

Lösungen (ohne Aufgabenstellungen)

Aufgaben

A 1

Ethan	Propan	Butan-Isomere	Pentan-Isomere
CH_3-CH_3	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
		$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
			$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$

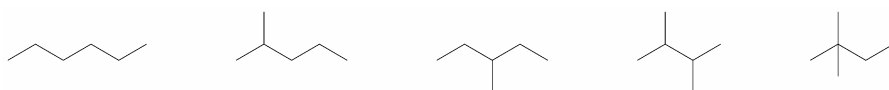
A 2

Alkane haben die allgemeine Summenformel $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$. Die molaren Massen für verschiedene n sind:

$n =$	molare Masse
1	16,04 g/mol
2	30,06 g/mol
3	44,08 g/mol
4	58,10 g/mol
5	72,12 g/mol
6	86,20 g/mol
7	100,23 g/mol

Bei den gesuchten Molekülen handelt es sich somit um C_3H_8 und C_7H_{16} .

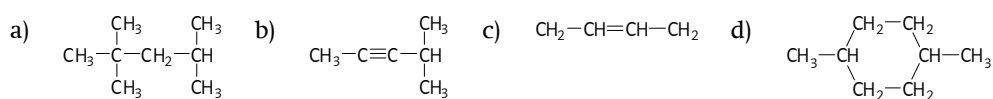
A 3



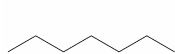
A 4



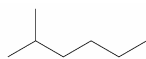
A 5



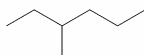
A 6



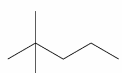
n-Heptan



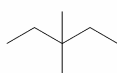
2-Methylhexan



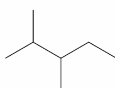
3-Methylhexan



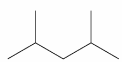
2,2-Dimethylpentan



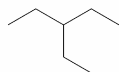
3,3-Dimethylpentan



2,3-Dimethylpentan



2,4-Dimethylpentan



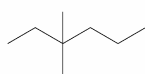
3-Ethylpentan



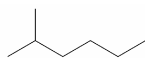
2,2,3-Trimethylbutan

A 7

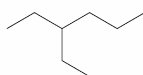
a)



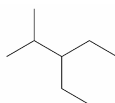
3,3-Dimethylhexan



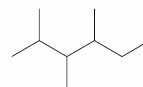
2-Methylhexan



3-Ethylhexan



3-Ethyl-2-methylpentan

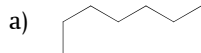


2,3,4-Trimethylhexan

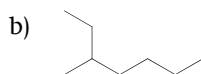
b) Zueinander isomer sind die Moleküle mit der gleichen Summenformel (bzw. in diesem Fall mit der gleichen Anzahl an C-Atomen), also 3,3-Dimethylhexan, 3-Ethylhexan, 3-Ethyl-2-methylpentan (alle mit der Summenformel C_8H_{18}).

A 8

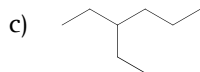
Zur Lösung der Aufgabe zeichnen wir zunächst die Skelettformeln der Moleküle gemäss den Namen und überprüfen dann die Namensgebung anhand der Nomenklaturregeln.



Der Name 1-Methylhexan ist falsch. Wenn am Anfang (oder Ende) der C-Kette ein Alkylrest angehängt wird, verlängert sich die Hauptkette; damit ändert sich auch der Stammname. Der richtige Name lautet: Heptan bzw. n-Heptan.



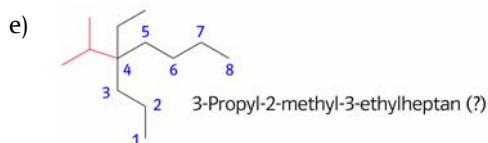
Der Name 2-Ethylhexan ist falsch. Die längste C-Kette umfasst sieben C-Atome; der korrekte Name lautet 3-Methylheptan.



Der Name 3-Ethylhexan ist korrekt.



Der Name 2-Methylethan ist falsch; der richtige Name lautet Propan.



Der Name 3-Propyl-2-methyl-3-ethylheptan ist falsch. Die Hauptkette des Moleküls umfasst acht C-Atome (in der Formel blau nummeriert); der Stammname ist daher «octan», nicht «heptan». Zudem sind auch die Namen der Seitenketten nicht alphabetisch geordnet: «ethyl» kommt vor «propyl». Das Molekül enthält eine verzweigte Seitenkette (rot eingezeichnet); mit den einfachen Nomenklaturregeln, die im Buch eingeführt werden, kann es nicht benannt werden.



Der Name 2,2-Methylpropan ist falsch, da die zwei gleichen Alkylreste durch die Vorsilbe «di» bezeichnet werden müssen; der korrekte Name lautet 2,2-Dimethylpropan.

A 9

- a) 3,3,5-Trimethylheptan
- b) 3-Ethyl-4-methylheptan
- c) 3,3,5,5-Tetramethyloctan
- d) 3,5-Diethyl-2-methyloctan

A 10

Die Namen und Summenformeln der Moleküle lauten:

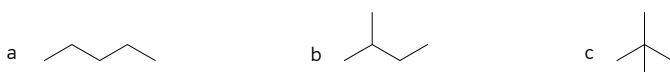
- a) 2-Methylbutan (C_5H_{12})
- b) 2-Methylbutan (C_5H_{12})
- c) n-Pentan (C_5H_{12})
- d) 2-Methylpentan (C_6H_{14})
- e) 2,2-Dimethylpropan (C_5H_{12})
- f) 2,3-Dimethylbutan (C_6H_{14})
- g) 2,2-Dimethylbutan (C_6H_{14})
- h) 2-Methylbutan (C_5H_{12})
- i) 3-Methylpentan (C_6H_{14})
- j) 2,2-Dimethylbutan (C_6H_{14})
- k) n-Hexan (C_6H_{14})
- l) 2-Methylpentan (C_6H_{14})

Identisch sind: a und b, d und l sowie g und j.

