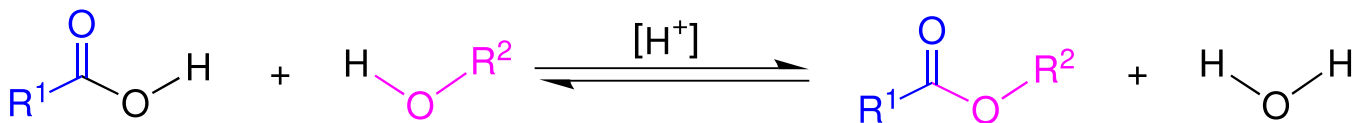


## 1. Veresterung - Anhängen von Alkoholen an eine Säuregruppe

Die Carboxylgruppe ist nicht nur zur reversiblen Protonenabgabe befähigt.

In Anwesenheit von katalytisch wirkenden  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionen kann es zur **Kondensationsreaktion** zwischen der Carboxylgruppe und der Hydroxylgruppe eines Alkanols kommen. **Kondensationsreaktionen sind Reaktionen bei denen zwei Moleküle zu einem großen Molekül verbinden, wobei eine niedermolekulare Substanz, meist  $\text{H}_2\text{O}$  abgespalten wird.** Dabei entsteht eine neue Stoffklasse, die **Carbonsäureester**, kurz auch als **Ester** bezeichnet. Die charakteristische funktionelle Gruppe  $\text{---C(O)-O---}$  wird als **Carbonsäureestergruppe** oder kurz als **Estergruppe** bezeichnet.

1.1 Ergänzen Sie hier die freien Elektronenpaare und markieren Sie die Estergruppe.

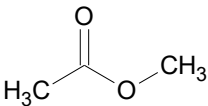


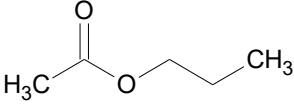
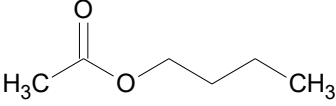
1.2 Formulieren Sie in ausführlichen Valenzstrichformeln (LEWIS-Formeln) die Veresterungsreaktion von Ethansäure mit Propan-1-ol. Das Produkt wird Propansäureethylester genannt:

## 2. Nomenklatur, homologe Reihe und physikalische Eigenschaften

Der systematische Name der Verbindungen leitet sich denen der zugrunde liegenden Säure und des Alkohols ab, beispielsweise Propansäure-ethylester. Alternativ kann man den systematische Namen auch aus dem Säurerestion des Carbonsäure und dem daran anhängenden Alkylrest bilden. So wird Propansäureethylester auch als **Ethylpropanoat** bezeichnet. Von jeder einzelnen Carbonsäure gibt es eine ganze homologe Reihe an Estern.

Beispiel: Homologe Reihe der Essigsäure-Ester. Ergänzen Sie fehlende Einträge!

Bezeichnung	(Halb-)Strukturformel	Smp.	Sdp.	Löslichkeit in Wasser	Bemerkungen
Ethansäuremethylester oder .....		- 99 °C	57 °C	250 g/L	
Ethansäureethylester (Essigsäureethylester) oder Ethylethanoat (Ethylacetat)		- 83 °C	77 °C	83,5 g/L	Lösungsmittel im Alleskleber: Charakteristisch für dessen Geruch.

Essigsäure-n-propylester oder .....		-95 °C	102 °C	21,2 g/L	wichtigster Bestandteil in Apfelaroma und sehr vielen weiteren Fruchtaromen (Pfirsich, Pflaumen etc.)
Essigsäure-isopropylester (Isopropylacetat): verzweigt		-73°C	89°C	31 g/L	Es ist eine Hauptkomponente im Bouquet von Erdbeer- und Ananas-Aroma.
..... oder .....		-77 °C	127 °C	4,3 g/L	Hauptbestandteil in Birnenaroma
Essigsäure-n-pentylester Pentylethanoat				1,7 g/L	Wichtiger Bestandteil in Bananenaroma

