(\text{KOH})$$

$$V(\text{Fett}) \cdot c(\text{Fett}) = \frac{1}{3} \cdot V(\text{KOH}) \cdot c(\text{KOH})$$

Dieser Term wird in die Ursprungsgleichung eingesetzt, so dass die Molmasse berechenbar wird, wobei die Verseifungszahl noch nicht in der Formel auftaucht:

$$M(\text{Fett}) = \frac{m(\text{Fett})}{\frac{1}{3} \cdot V(\text{KOH}) \cdot c(\text{KOH})} = 3 \cdot \frac{m(\text{Fett})}{V(\text{KOH}) \cdot c(\text{KOH})}$$

→ Ist die Verseifungszahl unbekannt, kann man diese Formel anwenden.

Um die Verseifungszahl in die Formel zu integrieren, stellt man die Gleichung nach der Masse des Fettes um:

$$VZ = \frac{m(\text{KOH}) \cdot 1000}{m(\text{Fett})} \Leftrightarrow m(\text{Fett}) = 1000 \cdot \frac{m(\text{KOH})}{VZ}$$

Weiterhin kann man die Masse des Kaliumhydroxids eliminieren, indem man folgende Gleichung in die Molmassenberechnungsformel einsetzt:

$$m(\text{KOH}) = M(\text{KOH}) \cdot V(\text{KOH}) \cdot c(\text{KOH})$$

Damit ergibt sich letzten Endes für die Molmasse des Fettes eine einfache Gleichung, sofern man die Verseifungszahl kennt:

$$M(\text{Fett}) = 3 \cdot 1000 \cdot \frac{M(\text{KOH}) \cdot V(\text{KOH}) \cdot c(\text{KOH})}{VZ \cdot V(\text{KOH}) \cdot c(\text{KOH})}$$
$$M(\text{Fett}) = 3000 \cdot \frac{M(\text{KOH})}{VZ}$$

Die Molmasse eines Fettes kann mit Hilfe der Verseifungszahl berechnet werden:

$$M(\text{Fett}) = \frac{1}{VZ} \cdot 168000 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Für das Fett mit  $VZ = 306,01$  heißt das:

$$M(\text{Fett}) = \frac{1}{VZ} \cdot 168000 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = \frac{1}{306,01} \cdot 168000 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 549 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

### Jodzahl

Von einem Fett werden 0,34 g in ein wenig Ether/Alkohol gelöst und mit 50 ml eine Jodlösung geschüttelt. Die Konzentration der Jodlösung ist  $c(\text{I}_2) = 0,08 \text{ mol} \cdot \ell^{-1}$ .

Das Reaktionsgefäß wird für zwei Tage weggestellt. Anschließend werden einige Tropfen Stärkelösung hinzugefügt und das Reaktionsgemisch mit Thiosulfatlösung [ $c = 0,1 \text{ mol} \cdot \ell^{-1}$ ] bis zum Farbumschlag titriert.

Messung:  $V(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 65 \text{ ml}$

Erklärung:

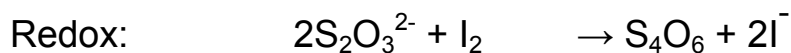
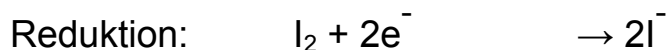
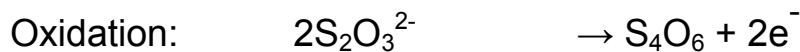
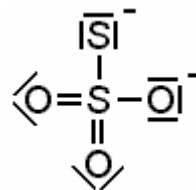
Die Jodlösung ( $I_2$ ) spaltet die Doppelbindungen des Fettes aus und Jodatome setzen sich an die betroffenen C-Atome (vgl. Bromaddition).

Da die Jodlösung immer im Überschuss angesetzt wird, d.h. es ist mehr Jodlösung vorhanden, als aufgebraucht wird, muss daraufhin bestimmt werden, wie viel Jod übrig geblieben ist. Aus dieser Masse schließt man auf die Masse des verbrauchten Jods.