Isomer sind: a/b, c, e und h (alle C_5H_{12}) sowie d/l, f, g/j, i und k (alle C_6H_{14}).

A 11

a)



b) a: n-Pentan, b: 2-Methylbutan, c: 2,2-Dimethylpropan.

c) a: $36\text{ }^\circ\text{C}$, b: $27,9\text{ }^\circ\text{C}$, c: $9\text{ }^\circ\text{C}$.

Begründung: Die Van-der-Waals-Kräfte sind bei gleicher Molekülmasse umso geringer, je verzweigter die Moleküle sind, da mit der Anzahl Verzweigungen die Moleküloberfläche kleiner wird.

A 12

Der Normdruck beträgt $1013,25\text{ hPa}$; ein Druck von 20 hPa entspricht also einem stark verminderten Druck, oft spricht man auch (etwas ungenau) von einem Vakuum.

Bei Normdruck kann Icosan nicht zum Sieden gebracht werden, da sich der Stoff bei starkem Erhitzen zersetzt: Bei einer Zunahme der thermischen Bewegungsenergie brechen die langen Molekülketten auseinander.

Bei genügend stark vermindertem Druck ist es aber möglich, Icosan unzersetzt zu verdampfen, da die Siedetemperatur einer Flüssigkeit mit abnehmendem Druck sinkt (↗ Kap. 1.3).

A 13

Zwischen kleinen Alkan-Molekülen wirken schwächere Anziehungskräfte als zwischen grossen, daher ist auch die Viskosität eines Alkan-Gemischs aus kleinen Molekülen geringer als die Viskosität eines Alkan-Gemischs aus grösseren Molekülen. Somit nimmt bei langer Betriebsdauer die Viskosität des Motorenöls – und damit seine «Schmierwirkung» – ab.

A 14

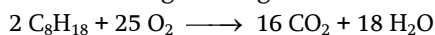
Bei Raumtemperatur *fest* sind Alkane, deren Schmelztemperatur oberhalb der Raumtemperatur liegen. Dies ist der Fall bei Alkanen ab etwa $C_{17}H_{36}$.

Bei Raumtemperatur *flüssig* sind Alkane, deren Schmelztemperatur unterhalb der Raumtemperatur liegt und deren Siedetemperatur oberhalb der Raumtemperatur liegt. Diese Bedingung erfüllen die Alkane von C_5H_{12} bis etwa $C_{16}H_{34}$.

Bei Raumtemperatur *gasförmig* sind alle Alkane, deren Siedetemperatur unterhalb der Raumtemperatur liegt, also die Alkane von CH_4 bis C_4H_{10} (Methan, Ethan, Propan, Butan).

A 15

Die Reaktionsgleichung für die vollständige Verbrennung von Octan lautet:

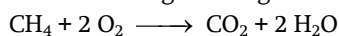


Kohlenstoffdioxid lässt sich nachweisen, indem man es in Kalkwasser einleitet; es führt zu einer Trübung des Kalkwassers durch unlöslichen Kalk.

Das Verbrennungsprodukt Wasser(dampf) lässt sich nachweisen, indem man die Verbrennungsgase abkühlt; der Wasserdampf kondensiert.

A 16

Die Reaktionsgleichung für die Umsetzung von Methan mit Sauerstoff lautet:



Gemäss den Koeffizienten in der Reaktionsgleichung und dem Satz von AVOGADRO (↗ Kap. 5.9) setzt sich ein Raumteil Methan mit zwei Raumteilen Sauerstoff um. Der Sauerstoffanteil der Luft beträgt rund 21 % (↗ Kap. 4.5). Für die vollständige Verbrennung von 1 Raumteil Methan werden somit benötigt:

$$\frac{2 \text{ Raumteile} \cdot 100 \%}{21 \%} = 9,5 \text{ Raumteile Luft}$$

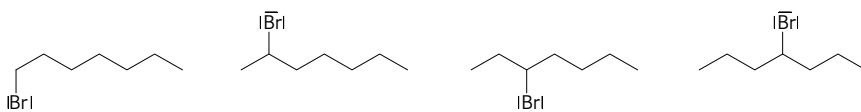
Das Volumen des Kartonrohrs (2 L) muss damit 1 Raumteil Methan und 9,5 Raumteile Luft, insgesamt also 10,5 Raumteile gasförmiger Edukte enthalten. Das Volumen der Methanportion lässt sich nun mit einem «Dreisatz» berechnen:

$$10,5 \text{ Raumteile} \cong 2 \text{ Liter}$$

$$1 \text{ Raumteil} \cong 0,2 \text{ Liter}$$

Hinweis: Das molare Normvolumen wird für die Lösung der Aufgabe nicht benötigt.

A 17

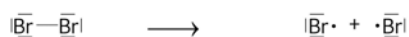


A 18

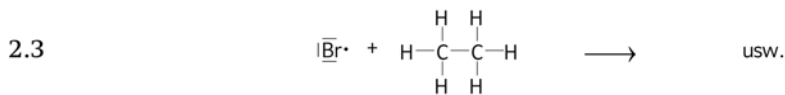
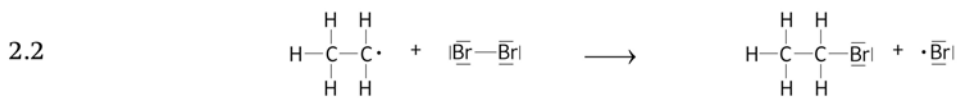
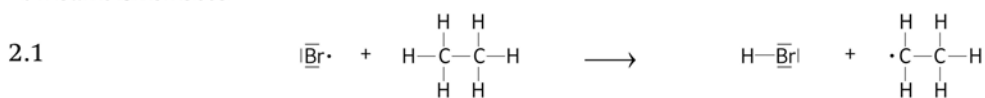
Benzin hat einen tieferen Flammpunkt als Dieselöl: Benzin kann schon bei Raumtemperatur leicht durch Fremdzündung entflammt werden, bei Dieselöl gelingt dies erst bei höheren Temperaturen.

