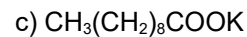
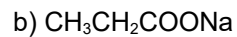
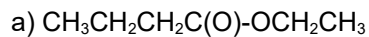


Aufgaben zu Carbonsäuren, Carbonsäure-Estern und Fetten und Verseifung

Einige der Aufgaben sind Klassenarbeitsfragen vergangener Jahre. Unter Abschnitt 3. finden Sie Aufgaben in Anlehnung an Abituraufgaben.

1. Aufgaben zu Carbonsäuren und Carbonsäureestern. Viele davon sind ehemalige Klausuraufgaben.

1.1 Geben Sie den systematischen Namen folgender Carbonsäuren oder deren Derivate an. Geben Sie kurz an, wie sie aus den Carbonsäuren hergestellt werden können.



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

1.3 Methansäure wird mit Ammoniaklösung (NH_3_{aq}) in einer Säure-Base-Reaktion umgesetzt. Formulieren Sie die Bruttoreaktionsgleichung und geben Sie den Namen des Produkts an.

1.4 Der pK_S -Wert ist ein quantitatives Maß der Säurestärke: Je größer die Säurestärke, desto niedriger der pK_S -Wert. Ordnen Sie folgende Verbindungen nach sinkendem pK_S -Wert: 2-Chlorbutansäure, Ethin, 3-Chlorbutansäure, Trifluoethansäure, Methanol, 2-Chlorpropansäure, 2-Methylpropansäure, 4-Chlorbutansäure. pK_S -Werte: 0,3; 2,83; 2,86; 4,05; 4,52; 4,86; 16; 22

1.5 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. Hinweis: Beim ersten Schritt benutzen Sie MnO_4^- -Ionen (Permanganat-Ionen) als Oxidationsmittel. Sie werden bei der Reaktion zu Mn^{2+} reduziert. Als Ladungsausgleich für diese Redoxreaktion können Sie H^+ und H_2O benutzen.

1.6 Beim Erhitzen reagiert 4-Hydroxybuttersäure intramolekular zu einem Ester. Geben Sie die Bruttoreaktionsgleichung an.

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

1.8 Der systematische Name von Milchsäure ist 2-Hydroxy-propansäure.

- Formulieren Sie die Strukturformel und benennen Sie die auftretenden funktionellen Gruppen.
- Erläutern Sie mit zwei Argumenten, warum Carbonsäuren saure Eigenschaften besitzen.
- Beurteilen Sie die Acidität von Milchsäure im Vergleich zu Isobuttersäure (2-Methyl-propansäure) und Glycolsäure (Hydroxy-ethansäure). Zeichnen Sie für Ihre Begründungen auch die Strukturformeln dieser beiden Vergleichssubstanzen.

1.9 Maleinsäure ist der Trivialname für die ungesättigte, mehrwertige Carbonsäure, mit dem systematischen Namen *cis*-Buten-disäure.

- Geben Sie die Strukturformel an.
- Wie kann man den ungesättigten Charakter des Moleküls in einem Experiment qualitativ nachweisen?
- Unter intramolekularer Wasserabspaltung kann sich Maleinsäureanhydrid bilden. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung in Strukturformeln.

1.10 Oxalsäurediethylester wird hydrolytisch gespalten. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung in Strukturformeln. Hinweis: Oxalsäure (Ethandisäure): HOOC-COOH

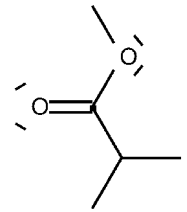
1.11 Ameisensäure (Methansäure) siedet erst bei ca. 100 °C, Ameisensäuremethylester siedet trotz seiner wesentlich höheren Molekülmasse schon bei ca. 30°C.

- Erklären Sie diesen Unterschied anhand der Molekülstruktur.
- Beurteilen Sie die Löslichkeit in Wasser für beide Stoffe.

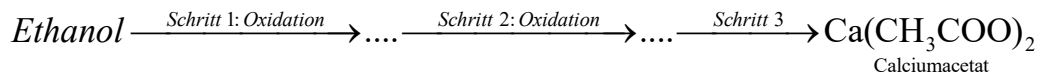
1.12 a) Benennen Sie die rechts dargestellte Verbindung mit systematischen Namen.

b) Formulieren Sie die Bruttoreaktionsgleichung für die Synthese der Verbindung aus zwei organischen Ausgangsstoffen.

c) Vergleichen Sie die Säurestärke der beiden org. Ausgangsstoffe untereinander und begründen Sie die Unterschiede.



1.13 Ausgehend von Ethanol soll in einer dreischrittigen Synthese Calciumacetat, $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, hergestellt werden. Im folgenden Schema sind nur das org. Stoff angegeben, weitere Edukte und Produkte sind möglich:



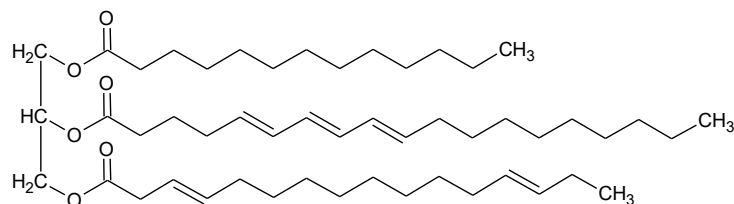
- Welcher organische Stoff entsteht bei Schritt 1? Geben Sie Namen und Strukturformel an!
- Bei Schritt 2 wird als Reaktionspartner eine saure MnO_4^- -haltige Lösung benutzt. Bei dieser Reaktion entsteht auch Mn^{2+} . Formulieren Sie die Reaktionsgleichung.
- Schritt 3: Geben Sie die Reaktionsgleichung für Schritt 3 incl. geeignetem Reaktionspartner an.
- Sortieren Sie alle 4 organischen Stoffe nach aufsteigendem Schmelz- und Siedepunkt incl. kurzer Begründung.

2. Fette, Verseifung und Waschwirkung von Seifen

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

- Formulieren Sie Reaktionsgleichung für die entsprechende Reaktion eines Fett, das Fettsäurereste der Linolensäure ($\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$) und der Laurinsäure ($\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{COOH}$) im Verhältnis 2:1 enthält.
- Für die vollständige Verseifung gleicher Massen unterschiedlicher Fette werden jeweils unterschiedliche Stoffmengen 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? ($M(\text{Linolensäure}) = 278,4 \text{ g/mol}$, $M(\text{Br}_2) = 159,8 \text{ g/mol}$)

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



- Welche Stoffmenge $n(\text{I}_2)$ (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: $M(\text{Fett}) = 797,2 \text{ g/mol}$; $M(\text{I}_2) = 253,8 \text{ g/mol}$

2.3 Berechnen Sie die Iodzahl für ein Fett, indem ausschließlich Linolensäure ($\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$) als Fettsäure vorkommt. $M(\text{Fett}) = 879,4 \text{ g/mol}$

2.4 Wie lassen sich, ausgehend von Tierfetten Seifen herstellen?

2.5 Erklären Sie die Waschwirkung von Natriumoleat ($\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COONa}$).

2.6 Beschreiben Sie den Aufbau von Micellen und erklären Sie, wie es zu Ihrer Bildung kommt.

2.7 Weshalb kommt es bei Einbringung von Seife zur Herabsetzung der Grenzflächenspannung von Wasser? Inwiefern ist diese Herabsetzung wichtig für den Waschvorgang.

