

## Übungsaufgaben zu Carbonylen, Carbonsäuren und deren Derivate sowie zu Fetten

*Lernen, ohne zu denken, ist eitel, denken, ohne zu lernen, ist gefährlich.  
Konfuzius, chin. Philosoph, (551 v. Chr. – 479 v. Chr.)*

- In allen Reaktionsgleichungen sind organische Stoffe als Strukturformeln wiederzugeben.
- Viele für die Klassenarbeit relevante Themen und Aspekte werden hier nicht behandelt. Die alleinige Vorbereitung anhand der hier aufgeführten Aufgaben kann also nur unvollständig sein.

### 1. Carbonylverbindungen

1.1. Grenzen Sie die Begriffe Ketogruppe, Aldehydgruppe und Carbonylgruppe voneinander ab.

1.2. Geben Sie die systematischen Namen folgender Verbindungen an:

a) Formaldehyd  
d) Aceton

b) Acetaldehyd  
e)  $\text{CH}_3\text{-C(O)-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$

c) Butyraldehyd

1.3. Zeichnen Sie die Strukturformeln folgender Verbindungen

a) Dimethylketon

b) (3E)-Hex-3-enal

c) 2-Methylpentan-3-on

1.4. Die Silberspiegelprobe ist ein Nachweisverfahren für Aldehyde.

- Welche Aufgabe übernimmt  $\text{NH}_3$  bei diesem Nachweis?
- Formulieren Sie Reaktionsgleichung für den Nachweis von Acetaldehyd.
- Carbonsäuren reagieren bei der Silberspiegelprobe negativ. Eine Ausnahme stellt jedoch Ameisensäure dar, die wie Aldehyde, auch einen Silberpiegel ergibt.

### 2. Carbonsäuren und einfache Carbonsäureester

2.1. Benennen Sie folgende Carbonsäurederivate. Geben Sie kurz an, wie sie aus den Carbonsäuren hergestellt werden können.

a)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C(O)-OCH}_2\text{CH}_3$

b)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^-\text{Na}$

c)  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COO}^-\text{K}^+$

2.2. Vergleichen Sie die Acidität von Ethan, Ethanol und Ethansäure. Begründen Sie Ihre Aussagen mithilfe der Bindungsverhältnissen.

2.3. Methansäure wird mit  $\text{NH}_3$  (in der Kälte) umgesetzt. Formulieren Sie die Bruttoreaktionsgleichung und geben Sie den Namen des Produkts an.

2.4. Ordnen Sie folgende Verbindungen nach sinkendem  $\text{pK}_\text{S}$ -Wert (d.h. nach steigender Säurestärke): 2-Chlorbutansäure, Ethin, 3-Chlorbutansäure, Trifluoethansäure, Methanol, 2-Chlorpropansäure, 2-Methylpropansäure, 4-Chlorbutansäure.  $\text{pK}_\text{S}$ -Werte: 0,3; 2,83; 2,86; 4,05; 4,52; 4,86; 16; 22

2.5. Aus Ethanol (steht unbegrenzt zur Verfügung) soll in einer 2-Stufigen Synthese Essigsäureethylester hergestellt werden. Wie gehen Sie vor? Geben Sie die notwendigen Reaktionspartner und Reaktionsbedingungen an und formulieren Sie die Bruttoreaktionsgleichungen für beide Schritte.

2.6. Beim Erhitzen reagiert 4-Hydroxybuttersäure unter Säurekatalyse zu einem Ester. Geben Sie die Bruttoreaktionsgleichung an.