A 19

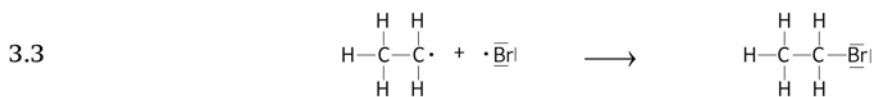
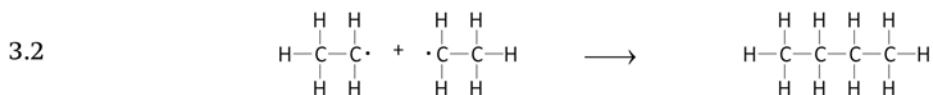
1. Startreaktion



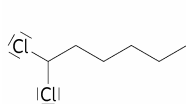
2. Reaktionskette



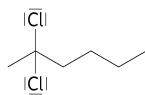
3. Abbruchreaktionen



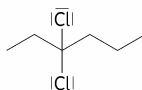
A 20



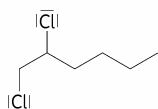
1,1-Dichlorhexan



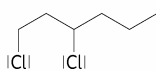
2,2-Dichlorhexan



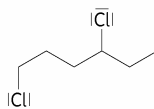
3,3-Dichlorhexan



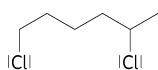
1,2-Dichlorhexan



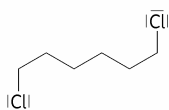
1,3-Dichlorhexan



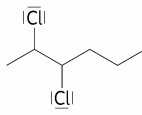
1,4-Dichlorhexan



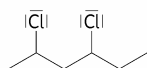
1,5-Dichlorhexan



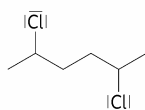
1,6-Dichlorhexan



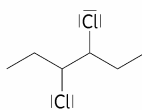
2,3-Dichlorhexan



2,4-Dichlorhexan

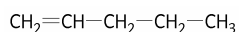


2,5-Dichlorhexan

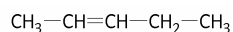


3,4-Dichlorhexan

A 21



1-Penten



2-Penten

A 22

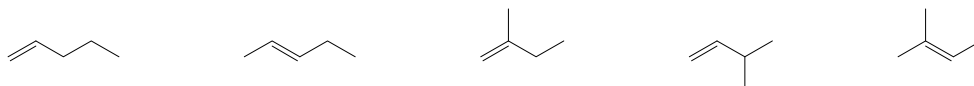
Wichtiger Hinweis: Die Aufgabe a) aus der 1. Auflage des Buchs (2007) war leider nicht lösbar, da das Molekül mit den bisher besprochenen Regeln nicht vollständig benannt werden konnte. Es handelte sich um *trans*-2-Penten; *cis-trans*-Isomerie wird aber erst in \nearrow Kap. 15.16 besprochen. Die Teilaufgabe wurde deshalb im korrigierten Nachdruck (2008²) entfernt, die Aufgaben wurden neu nummeriert.

a) 2,3-Dimethyl-2-penten

b) 2-Methyl-1-buten

c) 5-Ethyl-2,3-Dimethyl-cyclohexen

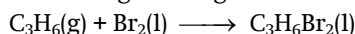
A 23



A 24

Um die Volumenänderungen zu beurteilen, benützen wir den Satz von AVOGADRO (↗ Kap. 5.9): In gleichen Volumina verschiedener Gase sind gleich viele Teilchen enthalten, wenn der Druck der Gasportionen und deren Temperatur gleich sind. Wir formulieren dazu die Reaktionsgleichungen und vergleichen die Molzahlen (stöchiometrische Koeffizienten) der gasförmigen Edukte und Produkte.

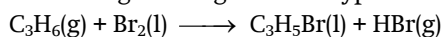
Reaktionsgleichung für die Addition von Brom an Propen:



Molzahl der gasförmigen Edukte: 1; Molzahl der gasförmigen Produkte: 0.

Das Volumen wird bei der Reaktion stark verkleinert, da keine gasförmigen Reaktionsprodukte entstehen.

Reaktionsgleichung für eine hypothetische Substitutionsreaktion (Monosubstitution):

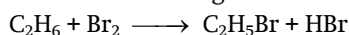


Molzahl der gasförmigen Edukte: 1; Molzahl der gasförmigen Produkte: 1.

Das Volumen bleibt bei der Reaktion praktisch unverändert, da sich aus 1 mol eines gasförmigen Edukts 1 mol eines gasförmigen Produkts bildet; das Volumen der flüssigen Reaktanden ist demgegenüber vernachlässigbar.

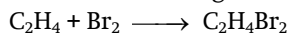
A 25

Bei der Bromierung von Ethan findet eine *Substitution* statt:



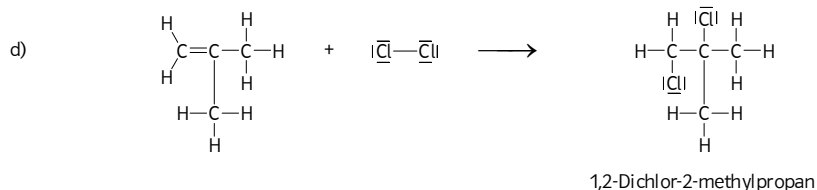
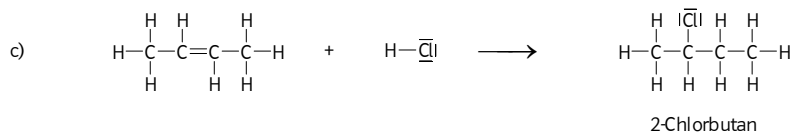
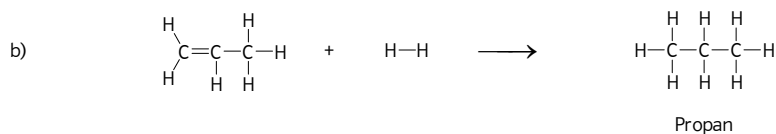
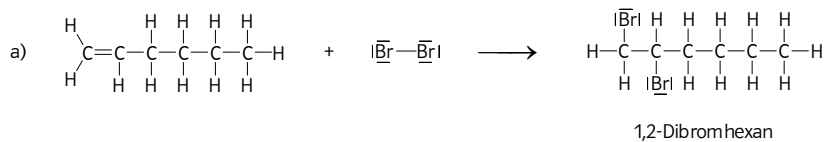
Die Reaktion verläuft nach einem *radikalischen Mechanismus* (radikalische Substitution).

