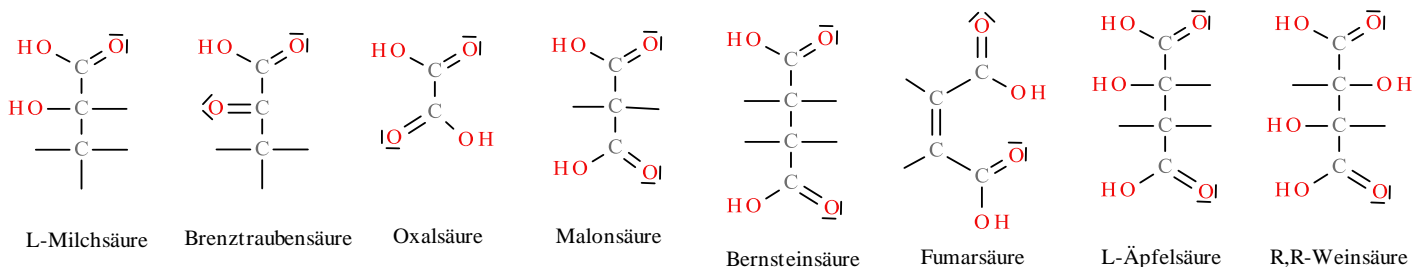


## 2.7. Aufgaben zu Carbonsäuren und Estern

### Aufgabe 1: Benennung

Gib die systematischen Namen der folgenden Säuren an:



Systematischer Name	Trivialname	Salze	Vorkommen
	Milchsäure	Lactat	anaerobe Glykolyse, Konservierungsmittel E 325 - 237
	Brenztraubensäure	Pyruvat	aerobe Glykolyse
	Oxalsäure	Oxalat	Sauerampfer, Sauerklee, Rhabarber ( <b>giftig!</b> )
	Malonsäure	Malonat	Zuckerrüben
	Bernsteinsäure	Succinat	Rhabarber, unreife Weintrauben und Tomaten, Citratzyklus.
	Fumarsäure	Fumarat	Pilze, Moos, Citratzyklus.
	L-Äpfelsäure	Malat	Äpfel, Stachelbeeren, Citratzyklus.
	R,R-Weinsäure	Tartrat	Weintrauben, Konservierungsstoff E 334 - 337

### Aufgabe 2: Physikalische Eigenschaften

Ordne die Verbindungen Pentan, 2,2-Dimethylpropan, 1-Butanol, Butanon und Propansäure nach Siedepunkten und begründe.

### Aufgabe 3: Herstellung von Ethansäure

Essig wird hergestellt, indem man Wein über Buchenholzspäne leitet, die Träger von Essigsäurebakterien sind. Das Reaktionsgefäß muss gut belüftet sein.

- Formuliere die Bruttogleichung für die Bildung von Essigsäure (Ethansäure) unter Verwendung von Strukturformeln!
- Bestimme mit Hilfe von Oxidationszahlen, welcher Reaktionspartner oxidiert bzw. reduziert wird!
- Warum erhält man trotz optimaler Bedingungen auch bei höheren Alkoholkonzentrationen nur einen maximal 14 % igen Essig?

### Aufgabe 4: Herstellung von Carbonsäuren

Aus welchem Alkanol könnte man Ethandisäure herstellen? Gib alle möglichen Reaktionsgleichungen und Zwischenprodukte dieser Synthese an.

### Aufgabe 5: Säure-Base-Reaktionen

Gib mit Reaktionsgleichungen an, wie man die folgenden Salze herstellen kann:

- Natriummethanoat
- Kaliummethanoat
- Calciumdipropanoat

### Aufgabe 6: Reaktivität der Hydroxyl-Gruppe und induktiver Effekt

Hexanol, Methansäure und Butansäure werden jeweils mit derselben Menge Natrium versetzt.