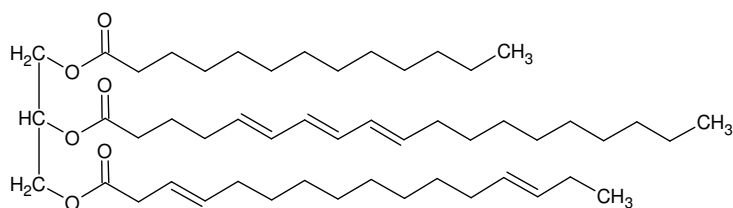
2.7. Erläutern Sie ausführlich den Mechanismus der Esterbildung zwischen Ethanol und Ameisensäure

### 3. Fette und Verseifung

3.1. Die Reaktion von Fetten mit Natronlauge wird *Verseifung* genannt.

- Formulieren Sie Reaktionsgleichung für die entsprechende Reaktion eines Fett, das Fettsäurereste der Linolensäure ( $C_{17}H_{29}COOH$ ) und der Laurinsäure ( $C_{11}H_{23}COOH$ ) im Verhältnis 2:1 enthält.
- Für die vollständige Verseifung gleicher Massen unterschiedlicher Fette werden jeweils unterschiedliche Mengen an NaOH benötigt. Erklären Sie den Grund hierfür! Geben Sie auch an, welche Information aus einem relativ hohen Verbrauch an NaOH über das Fett gezogen werden kann.
- Welche Masse an  $Br_2$  können 20 g Linolensäure addieren?  $M(\text{Linolensäure}) = 278,4 \text{ g/mol}$ ,  $M(Br_2) = 159,8 \text{ g/mol}$

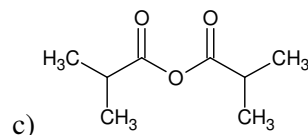
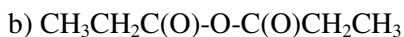
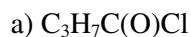
3.2. Ein (synthetisches) Fett besteht ausschließlich aus Molekülen mit folgender Strukturformel:



- Welche Stoffmenge  $n(I_2)$  (in mol) können 2 mol dieses Fetts maximal addieren (mit Begründung bzw. Angabe des Rechenwegs)?
- Wie viel Gramm Iod werden von 100 g Fett addiert (Iodzahl)? Hinweis:  $M(\text{Fett}) = 797,2 \text{ g/mol}$ ;  $M(I_2) = 253,8 \text{ g/mol}$

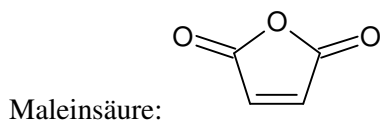
### 4. Carbonsäureanhydride und Carbonsäurechloride

4.1. Geben Sie die Namen dieser Säurederivate an:



4.2. Formulieren Sie zuerst die Bruttoreaktionsgleichung (incl. Name der Reaktionsprodukte). Geben Sie anschließend den Reaktionsmechanismus an.

- Reaktion von Ethansäurechlorid mit Wasser
- Reaktion von Propansäureanhydrid mit Wasser
- Reaktion von Propansäure-Ethansäure-Anhydrid (ein gemischtes Anhydrid) mit Wasser
- Reaktion Maleinsäureanhydrid mit Wasser.



4.3. 15 g Ethansäureanhydrid werden auf 0,5 L Gesamtvolumen gelöst. Wie hoch ist die Stoffmengenkonzentration  $c(\text{HAc})$  nach dem Lösen? (Annahme: Volumen bleibt konstant).

## Lösungen – ohne Gewähr

- Wenn Ihnen Fehler in den Musterlösungen auffallen, machen Sie mich bitte darauf aufmerksam (info@bio-lehramt.de). Letztendlich profitieren auch andere Schüler davon.
- Aus didaktischen Gründen variiert die Ausführlichkeit der Aufgabenlösungen. So sind manche Lösungen ausführlicher als laut Aufgabenstellung erwartet, bei anderen Aufgaben sind jedoch nur Lösungshinweise gegeben, um den Leser zum eigenständigen Denken anzuregen.
- Statt ausführlichen Strukturformeln mit freien e<sup>-</sup>-Paaren sind häufig nur Halbstrukturformeln wiedergegeben.

1.1.

Carbonylgruppe ist der Überbegriff der R-CO-R-Gruppe, wobei einer oder beide der Reste R organisch sind. Sind *beide* Reste R organisch, handelt es sich um die Ketogruppe, ist *ein* Rest R ein H-Atom, so handelt es sich um eine Aldehydgruppe.