Bei der Bromierung von Ethen findet dagegen eine *Addition* statt:



Da das zuerst angreifende Teilchen (Br_2) ein Elektrophil ist, spricht man von einem *elektrophilen Reaktionsmechanismus* (elektrophile Addition).

A 26

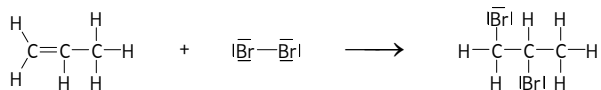


A 27

Unter Verwendung von Summenformeln lautet die Reaktionsgleichung:

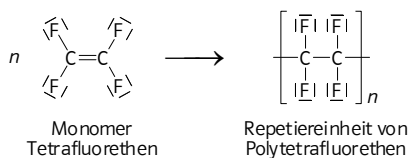


Unter Verwendung von Lewis-Formeln lautet die Reaktionsgleichung:



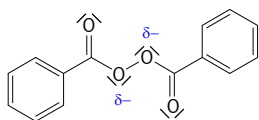
Bei der Verwendung von Summenformeln fehlt die Information über die Konstitution des Produkts, man erkennt also nicht, dass sich als Produkt 1,2-Dibrompropan bildet (und nicht ein anderes Konstitutionsisomer).

A 28



A 29

Die beiden Sauerstoff-Atome der O–O-Bindung weisen aufgrund ihrer hohen Elektronegativität eine ausgeprägte negative Partialladung auf. In der folgenden Formel ist dies am Beispiel von Dibenzoylperoxid dargestellt:



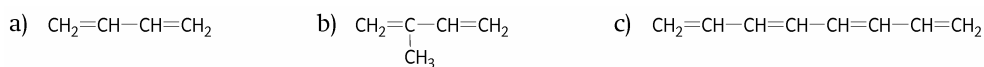
Die Abstoßung zwischen den beiden negativ polarisierten Sauerstoff-Atomen führt zu einer Schwächung der O–O-Bindung; daher wird sie leicht homolytisch gespalten.

A 30

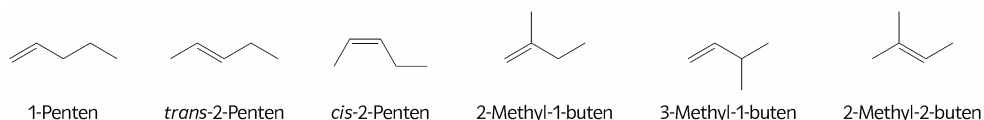
Je höher die Konzentration des Radikalstarters, desto kleiner der Polymerisationsgrad, d. h. die durchschnittliche Kettenlänge.

Begründung: Bei hoher Konzentration des Radikalstarters werden viele Reaktionsketten gleichzeitig gestartet, somit wird der Vorrat an Monomer-Molekülen schnell aufgebraucht; es resultieren kurze Polymer-Ketten. Bei geringer Konzentration des Radikalstarters werden weniger Reaktionsketten gestartet, entsprechend bilden sich längere Polymer-Ketten.

A 31



A 32



A 33



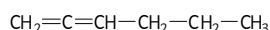
A 34

Zwei Doppelbindungen sind *kumuliert*, wenn sie vom selben C-Atom ausgehen (a).

Zwei Doppelbindungen sind *konjugiert*, wenn sie durch genau eine Einfachbindung getrennt sind (b).

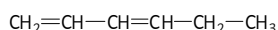
Zwei Doppelbindungen sind *isoliert*, wenn zwischen ihnen jeweils mehr als eine Einfachbindung liegt (c).

a



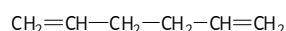
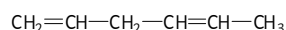
1,2-Hexadien
kumulierte Doppelbindungen

b



1,3-Hexadien
konjugierte Doppelbindungen

c



1,4-Hexadien und 1,5-Hexadien
isolierte Doppelbindungen

A 35



cis-1,2-Dichlorethen



trans-1,2-Dichlorethen

Die Elektronendichte in den Molekülen des 1,2-Dichlorethens ist am grössten auf den Chlor-Atomen (relativ hohe EN). Beim *trans*-1,2-Dichlorethen liegen die beiden Chlor-Atome symmetrisch zum Mittelpunkt des Moleküls; der Schwerpunkt der negativen und der positiven Partialladungen fällt daher zusammen: Das Molekül ist kein Dipol. Beim *cis*-1,2-Dichlorethen fällt der Schwerpunkt der negativen Partialladungen (zwischen den beiden Chlor-Atomen) dagegen nicht mit dem Schwerpunkt der positiven Partialladungen (etwa im Molekülzentrum) zusammen: Die Moleküle sind Dipole. Da zwischen den Molekülen des *cis*-1,2-Dichlorethens zusätzlich zu den Van-der-Waals-Kräften auch Dipol-Kräfte wirken, sind die zwischenmolekularen Kräfte insgesamt stärker als beim *trans*-1,2-Dichlorethen, wo ausschliesslich Van-der-Waals-Kräfte wirken. Die höhere Siedetemperatur (60 °C) ist daher dem *cis*-1,2-Dichlorethen zuzuordnen, die tiefere Siedetemperatur (47,5 °C) dem *trans*-1,2-Dichlorethen.

A 36

- 2-Ethyl-1,4-pentadien
- 3-Methyl-1,5-hexadien
- trans-trans*-2,4-Hexadien

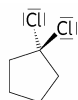
A 37

Die *Konstitution* eines Moleküls gibt sein «Verknüpfungsmuster» an, d. h. welche Atome mit welchen Atomen über welche Arten von Bindungen verknüpft sind.