- Formuliere die Reaktionsgleichungen und gib den Reaktionstyp an.
- Ordne die drei Verbindungen nach zunehmender Reaktivität und begründe Deine Reihenfolge.

### Aufgabe 7: Reaktivität der Hydroxyl-Gruppe und induktiver Effekt

Ordne die fünf pKs-Werte 1,3; 2,8; 2,9; 4,7 und 4,9 den fünf Verbindungen Dichlorethansäure, Propansäure, Chlorethansäure, Bromethansäure und Ethansäure begründet zu.

### Aufgabe 8: Induktiver Effekt bei Aldehyden und Carbonsäuren

- Gib die Strukturformeln von Mono-, Di- und Trichlorethanal an.
- Die drei Verbindungen aus a) reagieren mit Wasser. Gib die Reaktionsgleichung für eine dieser Reaktionen an und benenne den Reaktionstyp.
- Ordne die drei Verbindungen aus a) nach zunehmender Reaktivität gegenüber Wasser und begründe.
- Gib die Reaktionsgleichung für die Oxidation von Monochlorethanal an.
- Gib die Strukturformeln der Natriumsalze von Mono-, Di- und Trichlorethansäure an.
- Gib die Gleichung für die Reaktion eines der drei Salze mit Wasser an und benenne den Reaktionstyp.
- Ordne die drei Salze nach zunehmender Basizität und begründe.

### Aufgabe 9: Veresterung und Verseifung

Beschreibe den Mechanismus der Reaktion zwischen Methansäure und 1-Propanol mit Strukturformeln und benenne das Endprodukt.

### Aufgabe 10: Mechanismus der Veresterung und induktiver Effekt

- Formuliere die Reaktionsgleichung für die Kondensation von 2 Ethansäuremolekülen zu Ethansäureanhydrid.
- Zeige anhand der Strukturformel von Ethansäureanhydrid, dass dieser Stoff eine reaktionsfähigere Ausgangssubstanz für die Veresterung ist als die Ethansäure!

### Aufgabe 11: Veresterung und Eliminierung

Eine wässrige Lösung von 5-Hydroxypentansäure wird mit etwas konzentrierter Schwefelsäure erwärmt. Schreibe die Strukturformeln von 5 möglichen Reaktionsprodukten auf.

### Aufgabe 12: Mehrfache Veresterung

Bei fortwährendem Erhitzen von L-2-Hydroxypropansäure (Milchsäure) entstehen Ester als Kondensationsprodukte, wobei die Anzahl der kondensierten Milchsäureeinheiten von der Erhitzungsdauer abhängt.

- Zeichne die Strukturformel des Produkts, das aus drei Milchsäureeinheiten besteht!
- Eines der anderen möglichen Kondensationsprodukte wird folgendermaßen untersucht:  
Versuch 1: Eine genau abgewogene Menge des Kondensationsproduktes wird mit Phenolphthalein versetzt und mit 0,1 molarer Natronlauge titriert. Bis zum Farbumschlag werden 10 ml Natronlauge verbraucht.  
Versuch 2: Anschließend wird das Reaktionsprodukt aus Versuch 1 mit einem Überschuss an 0,1 molarer Natronlauge gekocht. Bei diesem Versuch werden ebenfalls 10 ml Natronlauge verbraucht.  
Um welches Kondensationsprodukt der Milchsäure handelt es sich? Begründe mit Hilfe der Reaktionsgleichungen zu beiden Versuchen!

### Aufgabe 13: Physikalische Eigenschaften der Ester

Ordne die organischen Verbindungen Ethansäurepropylester, n-Pentansäure, Dipropylether und n-Hexanol nach Siedetemperatur sowie nach Löslichkeit in Wasser und Benzin und begründe.