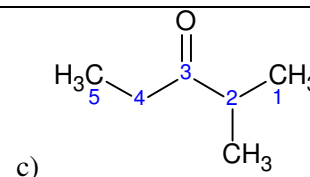
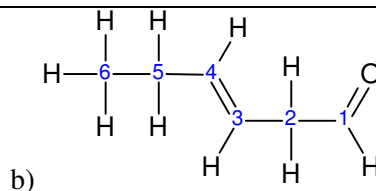
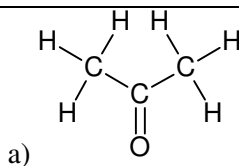
1.2.

a) Methanal  
d) Propanon oder Dimethylketon

b) Ethanal  
e) Pentan-2-on oder Methylpropylketon

c) Butanal

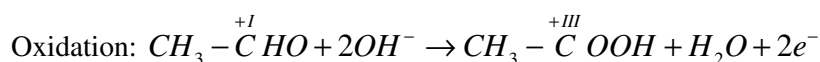
1.3.



1.4.

a) Die Reaktion findet im Alkalischen statt, wozu NH<sub>3</sub> zum erforderlichen pH-Wert beiträgt. Allerdings bilden die meisten Metalle (außer 1. Hauptgruppe) schwerlösliche Hydroxide. Ammoniak verhindert jedoch die Ausfällung von AgOH, indem es Ag<sup>+</sup> komplex bindet: **Diamminsilber-Komplex**: [Ag(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]<sup>+</sup>. Ag wird also durch NH<sub>3</sub> **maskiert** und kann trotz alkalischen pH-Wert in Lösung verbleiben. Trotz der Maskierung kann es jedoch noch im Rahmen einer Redox-Reaktion als Ag<sup>+</sup> reagieren.

b) Reduktion: Ag<sup>+</sup> + e<sup>-</sup> → Ag / \*



(\* ) Ag<sup>+</sup> liegt komplex gebunden vor.

c) Methansäure besitzt als einzige Alkansäure eine Aldehydgruppe. HC(O)OH (Methansäure) ist damit oxidierbar. Dabei entsteht aus Methanal (Oxidationsstufe des C: +II) Kohlenstoffdioxid (Oxidationsstufe: +IV)

## 2.1

a) Butansäureethylester	b) Natriumethanoat (Natriumacetat)	c) Kaliumpropoat (Kaliumpropionat)
Reaktion der beiden Carbonsäuren mit H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> als Katalysator, Nebenprodukte sind Essigsäureethylester und Butansäurebutylester	Reaktion von Ethansäure mit Natronlauge (Neutralisationsreaktion) und anschließendem Abdestillieren des H <sub>2</sub> O	Reaktion von Propansäure mit Kalilauge und anschließendem Abdestillieren des H <sub>2</sub> O

## 2.2.

Ethan besitzt die unpolarste Bindung zu H, die Tendenz als H<sup>+</sup> abgespalten zu werden, ist sehr gering. Das dabei entstehende Carbanion wird nicht besonders stabilisiert. Der pK<sub>S</sub>-Wert, ein Maß für die Säurestärke (je höher, desto schwächer die Säure) ist entsprechend hoch: pK<sub>S</sub>(Ethan) ≈ 50

Bei Alkoholen ist immerhin eine polare OH-Bindung vorhanden, das Alkoholation wird jedoch nicht besonders stabilisiert. pK<sub>S</sub>(Ethanol) ≈ 16

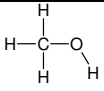
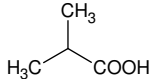
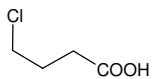
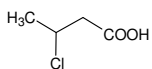
Die Acidität von Carbonsäuren ist wegen des negativen induktiven Effekts der O-Atoms der Carbonylgruppe und der Stabilisierung des Carboxylat-Anion durch Resonanz besonders hoch. pK<sub>S</sub>(Essigsäure) = 4,75

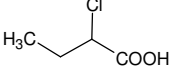
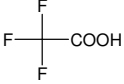
## 2.3.

