

Lösungen (ohne Aufgabenstellungen)

Aufgaben

A 1

Einfluss der Hydroxygruppe: Sie ist polar, verantwortlich für die Löslichkeit in hydrophilen Lösungsmitteln (z. B. Wasser) und für die Ausbildung von Wasserstoffbrücken (Löslichkeit, relativ hohe Siedetemperatur).

Einfluss der Ethylgruppe: Sie ist unpolar, verantwortlich für die Löslichkeit in hydrophoben Lösungsmitteln (z. B. Benzin) und für die Löslichkeit hydrophober Substanzen in Ethanol.

A 2

a) Für die Höhe der Siedetemperaturen sind vor allem Wasserstoffbrücken zwischen Ethanol-Molekülen bzw. zwischen Wasser-Molekülen verantwortlich.

b) Wasser-Moleküle besitzen jeweils ein polar gebundenes Wasserstoff-Atom mehr als Ethanol-Moleküle und können deshalb eine Wasserstoffbrücke mehr zu ihren Nachbarmolekülen ausbilden. Daher sind die zwischenmolekularen Kräfte beim Wasser stärker und seine Siedetemperatur ist höher als die des Ethanols.

A 3

Bei der Verwendung von Ethanol in «Kölnisch Wasser» nutzt man die Eigenschaften von Ethanol, hydrophile und hydrophobe Duftstoffe lösen zu können. Zudem zieht das rasche Verdunsten auf der Haut ein erfrischendes Kältegefühl nach sich, da beim Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand die Wasserstoffbrücken zwischen den Ethanol-Molekülen überwunden werden müssen (dazu wird Energie benötigt, die der Umgebung entzogen wird). Ausserdem wirkt Ethanol desinfizierend.

A 4

Für den Volumenanteil an reinem Alkohol (gemeint ist hier natürlich immer Ethanol) gilt:

$$\alpha(\text{Alkohol}) = \frac{V(\text{Alkohol})}{V(\text{Getränk})} = 0,135 \text{ (13,5 \%)}$$

Eine Flasche Rotwein enthält damit folgendes Volumen an Alkohol:

$$V(\text{Alkohol}) = \alpha(\text{Alkohol}) \cdot V(\text{Getränk}) = 0,135 \cdot 1 \text{ L} = 135 \text{ mL}$$

Für die Berechnung der entsprechenden Masse benötigen wir die Dichte des Alkohols:

$$\rho(\text{Alkohol}) = 0,785 \text{ g/mL}$$

Damit erhalten wir:

$$m(\text{Alkohol}) = \rho(\text{Alkohol}) \cdot V(\text{Alkohol}) = 0,785 \text{ g/mL} \cdot 135 \text{ mL} = 106 \text{ g}$$

Der resultierende Blutalkoholgehalt und die Zeit bis zum vollständigen Abbau des Alkohols werden im Folgenden beispielhaft für zwei Fälle berechnet: a) Mann mit Körpermasse 75 kg; b) Frau mit Körpermasse 60 kg.

$$\text{a) } w(\text{Alkohol im Blut}) = \frac{106 \text{ g}}{75\,000 \text{ g} \cdot 0,68} = 0,00208 = 2,08 \text{ ‰}$$

Beim Mann werden pro Stunde 0,15 ‰ abgebaut. Bis zum vollständigen Abbau des Alkohols dauert es damit $2,08 \text{ ‰} : (0,15 \text{ ‰} / \text{Stunde}) \approx 14$ Stunden.

$$\text{b) } w(\text{Alkohol im Blut}) = \frac{106 \text{ g}}{60\,000 \text{ g} \cdot 0,55} = 0,00321 = 3,21 \text{ ‰}$$

Bei der Frau werden pro Stunde 0,10 ‰ abgebaut. Bis zum vollständigen Abbau des Alkohols dauert es damit $3,21 \text{ ‰} : (0,10 \text{ ‰} / \text{Stunde}) \approx 32$ Stunden.

Erläuterung des in der Formel verwendeten Reduktionsfaktors: Der beim Trinken aufgenommene Alkohol gelangt nicht nur ins Blut, sondern verteilt sich im ganzen Körper. Deshalb muss man sich auf die Masse des gesamten Körpers (und nicht nur des Bluts) beziehen. Da aber die verschiedenen Gewebe Alkohol in unterschiedlichem Ausmass aufnehmen (z. B. nimmt Fettgewebe weniger Alkohol auf als stark wasserhaltiges Gewebe), muss die Körpermasse durch einen Reduktionsfaktor korrigiert werden. Da Frauen einen grösseren Anteil an Fettgewebe und einen anderen Körperbau als Männer besitzen, ist auch der Reduktionsfaktor geringer. Damit sind Frauen alkoholintoleranter als Männer. Dies gilt auch für fettleibige Männer im Vergleich zu muskulösen Männern gleicher Masse, d. h., der Reduktionsfaktor schwankt auch innerhalb des gleichen Geschlechts.