Das macht man mit einer Titration. Die Jodlösung ist weder sauer noch alkalisch, so dass eine Titration mit einer Säure bzw. einer alkalischen Lösung und Indikator nicht möglich ist. Man behilft sich mit der Iod-Stärke-Reaktion: Wird Jodlösung mit Stärkelösung zusammengebracht, entsteht eine tiefblaue Flüssigkeit, die darauf zurückzuführen ist, dass sich je ein Jodmolekül in eine Windung des Amylosemoleküls setzt. Die Lösung wird mit Thiosulfat titriert, weil dieses Ion die Jodmoleküle spaltet und damit die blaue Farbe verschwindet.



Thiosulfation:



Berechnung der Gesamtmasse des Jods:

$$\begin{aligned} m_G(I_2) &= M(I_2) \cdot n(I_2) \\ &= M(I_2) \cdot V_1(I_2) \cdot c(I_2) \\ &= 254 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 0,05 \ell \cdot 0,08 \frac{\text{mol}}{\ell} \\ m_G(I_2) &= 1,016 \text{ g} \end{aligned}$$

Um herauszufinden wie viel Gramm Jod an 100 Gramm des Fettes addiert worden sind, bestimmt man die unverbrauchte Menge an Jod (den Endwert).

Mit der Redoxgleichung der Titration kann man das Stoffmengenverhältnis von Jod und Thiosulfat aufstellen:

$$n(\text{I}_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})$$

Wie schon bei der Verseifungszahl kann nun die Masse an unverbrauchtem Jod berechnet werden, indem man  $n(\text{I}_2)$  ersetzt:

$$\begin{aligned} m_{\text{U}}(\text{I}_2) &= \frac{1}{2} \cdot n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) \cdot M(\text{I}_2) \\ &= \frac{1}{2} \cdot V(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) \cdot c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) \cdot M(\text{I}_2) \\ &= \frac{1}{2} \cdot 0,065 \text{ l} \cdot 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 254 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \\ m_{\text{U}}(\text{I}_2) &= 0,8255 \text{ g} \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich für das verbrauchte  $\text{I}_2$ :

$$m_{\text{V}}(\text{I}_2) = \Delta m_{\text{V}}(\text{I}_2) = m_{\text{G}}(\text{I}_2) - m_{\text{U}}(\text{I}_2) = 0,1905 \text{ g}$$

Jodzahl (IZ):

Die Jodzahl gibt an, wieviel Gramm Jod von 100 Gramm Fett addiert werden:

$$\text{IZ} = \frac{m(\text{I}_2) [\text{g}]}{100 \text{ g Fett}}$$

Berechnung der Jodzahl:

$$\text{IZ} = \frac{m(\text{I}_2) [\text{g}]}{100 \text{ g Fett}} = \frac{\Delta m(\text{I}_2)}{m(\text{Fett})} \cdot 100 = 56,03 \left[ \frac{\text{g Jod}}{100 \text{ g Fett}} \right]$$

Bestimmung der Anzahl der Doppelbindungen pro Fettmolekül:

Die Verseifungszahl ermöglicht es die Anzahl der Doppelbindungen in einem Fettmolekül zu bestimmen. Der Quotient der Stoffmengen gibt die Anzahl der Doppelbindungen (DB) pro Fettmolekül an:

$$\text{DB} = \frac{\text{DB}}{1 \text{ Fettmolekül}} = \frac{n(\text{I}_2)}{n(\text{Fett})} = \frac{\frac{\Delta m(\text{I}_2)}{M(\text{I}_2)}}{\frac{m(\text{Fett})}{M(\text{Fett})}} = \frac{\Delta m(\text{I}_2) \cdot M(\text{Fett})}{m(\text{Fett}) \cdot M(\text{I}_2)}$$

Formt man die Formel für die Jodzahl entsprechend um, kann man den Quotienten aus den beiden Massen ersetzen:

$$IZ = \frac{\Delta m(I_2)}{m(\text{Fett})} \cdot 100 \Leftrightarrow \frac{IZ}{100} = \frac{\Delta m(I_2)}{m(\text{Fett})}$$