### Aufgabe 14: Physikalische und chemische Eigenschaften von Carbonsäuren und Estern

- Gib die Strukturformeln und Namen von acht Isomeren mit der Summenformel  $C_3H_6O_2$  an.
- Zeige an zwei Reaktionsgleichungen, welche der Stoffe mit Natronlauge reagieren und gib jeweils den Reaktionstyp an.
- Die angegebenen Isomeren lassen sich einer Gruppe mit höherer und einer Gruppe mit niedriger Siedetemperatur zuordnen. Ordne alle Isomere zu und begründe.

### Aufgabe 15: Wachse

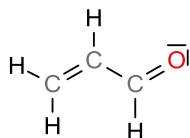
Gib die Strukturformel, den Trivialnamen und den systematischen Namen eines typischen Inhaltsstoffes von Bienenwachs an

### Aufgabe 16: Fette

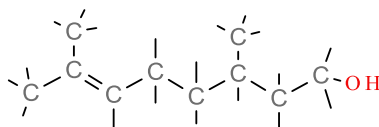
- Gib die Strukturformel, den Trivialnamen und den systematischen Namen eines typischen **Fettes** an.
- Gib die Strukturformel, den Trivialnamen und den systematischen Namen eines typischen **Öles** an.
- Begründe den unterschiedlichen Aggregatzustand der beiden Verbindungen aus a) und b).
- Wie verhalten sich Fette beim Erhitzen?

### Aufgabe 17: Identifizierung funktioneller Gruppen

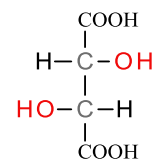
Drei unbeschriftete Bechergläser A, B und C enthalten Lösungen der drei folgenden Verbindungen:



Propenal



Citronellol



Weinsäure

Beschreibe anhand von Reaktionsgleichungen, durch welche Experimente sich die drei Verbindungen identifizieren lassen.

### Aufgabe 18: Funktionelle Gruppen im Vergleich

3-Buten-1-ol soll mit gleichmolaren Mengen folgender Stoffe umgesetzt werden:

1. Pentansäure
2. 2-Propanol
3. Ethanal
- a) Erstelle für die obigen Reaktionen jeweils die Reaktionsgleichung mit Strukturformeln und Reaktionstyp.
- b) 2-Butanol wird in saurer Lösung ( $H^+$ ) durch Dichromationen ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) oxidiert. Dabei entstehen  $Cr^{3+}$ -Ionen und Wasser  $H_2O$ . Formuliere die Redoxgleichung auf und gib die dazugehörigen Oxidationszahlen an.
- c) Das Oxidationsprodukt von 1-Butanol kann unter obigen Reaktionsbedingungen noch eine Stufe weiter oxidiert werden. Gib die Strukturformel und Namen des Reaktionsprodukts an.
- d) Ordne 1-Butanol und seinen Oxidationsprodukten aus b) und c) die Siedetemperaturen  $80\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $117\text{ }^\circ\text{C}$  und  $163,6\text{ }^\circ\text{C}$  zu und begründe.

### Aufgabe 19: Funktionelle Gruppen im Vergleich

- a) Die vier Verbindungen Butanal, Pentan, Propansäure und Butanol-1 haben trotz ähnlicher Molmassen deutlich verschiedene Siedepunkte. Ordne die vier Verbindungen in der Reihenfolge aufsteigender Siedetemperaturen und begründe.
- b) Ein Gemisch aus allen vier Verbindungen aus a) wird unter sauren Bedingungen erwärmt. Formuliere die Reaktionsgleichungen für die Bildung von zwei möglichen Reaktionsprodukten.

### Aufgabe 20: Estergleichgewicht

Ethansäurebutylester („Butylacetat“) ist ein häufig verwendetes Lösungsmittel für Lacke und Farben.