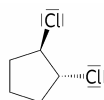
Die *Konformation* ist die momentane räumliche Gestalt eines Moleküls, die sich durch Rotation um Einfachbindungen bei Raumtemperatur dauernd ändert.

Die *Konfiguration* ist die dauerhafte räumliche Anordnung eines Moleküls, die zum Beispiel durch C=C-Doppelbindungen aufrechterhalten wird.

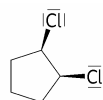
A 38



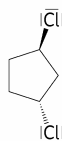
1,1-Dichlorocyclopentan



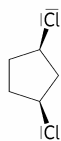
trans-1,2-Dichlorocyclopentan



cis-1,2-Dichlorocyclopentan

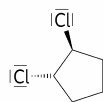
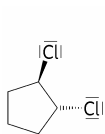


trans-1,3-Dichlorocyclopentan

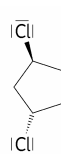
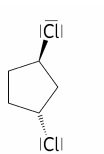


cis-1,3-Dichlorocyclopentan

Hinweis: Zu *trans*-1,2-Dichlorocyclopentan und *trans*-1,3-Dichlorocyclopentan gibt es jeweils noch ein weiteres Isomer; es handelt sich dabei um die Spiegelbilder der oben abgebildeten Strukturen. Bild und Spiegelbild lassen sich in diesem Fall nicht zur Deckung bringen. Solche *Spiegelbild-Isomere* bezeichnet man mit dem Fachbegriff als *Enantiomere*; Bild und Spiegelbild bilden ein Enantiomeren-Paar:



Enantiomeren-Paar

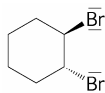


Enantiomeren-Paar

Moleküle, die mit ihrem Spiegelbild nicht identisch sind, nennt man *chiral*. Das Thema *Chiralität* wird im Grundlagenfach aus Zeitgründen üblicherweise nicht besprochen, daher wird es auch im Buch nicht behandelt.

A 39

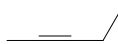
Da im zweiten Schritt des Reaktionsablaufs ein *Rückseitenangriff* eines Br^- -Ions stattfindet, bildet sich als Reaktionsprodukt ausschliesslich das *trans*-Isomer:



A 40



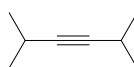
Propin



2-Pentin



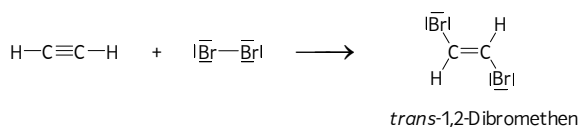
1-Butin



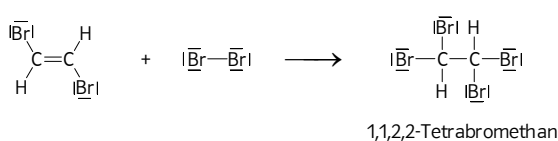
2,5-Dimethyl-3-hexin

A 41

1. Reaktionsschritt:



2. Reaktionsschritt:



A 42

Das Volumen des Raums beträgt: $5 \text{ m} \cdot 4 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ m} = 50 \text{ m}^3$.

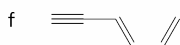
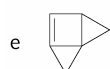
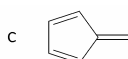
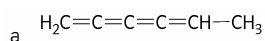
Wenn sich $0,5 \text{ m}^3$ Ethin gleichmässig in einem Volumen von 50 m^3 verteilen, beträgt der Volumenanteil an Ethin 1 %. Da der minimale Ethin-Anteil für eine Explosion 1,5 % ist, kann keine Explosion stattfinden.

A 43

Ein Kohlenwasserstoff mit der Summenformel C_6H_6 hat acht H-Atome weniger als das entsprechende Alkan mit sechs C-Atomen (C_6H_{14}); einen solchen Kohlenwasserstoff kann man durch eine der folgenden Strukturmerkmale erhalten:

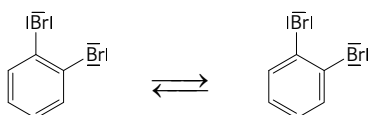
- 4 Doppelbindungen
- 4 Ringe
- 3 Doppelbindungen, 1 Ring
- 2 Doppelbindungen, 2 Ringe
- 1 Doppelbindung, 3 Ringe
- 1 Dreifachbindung, 2 Doppelbindungen
- 2 Dreifachbindungen
- 1 Dreifachbindung, 2 Ringe

Zu jedem dieser Strukturmerkmale ist unten ein Beispiel dargestellt; die meisten der theoretisch denkbaren Strukturen können allerdings in der Praxis aus energetischen Gründen nicht realisiert werden (sie würden sich spontan in stabilere Strukturen umwandeln).

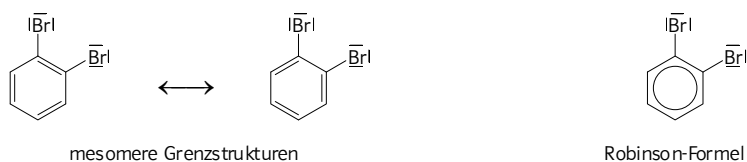


A 44

KEKULÉ vermutete, dass die Doppelbindungen im Benzolring sehr rasch die Position wechseln, so dass keine experimentelle Unterscheidung zwischen zwei Isomeren möglich ist:



Heute erklärt man sich die Existenz nur eines 1,2-Dibrombenzols durch das Vorliegen von delokalisierten Elektronen. Die Elektronenstruktur des Benzol-Moleküls wird durch zwei mesomere Grenzstrukturen oder die Robinson-Formel (\nearrow Kap. 15.18) dargestellt:



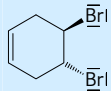
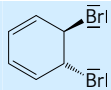
A 45

Das stärkere Ressen der Benzol-Flamme lässt sich mit dem höheren Kohlenstoff-Anteil im Benzol erklären (Benzol: C_6H_6 ; Cyclohexan: C_6H_{12}). Beim Cyclohexan reicht die Sauerstoffzufuhr aus der umgebenden Luft für eine praktisch vollständige Verbrennung; beim Benzol bleibt unverbrannter Kohlenstoff übrig, der zum Ressen der Flamme führt.