3. Aufgaben in Anlehnung an Abituraufgaben vergangener Jahre

Vorbemerkung: Die originalen Abituraufgaben beinhalten Teilaufgaben zu vielen verschiedenen Themenfeldern. Hier wurden nur die Teilaufgaben extrahiert, die sich auf Fette, Ester oder Seifen beziehen. Die Aufgaben mussten dazu inhaltlich (meist nur sehr geringfügig) und auch sprachlich etwas verändert werden.

3.1 Ein Ester besitzt einen eindeutigen Geruch nach Alleskleber.

3.1.1 Geben Sie die Strukturformel und den Namen des Esters an und formulieren Sie den Reaktionsmechanismus zur Bildung ausgehend von einem Alkohol und einer Säure. (Ch-Abi TG - 4stündig, Hauptprüfung 2006/2007)

3.2 Zimtsäure ist eine Carbonsäure mit einem aromatischen Kern. Als Halbstrukturformel kann man schreiben: $C_6H_5-CH=CH-COOH$. Die Doppelbindung liegt in *trans*-Konfiguration (*E*-Konfiguration) vor.

3.2.1 Zimtsäure kann unter katalytischer Wirkung von Schwefelsäure mit Methanol zu einem Ester reagieren. Geben Sie die Strukturformel und den Namen des Esters an. (Ch-Abi TG - 4stündig, Nachprüfung 2006/2007)

3.2.2 Erläutern Sie die ersten beiden Schritte des Reaktionsmechanismus mit Hilfe von Reaktionsgleichungen und beschreiben sie in Worten die Funktion der Schwefelsäure im ersten Schritt. (Ch-Abi TG - 4stündig, Nachprüfung 2006/2007)

3.2.3. Der Ester der Zimtsäure findet sich z.B. in Sonnencreme. Letztere besitzt als Hauptbestandteile Fett und Wasser. Zeichnen Sie ein Fettmolekül Ihrer Wahl und begründen Sie die Löslichkeit dieses Esters in der Sonnencreme. (Ch-Abi TG - 4stündig, Nachprüfung 2006/2007)

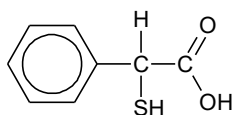
3.3 Aus Propansäure und Ethanol lässt sich ein Aromastoff mit der Summenformel $C_5H_{10}O_2$ gewinnen.

3.3.1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung in Strukturformelschreibweise. (Ch-Abi TG - 4stündig, Hauptprüfung 2005/2006)

3.3.2 Benennen Sie die Verbindung und geben Sie den Reaktionstyp an. (Ch-Abi TG - 4stündig, Hauptprüfung 2005/2006)

3.3.3 Berechnen Sie, wie viel Gramm Propansäure reagieren, um 50 g dieser Verbindung herzustellen. (Ch-Abi TG - 4stündig, Hauptprüfung 2005/2006)

3.4 Aus Thiomandelsäure und Ethanol kann in Gegenwart konz. Schwefelsäure Thiomandelsäureethylester hergestellt werden.

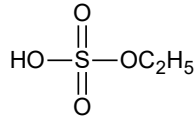


Thiomandelsäure

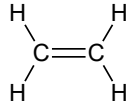
3.4.1 Geben Sie die Strukturformel des Thiomandelsäureethylesters an. (Ch-Abi TG - 4stündig, Hauptprüfung 2004/2005)

3.4.2 Erläutern Sie zwei Funktionen der Schwefelsäure bei dieser Reaktion. (Ch-Abi TG - 4stündig, Hauptprüfung 2004/2005)

3.4.3 Bei der Reaktion können folgende Nebenprodukte auftreten.



Name: ?



Name: ?

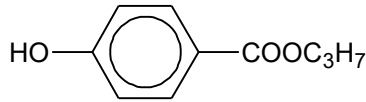
?

Diethylether

Geben Sie die fehlenden Namen bzw. Strukturformeln an. (Ch-Abi TG - 4stündig, Hauptprüfung 2004/2005)

3.4.4 Begründen Sie, ob Thiomandelsäure oder Thiomandelsäureethylester die höhere Siedetemperatur besitzt. (Ch-Abi TG - 4stündig, Hauptprüfung 2004/2005)

3.5 4-Hydroxybenzoesäurepropylester (E216) ist als Konservierungsstoff von Lebensmittel zugelassen.



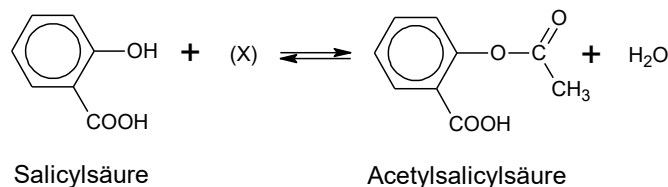
Seine Formel lautet:

3.5.1 Das Löseverhalten des Stoffs in Wasser und in Propanon wird untersucht. Begründen Sie das jeweils zu erwartende Ergebnis. (Ch-Abi TG - 4stündig, Nachprüfung 2004/2005)

3.5.2 Im Magen wird E216 durch den sauren Magensaft gespalten. Stellen Sie die Reaktionsgleichung für die Spaltung mit Wasser unter Verwendung von Strukturformeln auf. (Ch-Abi TG - 4stündig, Nachprüfung 2004/2005)

3.5.3 Eines der beiden Spaltprodukte reagiert in der Leber mit der Aminosäure Aminoethansäure (Glycin) wobei *keine* Veresterung stattfindet. Geben Sie die Strukturformel des organischen Produkts an. (Ch-Abi TG - 4stündig, Nachprüfung 2004/2005)

3.6 Die Acetylsalicylsäure stellt den Wirkstoff in ASPIRIN® dar. Sie lässt sich in einer exothermen Gleichgewichtsreaktion aus Salicylsäure und einer Verbindung (X) unter Einsatz von Schwefelsäure als Katalysator herstellen.



3.6.1 Geben Sie die Strukturformel und den systematischen Namen der Verbindung (X) an und nennen Sie den Reaktionstyp. (Ch-Abi TG - 4stündig, Nachprüfung 2004/2005)

3.6.2 Übertragen Sie die Formel der Acetylsalicylsäure auf Ihr Arbeitsblatt und kennzeichnen und benennen Sie zwei unterschiedliche funktionelle Gruppen dieser Säure (Ch-Abi TG - 4stündig, Nachprüfung 2004/2005)

3.6.3 Begründen Sie jeweils, ob sich durch die Verwendung eines Katalysators

- die Reaktionsgeschwindigkeit...
- die Reaktionsenthalpie... ...ändert. (Ch-Abi TG - 4stündig, Nachprüfung 2004/2005)

3.7.1 4-Hydroxybutansäure kann eine cyclische Verbindung mit der Summenformel $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$ bilden. Zeichnen Sie die Strukturformel dieser Verbindung. (Ch-Abi TG - 4stündig, Nachprüfung 2003/2004)

3.8 Rapsöl wird zur Herstellung von Speisefett, Biodiesel und Seife verwendet. Es enthält überwiegend Triglyceride (Dreifachester des Glycerins), die einen hohen Anteil an ungesättigten Fettsäure-Resten enthalten.