- a) Gib den gesamten Reaktionsmechanismus der Veresterung mit Strukturformeln an. Begründe, weshalb die Veresterungsreaktion nach Zusatz einer kleinen Menge konzentrierter Schwefelsäure wesentlich schneller erfolgt.
- b) Stelle die Massenwirkungsgleichung für die in a) formulierte Reaktion auf.
- c) Wieviel mol Ethansäure müssen zu 9 mol n-Butanol gegeben werden, damit im Gleichgewichtszustand 6 mol des entsprechenden Esters vorliegen? Die Gleichgewichtskonstante ist 4,5.
- d) Erkläre unter Anwendung der Massenwirkungsgleichung den Einfluss von Wasser, das nach Einstellung des Gleichgewichtszustandes dem Reaktionsgefäß von c) zugegeben wird.
- e) Welche praktischen Möglichkeiten gibt es, die Esterausbeute bei der Synthese zu erhöhen? Begründe mit Hilfe des Massenwirkungsgesetzes.
- f) Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen und die Reaktionsmechanismen für die Hydrolyse von Ethansäurebutylester  
- durch Säure  
- durch Lauge  
Worin liegt der Vorteil einer alkalischen Esterhydrolyse?

### Aufgabe 21: Estergleichgewicht

Aromastoffe werden heute in großen Mengen hergestellt.

- Der Hauptbestandteil des Ananasaromas lässt sich aus Butansäure und Ethanol synthetisieren. Formuliere für die säurekatalysierte Reaktion den Reaktionsmechanismus in Einzelschritten! Benenne den Aromastoff!
- Erkläre den Einfluss des Katalysators bei obiger Reaktion!
- Die in a) beschriebene Synthese stellt eine Gleichgewichtsreaktion dar. Wieviel mol Aromastoff haben sich bei Erreichung des Gleichgewichts gebildet, wenn je 6 mol Butansäure und Ethanol zur Reaktion gebracht werden? Die Gleichgewichtskonstante ist  $K = 4$ .
- Bei der Banane ist der Hauptbestandteil des Aromas zum obigen Aromastoff isomer. Er gehört der gleichen Stoffgruppe an. Einer der Reaktionspartner ist hier 2-Methylpropan-2-ol. Wie lautet der Name des zweiten Reaktionspartners? Gib die Strukturformel dieses Aromastoffes an!

### Aufgabe 22: Estergleichgewicht mit aromatischen und Aminocarbonsäuren

Parahydroxibenzoessäure (4-Hydroxyphenylmethansäure) reagiert säurekatalytisch mit Propan-1-ol zu einer Verbindung, die in der Lebensmittelindustrie als Konservierungsmittel benützt wird.

- Formuliere die Reaktionsgleichung und benenne die Reaktionsprodukte.
- Erkläre an diesem Beispiel, wie man mit Isotopenmarkierung den Reaktionsmechanismus aufklären kann, und formuliere den ersten Reaktionsschritt.
- Beim Einsatz von 2 Mol Parahydroxibenzoessäure und 3 Mol Propan-1-ol findet man im Gleichgewicht 0,25 Mol Parahydroxibenzoessäure. Berechne die Gleichgewichtskonstante.
- Im menschlichen Organismus wird obiges Konservierungsmittel in Propan-1-ol und Parahydroxibenzoessäure gespalten. Diese reagiert mit Glycin (2-Aminoethansäure) zu zwei verschiedenen Kondensationsprodukten. Zeichne Sie die Strukturformeln dieser beiden Produkte.

## 2.7. Lösungen zu den Aufgaben zu Carbonsäuren und Estern

### Aufgabe 1: Benennung

**Vorsicht, die Schmelzpunkte entsprechen nicht den Erwartungen** aufgrund der Zahl der H-Brücken und sind wohl auf unterschiedlich günstige Symmetrien in den Kristallstrukturen zurückzuführen!