A 46

Bei Hexen und Cyclohexadien sind je nach Stellung der Doppelbindung(en) verschiedene Produkte möglich; zudem kann es auch bei gleicher Konstitution des Edukt-Moleküls unter Umständen verschiedene stellungsisomere Produkt-Moleküle geben. In der unten stehenden Tabelle ist zu jeder Reaktion jeweils *ein mögliches* Produkt mit dem entsprechenden Namen aufgeführt.

Ausgangsstoff für die Bromierung	Reaktionsgleichung	mögliches Produkt
Hexan	$C_6H_{14} + Br_2 \longrightarrow C_6H_{13}Br + HBr$	 1-Bromhexan
Hexen	$C_6H_{12} + Br_2 \longrightarrow C_6H_{12}Br_2$	 1,2-Dibromhexan
Cyclohexan	$C_6H_{12} + Br_2 \longrightarrow C_6H_{11}Br + HBr$	 Bromcyclohexan
Cyclohexen	$C_6H_{10} + Br_2 \longrightarrow C_6H_{10}Br_2$	 <i>trans</i> -1,2-Dibromcyclohexan

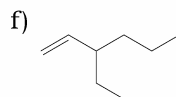
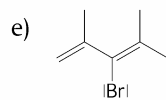
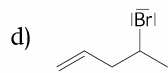
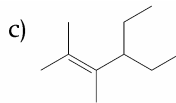
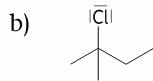
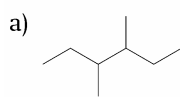
Cyclohexadien	$C_6H_8 + Br_2 \longrightarrow C_6H_8Br_2$	 <p><i>trans</i>-3,4-Dibromocyclohexan</p>
«Cyclohexatrien»	$C_6H_6 + Br_2 \longrightarrow C_6H_6Br_2$	 <p><i>trans</i>-5,6-Dibromocyclohexa-1,3-dien</p>

Hinweis: Dies ist nur ein hypothetisches Reaktionsprodukt, da ein «Cyclohexatrien» mit lokalisierten Doppelbindungen nicht existiert. Beim in Wirklichkeit existierenden Benzol (mit delokalisierten Elektronen) findet statt einer Addition eine Substitution statt:
 $C_6H_6 + Br_2 \longrightarrow C_6H_5Br + HBr$

Für diese Reaktion ist allerdings ein Katalysator erforderlich (z. B. $FeCl_3$).

Überprüfung und Vertiefung

Ü 1



Ü 2

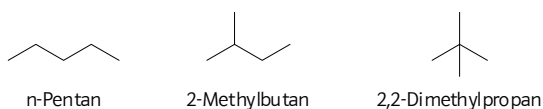
- 2,2,3-Trimethylbutan
- 2-Brom-2-methylbutan
- 2,2,4-Trimethylpentan
- 2-Brom-3-chlor-1-penten

Ü 3

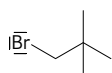
Alkane haben die allgemeine Summenformel C_nH_{2n+2} . Die molaren Massen für verschiedene n sind:

$n =$	molare Masse
1	16,04 g/mol
2	30,06 g/mol
3	44,08 g/mol
4	58,10 g/mol
5	72,12 g/mol

Die Summenformel des gesuchten Alkans ist also C_5H_{12} . Zu dieser Summenformel gibt es drei Isomere:



Beim Molekül des 2,2-Dimethylpropan sind vier Methylgruppen ($-CH_3$) an das zentrale C-Atom gebunden. Da alle vier Methylgruppen äquivalent sind, ist nur ein Monosubstitutionsprodukt möglich:



1-Brom-2,2-dimethylpropan

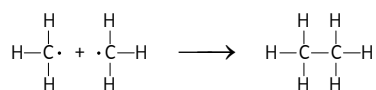
Das gesuchte Alkan ist somit 2,2-Dimethylpropan.

Ü 4

Die Moleküle des Cyclobutans weisen im Gegensatz zu den Molekülen des Cyclohexans eine beträchtliche *Ringspannung* auf, da der Winkel zwischen den C-C-Bindungen deutlich kleiner ist als der Tetraederwinkel; die Cyclobutan-Moleküle sind also energiereicher als die Cyclohexan-Moleküle. Daher wird bei der Verbrennung von Cyclobutan mehr Energie freigesetzt als bei der Verbrennung von Cyclohexan.

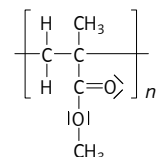
Ü 5

Bei der Reaktion von Chlor mit Methan handelt es sich um eine radikalische Substitution. Im Lauf der Reaktion treten Methyl-Radikale ($CH_3 \cdot$) auf. Treffen zwei Methyl-Radikale aufeinander, können sie sich miteinander zu einem Ethan-Molekül vereinigen (Kettenabbruchreaktion):



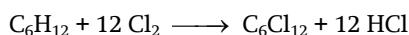
Ü 6

Die Reptiereinheit von Polymethylmethacrylat ist:



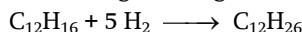
Ü 7

Bei der vollständigen Chlorierung von Cyclohexan (C_6H_{12}) werden alle 12 H-Atome durch Cl-Atome ersetzt. Die Reaktionsgleichung für diese Substitution lautet mit Summenformeln:



Ü 8

Bei der vollständigen Hydrierung eines Polyens wird dieses in das entsprechende Alkan mit der gleichen Anzahl an C-Atomen überführt; aus $\text{C}_{12}\text{H}_{16}$ bildet sich also $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$. Die Reaktionsgleichung lautet:



Ü 9

Es handelt sich nicht um Isomere, da nur ein Molekül mit der Summenformel CH_2F_2 existiert. Dieses hat die Gestalt eines Tetraeders. Die beiden Lewis-Formeln ergeben sich nur durch verschiedene Projektionen der räumlichen Molekülstruktur in die Zeichenebene; sie sind absolut gleichwertig.