3.8.1 Geben Sie die Formel eines Fettmoleküls an, welches die Fettsäuren (A) Ölsäure $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ und (B) Linolsäure $\text{C}_{17}\text{H}_{31}\text{COOH}$ im Stoffmengenverhältnis $n(\text{A}) : n(\text{B}) = 2:1$ enthält. (Ch-Abi TG - 4stündig, Hauptprüfung 2003/2004)

3.8.2 Aus dem Rapsöl soll industriell ein festes Speisefett hergestellt werden. Beschreiben Sie in Worten und unter Verwendung einer Reaktionsgleichung, wie auf chemischem Weg die Schmelztemperatur des Öls erhöht werden kann. (Ch-Abi TG - 4stündig, Hauptprüfung 2003/2004)

3.8.3. Biodiesel enthält im Wesentlichen folgende zwei Stoffe: Stoff (C): $C_{17}H_{31}COOCH_3$ und Stoff (D): $C_{17}H_{33}COOCH_3$. Bei der Herstellung von Biodiesel wird Rapsöl mit Methanol in einer Gleichgewichtsreaktion zu den Stoffen (C) und (D), sowie einem weiteren Stoff gespalten. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung der Gleichgewichtsreaktion unter Verwendung des Fettmoleküls aus 3.8.1. (Ch-Abi TG - 4stündig, Hauptprüfung 2003/2004)

3.8.4. Stoff (C) ($C_{17}H_{31}COOCH_3$) kann auch im Labor aus der entsprechenden Carbonsäure säurekatalytisch hergestellt werden. Formulieren sie den Reaktionsmechanismus. (Ch-Abi TG - 4stündig, Hauptprüfung 2003/2004)

3.8.5. Ausgehend von Stoff (D) ($C_{17}H_{33}COOCH_3$) kann Seife hergestellt werden. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung. (Ch-Abi TG - 4stündig, Hauptprüfung 2003/2004)

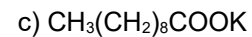
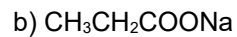
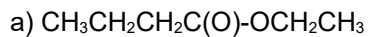
3.8.6. Die Seife aus 3.8.5. wird in Wasser gelöst. Die Seifenlösung wird auf 3 Reagenzgläser verteilt

- In Reagenzglas 1 gibt man verdünnte Salzsäure
- In Reagenzglas 2 gibt man einen Säure-Base-Indikator
- In Reagenzglas 3 gibt man etwas Calciumchlorid.

In zwei Reagenzgläsern beobachtet man die Bildung einer weißen Trübung, in einem weiteren Reagenzglas eine Farbänderung. Erklären Sie diese Beobachtungen und formulieren Sie jeweils eine Reaktionsgleichung. (Ch-Abi TG - 4stündig, Hauptprüfung 2003/2004)

Lösungen – ohne Gewähr

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



Bei Unklarheiten, Verbesserungsvorschlägen oder Fehler bitte ich um kurze E-Mail. Die E-Mail-Adresse finden Sie unter „Kontakt“ auf der Webseite.

1.1

a) Butansäureethylester

b) Natriumpropanoat

c) Kaliumdecanoat

Reaktion der beiden Carbonsäuren mit H_2SO_4 als Katalysator, Nebenprodukte sind Essigsäureethylester und Butansäurebutylester

Reaktion von Propansäure mit Natronlauge (Neutralisationsreaktion) und anschließendem Abdestillieren des H_2O

Reaktion von Decansäure mit Kalilauge und anschließender Entfernung des H_2O

1.2

Ethan besitzt die unpolarste Bindung zu H, die Tendenz als H^+ abgespalten zu werden, ist sehr gering. Das dabei entstehende Carbanion wird nicht besonders stabilisiert. Der pK_s -Wert, ein Maß für die Säurestärke (je höher, desto schwächer die Säure) ist entsprechend hoch: $\text{pK}_s(\text{Ethan}) \approx 50$

Bei Alkoholen ist immerhin eine polare OH-Bindung vorhanden, das Alkoholation wird jedoch nicht besonders stabilisiert. $\text{pK}_s(\text{Ethanol}) \approx 16$

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. $\text{pK}_s(\text{Essigsäure}) = 4,75$

1.3

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

1.4

Je niedriger der pK_s -Wert, desto höher die Säurestärke.

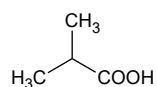
Ethin: $\text{pK}_s = 22$

geringe Tendenz H^+ abzuspalten, da CH-Bindung unpolar und das Carbanion nicht besonders stabilisiert wird.

zwar polare OH-Bindung, das Methanolat-Anion kann sich jedoch nicht durch Resonanz (Delokalisation der negativen Ladung) stabilisieren.

Methanol: $\text{pK}_s = 16$

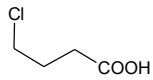
2-Methylpropansäure (4,86) (Isobuttersäure)



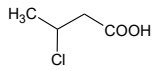
($\text{pK}_s =$ Die Carboxylgruppe aus den bekannten Gründen ist relativ stark sauer.

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.

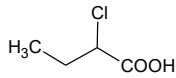
4-Chlorbutansäure, $pK_S = 4,52$



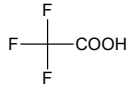
3-Chlorbutansäure; $pK_S = 4,05$



2-Chlorbutansäure $pK_S = 2,86$



Trifluoethansäure, $pK_S = 0,3$



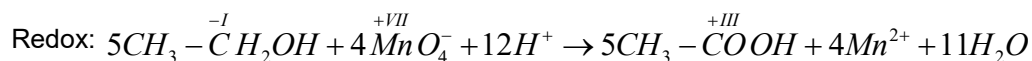
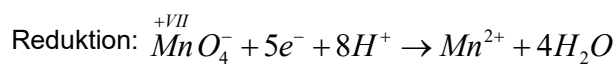
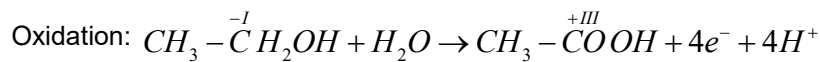
Bei diesen 3 Vertretern kann man beobachten, wie sich die Annäherung des (-)-I-Substituenten an die Carboxylgruppe die Acidität steigert.

So erhöht das Cl am C₄-Atom wegen der weiten Entfernung die Acidität im Vgl. zur Butansäure ($pK_S = 4,82$) nur wenig. Je weiter der (-)-I-Substituent entfernt ist, desto schwächer ist seine elektronenziehende Wirkung.

Wegen der 3 starken (-)-I-Substituenten handelt es sich um eine der stärksten isolierbaren organischen Säuren überhaupt.

1.5

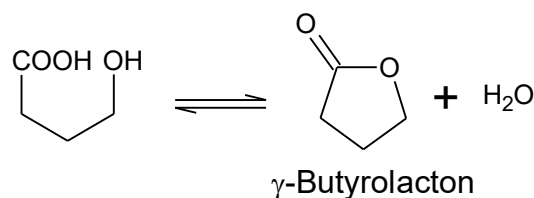
Schritt 1: Zuerst wird Ethanol zur Essigsäure oxidiert, geeignetes Oxidationsmittel ist z.B. MnO_4^- , das zu Mn^{2+} reduziert wird.