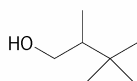
A 5

a) Ein Alkanol-Molekül ist aus einem unpolaren Alkylrest und einer polaren Hydroxygruppe aufgebaut. Der unpolare Rest ist für die lipophilen Eigenschaften verantwortlich, die polare Hydroxygruppe für die hydrophilen Eigenschaften.

Innerhalb der homologen Reihe gewinnt der immer grösser werdende Alkylrest gegenüber der Hydroxygruppe an Einfluss auf die Löslichkeit. Nur die ersten drei Glieder der homologen Reihe besitzen eine unbegrenzte Löslichkeit in Wasser. Mit zunehmender Länge der Alkylgruppen nimmt die Wasserlöslichkeit ab. In Benzin und in anderen lipophilen Lösungsmitteln sind Alkanole in jedem Verhältnis löslich.

b) Innerhalb der homologen Reihe wird der Alkylrest immer grösser, damit nehmen auch die Van-der-Waals-Kräfte zu. Zunehmende Kräfte zwischen den Molekülen machen die Alkanole immer zähflüssiger, die Viskosität nimmt also zu.

A 6



2,3,3-Trimethyl-1-butanol



3-Methyl-2-butanol

Beide Moleküle tragen eine Hydroxygruppe und können daher *Wasserstoffbrücken* zu Nachbarmolekülen ausbilden. Die unterschiedliche Position der OH-Gruppe ist für die Stärke der zwischenmolekularen Kräfte in diesem Fall nicht von Bedeutung. Ausser durch Wasserstoffbrücken werden die Moleküle jeweils auch durch *Van-der-Waals-Kräfte* zusammengehalten. Diese sind beim 2,3,3-Trimethyl-1-butanol (Summenformel $C_7H_{15}OH$) aufgrund der grösseren Molekülmasse bzw. Elektronenanzahl stärker als beim 3-Methyl-2-butanol (Summenformel $C_5H_{11}OH$). Da beim 2,3,3-Trimethyl-1-butanol somit die stärkeren zwischenmolekularen Kräfte wirken, liegt seine Siedetemperatur höher als die des 3-Methyl-2-butanol.

A 7

Alkanol-Moleküle können wie Wasser-Moleküle untereinander Wasserstoffbrücken ausbilden. Ein Alkanol-Molekül besitzt wie ein Wasser-Molekül zwei passive Stellen für Wasserstoffbrücken; im Gegensatz zu einem Wasser-Molekül weist ein Alkanol-Molekül jedoch nur *eine* aktive Stelle für Wasserstoffbrücken auf:



Alkanol-Molekül

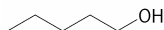
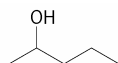
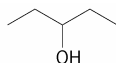
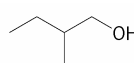
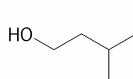
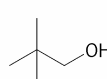


Wasser-Molekül

blau: passive Stellen für Wasserstoffbrücken
rot: aktive Stellen für Wasserstoffbrücken

Aufgrund des Molekülbaus können Wasser-Moleküle mit Nachbarmolekülen maximal vier Wasserstoffbrücken eingehen, Alkanol-Moleküle dagegen nur drei. Da der Zusammenhalt durch Wasserstoffbrücken bei den Alkanol-Molekülen schwächer ist, liegen die Siedetemperaturen der ersten drei Glieder der homologen Reihe der Alkohole unterhalb derjenigen des Wassers.

A 8

1-Pentanol
(primärer Alkohol)2-Pentanol
(sekundärer Alkohol)3-Pentanol
(sekundärer Alkohol)2-Methyl-1-butanol
(primärer Alkohol)2-Methyl-2-butanol
(tertiärer Alkohol)3-Methyl-2-butanol
(sekundärer Alkohol)3-Methyl-1-butanol
(primärer Alkohol)2,2-Dimethyl-1-propanol
(primärer Alkohol)

A 9

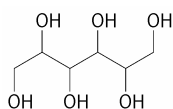
Die Höhe der Siedetemperaturen von molekularen Stoffen hängt von der Stärke der zwischenmolekularen Kräfte ab. Um diese zu beurteilen, betrachten wir die Molekülstrukturen der betreffenden Stoffe. Die beiden Alkohole besitzen folgende Molekülstrukturen:



Zwischen den Molekülen des 1-Butanols bzw. des 2-Methyl-2-propanols werden aufgrund der OH-Gruppe jeweils Wasserstoffbrücken ausgebildet. Zudem wirken (wie immer) auch Van-der-Waals-Kräfte. Obwohl die Moleküle des 1-Butanols und des 2-Methyl-2-propanols die gleiche Masse und Elektronenanzahl aufweisen (es handelt sich ja um Isomere), sind die Van-der-Waals-Kräfte beim 2-Methyl-2-propanol wegen des verzweigten Alkylrests schwächer als beim 1-Butanol mit seinem linearen, unverzweigten Alkylrest. (Die Van-der-Waals sind bei Isomeren umso kleiner, je verzweigter das Molekül und je geringer damit die Moleküloberfläche ist; siehe ▢Abb. 36.)

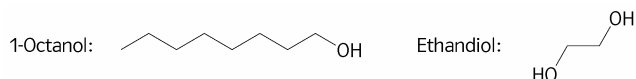
A 10

a) Die Moleküle des Hexanhexols besitzen jeweils sechs Hydroxygruppen:



Dies führt gegenüber Hexanol zu einer wesentlich grösseren Anzahl von Wasserstoffbrücken und damit zu einem viel stärkeren Zusammenhalt der Hexanhexol-Moleküle. Dieser ist so stark, dass sich die Moleküle noch bei Zimmertemperatur in einem Molekülgitter anordnen, weil ihre Bewegung stark eingeschränkt ist.

b) Die Moleküle weisen folgende Strukturen auf:

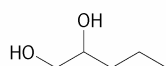


Die ungefähr gleichen Siedetemperaturen weisen auf ähnlich starke zwischenmolekulare Kräfte hin. Beim 1-Octanol werden diese – im Gegensatz zum Ethandiol – vor allem durch die grösseren Van-der-Waals-Kräfte zwischen den langen Alkylresten erbracht. Beim Ethandiol hingegen sind vor allem Wasserstoffbrücken über die beiden Hydroxygruppen als zwischenmolekulare Kräfte vorherrschend.

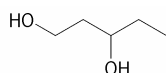
A 11

Paraffinöl ist ein Gemisch höherer Alkane und damit hydrophob; Propantriol ist als dreiwertiger Alkohol stark hydrophil. Bei Zugabe von Wasser wird sich also Propantriol lösen, bei Paraffinöl entsteht eine Emulsion. Entsprechend entgegengesetzt sind die Beobachtungen bei einem unpolaren Lösungsmittel wie Hexan oder Benzin.

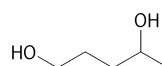
A 12



1,2-Pentandiol



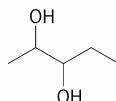
1,3-Pentandiol



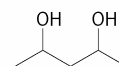
1,4-Pentandiol



1,5-Pentandiol



2,3-Pentandiol

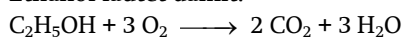


2,4-Pentandiol

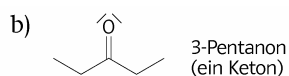
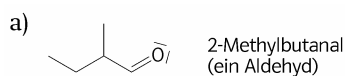
Anmerkung: Die beiden OH-Gruppen können gemäss der Erlenmeyer-Regel nicht an das gleiche C-Atom gebunden sein; der betreffende Alkohol wäre sonst nicht beständig. (Es würde jeweils ein Wasser-Molekül abgespalten werden.)

A 13

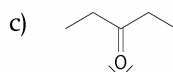
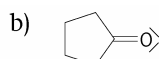
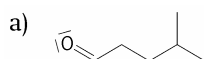
Bei der vollständigen Verbrennung eines Alkohols bilden sich ausschliesslich Kohlenstoffdioxid und Wasser. Die Reaktionsgleichung für die vollständige Verbrennung von Ethanol lautet damit:



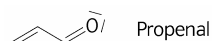
A 14



A 15

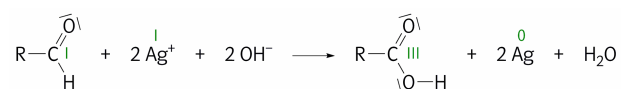


A 16



A 17

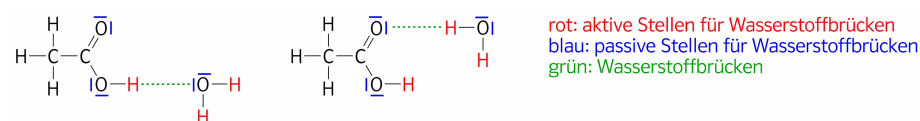
Die Reaktionsgleichung für die Silberspiegel-Reaktion lautet mit Oxidationszahlen:



Da sich bei der Reaktion Oxidationszahlen ändern, handelt es sich um eine Redoxreaktion. Die Oxidationszahl des Atoms C1 nimmt beim Übergang vom Aldehyd zur Carbonsäure von I auf III zu; der Aldehyd wird oxidiert und ist somit das Reduktionsmittel. Die Oxidationszahl von Ag nimmt bei der Reaktion von I auf 0 ab: Das Ag^+ -Ion wird reduziert und ist somit das Oxidationsmittel.

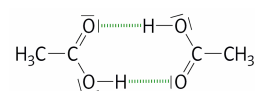
A 18

Essigsäure- und Wasser-Moleküle weisen mehrere aktive bzw. passive Stellen für Wasserstoffbrücken auf; daher gibt es verschiedene Möglichkeiten, die beiden Moleküle über Wasserstoffbrücken zu verknüpfen. Im Folgenden sind zwei dieser Möglichkeiten dargestellt:



A 19

Ursache ist die stark polare Carboxygruppe als funktionelle Gruppe der Ethansäure, mit der zwei Wasserstoffbrücken zur Carboxygruppe eines Nachbarmoleküls ausgebildet werden können:



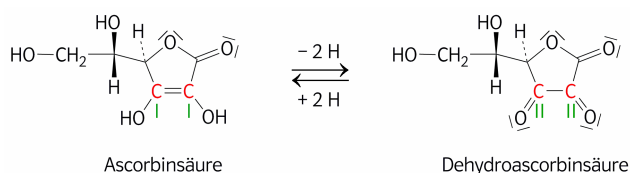
Dies führt zu einem besonders starken Zusammenhalt der beiden Moleküle, der auch noch in der Gasphase wirksam ist.

A 20

Die höhere Siedetemperatur der Essigsäure weist auf stärkere zwischenmolekulare Kräfte hin: Die Carboxygruppe besitzt eine grössere Polarität als die Hydroxygruppe, zudem können Essigsäure-Moleküle aufgrund der grösseren Anzahl an passiven Stellen mehr Wasserstoffbrücken zu benachbarten Molekülen eingehen als Ethanol-Moleküle. Zwischen zwei Essigsäure-Molekülen können aufgrund der räumlichen Anordnung der aktiven und passiven Stellen *zwei* Wasserstoffbrücken gebildet werden; zwischen zwei Ethanol-Molekülen kann dagegen nur eine Wasserstoffbrücke ausgebildet werden.

A 21

Die Oxidationszahlen müssen nur für diejenigen Atome ermittelt werden, deren Bindungsverhältnisse sich bei der Reaktion ändern. Offensichtlich handelt es sich dabei um die beiden «unteren» C-Atome im folgenden Reaktionsschema (zur Verdeutlichung rot eingezeichnet):

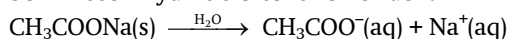


Bei der Ascorbinsäure weisen diese beiden C-Atome die Oxidationszahl I auf, bei der Dehydroascorbinsäure ist diese Oxidationszahl dagegen II. Da bei der Umwandlung von Ascorbinsäure in Dehydroascorbinsäure eine *Zunahme der Oxidationszahl* stattfindet, handelt es sich um eine *Oxidation*.

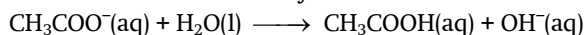
A 22

Wässrige Lösungen leiten den Strom nur, wenn sie frei bewegliche (hydratisierte) Ionen enthalten. Genau genommen zeigt auch reines Wasser eine sehr schwache elektrische Leitfähigkeit, da durch Autoprotolyse in geringem Ausmass H_3O^+ - und OH^- -Ionen entstehen (↗ Kap. 13.9). Von einer leitfähigen wässrigen Lösung spricht man jedoch nur, wenn durch Lösen eines Salzes oder durch Protolyse einer Säure bzw. Base zusätzliche Ionen gebildet werden und so die Leitfähigkeit gegenüber reinem Wasser um mehrere Zehnerpotenzen grösser wird.