Es handelt sich dabei um eine gewöhnliche **Protolyse**, also eine Säure-Base-Reaktion. Dabei entsteht Ammoniumformiat (Ammoniummethanoat).

## 2.4.

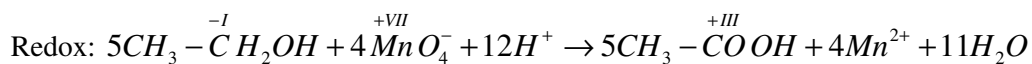
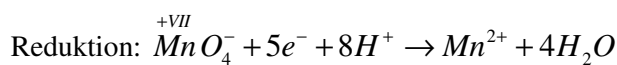
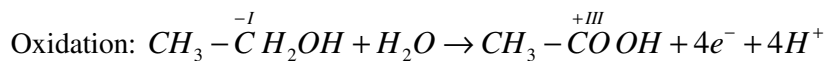
Je niedriger der pK<sub>S</sub>-Wert, desto höher die Säurestärke.

Ethin: pK <sub>S</sub> = 22 $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$	geringe Tendenz H <sup>+</sup> abzuspalten, da CH-Bindung unpolar und das Carbanion nicht besonders stabilisiert wird.
Methanol: pK <sub>S</sub> = 16 	zwar polare OH-Bindung, das Methanolat-Anion kann sich jedoch nicht durch Resonanz (Delokalisation der negativen Ladung) stabilisieren.
2-Methylpropansäure (pK <sub>S</sub> = 4,86) (Isobuttersäure) 	Die Carboxylgruppe aus den bekannten Gründen ist relativ stark sauer. Der Methylsubstituent in unmittelbarer Nachbarschaft der Carboxylgruppe senkt jedoch im Vgl. der Propansäure die Acidität etwas. Wegen dieser unmittelbaren Nachbarschaft ist die 2-Methylpropansäure auch schwächer sauer als die Butansäure.
4-Chlorbutansäure, pK <sub>S</sub> = 4,52 	Bei diesen 3 Vertretern kann man beobachten, wie sich die Annäherung des (-)-I-Substituenten an die Carboxylgruppe die Acidität steig. So erhöht das Cl am C <sub>4</sub> -Atom wegen der weiten Entfernung die Acidität im Vgl. zur Butansäure (pK <sub>S</sub> = 4,82) nur wenig. Je weiter der (-)-I-Substituent entfernt ist, desto schwächer ist seine elektronenziehende Wirkung.
3-Chlorbutansäure; pK <sub>S</sub> = 4,05 	

2-Chlorbutansäure $pK_S = 2,86$ 	
Trifluoethansäure, $pK_S = 0,3$ 	Wegen der 3 starken (-)I-Substituenten handelt es sich um eine der stärksten isolierbaren organischen Säuren überhaupt.

2.6.

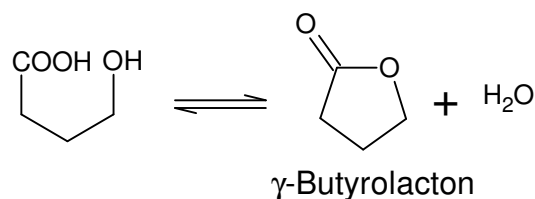
**Schritt 1:** Zuerst wird Ethanol zur Essigsäure aufoxidiert, geeignetes Oxidationsmittel ist z.B.  $MnO_4^-$ , das zu  $Mn^{2+}$  reduziert wird.