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 bei dieser Gleichgewichtsreaktion zu erreichen kann ein Produkt (H_2O oder Ester) durch Abscheidung/Abdestillation ständig entfernt werden: $CH_3-CH_2-OH + HOOC-CH_3 \rightleftharpoons CH_3-CH_2-O-C(O)-CH_3 + H_2O$

1.6

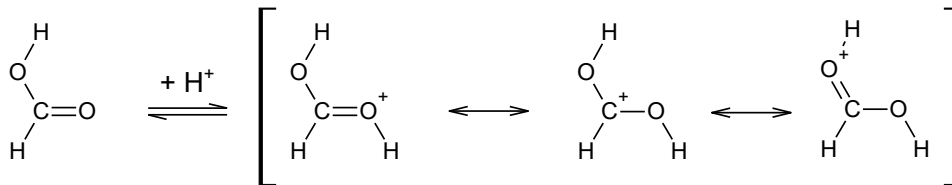
Da es nur einen Ausgangsstoff bei dieser Veresterung gibt, muss es sich zwangsläufig um eine intramolekulare Veresterung handeln. Dabei reagiert die OH-Gruppe am C₄-Atom mit der Carboxylgruppe in einer Kondensationsreaktion unter Ringschluss.



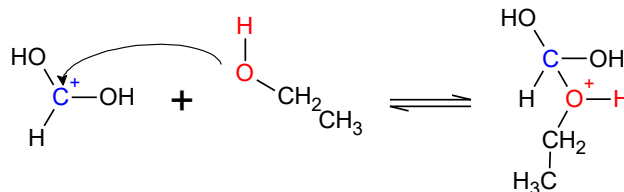
1.7

Achtung: Da die Software freie Elektronenpaare nicht automatisch einzeichnet, wurden Sie hier weggelassen. Sie gehören aber auf jeden Fall zum Mechanismus! Ergänzen Sie diese also zuerst eigenständig!

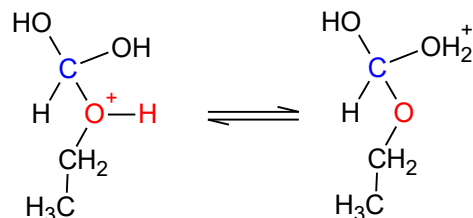
Zuerst wird die Carbonylfunktion der Carbonsäure protoniert, wobei die positive Ladung des Kation delokalisiert ist.



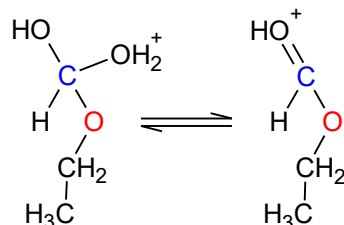
Im zweiten Schritt kommt es zum **nucleophilen Angriff** durch die Hydroxylgruppe des Alkohol an das partial positiv geladene C-Atom. Da hier zwei Moleküle unter Ausbildung einer Bindung miteinander verknüpft werden, handelt es sich um eine **Addition**.



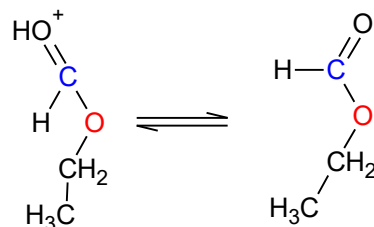
Aus der H-Brücke zwischen den beiden Sauerstoffatomen bildet sich durch die Abgangsgruppe $^+\text{OH}_2$ heraus.



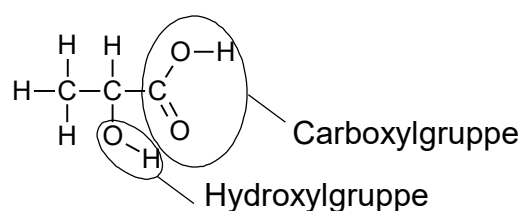
In einer Eliminierungsreaktion bildet sich nun wieder eine C=O-Doppelbindung aus, wobei H_2O abgespalten wird.



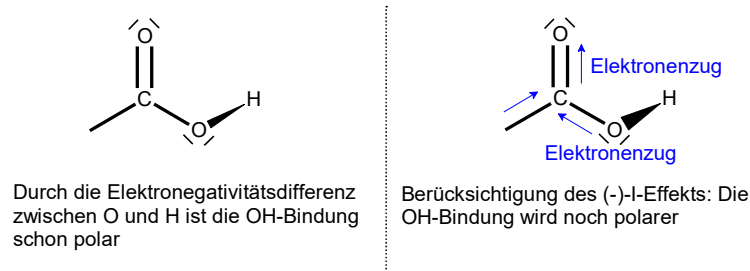
Im letzten Schritt kommt es zur Deprotonierung bzw. zur Regeneration des Katalysators H^+ . Es ist Ameisensäure-Ethylester entstanden.



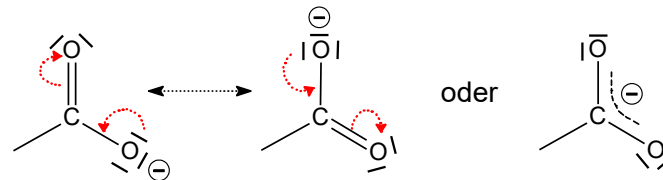
1.8



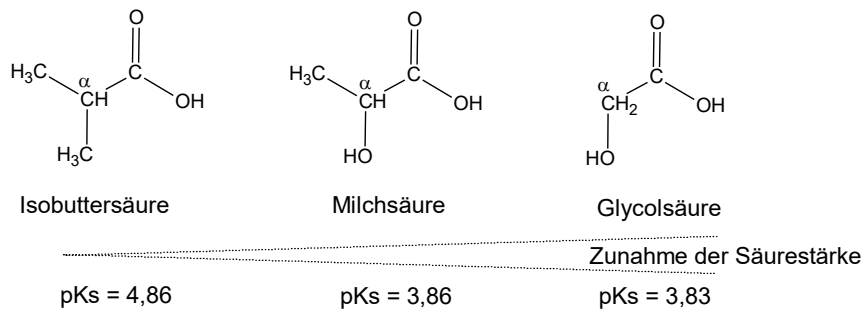
b) 1. Argument: Das Sauerstoffatom der C=O-Gruppe der Carboxylgruppe übt auf die Hydroxylgruppe einen negativen induktiven Effekt aus, d.h. es polarisiert durch Elektronenzug die OH-Gruppe noch stärker als sie es sowieso schon ist. Dadurch kann das H-Atom durch eine heterolytische Bindungsspaltung leicht als H⁺ abgespalten werden.



2. Argument: Das H⁺ kann deshalb leicht abgespalten werden, weil die negative Ladung der Carboxylatgruppe (deprotonierte Carboxylgruppe) über die beiden Sauerstoffatome delokalisiert ist. Das heißt, die negative Ladung wird über die beiden O-Atome gleichmäßig verteilt. Dadurch wird der Ladungsüberschuss energetisch stabilisiert und das Carboxylation kann sich leicht ausbilden.



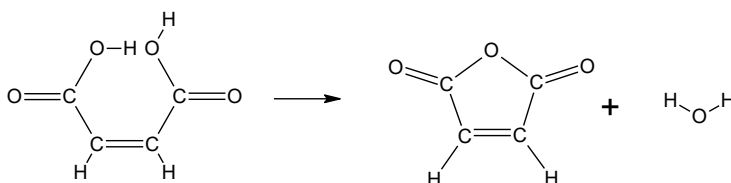
c) Die Acidität nimmt in dieser Reihenfolge zu:



Als Substituent mit positivem induktiven Effekt schiebt die Methylgruppe Elektronenladung in Richtung Carboxylgruppe, so dass der (-)-I-Effekt des O-Atoms der C=O-Gruppe teilweise kompensiert wird. Die Säurestärke sinkt also durch den Einfluss der zusätzlich anhängenden Methylgruppe am α-C-Atom. So ist die Isobuttersäure eine schwächere Säure als die Milchsäure, zumal diese mit der OH-Gruppe an dieser Stelle einen Substituenten mit negativem induktiven Effekt besitzt. Die Milchsäure selbst ist durch die am α-C-Atom anhängende Methylgruppe ihrerseits schwächer sauer als die Glycolsäure.