Eine wässrige Lösung von Natriumacetat ist in diesem Sinn elektrisch leitfähig, da sich beim Lösen hydratisierte Ionen bilden:



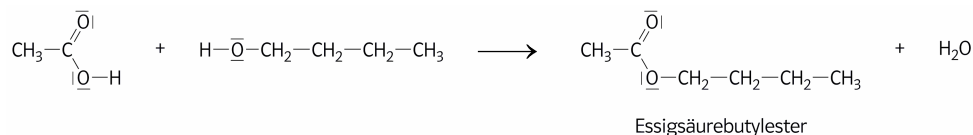
Zudem weist das Acetat-Ion als korrespondierende Base einer schwachen Säure (Essigsäure) eine relativ grosse Basenstärke auf und vermag auch Wasser-Moleküle zu deprotonieren. Durch die Protolyse entstehen zusätzliche Ionen:



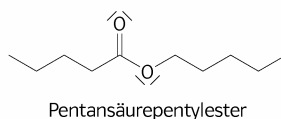
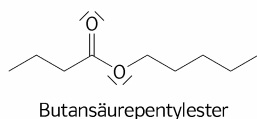
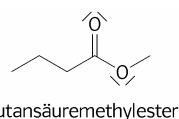
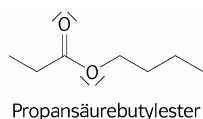
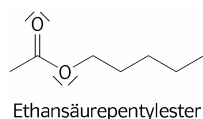
A 23

Die Löslichkeit der Ester wird durch die Konkurrenz der polaren Carbonylgruppe, welche die Wasserlöslichkeit bedingt, und der unpolaren Alkylreste bestimmt. Bei Methansäuremethylester sind dies zwei kurze Methylreste; bei Ethansäureethylester sind es zwei grössere Ethylreste, die eine geringere Wasserlöslichkeit (geringere hydrophile Eigenschaften) hervorrufen.

A 24

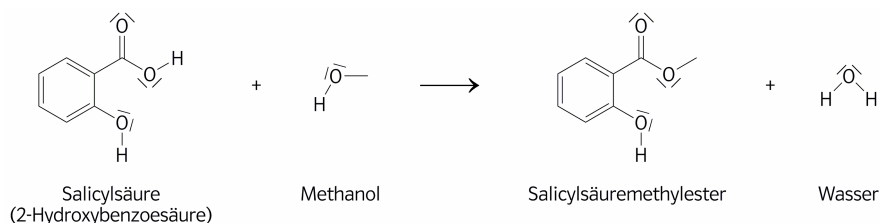


A 25

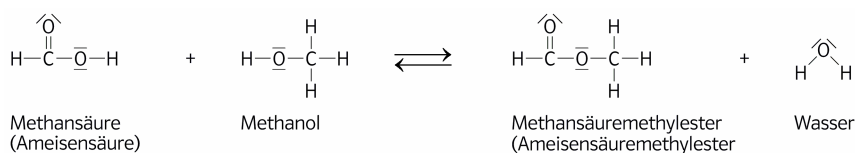


A 26

Salicylsäure ist eine Hydroxycarbonsäure, d. h. ihre Moleküle enthalten eine Carboxy- und eine Hydroxygruppe. Wenn Salicylsäure mit einem Alkohol zu einem Ester reagiert, ist nur die Carboxygruppe der Salicylsäure an der Reaktion beteiligt. Die Reaktionsgleichung für die Bildung von Salicylsäuremethylester aus Salicylsäure und Methanol lautet damit:

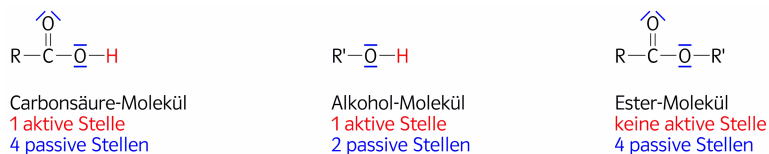


A 27



A 28

a) Alkohol- und Carbonsäure-Moleküle weisen sowohl aktive wie passive Stellen für Wasserstoffbrücken auf, Ester-Moleküle dagegen nur passive Stellen:



Zwischen Carbonsäure-Molekülen werden daher Wasserstoffbrücken ausgebildet; dasselbe gilt für Alkohol-Moleküle. Zwischen Ester-Molekülen sind hingegen keine Wasserstoffbrücken möglich; es wirken nur die vergleichsweise schwachen Dipol-Dipol- und Van-der-Waals-Kräfte. Aus diesem Grund haben Ester (trotz höherer Molekülmasse) tiefere Siedetemperaturen als die Carbonsäuren und Alkohole, aus denen sie gebildet werden.

b) Die Veresterung ist eine Gleichgewichtsreaktion:



Wenn der gebildete Ester laufend entfernt wird, kann sich kein Gleichgewicht einstellen, da die Rückreaktion verhindert wird. Auf diese Weise gelingt es, die Ausgangsstoffe vollständig miteinander umzusetzen.