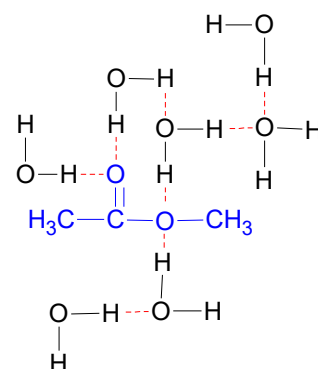
Die meisten niedermolekularen Ester besitzen charakteristische fruchtigen Duft. Dieser ist schon in kleinen Konzentrationen wahrnehmbar, weil die Substanzen relativ flüchtig sind. Das lässt sich mit dem Fehlen polar gebundener H-Atome erklären, wodurch keine Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Molekülen auftreten. Diese Eigenschaft teilen sie auch mit den Aldehyden und Ketonen und Ethern. Zusammen bilden diese Stoffklassen die Hauptbestandteile von natürlichen und künstlichen (Frucht-)Aromen, Duftstoffen und Parfüm.

An der homologen Reihe der Essigsäure-Ester kann man erkennen, dass aufgrund steigender van-der-Waals-Kräfte durch die länger werden Alkylreste, die zwischenmolekularen Kräfte und damit die Schmelz- und Siedepunkte zunehmen. Dort, wo verzweigte Vertreter auftreten, ist deren Siedepunkt aufgrund der geringeren Molekülkontaktflächen geringer (vgl. die beiden Essigsäurepropylester!).

Die **Löslichkeit** in Wasser nimmt mit steigender Kettenlänge rapide ab, weil nur relativ geringe zwischenmolekulare Kräfte zwischen dem H<sub>2</sub>O und dem länger-kettigen Ester wirken können. Die beiden Molekülsorten separieren sich bei Überschreitung der Löslichkeit voneinander. Die

zwischenmolekularen Kräfte sind bei der Trennung in zwei Phasen in der Summe stärker als bei einer hypothetischen Mischphase. In der Ester-Phase wirken überwiegend *van-der-Waals-Kräfte*, in der wässrigen Phase überwiegend H-Brücken.

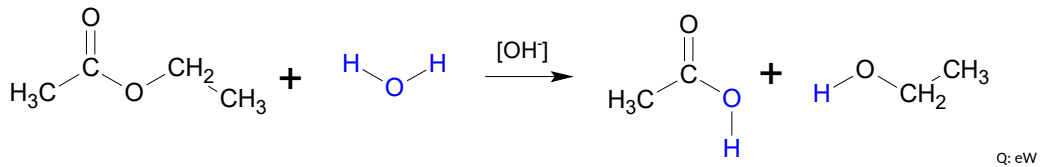
Bei den leichtesten Carbonsäureestern gibt es jedoch bedeutende Anteile an H-Brückenbindungen zwischen Esterbindung und den Wassermolekülen. So löst sich der einfachste aller Ester, der *Methansäuremethylester*, zu immerhin 300 g/L in Wasser. Hier haben die sich zwischen H<sub>2</sub>O und dem kleinen organischen Molekül vorhandenen H-Brücken eine relativ große Bedeutung.



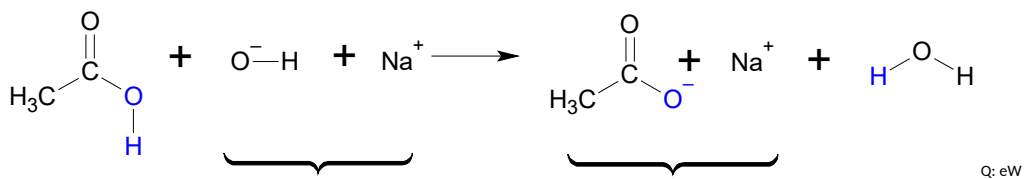
*H-Brücken erklären die relativ gute Wasserlöslichkeit niedermolekularer Ester.* Q: e.W.

### 3. Chemische Eigenschaft: Esterspaltung

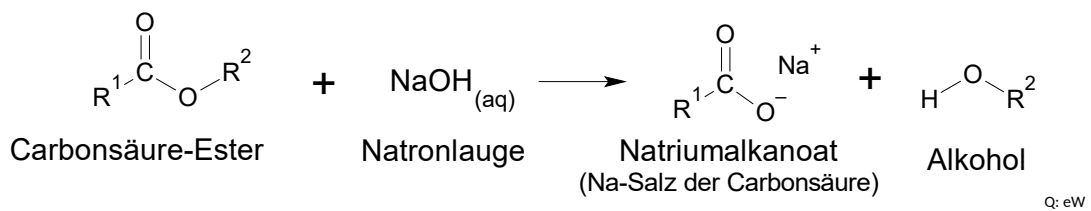
In Umkehrung der Kondensationsreaktion, neigen Carbonsäureester beim Erhitzen, insbesondere mit OH<sup>-</sup>-reicher, also alkalischer Umgebung, zur **Hydrolyse**. So werden allgemein Spaltungsreaktionen unter dem Einfluss von Wasser genannt. Die OH-Ionen wirken hierbei als Katalysator :