1.9

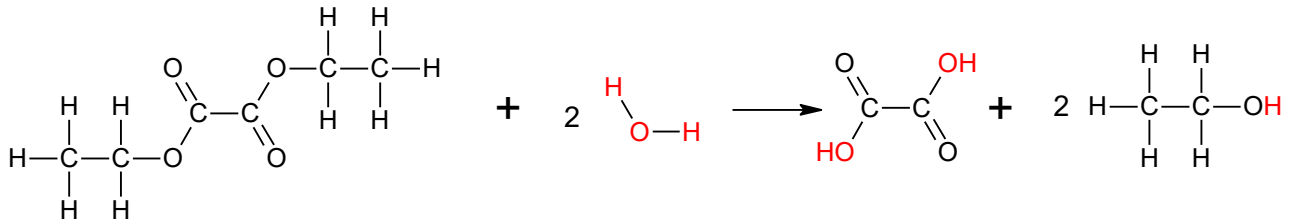
a) + c)



b) Der Nachweis von C=C-Doppelbindungen kann durch Brom erfolgen. Br₂ addiert an die Doppelbindung, so dass beim Schütteln der Verbindung mit einer wässrigen Bromlösung („Bromwasser“), die gelbe Bromfarbe verschwindet.

1.10

Oxalsäure*di*ethylester besitzt auf beiden Seiten eine Estergruppen:



1.11

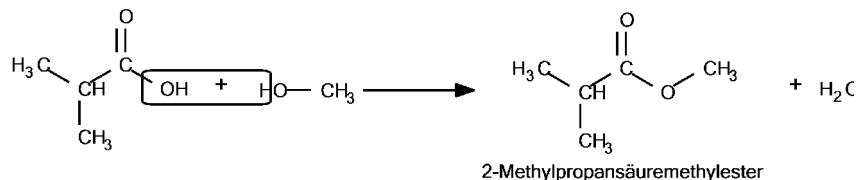
Ameisensäuremoleküle können untereinander Wasserstoffbrücken eingehen. Weiterhin gehen sie über Wasserstoffbrücken verbunden dimer in die Gasphase über. Einen kleinen Anteil am intermolekularem Zusammenhalt hat auch der polare Charakter der Carboxylgruppe (Dipol-Dipol-Wechselwirkungen möglich) und die (minimal wirkenden) van-der-Waals-Kräfte.

Ameisensäuremethylester besitzt zwar eine polare Estergruppe, aber die Moleküle können untereinander keine Wasserstoffbrückenbindungen eingehen. Zwischen den Molekülen wirken Dipol-Dipol-Wechselwirkungen permanenterer Dipole und van-der-Waals-Kräfte. Diese zusammenhaltende Kräfte sind jedoch wesentlich schwächer als Wasserstoffbrückenbindungen.

1.12

a) Isobutansäuremethylester oder 2-Methylpropansäuremethylester

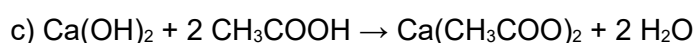
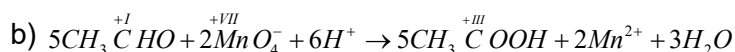
b) Alle Ester entstehen bei der Kondensation zwischen einer Säure und einem Alkohol. Carbonsäureester entstehen bei der Kondensation zwischen Carbonsäuren und Alkoholen.



c) Carbonsäuren sind wesentlich stärkere Säuren als Alkohole, d.h. sie können leichter H⁺ abspalten. Dazu tragen 2 Gründe bei: 1. Das Carboxylat-Anion (R-COO⁻) ist stabiler als das Alkoholat-Anion (R-O⁻), da die negative Ladung über die Carboxylatgruppe delokalisiert ist (darstellbar in Form von mesomeren Grenzformeln, *siehe Unterrichtsunterlagen!*). Die Ausbildung des Carboxylat-Anions ist deshalb energetisch begünstigt. 2. Die OH-Bindung der Carboxylgruppe ist stärker polarisiert als die OH-Gruppe des Alkohols. Dies hängt mit dem elektronenziehenden Effekt der CO-Gruppe ((-)-I-Effekt) zusammen. In der Konsequenz kann das H-Atom leichter heterolytisch als H⁺ abgespalten werden.

1.13

a) Ethanal: CH₃-CHO



eine Säure-Base-Reaktion

d) Bitte einprägen: Wenn nach Siedepunkten/Schmelzpunkten gefragt wird, geht es um die zusammenhaltenden Kräfte zwischen den Teilchen und NICHT um chemische Stabilität o.ä. Eine Verbindung kann chemisch instabil sein und trotzdem einen hohen Smp/Sdp besitzen.

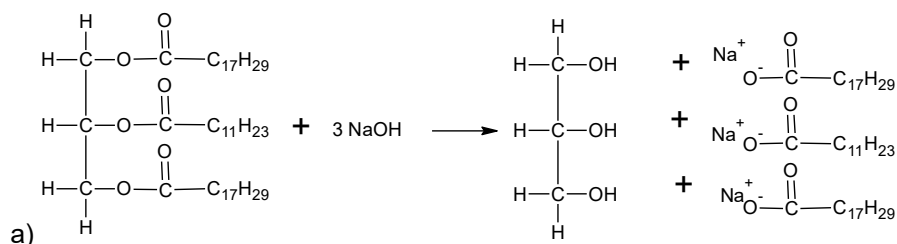
Es gibt folgende Kräfte

- * **Wasserstoffbrückenbindung:** Dies sind die stärksten zwischenmolekularen Kräfte. Sie sind aber schwächer als Elektronenpaarbindungen oder Ionenbindungen.
- * **Dipol-Dipol-Wechselwirkungen permanenter Dipole:** Hier geht es um die elektrostatische Anziehung von δ^+ und δ^- polarer Moleküle (z.B. CO, H₂O)
- * **Dipol-Dipol-Wechselwirkungen induzierter Dipole (= van-der-Waals-Kräfte).** Diese schwachen zusammenhaltenden Kräfte dominieren bei unpolaren Molekülen und wachsen mit größer werdender Moleküloberfläche.

Wichtig ist, dass sich die Kräfte nicht gegenseitig ausschließen. Beispiel: Der Zusammenhalt der Wassermoleküle beruht hauptsächlich auf den starken H-Brücken, aber auch auf Dipol-Dipol-Wechselwirkungen der polaren Wassermoleküle. Van-der-Waals-Kräfte haben bei H₂O nur eine untergeordnete Bedeutung.

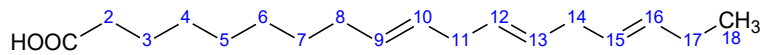
Ethanal < Ethanol < Ethansäure < Calciumacetat. Begründung: Ethanal kann keine H-Brücken mit seinesgleichen ausbilden. Nur schwache Dipol-Dipol-WW permanenter Dipole und van-der-Waals-Kräfte halten die Molekülen zusammen. Ethanol: Hier ist der Zusammenhalt zwischen den Molekülen stärker, weil zusätzlich H-Brücken untereinander ausgebildet werden können, die für sich alleine sogar schon stärker als die Dipol-Dipol-WW permanenter Dipole und die v.d.W.-Kräfte wären. Ethansäure hat einen noch höheren Sdp. weil die Carboxylgruppe insgesamt polarer als die OH-Gruppe ist. Weiterhin gehen hier die Moleküle dimer in die Gasphase über. Ca-Acetat hat den höchsten Sdp., da hier die Ionen untereinander von allen Seiten elektrostatisch verbunden sind (Ionenpackung) => Starke Zusammenhaltende Kräfte.