A 29



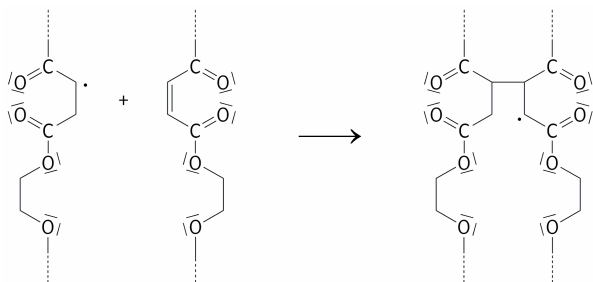
A 30

Die Reaktionsgleichung für die Bildung der unverzweigten Polymerketten lautet:



Bei der Reaktion handelt es sich um eine *Polykondensation*.

Da die Polymerketten in jeder Repeatingeinheit eine Doppelbindung enthalten, können sie sich in einer *radikalischen Kettenreaktion* miteinander verbinden. Zur Auslösung der Reaktion ist ein Radikalstarter erforderlich. Die Reaktionsgleichung für das Kettenwachstum lautet:



Überprüfung und Vertiefung

Ü 1

Wasser ist eine hydrophile (lipophobe), Benzin eine hydrophobe (lipophile) Flüssigkeit. Ethanol ist aufgrund des Baus seiner Moleküle hydrophil und lipophil und kann so gleichzeitig hydrophile und lipophile Stoffe lösen («Lösungsvermittler»).

Ü 2

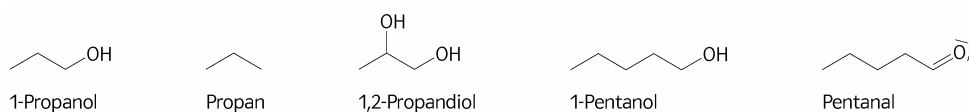
- 2-Propanol ist wasserlöslich und ausserdem billig. Die wässrige Lösung besitzt eine tiefere Erstarrungstemperatur als Wasser.
- Die Siedetemperatur von 2-Propanol ist für dessen Verwendung in Kühlern von Automotoren zu niedrig. 2-Propanol würde bei den dort auftretenden Temperaturen verdampfen.
- Hexanol ist für die Verwendung als Frostschutzmittel nicht geeignet, da es wegen des langen Alkylrests seiner Moleküle nicht wasserlöslich ist.

Ü 3

Wichtiger Hinweis: Die vorliegende Aufgabe aus der 1. Auflage des Buchs (2007) wurde irrtümlich in Kapitel 16 integriert. Sie ist jedoch erst nach dem Studium von Kapitel 17 lösbar. Die Aufgabe wurde deshalb im korrigierten Nachdruck (1. Auflage 2008²) entfernt, die nachfolgenden Aufgaben neu nummeriert.

Ü 4 (Ü 3)

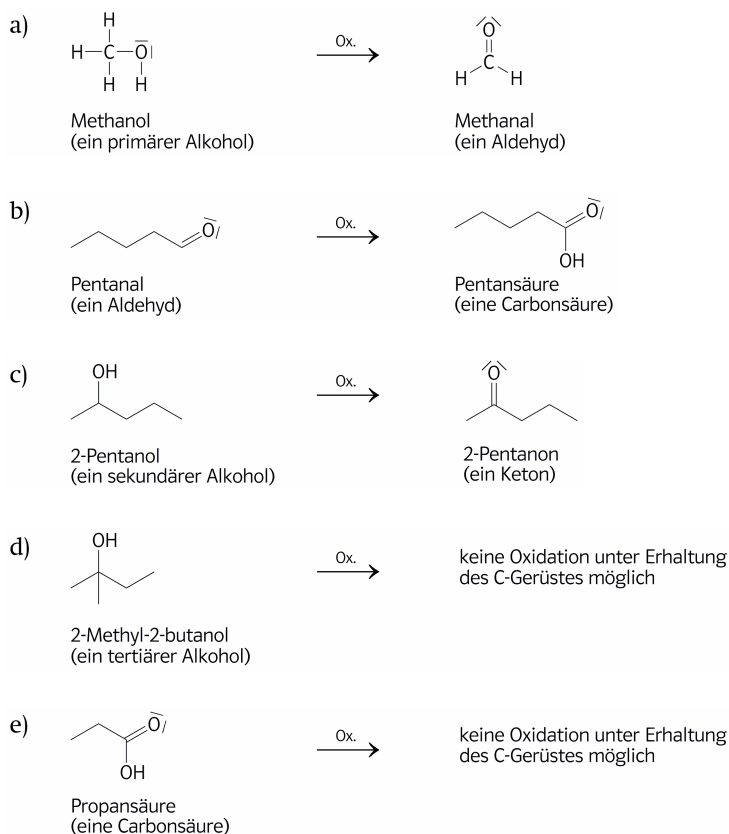
Aufschluss über die Wasserlöslichkeit liefern die Molekülstrukturen:



Aufgrund der Molekülstrukturen ergibt sich folgende Reihenfolge der Löslichkeit:

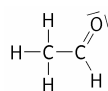
- Die Verbindung mit der geringsten Wasserlöslichkeit ist Propan, da Propan-Moleküle unpolar sind und keine Wasserstoffbrücken mit Wasser-Molekülen ausbilden können. Propan ist in Wasser praktisch unlöslich.
- Eine bessere Löslichkeit besitzt Pentanal. Die hydrophobe C-Kette ist zwar länger als beim Propan, aufgrund der freien Elektronenpaare am Carbonyl-Sauerstoff-Atom können aber Wasser-Moleküle mit Pentanal-Molekülen Wasserstoffbrücken bilden.
- 1-Pentanol besitzt eine bessere Wasserlöslichkeit als Pentanal, da die Moleküle des 1-Pentanols im Gegensatz zu denen des Pentanals eine aktive Stelle für Wasserstoffbrücken aufweisen.
- 1-Propanol ist in Wasser besser löslich als 1-Pentanol, da seine Moleküle einen kürzeren (hydrophoben) Alkylrest aufweisen.
- Nach der Molekülstruktur zu urteilen, wäre 1,2-Propandiol aufgrund der beiden OH-Gruppen noch besser löslich als 1-Propanol. Ein Löslichkeitsunterschied ist aber experimentell nicht mehr feststellbar, da sich sowohl 1-Propanol wie auch 1,2-Propandiol in Wasser unbegrenzt lösen (bzw. mit Wasser mischbar sind).

Ü 5 (Ü 4)

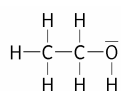


Ü 6 (Ü 5)

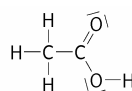
Für die Höhe der Siedetemperaturen sind die zwischenmolekularen Kräfte verantwortlich. Diese lassen sich jeweils aufgrund der Molekülstruktur beurteilen:



Ethanal



Ethanol



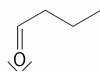
Ethansäure

Am schwächsten sind die zwischenmolekularen Kräfte beim Ethanal, da Ethanal-Moleküle unter sich keine Wasserstoffbrücken ausbilden können (keine aktiven Stellen für Wasserstoffbrücken). Bei Ethansäure und Ethanol können die Moleküle jeweils unter sich durch Wasserstoffbrücken verknüpft werden (aktive *und* passive Stellen für Wasserstoffbrücken in den Molekülen). Da Ethansäure-Moleküle mehr passive Stellen für Wasserstoffbrücken aufweisen als Ethanol-Moleküle, sind bei Ethansäure die Moleküle stärker durch Wasserstoffbrücken vernetzt, dementsprechend liegt die Siedetemperatur von Ethansäure höher als die von Essigsäure. Die Reihenfolge der Siedetemperaturen ist damit in aufsteigender Reihenfolge:

Ethanal (Sdt. 20 °C) < Ethanol (Sdt. 78,4 °C) < Ethansäure (Sdt. 118 °C)

Ü 7 (Ü 6)

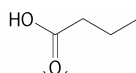
a)



Butanal



Butanon



Buttersäure

b) Durch partielle Oxidation erhält man:

- Butanal aus 1-Butanol
- Butanon aus 2-Butanol
- Buttersäure aus 1-Butanol

Ü 8 (Ü 7)

Eine Oxidation mit schwachen Oxidationsmitteln, d. h. ohne Zerstörung von C–C-Bindungen, ist möglich, solange das C-Atom der funktionellen Gruppe noch mindestens mit einem Wasserstoff-Atom verbunden ist. So können primäre Alkohole über Aldehyde zu Carbonsäuren oxidiert werden. Die bei der Oxidation sekundärer Alkohole entstehenden Ketone sind nicht weiter oxidierbar, ebenso wie die tertiären Alkohole.