L-Milchsäure = S-2-Hydroxy-Propansäure mit Fp 100 °C

Brenztraubensäure = 2-Oxo-Propansäure mit Fp 170 °C

Oxalsäure = Ethandisäure mit Fp 190 °C

Malonsäure = Propandisäure mit Fp 136 °C

Bernsteinsäure = Butandisäure mit Fp 185 °C

Fumarsäure = cis-Butendisäure sublimiert bei 200 °C

L-Äpfelsäure = S-2-Hydroxy-Butandisäure mit Fp 100 °C

Weinsäure = R,R-2,3-Dihydroxy-Butandisäure mit Fp 170 °C

### Aufgabe 2: Physikalische Eigenschaften

2,2-Dimethyl-Propan: 10 °C, Pentan: 36 °C, Butanon: 80 °C, Butanol: 118 °C, Propansäure: 141 °C

### Aufgabe 3: Herstellung von Essigsäure

siehe Skript

### Aufgabe 4: Herstellung von Carbonsäuren

Ethandiol + 2 CuO → 2 Oxo-Ethanal + 2 Cu + 2 H<sub>2</sub>O. 2 Oxo-Ethanal + 2 CuO → Ethandisäure + 2 Cu

### Aufgabe 5: Säure-Base-Reaktionen

siehe Skript

### Aufgabe 6: Reaktivität der Hydroxyl-Gruppe und induktiver Effekt

a)  $2 \text{R-OH}^{\text{H}^+} + 2 \text{Na}^{\text{H}^+} \rightarrow 2 \text{R-O}^- + 2 \text{Na}^+ + \text{H}_2$  (Säure-Base-Reaktion **und** Redoxreaktion!)

b) +I von Alkylresten verringert Reaktivität, -I von Oxogruppe verstärkt positive Teilladung des Carbonyl-C-Atoms ⇒ Hexanol < Butansäure < Methansäure.

### Aufgabe 7: Reaktivität der Hydroxyl-Gruppe und induktiver Effekt

Dichlorethansäure: pKs 1,3, Chlorethansäure: pKs 2,8, Bromethansäure: pKs 2,9, Ethansäure pKs 4,7 und Propansäure pKs 4,9, denn +I von Alkylresten verringert und -I von Halogenatomen verstärkt positive Teilladung des Carbonyl-C-Atoms.

### Aufgabe 8: Induktiver Effekt bei Aldehyden und Carbonsäuren

a) CH<sub>2</sub>Cl-CHO, CHCl<sub>2</sub>-CHO und CCl<sub>3</sub>-CHO

b) Nukleophile Addition an die C=O-Doppelbindung (Hydratisierung)

c) Monochlorethanal < Dichlorethanal < Trichlorethanal, denn -I von Halogenatomen verstärkt positive Teilladung des Carbonyl-C-Atoms.

d) CH<sub>2</sub>ClCHO + CuO → CH<sub>2</sub>ClCOOH + Cu

e) Strukturformeln

f) CH<sub>2</sub>ClCOO<sup>-</sup>Na<sup>+</sup> + H<sub>2</sub>O ⇌ CH<sub>2</sub>ClCOOH + Na<sup>+</sup> + OH<sup>-</sup> (Säure-Base-Reaktion)

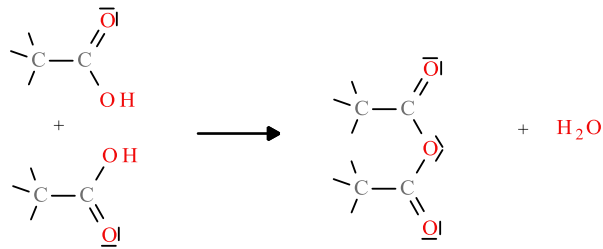
g) Trichlorethanoat < Dichlorethanoat < Monochlorethanoat, denn -I von Halogenatomen verstärkt positive Teilladung des Carbonyl-C-Atoms und stabilisiert damit den Säurerest.