2.1



b) Wenn unterschiedliche Mengen an NaOH benötigt werden, dann müssen in den Fettportionen unterschiedliche Mengen an Esterbindungen (-O-(CO)-) vorliegen. Da aber alle Fettportionen die gleiche Massen haben, ist das nur möglich wenn sich die molaren Massen der Fettmoleküle unterscheiden. Die Fettstoffmengen (in mol) und damit auch die Stoffmenge 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 Br₂-Molekül benötigt.

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

Umrechnung von n(Br₂) in m(Br₂)

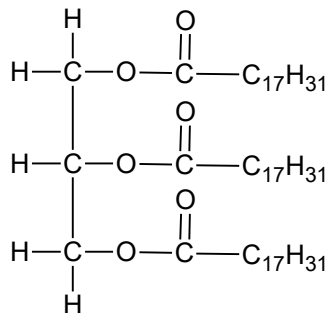
$$m(\text{Br}_2) = 0,215517 \text{ mol} \cdot 159,8 \text{ g/mol} \approx \underline{34,44 \text{ g}}$$

2.2

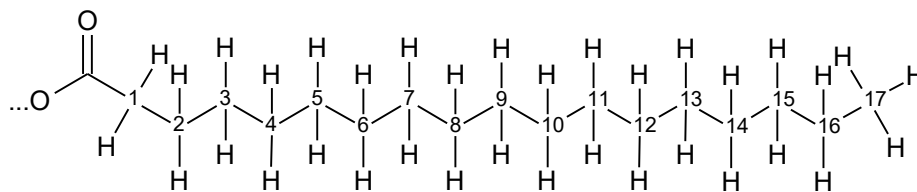
Bedenken Sie, dass an jede C-C-Doppelbindung ein Brommolekül addiert werden kann.

2.3

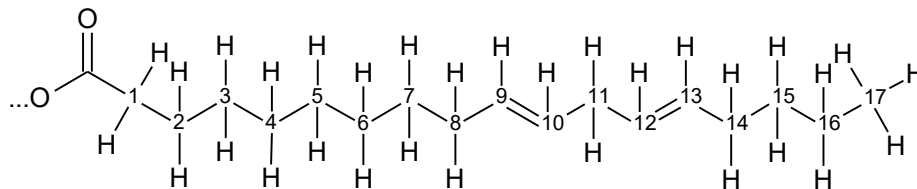
2.2.1 Strukturformel des Fetts:



Die Fettsäurereste wären gesättigt, wenn sie die Summenformel ...C₁₇H₃₅ hätten:



Pro Fettsäure müssen also 2 Doppelbindungen vorhanden sein, um die Summenformel ...C₁₇H₃₁ zu besitzen:



\Rightarrow Pro Fettmolekül liegen also 6 Doppelbindungen vor (da 3 Fettsäurereste).

Die Frage ist welche Masse Iod von 100 g Fett addiert wird.

Berechnung der Stoffmenge an Fett: $n = m : M = 100 \text{ g} : 879,4 \text{ g/mol} = 0,1137139 \text{ mol}$

Es wird die 6fache Stoffmenge I₂ addiert, da pro Doppelbindung 1 I₂-Molekül addiert wird und pro Fettmolekül 6 C=C-Doppelbindungen vorkommen.

$$n(\text{I}_2) = 6 \cdot n(\text{Fett}) = 6 \cdot 0,1137139 \text{ mol} = 0,68228 \text{ mol}$$

$$\text{Umrechnung in die Masse: } m(\text{I}_2) = n(\text{I}_2) \cdot M(\text{I}_2) = 0,68228 \cdot 253,809 \text{ g/mol} \approx 173,17 \text{ g}$$

=> Die Iodzahl beträgt 173,13

(Beachten Sie, dass die Iodzahl keine Einheit hat! 100 g Fett addieren 173,13 g I₂.)

2.4

2.5

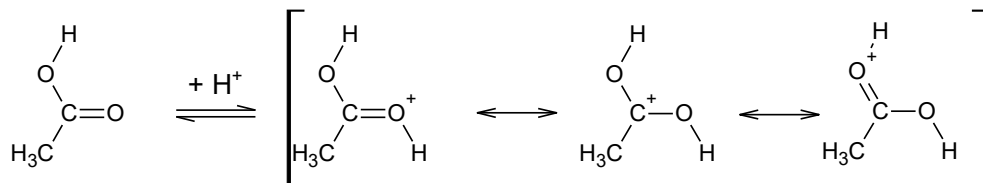
2.6

2.7

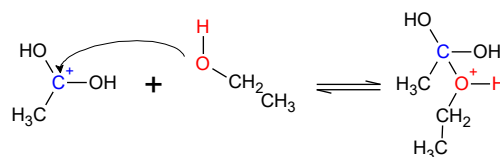
3.1

3.1.1 Es handelt sich eindeutig um Essigsäureethylester (den haben Sie ja z.B. auch im Praktikum selbst hergestellt). Es wird zur Reaktion eine katalytische Menge H₂SO₄ benötigt.

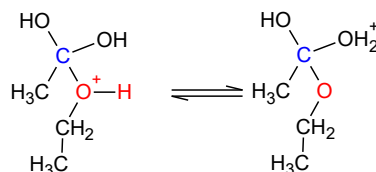
Zuerst kommt es zur Protonierung von Ethansäure am Sauerstoffatom der Carboxylgruppe. Das entstehende Carbeniumion ist durch Resonanz stabilisiert (Delokalisation der positiven Teilladung)



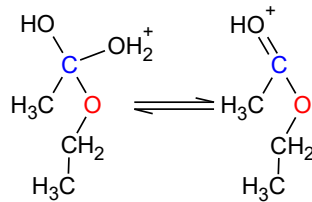
An dieses kann nun die Hydroxylgruppe des Alkohols nucleophil angreifen (Addition).



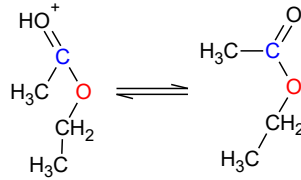
Ausgehend von einer H-Brückenbindung kann ein H⁺ seinen Bindungspartner wechseln, wobei sich die gute Abgangsgruppe O⁺H₂ bildet:



Im jetzt folgenden Eliminierungsschritt wird die C=O-Bindung unter Abspaltung von H₂O neu gebildet.

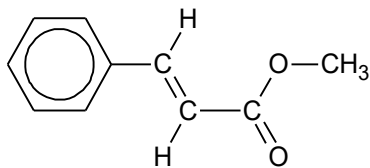


Im letzten Schritt kommt es zur Deprotonierung bzw. zur Regeneration des Katalysators.



3.2

3.2.1



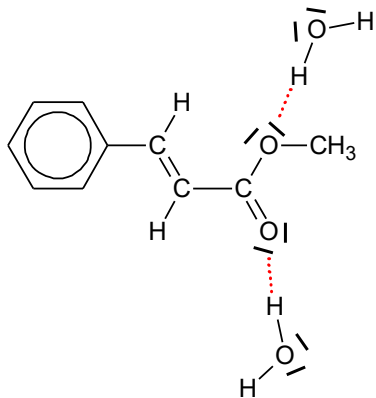
Zimtsäuremethylester. Man beachte die (*E*)-Konfiguration (*trans*-Konfiguration) an der Doppelbindung.