Die freien Carbonsäure-Moleküle reagieren in der alkalischen Umgebung jedoch sofort weiter. Mit Natronlauge (NaOH<sub>aq</sub>) ergeben sich beispielsweise die Natriumsalze der Carbonsäuren. Ergänzen Sie die genauen, konkreten Stoffbezeichnungen an den geschweiften Klammern.



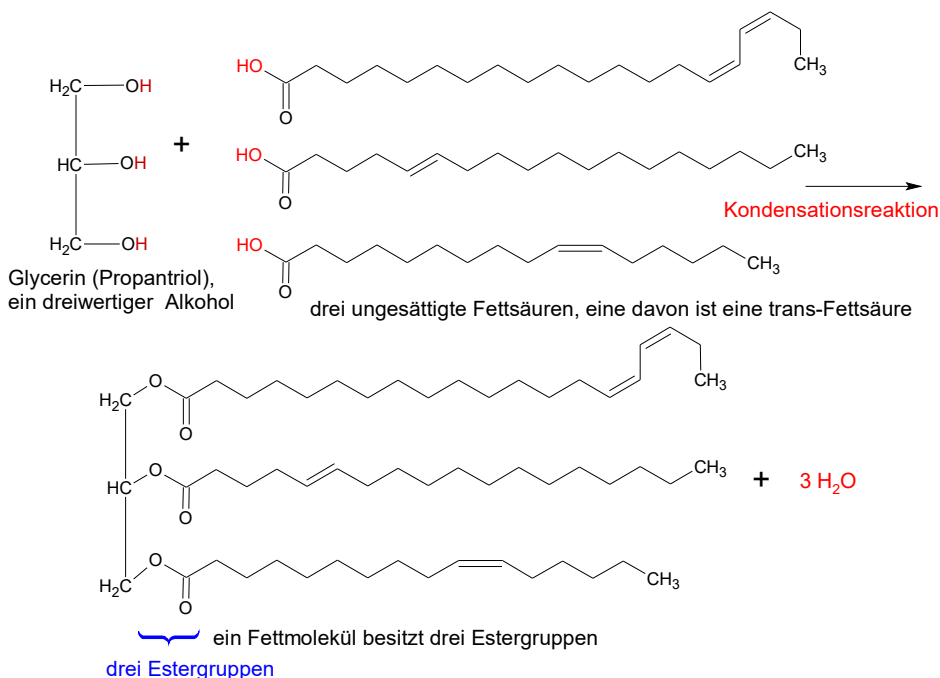
Fast man diese beiden Reaktionen zusammen und verallgemeinert sie für alle Ester, so kommt man zur Reaktionsgleichung:



Die *alkalische Hydrolyse* von Estern wird auch **Verseifung** genannt (siehe unten)

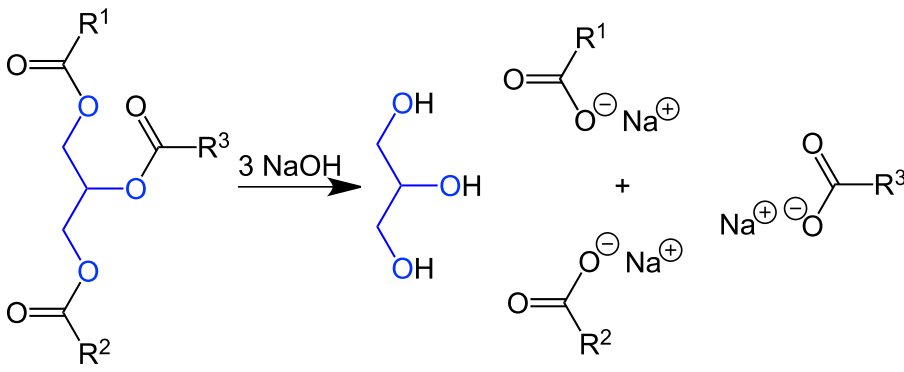
### 4. Spezielle Ester und Spaltprodukte