**Schritt 2:** Anschließend wird die Essigsäure mit Ethanol zum gewünschten Ester in einer Kondensationsreaktion umgesetzt. Als Katalysator dient konzentrierte Schwefelsäure. Um einen weitgehend vollständigen Stoffumsatz zu erreichen kann ein Produkt ( $H_2O$  oder Ester) durch Abscheidung/Abdestillation ständig entfernt werden:  $CH_3-CH_2-OH + HOOC-CH_3 \rightleftharpoons CH_3-CH_2-O-C(O)-CH_3 + H_2O$

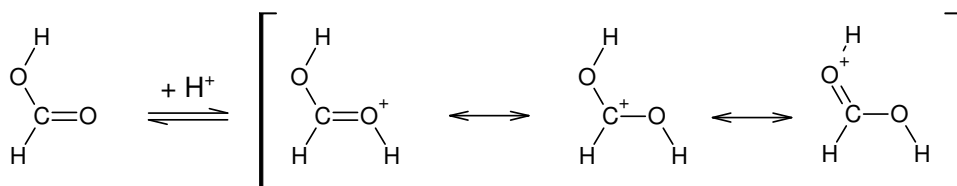
2.6.

Da es nur einen Ausgangsstoff bei dieser Veresterung gibt, muss es sich zwangsläufig um eine intramolekulare Veresterung handeln. Dabei reagiert die OH-Gruppe am  $C_4$ -Atom mit der Carboxylgruppe in einer Kondensationsreaktion unter Ringschluss.

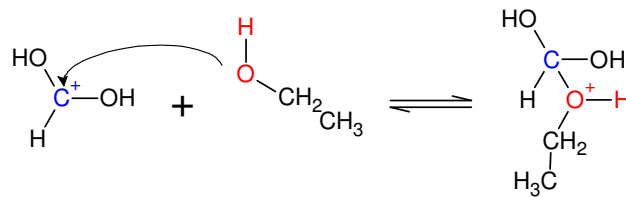


2.7.

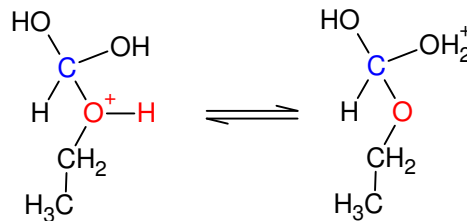
Zuerst wird die Carbonylfunktion der Carbonsäure protoniert, wobei die positive Ladung des Kation delokalisiert ist.



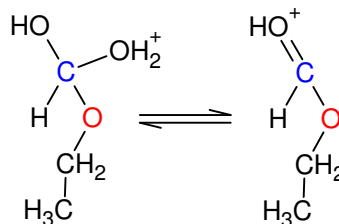
Im zweiten Schritt kommt es zum **nucleophilen Angriff** durch die Hydroxylgruppe des Alkohol an das partial positiv geladene C-Atom. Da hier zwei Moleküle unter Ausbildung einer Bindung miteinander verknüpft werden, handelt es sich um eine **Addition**.



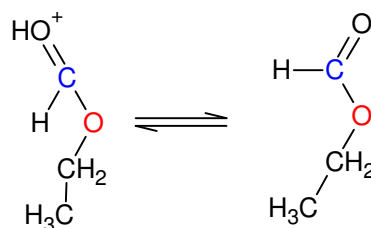
Aus der H-Brücke zwischen den beiden Sauerstoffatomen bildet sich durch die Abgangsgruppe  $^+\text{OH}_2$  heraus.



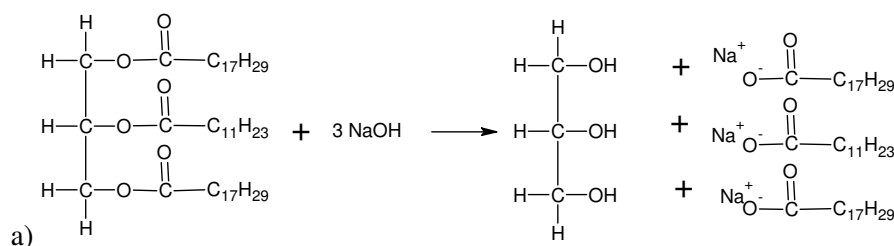
In einer Eliminierungsreaktion bildet sich nun wieder eine C=O-Doppelbindung aus, wobei  $\text{H}_2\text{O}$  abgespalten wird.