3.2.2 Der erste Schritt ist die Protonierung des Alkohols (hier: Methanol) zu einem Oxoniumion (das sind allgemein Ionen mit der positiven Ladung am O-Atom). Dadurch wird das anhängende C-Atom so stark positiv polarisiert, dass es von der Säure (hier: Zimtsäure) nucleophil angegriffen werden kann. Eine völlig analoge Reaktion finden Sie z.B. in der Musterlösung zu 3.1.1.

3.2.3

Fette sind *Triglyceride*, also Dreifachester des Glycerins (Propantriol) mit 3 langkettigen Carbonsäuren (Fettsäuren). Eine Strukturformel finden Sie z.B. im Schulbuch „*elemente2*“ S. 212.

Der Zimtsäuremethylester ist eher unpolar, polare Gruppen wie OH oder -NH_x finden sich nicht im Molekül. Deshalb löst er sich nur schlecht in Wasser. Eine geringe Löslichkeit ist darauf zurückzuführen, dass der Ester mit H₂O H-Brücken ausbilden kann (obwohl der Ester selbst kein polar gebundenen H-Atome besitzt):



Im unpolaren Fett löst sich hingegen der Ester, da die unpolaren Kohlenwasserstoffreste untereinander van-der-Waals-Wechselwirkungen eingehen können.

3.3.1 + 3.3.2

Es handelt sich um eine Kondensationsreaktion, also der Verbindung von 2 Molekülen unter Abspaltung einer niedermolekularen Substanz (*Reaktionstyp*). Der *Mechanismus* der Reaktion ist die nucleophile Substitution.

Die Reaktionsgleichung ist analog zu der, die Sie z.B. im Schulbuch „*elemente2*“ S. 211, Abb. B1 finden. Es entsteht Propansäureethylester.

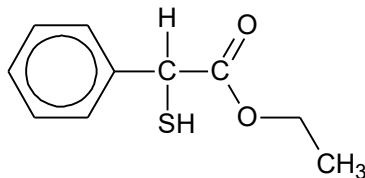
3.3.3 Durch Zusammenzählen der Atommassen kommt man zur molaren Masse des Esters: $M(\text{Ester}) = 102,14 \text{ g/mol}$

$$n(\text{Ester}) = \frac{m(\text{Ester})}{M(\text{Ester})} = \frac{50 \text{ g}}{102,14 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 0,48952 \text{ mol}$$

Wegen dem 1:1-Koeffizientenverhältnis in $1 \text{ Alkohol} + 1 \text{ Säure} \rightarrow 1 \text{ Ester} + 1 \text{ H}_2\text{O}$ folgt,

dass 0,48952 mol Propansäure ($M = 74,08 \text{ g/mol}$) benötigt werden. =>

$$m(\text{Propansäure}) = M(\text{Propansäure}) \cdot n(\text{Propansäure}) = 74,08 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 0,48952 \text{ mol} \approx 36,26 \text{ g}$$

3.4.1 + 3.4.2

Die Rolle der Schwefelsäure ist die gleiche, wie bei anderen Veresterungen (siehe z.B. Musterlösung zu 3.1.1)

3.4.3 Beim ersten Stoff handelt es sich um Schwefelsäuremonoethylester. Dieser entsteht wenn der protonierte Alkohol (Ethylloxoniumion) von einem Schwefelsäuremolekül nucleophil angegriffen wird (mit anschließender Deprotonierung)

Der zweite Stoff (Ethen) entsteht wenn das Ethylloxoniumion H_2O und H^+ abspaltet. Da hier niedermolekulare Verbindungen unter Ausbildung einer Doppelbindung abgespalten werden, spricht man von einer Eliminierung.

Der dritte Stoff, Diethylether ($\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$) entsteht, wenn das Ethylloxoniumion von einem Ethanolmolekül nucleophil angegriffen wird (mit anschließender Deprotonierung)

Im Schulbuch „*elemente2*“ können Sie den Mechanismus der Etherbildung und der Eliminierung auf S. 211 in nachlesen.

3.4.4 Thiomandelsäure hat den höheren Siedepunkt, weil sie mit Molekülen ihresgleichen H-Brücken ausbilden kann. Carbonsäuren allgemein lagern sich dabei häufig zu Dimeren (aus 2 Teilen bestehend)

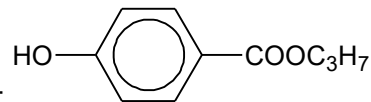
zusammen, die bei niederen Carbonsäuren als solche sogar in die Gasphase übertreten (s. z.B. Schulbuch „elemente2“ S. 209):



Der Ester hat wegen der relativ unpolaren Estergruppe und der Tatsache das die Moleküle mit ihresgleichen keine H-Brücken eingehen können einen niedrigeren Siedepunkt als die Carbonsäure.

3.5

3.5.4 4-Hydroxybenzoesäurepropylester (E216) ist als Konservierungsstoff von Lebensmittel zugelassen.

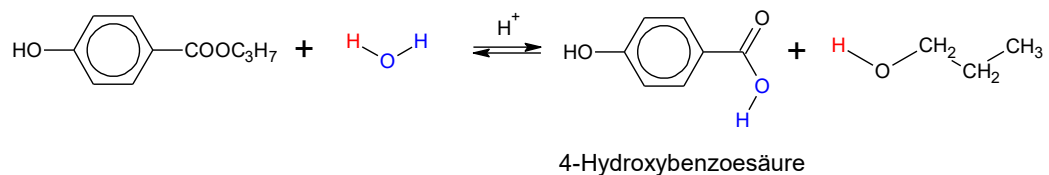


Seine Strukturformel lautet:

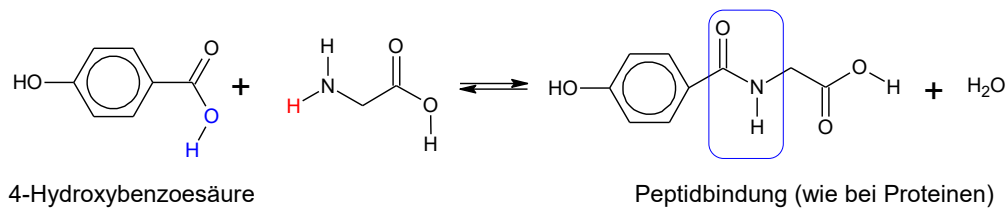
3.5.1 Das Molekül besitzt zwar eine polare OH-Gruppe, die ist jedoch in anbetracht der großen unpolaren Restes nicht von großer Bedeutung. In Wasser löst sich die Verbindung mittelmäßig bis schlecht. Sie kann jedoch mit der Estergruppe und der OH-Gruppe H-Brücken mit H₂O-Molekülen ausbilden.

In Propanon (Aceton), einem eher unpolaren Lösungsmittel, löst sich die Verbindung relativ gut. Die Löslichkeit ist auf van-der-Waals-Wechselwirkungen mit unpolaren Molekülteilen (Propylrest, Phenylrest) zurückzuführen. Auch kann die OH-Gruppe mit dem Aceton H-Brücken ausbilden.