#### Fette und Seifen



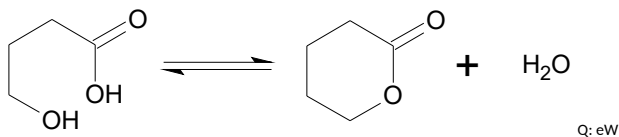
Siedet man Fette mit Natronlauge, so kommt es wie bei allen Estern zur alkalischen Hydrolyse. Das Reaktionsgemisch schäumt stark und erstarrt zu einer weißen weichen Masse. Es handelt sich um **Kernseife, dem Gemisch der Natriumsalze der Fettsäuren** genannt. Die alkalische Hydrolyse von Estern wird deshalb auch **Verseifung**, selbst wenn es sich bei den Ausgangsstoffen nicht um Fette handelt.

Die *waschaktive Wirkung* von Seifen wurde schon von Jahrtausenden erkannt. Die Seifensiederei war bis in die Neuzeit in der Nähe der Schlachthöfe untergebracht. Früher wurde Seife durch alkalische Hydrolyse von Tierfetten gewonnen, die bei der Schlachtung anfielen, durch stundenlanges Kochen der Schlachtabfälle mit Laugen. Heute dominieren Seifen aus der Hydrolyse von pflanzlichen Ölen.



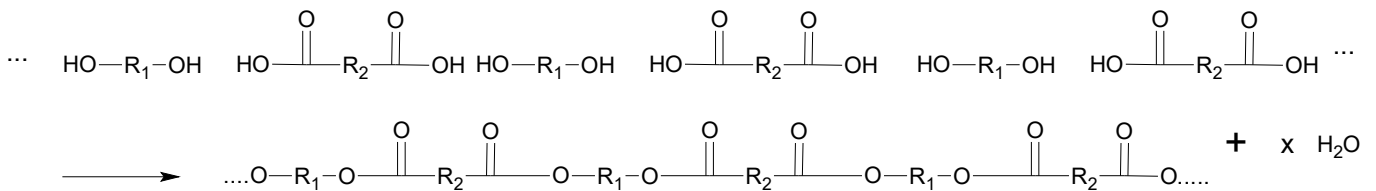
**Intramolekulare Ester**

Enthält ein Molekül eine Carboxylgruppe und in ausreichendem Entfernung eine Hydroxylgruppe, wie beispielsweise in der *4-Hydroxybutansäure*, so kann es in auch intramolekular zur Veresterung kommen. Auch hier handelt es sich um Gleichgewichtsreaktionen die keinesfalls vollständig ablaufen. Die Reaktion ist reversibel, bei der Rückreaktion kommt es *intramolekularen Hydrolyse*.

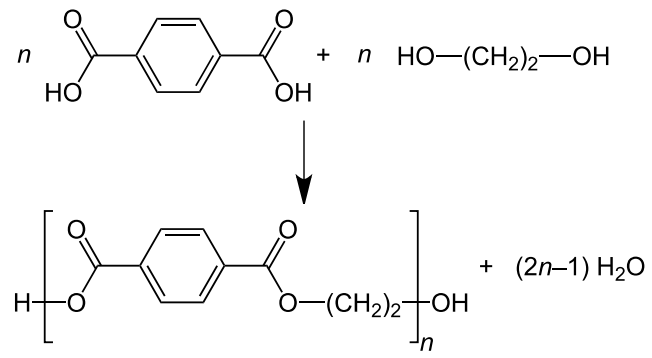


**Polyester**

Bifunktionelle Moleküle können sich durch fortgesetzte Kondensationsreaktionen zu sehr langkettigen Molekülen mit sehr vielen Estergruppen verbinden. Setzt man als Ausgangsstoffe zweiwertige Alkohole und zweiwertige Carbonsäuren ein, entstehen unverzweigte Polyester:



Durch solche Polykondensationen entstehen Polyester. Einer der wichtigsten Polyester ist das **Polyethylentephtalat (PET)**. Aus diesem Kunststoff werden die **Einweg-Plastikflaschen (PET-Flaschen)** gefertigt:



Polykondenstation zur Herstellung von PET. Q. wikicommons. A: Jü