### Aufgabe 9: Veresterung und Verseifung

siehe Skript

### Aufgabe 10: Mechanismus der Veresterung und induktiver Effekt

a)



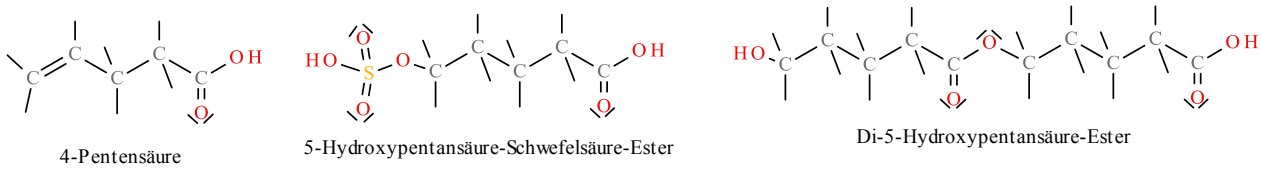
Ethansäure

Ethansäureanhydrid

Wasser

b) Der  $-I$ -Effekt der benachbarten Carbonylgruppe verstärkt die positive Teilladung des C-Atoms und erleichtert den Angriff des Alkohols.

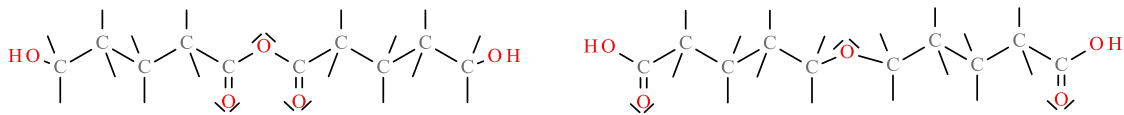
### Aufgabe 11: Veresterung und Eliminierung



4-Pentensäure

5-Hydroxypentensäure-Schwefelsäure-Ester

Di-5-Hydroxypentensäure-Ester

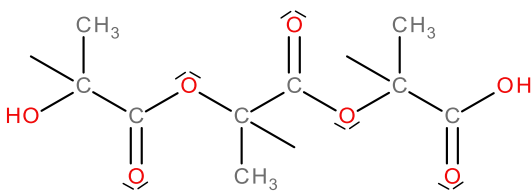


5-Hydroxypentensäure-Anhydrid

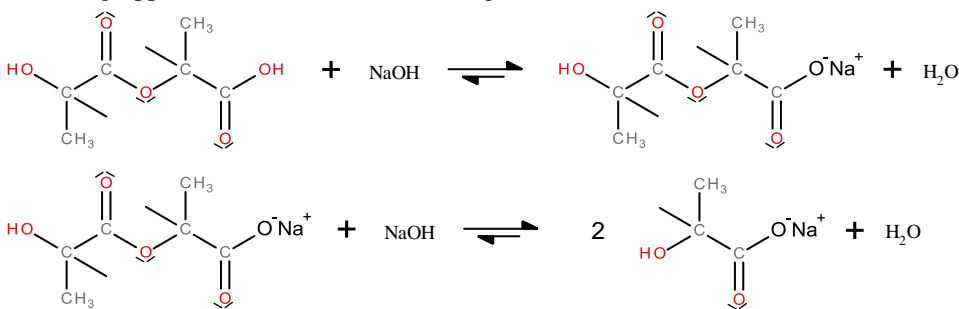
Di-5-Hydroxypentensäure-Ether

### Aufgabe 12: Mehrfache Veresterung

a)



b) Es muss sich um das Kondensationsprodukt aus 2 Milchsäuren, handeln, da nur dieses die gleiche Anzahl an Carboxyl- und Estergruppe (Jeweils 1) und daher den gleich hohen Verbrauch an NaOH bei Neutralisation und Verseifung zeigt:



### Aufgabe 13: Physikalische Eigenschaften der Ester

Siedepunkte: Dipropylether: 83 °C, Ethansäurepropylester: 101 °C, n-Hexanol: 158 °C, Pentansäure 186 °C, Löslichkeit in Benzin nimmt ab, Löslichkeit in Wasser nimmt zu wegen zunehmender Polarität.