3.5.2 Es handelt sich um die Hydrolyse eines Esters. Reaktionsgleichung:

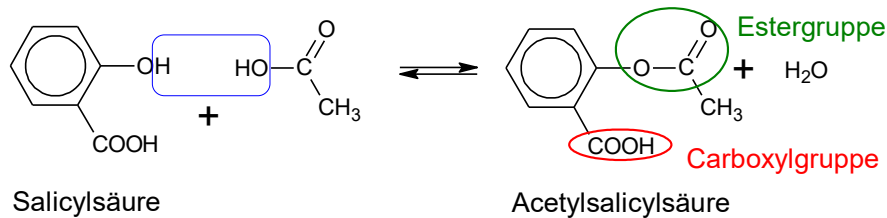


3.5.3 Wie bei der Bildung eines Dipeptids, kann die Aminogruppe mit der Carbonsäure in einer Kondensationsreaktion reagieren:



3.6.

3.6.1 +3.6.2 Der Stoff X heißt trivial Essigsäure (Achtung: systematischer Name: Ethansäure!). Ansonsten handelt es sich um eine normale Veresterung. *Reaktionstyp:* Kondensationsreaktion. (*Mechanismus:* Nucleophile Substitution)

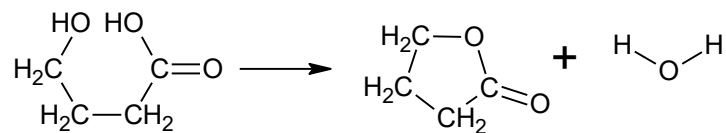


3.6.3 Die Reaktionsgeschwindigkeit ändert sich, weil Katalysatoren die Aktivierungsenergie herabsetzen, so dass ein größerer Anteil an Edukten die für die Reaktion notwendige Energie besitzt. So können pro Zeiteinheit mehr Eduktmoleküle reagieren (*Ausnahme: Negative Katalysatoren verlangsamen die Reaktion durch Erhöhung der Aktivierungsenergie*).

Katalysatoren gehen aus der Reaktion unverbraucht hervor. Deshalb spielt die Anwesenheit eines Katalysators für die Energiebilanz keine Rolle. Werden im Verlauf der Reaktion Bindungen im Katalysator gebrochen, so werden diese Bindungen zu einem späteren Zeitpunkt neu geknüpft (um den Katalysator zu regenerieren). Die Energiebilanz für das Aufbrechen (Energiezufuhr) und Knüpfung (Energieabgabe) ein und derselben Bindung(en) ist null.

3.7.1

Es handelt sich um eine intramolekulare Kondensationsreaktion, die zu einem zyklischen Ester führt:



3.8

3.8.1 Eine entsprechende Formel können Sie z.B. im Schulbuch „*elemente2*“ S. 212, Abb. B1 finden, nur müssen hier die Reste R unterschiedlich sein.

3.8.2 Zur Fetthärtung müssen Doppelbindungen katalytisch an Schwermetallkatalysatoren (z.B. Ni, Pt, Pd) hydriert werden, d.h. H₂ addiert werden. Man kann mit sehr genauen Methoden in so hergestellten Margarinen sogar extrem kleine Rückstände an diesen Metallen nachweisen (gesundheitlich unbedenklich). Durch die Hydrierung werden die Knicke die sich an Doppelbindungen auftun (vgl. z.B. Schulbuch „*elemente2*“, S. 212, Abb. B2) beseitigt. Dadurch können sich die unpolare Kohlenwasserstoffketten über längere Bereiche aneinanderlagern => van-der-Waals-Wechselwirkungen stärker => höherer Schmelzbereich => Fett „härter“

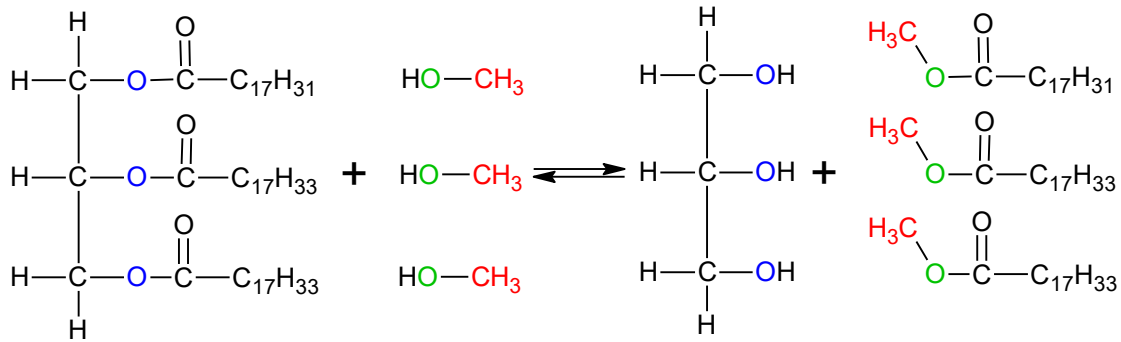
Reaktionsgleichung: $\dots\text{-CH=CH-}\dots + \text{H}_2 \rightarrow \dots\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}\dots$

3.8.3

Methanol (H₃C-OH) ist ein organisches Derivat von Wasser (H-OH). Entsprechend reagieren Sie häufig analog:

Hydrolyse (bereits bekannt): Spaltung eines Fetts unter dem Einfluss von Wasser

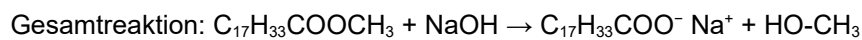
Methanolyse (siehe Rkt.gl. unten): Spaltung eines Fetts unter dem Einfluss von Methanol:



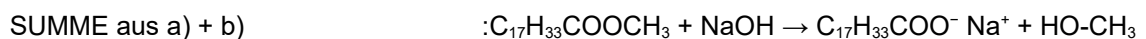
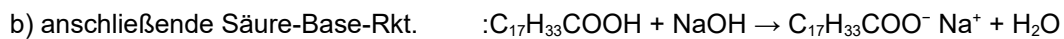
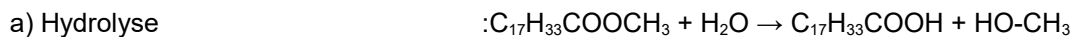
Neben den Fettsäuremethylestern entsteht also Glycerin (Propantriol).

3.8.4 Es handelt sich um eine normale Veresterung, wie sie schon oben ausführlich beschrieben wurde. Die allgemeine Reaktionsgleichung für die Veresterung finden Sie z.B. im Schulbuch „*elemente2*“ S. 211, Abb. B1, hier müssen Sie bloß noch die Reste R konkretisieren.

3.8.5 Es handelt sich um die alkalische Hydrolyse eines Esters:



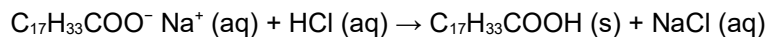
formale Herleitung der Gleichung oben möglich über:



Seifen sind die Alkalimetallsalze von Fettsäuren!

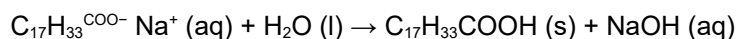
3.8.6

Zugabe von Säure: Es kommt zu einer Säure-Base-Reaktion (Protolyse):



Die Fettsäure liegt nun wieder ungeladen (nichtionisch) vor und ist in dieser Form schlecht wasserlöslich. Die ionische Form ist besser wasserlöslich.

Zugabe von Indikator: Die Anionen schwacher Säuren (z.B. Fettsäuren) reagieren mit H_2O alkalisch. Auch hierbei handelt es sich um eine Protonenübertragungsreaktion:



Zugabe von Calciumchlorid: Die Fettsäurerestionen bilden mit Ca^{2+} unlösliche Kalkseifen.