Im letzten Schritt kommt es zur Deprotonierung bzw. zur Regeneration des Katalysators  $\text{H}^+$ . Es ist Ameisensäure-Ethylester entstanden.



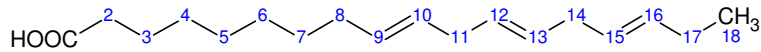
### 3.1.



b) Wenn unterschiedliche Mengen an NaOH benötigt werden, dann müssen in den Fettportionen unterschiedliche Mengen an Esterbindungen ( $-\text{O}(\text{CO})-$ ) vorliegen. Da aber alle Fettportionen die gleiche Massen haben, ist das nur möglich wenn sich die molaren Massen der Fettmoleküle unterscheiden. Die

Fettmengen (in mol) und damit auch die Menge der Estergruppen (in mol) sind also unterschiedlich. Je mehr NaOH verbraucht wird, desto höher war die Fettmenge, d.h. desto kleiner ist die durchschnittliche molare Masse des Fetts.

c) Aus der Summenformel von Linolsäure kann man entnehmen, dass das Molekül 3 Doppelbindungen besitzt.



Berechnung der Stoffmenge an Linolsäure:

$$n(\text{Linol.}) = 20 \text{ g} / 278,4 \text{ g/mol} \approx 0,071839 \text{ mol}$$

Berechnung der Anzahl an Doppelbindungen

$$\Rightarrow n(\text{Dobi}) = 3 \cdot 0,071839 \text{ mol} \approx 0,215517 \text{ mol}$$

Pro Dobi wird ein Br<sub>2</sub>-Molekül benötigt.

$$\Rightarrow n(\text{Br}_2) \approx 0,215517 \text{ mol}$$

Umrechnung von n(Br<sub>2</sub>) in m(Br<sub>2</sub>)

$$m(\text{Br}_2) = 0,215517 \text{ mol} \cdot 159,8 \text{ g/mol} \approx \underline{34,44 \text{ g}}$$

3.2.

Bedenken Sie, dass an jede C-C-Doppelbindung ein Brommolekül addiert werden kann.

4.1.

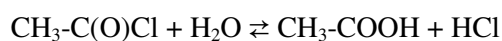
a) Butansäurechlorid

b) Propansäureanhydrid

c) 2-Methylpropansäureanhydrid  
(Isobuttersäureanhydrid)

4.2.

a) Alle Säurechloride hydrolysieren in Wasser in heftiger Reaktion zur Carbonsäure. Mit einem Überschuss an H<sub>2</sub>O entsteht eine carbonsäurehaltige Salzsäure, mit geringen Mengen Wasser entweicht Chlorwasserstoff.



b) Wie alle typischen Säureanhydride, reagieren auch Carbonsäureanhydride mit H<sub>2</sub>O zu den freien zugrunde liegenden Säuren.  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C(O)-O-C(O)CH}_2\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$

c) Die Reaktion ist analog zu der oben, nur das hier aus  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C(O)-O-C(O)CH}_3$  eine Lösung entsteht, in der zwei Carbonsäuren nebeneinander vorliegen.

d) Hierbei handelt es sich um ein intramolekulares Carbonsäureanhydrid, bei der Hydrolyse entsteht eine ungesättigte Alkandisäure: (Z)-Butendisäure  $\text{HOOC-CH=CH-COOH}$

4.3.

Sie müssen sich überlegen, welche Stoffmenge an Anhydrid eingesetzt wird und welche Stoffmenge an Carbonsäure bei der Hydrolyse entsteht. Mit der Beziehung  $c(\text{Säure}) = n(\text{Säure})/V(\text{Lsg.})$  können Sie dann die Konzentration berechnen. Wenn Sie alles richtig gemacht haben, lautet das Ergebnis:  $c(\text{HAc}) \approx 0,5877 \text{ mol/L}$