### Aufgabe 14: Physikalische und chemische Eigenschaften von Carbonsäuren und Estern

- Propansäure, Ethansäure-Methyl-Ester, Methansäure-Ethyl-Ester, 1,3-Dioxacyclopentan, 3-Hydroxy-Propanal, R/S-2-Hydroxy-Propanal, Methoxy-Ethanal, 1-Hydroxy-Propanon
- Die Säure wird neutralisiert, die beiden Ester werden verseift.
- Die Säure und die drei Hydroxyverbindungen können untereinander H-Brücken ausbilden und haben erhöhte Siedpunkte.

### Aufgaben 15: Wachse

siehe Skript

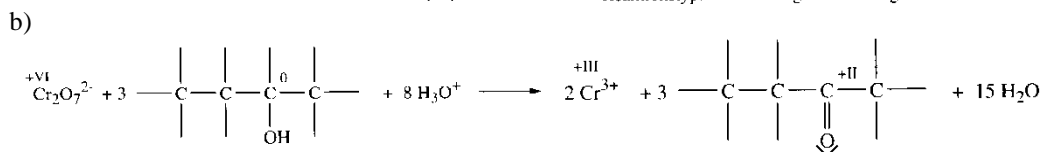
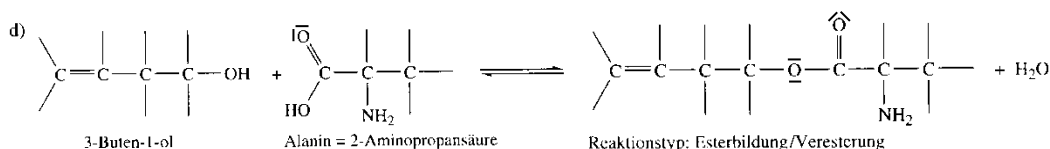
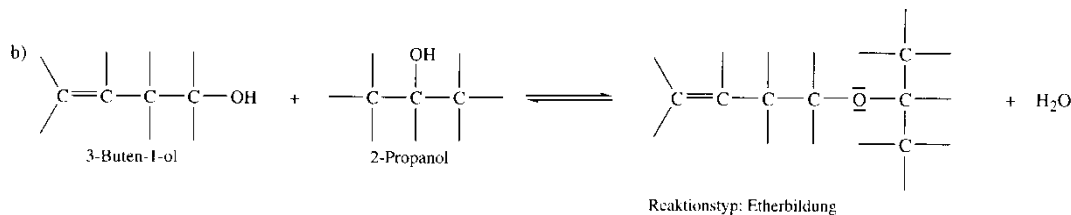
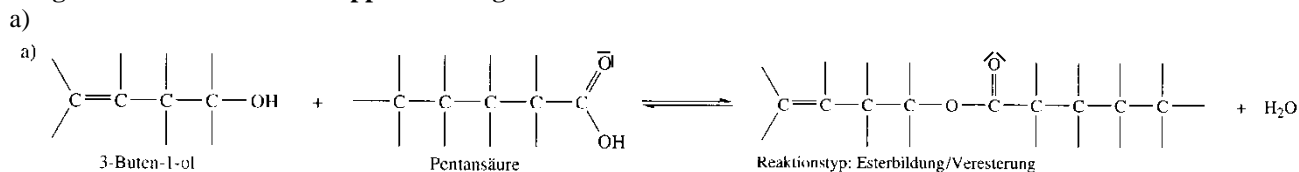
## Aufgaben 16: Fette

siehe Skript

## Aufgabe 17: Identifizierung funktioneller Gruppen

1. Wässrige Lösung auf pH-Wert testen: Nur Weinsäure löst sich gut und reagiert sauer
2. Die beiden übrigen Verbindungen mit Fehling testen: Nur Propenal reagiert positiv

## Aufgabe 18. Funktionelle Gruppen im Vergleich



c) Butansäure

d) Siedetemperatur 80 °C: Butanon, da keine Ausbildung von Wasserstoffbrücken

Siedetemperatur 117 °C: 1-Butanol, da Bildung von Wasserstoffbrücken

Siedetemperatur 163,6 °C: Butansäure, da starke Polarität und Bildung von Dimeren