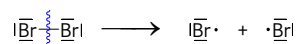
Ü 10

Um die gesuchten Summenformeln zu ermitteln, gehen wir von der allgemeinen Summenformel der Alkane, $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, aus. Für eine Doppelbindung bzw. einen Ring werden zwei H-Atome abgezogen, für eine Dreifachbindung vier H-Atome.

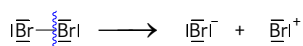
- Ein Alkan mit elf C-Atomen hätte die Summenformel $\text{C}_{11}\text{H}_{24}$. Mit zwei Doppelbindungen (– 4 H) und einer Dreifachbindung (– 4 H) ergibt sich die Summenformel $\text{C}_{11}\text{H}_{16}$.
- Ein Alkan mit acht C-Atomen hätte die Summenformel C_8H_{18} . Mit einem Ring (– 2 H) und einer Doppelbindung (– 2 H) ergibt sich die Summenformel C_8H_{14} .

Ü 11

Sowohl bei der Substitution bei Alkanen wie auch bei der Addition an Alkene Bei der Substitution werden die Br–Br-Bindungen *homolytisch* getrennt, es bilden sich Radikale:



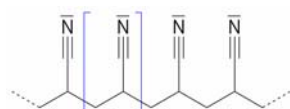
Bei der Addition werden die Br–Br-Bindungen *heterolytisch* getrennt, es bilden sich *Ionen*:



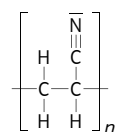
Ü 12

Wichtiger Hinweis: Die in der 1. Auflage des Buchs (2007) abgebildete Formel war leider falsch: Die Dreifachbindung lag nicht auf einer Geraden mit anschliessender Einfachbindung. Die Formel wurde deshalb im korrigierten Nachdruck (2008²) ersetzt.

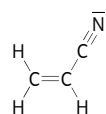
Der Ausschnitt der Polymerkette ist in der Aufgabenstellung als Skelettformel dargestellt. Man erkennt deutlich die sich wiederholenden Einheiten; eine solche Einheit ist unten durch eine blaue eckige Klammer hervorgehoben:



Für die Darstellung der Repetiereinheit verwendet man mit Vorteil die Lewis-Schreibweise; sie lautet in diesem Fall:

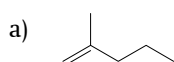


Die horizontale C–C-Bindung in der Repetiereinheit entspricht einer der beiden Bindungen zwischen den doppelt gebundenen C-Atomen des Monomers, aus dem die Polymerkette gebildet wird. Die Formel des Monomers (Acrylnitril) lautet damit:

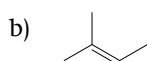


Ü 13

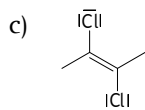
Allgemein ist *cis-trans*-Isomerie beim Vorliegen einer Doppelbindung nur dann möglich, wenn die beiden doppelt gebundenen C-Atome jeweils zwei verschiedene Substituenten tragen. Um zu untersuchen, ob dies der Fall ist, zeichnen wir zunächst die Strukturformel des betreffenden Moleküls.



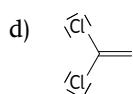
Keine *cis-trans*-Isomerie möglich, da eines der beiden doppelt gebundenen C-Atome mit zwei H-Atomen verbunden ist.



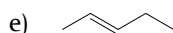
Keine *cis-trans*-Isomerie möglich, da eines der beiden doppelt gebundenen C-Atome mit zwei CH_3 -Gruppen verbunden ist.



cis-trans-Isomerie möglich, da beide doppelt gebundenen C-Atome jeweils zwei verschiedene Substituenten tragen (beide jeweils ein Cl-Atom und eine CH_3 -Gruppe).

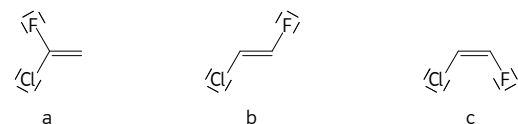


Keine *cis-trans*-Isomerie möglich, da beide doppelt gebundenen C-Atome jeweils zwei gleiche Substituenten tragen (zwei Cl-Atome bzw. zwei H-Atome).



cis-trans-Isomerie möglich, da beide doppelt gebundenen C-Atome jeweils zwei verschiedene Substituenten tragen (ein H-Atom und eine Methylgruppe bzw. ein H-Atom und eine Ethylgruppe).

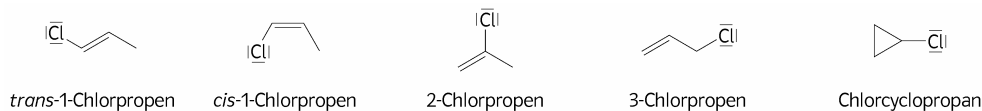
Ü 14



Die tiefste Siedetemperatur hat der Stoff, der aus Molekülen mit der Struktur b aufgebaut ist, da die Moleküle nur schwache Dipole sind: Der Schwerpunkt der negativen Partialladungen der elektronegativen Atome Fluor und Chlor liegt etwa im Molekülzentrum (etwas in Richtung des Fluor-Atoms verschoben), wo sich auch der Schwerpunkt der positiven Partialladungen befindet; die beiden Schwerpunkte fallen also praktisch zusammen. Zwischen diesen Molekülen wirken daher neben den Van-der-Waals-Kräften nur sehr schwache Dipolkräfte.

Die Moleküle in a und c sind dagegen deutlich ausgeprägtere Dipole, da die Schwerpunkte der positiven und negativen Partialladungen weiter auseinander fallen. Zwischen diesen Molekülen wirken daher neben den Van-der-Waals-Kräften auch relativ starke Dipolkräfte.