Die Anzahl der Doppelbindungen in einem Fettmolekül kann mit Hilfe der Jodzahl berechnet werden:

$$DB = \frac{1}{100} IZ \cdot \frac{M(\text{Fett})}{M(I_2)}$$

Beispielrechnung unter der Annahme das Fett hätte die Molmasse  $M(\text{Fett}) = 943 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ :

$$DB = \frac{IZ}{25400 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot M(\text{Fett}) = \frac{56,03}{25400 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \cdot 943 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 2,0802 \approx 2$$

Aus diesem Ergebnis lassen sich 2 Fälle konstruieren:

- 1.) Eine Fettsäure hat 2 Doppelbindungen und die anderen beiden sind gesättigt.
- 2.) Zwei Fettsäuren haben jeweils eine Doppelbindung und die andere ist gesättigt.

→ Will man es noch weiter treiben, kann man die Doppelbindungen in einem Fettmolekül auch anhand der Verseifungs- und der Jodzahl errechnen. Dazu muss man die jeweiligen Formeln umstellen:

$$\frac{\Delta m(I_2)}{m(\text{Fett})} = \frac{IZ}{100}$$

$$M(\text{Fett}) = 3000 \cdot \frac{M(\text{KOH})}{VZ}$$

Für die Doppelbindungen heißt das:

$$DB = \frac{\Delta m(I_2) \cdot M(\text{Fett})}{m(\text{Fett}) \cdot M(I_2)} = \frac{IZ \cdot 3000 \cdot \frac{M(\text{KOH})}{VZ}}{100 \cdot M(I_2)} = 30 \cdot \frac{IZ}{VZ} \cdot \frac{M(\text{KOH})}{M(I_2)}$$

Die Anzahl der Doppelbindungen ist das Produkt aus einem konstanten Faktor und dem Verhältnis der Jod- zur Verseifungszahl:

$$DB = 6,614 \cdot \frac{IZ}{VZ}$$

## Zusammensetzung von Fetten

Fettsäuren	Butter	Schweine- schmalz	Rindertalg	Walöl	Kokos- fett	Olivenöl	Sonnen- blumenöl	Leinöl	M(Fettsäure) in g · mol <sup>-1</sup>	M(Fett) in g · mol <sup>-1</sup>	Versei- fungszahl
<b>gesättigte</b>											
Buttersäure (C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOH)	3%	-	-	-	-	-	-	-	88	302	556
Laurinsäure (C <sub>11</sub> H <sub>23</sub> COOH)	3%	-	-	-	48%	-	-	-	200	638	236
Palmitinsäure (C <sub>15</sub> H <sub>31</sub> COOH)	27%	27%	30%	18%	9%	15%	5%	7%	256	806	208
Stearinsäure (C <sub>17</sub> H <sub>35</sub> COOH)	10%	14%	20%	1%	3%	2%	2%	3%	284	890	188
andere Fett- säuren	18%	2%	4%	10%	32%	2%	1%	-	-	-	-
<b>ungesättigte</b>											
Ölsäure (C <sub>17</sub> H <sub>33</sub> COOH)	30%	45%	39%	32%	6%	71%	27%	18%	282	884	190
Linolsäure (C <sub>17</sub> H <sub>31</sub> COOH)	4%	8%	3%	5%	2%	8%	65%	14%	280	878	191
Linolensäure (C <sub>17</sub> H <sub>29</sub> COOH)	1%	-	-	-	-	-	-	58%	278	874	192
andere Fett- säuren	4%	4%	4%	16%	-	2%	-	-	-	-	-
Schmelzbe- reich (in °C)	30 bis 36	27 bis 29	42 bis 49	> 0	20 bis 23	-2 bis 0	-19 bis 11	-27 bis -16			

$$M(\text{Fett}) = 3 M(\text{Fettsäure}) + M(\text{Glycerin}) - 3 M(\text{Wasser}) = 3 M(\text{Fettsäure}) + M(\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3) - 3 M(\text{H}_2\text{O})$$