## Aufgabe 19: Funktionelle Gruppen im Vergleich

a) Pentan (nur Van-der-Waals-Kräfte) < Butanal (zusätzlich Dipol-Dipol\_kräfte) < 1-Butanol (zusätzlich H-Brücken) < Propansäure (mehr H-Brücken pro Molekül durch Carboxylgruppe)

b) Propansäure + 1-Butanol  $\rightleftharpoons$  Propansäure-Butyl-Ester + H<sub>2</sub>O (Veresterung)

Butanal + Butanol  $\rightleftharpoons$  1-Butoxy-1-Hydroxy-Butan (Halbacetalbildung = nukleophile Addition)

1-Butoxy-1-Hydroxy-Butanal + Butanol  $\rightleftharpoons$  1,1-Dibutoxy-Butan + H<sub>2</sub>O (Vollacetalbildung = S<sub>n</sub>)

2 Propansäure  $\rightleftharpoons$  Propansäureanhydrid + H<sub>2</sub>O

## Aufgabe 20: Estergleichgewicht

a) Die Protonierung des Carboxyl-O-Atoms führt zu einem mesomeriestabilisierten Carbenium-Ion und erleichtert den nukleophilen Angriff des Alkohols.

b) 
$$\frac{\text{Ester} \cdot \text{Wasser}}{\text{Säure} \cdot \text{Alkohol}} = K$$

c) 
$$\frac{6 \cdot 6}{(x-6) \cdot (9-6)} = 4,5 \Leftrightarrow x = 8,6 \text{ Mol}$$

d) Wasser verringert die Ausbeute, da es die Rückreaktion begünstigt.

e) Wasser entziehen (Zugabe von H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) oder Ester entziehen (Abdestillieren)

f) siehe Heft. Bei der alkalische Esterhydrolyse wird die Säure in den Säurerest umgewandelt, der infolge der mesomeriestabilisierten negative Ladung praktisch vollständig gegen den Angriff des Alkohols geschützt ist und nicht mehr verestert werden kann.

**Aufgabe 21: Estergleichgewicht**

- a) siehe Heft (Butansäureethylester)  
 b) siehe Heft bzw. Aufgabe 20 a)

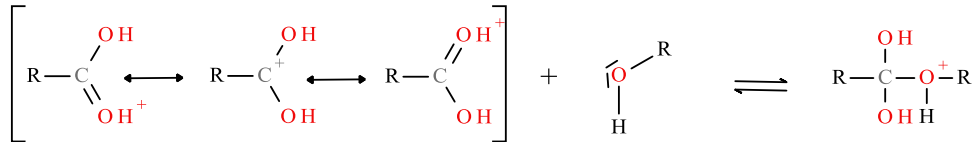
c) 
$$\frac{\text{Ester} \cdot \text{Wasser}}{\text{Säure} \cdot \text{Alkohol}} = K \Leftrightarrow \frac{x \cdot x}{(6-x) \cdot (6-x)} = 4 \Leftrightarrow x_1 = 4 \text{ Mol } (x_2 = 12 \text{ Mol})$$

- d) Ethansäure-Isobutyl-Ester

**Aufgabe 22: Estergleichgewicht mit aromatischen und Aminocarbonsäuren**

- a) Parahydroxybenzoesäure-Propyl-Ester

b) Wird Propanol mit radioaktivem  $^{18}\text{O}$  verwendet, so ist der Ester radioaktiv, das Wasser aber nicht. Folgerung: der Alkohol greift die protonierte Säure an und nicht umgekehrt:



c) 
$$K = \frac{\text{Ester} \cdot \text{Wasser}}{\text{Säure} \cdot \text{Alkohol}} = \frac{0,25 \cdot 0,25}{(2-0,25) \cdot (3-0,25)} = 9,8$$

- d)