Ü 15

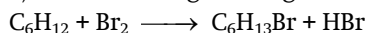


Ü 16

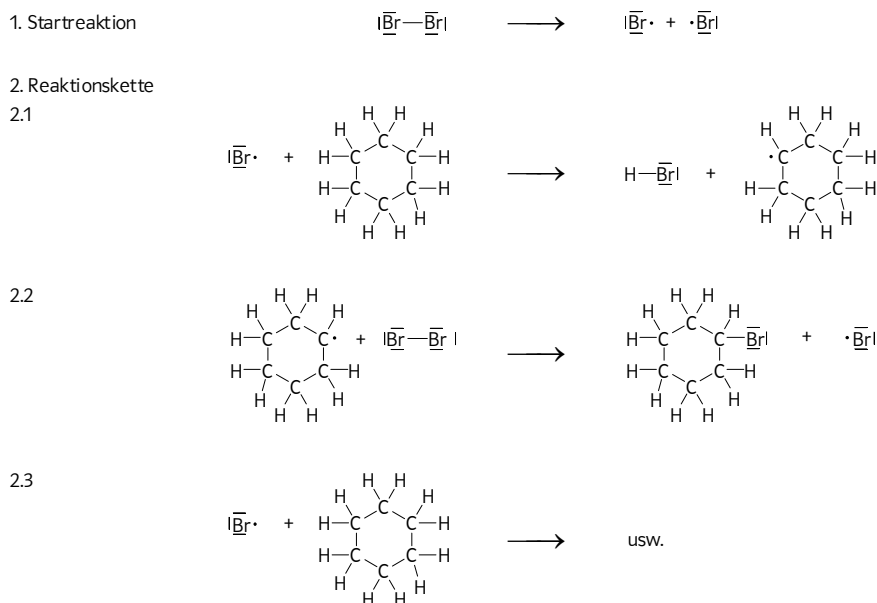
Zwischen den Molekülen des Hexans bzw. des Dodecans wirken ausschliesslich Van-der-Waals-Kräfte. Aufgrund der grösseren Molekülmasse sind die Van-der-Waals-Kräfte beim Dodecan deutlich stärker als beim Hexan. Aus diesem Grund weist Dodecan eine höhere Viskosität (Zähflüssigkeit) auf als Hexan.

Ü 17

a) Die Reaktionsgleichung lautet mit Summenformeln:



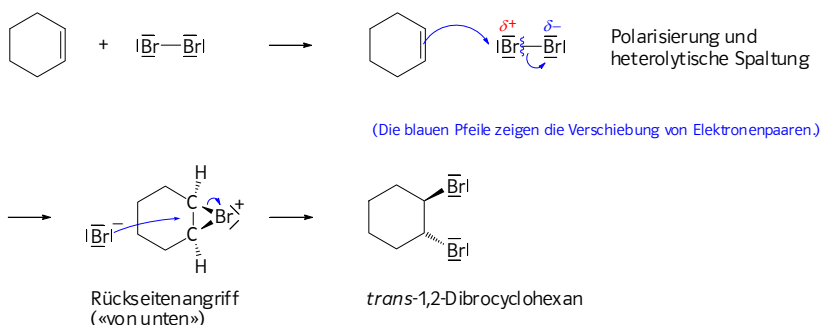
Der Reaktionsmechanismus ist eine radikalische Substitution. Die einzelnen Reaktionsschritte sind:



b) Die Reaktionsgleichung lautet mit Summenformeln:

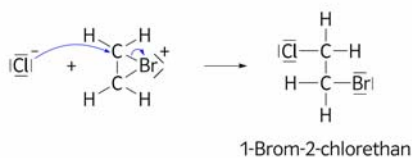
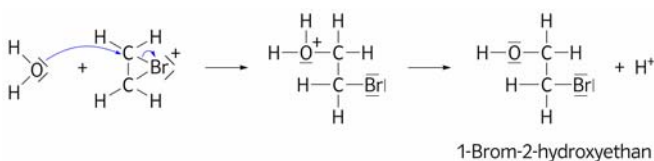


Der Reaktionsmechanismus ist eine *elektrophile Addition*. Die einzelnen Reaktionsschritte sind:

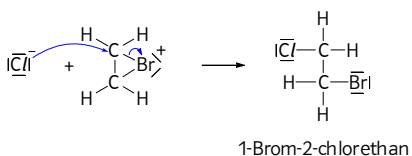


Ü 18

a) Bei der Reaktion von Ethen mit Brom in einer wässrigen Kaliumbromid-Lösung bildet sich neben 1,2-Dibromethan als Nebenprodukt auch 2-Bromethanol. Die Bildung des Nebenprodukts erklärt sich durch den Angriff eines H_2O -Moleküls auf das Bromonium-Ion:

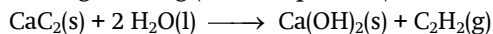


b) Bei der Reaktion von Ethen mit Brom in einer wässrigen Natriumchlorid-Lösung bilden sich neben dem 1,2-Dibromethan auch 2-Bromethanol (wie bei a) sowie als weiteres Nebenprodukt 1-Brom-2-chlorethan. Die Bildung dieses Nebenprodukts erklärt sich durch folgende Reaktionsgleichung:

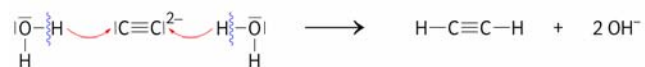


Ü 19

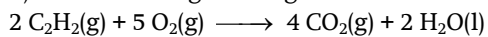
a) Bei der Reaktion von Calciumcarbid mit Wasser bildet sich Ethin (Acetylen) sowie eine wässrige Lösung (bzw. Suspension) von Calciumhydroxid («Kalkwasser»):



Bei dieser Reaktion handelt es sich um eine Protolyse. Das Acetylid-Ion (C_2^{2-}) ist eine extrem starke Base und wird von Wasser-Molekülen zweifach protoniert (der rote Pfeil zeigt hier den Protonentransfer):



b) Die Reaktionsgleichung für die vollständige Verbrennung von Ethin lautet:



c) Ethin (Acetylen) wird heute vor allem als Brenngas für Schweißbrenner eingesetzt.