Bei der Oxidation von Methanol entsteht zunächst Methanal. Das Oxidationsprodukt von Methanal, die Methansäure, ist im Gegensatz zu allen anderen Carbonsäuren weiter oxidierbar, da das Carboxy-C-Atom im Methansäure-Molekül noch mit einem H-Atom verbunden ist. Bei der Oxidation entsteht formal Kohlensäure, die aber in Abwesenheit von Wasser vollständig in Kohlenstoffdioxid und Wasser zerfällt.

Ü 9 (Ü 8)

Methanol wird aus *fossilen Brennstoffen* wie Kohle, Erdöl oder Erdgas hergestellt. Beim Verbrennen von Methanol ergibt sich daher das gleiche Problem wie beim Verbrennen von fossilen Brennstoffen: Kohlenstoff, der während Jahrtausenden dem Kohlenstoffkreislauf entzogen war, gelangt als Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre und verstärkt den natürlichen Treibhauseffekt (→ Kap. 9.2).

Ethanol für die Verwendung als Treibstoff wird im Gegensatz zu Methanol nicht aus fossilen Rohstoffen, sondern *durch alkoholische Gärung* gewonnen («Bioethanol», «Agraralkohol»). Als Basis dafür dienen z. B. Zuckerrohr, Mais, Getreide und Kartoffeln. Diese Pflanzen benötigen für ihr Wachstum Kohlenstoff, den sie bei der Photosynthese aus dem atmosphärischen Kohlenstoffdioxid beziehen («Kohlenstoffassimilation»). Das dadurch kurzzeitig der Atmosphäre entzogene Kohlenstoffdioxid wird beim Verbrennen von Bioethanol wieder freigesetzt; es gelangt also kein zusätzliches Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre. Allerdings ist auch die Verwendung von Bioethanol nicht vollständig «CO₂-neutral», da zu seiner Herstellung und Verarbeitung ebenfalls Energie erforderlich ist (Landwirtschaftsmaschinen, Transportfahrzeuge etc.), die mindestens zum Teil aus fossilen Energieträgern gewonnen wird.

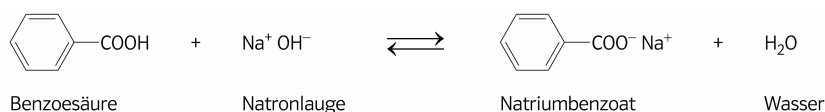
Ü 10

Wichtiger Hinweis: Die vorliegende Aufgabe aus der 1. Auflage des Buchs (2007) ist eine Wiederholung von Aufgabe A 8 in diesem Kapitel. Sie wurde deshalb im korrigierten Nachdruck (1. Auflage 2008²) entfernt, die nachfolgenden Aufgaben neu nummeriert.

Ü 11 (Ü 9)

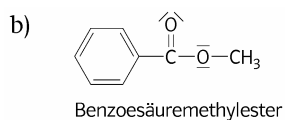
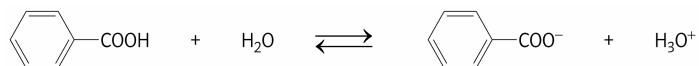
a) Das Molekül der Benzoesäure besitzt zwar eine hydrophile Carboxygruppe, weist aber andererseits auch einen relativ umfangreichen hydrophoben Kohlenwasserstoff-Rest auf. Im Ganzen überwiegt der hydrophobe Teil des Moleküls, daher ist Benzoesäure in Wasser schlecht löslich.

Mit Natronlauge reagiert Benzoesäure zum gut löslichen Salz Natriumbenzoat:



Die Benzoesäure-Moleküle werden von der sehr starken Base OH⁻ praktisch vollständig deprotoniert; daher steht in der Reaktionsgleichung ein gewöhnlicher Reaktionspfeil. Der Grund für die gute Löslichkeit des Natriumbenzoats liegt darin, dass zwischen Benzoat-Ionen (C₆H₅COO⁻) und Wasser-Molekülen Ion-Dipol-Wechselwirkungen auftreten: Die Ionen werden hydratisiert (→ Kap. 9.6).

Auch in reinem Wasser werden Benzoat-Ionen gebildet, allerdings nur in sehr geringem Ausmass, da die Basenstärke von H_2O viel kleiner ist als die von OH^- . Es stellt sich ein Gleichgewicht ein, das stark auf der linken Seite liegt:



c) Das vollständige Reaktionsschema für die Bildung von Benzoessäure aus Benzylalkohol über die Zwischenstufe Benzaldehyd lautet:

