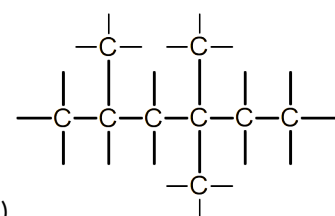
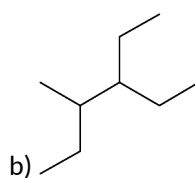
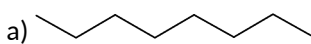


1. Alkane und ihre Reaktionen, Halogenalkane, Verbrennung von KW, Isomerie bei Alkanen

wichtige Fachbegriffe: homologe Reihe, radikalische Substitution, Stabilität von Alkylradikalen, positive induktive Effekte, van-der-Waals-Kräfte, Nomenklatur der Alkane und Halogenalkane, Strukturformel, Halbstrukturformel, Skelettformel, Cycloalkane, sp^3 -Hybridisierung

- 1.1 Zeichnen und benennen Sie 5 Konstitutionsisomere (d.h., unterscheiden sich nicht nur räumlich, sondern auch in der Atomabfolge innerhalb des Moleküls) mit der Formel C_7H_{16} . Von mehrfach verzweigten Verbindungen können Sie der Übersicht halber Halbstrukturformeln oder Skelettformeln angeben.
- 1.2 Fluor (F_2) hat einen Siedepunkt von -188 °C , Brom (Br_2) hingegen einen Siedepunkt $+59\text{ °C}$. Erklären Sie diesen Unterschied ausführlich.
- 1.3 Ordnen Sie folgende Moleküle nach steigenden Siedepunkten: 2-Methylpentan, n-Hexan, 2,3-Dimethylbutan. Begründen Sie die Zuordnung.
- 1.4 20 Gramm Methan sollen vollständig in Tetrachlormethan überführt werden. Geben Sie die Reaktionsgleichung an und berechnen Sie die benötigte Masse Cl_2 und die entstehende Masse CCl_4 (unter der Annahme dass 100%iger Stoffumsatz erfolgt und keine Konkurrenzreaktionen auftreten).
- 1.5 Bei der Chlorierung von Ethan entsteht Chlorethan. Formulieren Sie einen Mechanismus für diesen Prozess. Nennen Sie 3 mögliche Nebenprodukte.
- 1.6 Obwohl Dichlormethan im Gegensatz zum völlig unpolaren Methan zumindest eine geringe Polarität besitzt, so ist es doch hydrophob und mischt sich nicht mit H_2O . Erklären Sie diese Eigenschaften.
- 1.7 Brom (Br_2) löst sich sehr gut in Hexan, jedoch nur mäßig in Wasser. Erklären Sie!
- 1.8 Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen (in Summenformeln) für die vollständige Verbrennung von
- a) Methan b) Propan c) Cyclohexan d) Ethin (C_2H_2)
- 1.9 Formulieren Sie die Strukturformeln und die Namen von mindestens 10 Isomeren, die zu den Chlorfluorheptanen ($C_7H_{14}ClF$) gehören.
- 1.10 Geben Sie den systematischen Namen bzw. die Strukturformel an.

d) C_6H_{14} -Isomer mit quartärem C-Atom (Name + Strukturformel)

e) 4,6-Diethyl-2-methylnonan

1.11 Aus Methan soll mit einem geeigneten Reagenz 1000 g Dichlormethan hergestellt werden:

- a) Geben Sie die Reaktionsgleichung an und berechnen Sie die Massen an Ausgangsstoffe für die Synthese von 1 kg Dichlormethan (Annahme: 100%iger Stoffumsatz, keine Nebenreaktionen).
- b) Erläutern Sie ausführlich den Mechanismus mit Reaktionsgleichungen zur Bildung des Dichlormethans und dazugehörigem Text. Hinweis: Konkurrenz- und Abbruchreaktionen nur an einem Beispiel aufgezeigt.
- 1.12 Formulieren Sie eine allgemeine Reaktionsgleichung für die vollständige Verbrennung von Alkanen (C_nH_{2n+2}) mit Sauerstoff.

1.13 Alkane

- Skizzieren Sie den Verlauf der Siedepunkte der *n*-Alkane mit steigender Kettenlänge bis ca. C₂₀-Alkan (Eicosan). x-Achse: C-Kettenlänge y-Achse: Temperatur. Geben Sie auf der y-Achse 2 Richtwerte (ungefähre Angaben/Größenordnung) zur Temperatur an. Begründen Sie ausführlich den Verlauf der Kurve.
- Füllt man bei 0 °C 100 mL eines gasförmigen Alkans in eine Glaskugel, so nimmt deren Masse um 0,197 g zu. Um welches Alkan handelt es sich? Hinweis: Bei den gegebenen Bedingungen nimmt 1 mol eines beliebigen Gases 22,4 L ein.

1.14 Einige Kohlenwasserstoffe besitzen die Formel C₆H₁₂.

- Geben Sie 4 Verbindungen an, die diese Summenformel besitzen.
- Geben Sie eine für alle Vertreter (mit C₆H₁₂) gültige Reaktionsgleichung für die vollständige Verbrennung an.
- Welche Stoffe entstehen zusätzlich zu b bei der unvollständigen Verbrennung?

1.15 a) Wie viel Gramm Propen (C₃H₆) müssten verbrannt werden, um 1000 g CO₂ zu bilden? Annahme: Vollständige Verbrennung

b) In welchem Volumen an Luft (Volumenanteil an O₂: ca. 20%) ist das erforderliche Sauerstoffvolumen enthalten? Hinweis: Gehen Sie von einem molaren Volumen von 22,4 L/mol aus, d.h. ein mol eines beliebigen Gases nehmen bei den gegebenen Bedingungen 22,4 L ein,

1.16 Hexachlorethan (C₂Cl₆) kann aus Ethan und Chlor hergestellt werden.

- Geben Sie die Bruttoreaktionsgleichung in Strukturformeln an und benennen Sie den Reaktionsmechanismus.
- Um eine hohe Ausbeute am gewünschten Produkt zu erhalten, muss die Reaktion in der Praxis mit einem großen Überschuss an Chlor durchgeführt werden. Begründen Sie diese Notwendigkeit.
- Welche Masse an Hexachlorethan kann maximal entstehen, wenn man 50 g Ethan umsetzt? Berechnen Sie auch, welches Volumen Chlor dabei abreagiert. Hinweis: Das molare Volumen des Chlors beträgt bei den gegebenen Bedingungen V_m = 22,4 L/mol.

1.17 2-Methylpropan wird mit Brom einfach bromiert.

- Geben Sie die Strukturformel aller möglichen (einfach bromierten) Produkte an.
- Geben Sie mit Reaktionsgleichungen und kurzer stichwortartiger Beschreibung den Reaktionsmechanismus zur Bildung eines Produkts an (OHNE ABBRUCHREAKTIONEN).

2. Aufgaben zu Alkenen (incl. Isomerie) und Alkinen

wichtige Fachbegriffe: Nomenklatur, E/Z-Isomerie (cis-trans-Isomerie), sp²- und spHybridisierung, elektrophile Addition, Regel von MARKOWNIKOW, Eliminierung, Stabilität von Carbokationen

2.1 Einige Verbindungen besitzen die Summenformel C₅H₈. Geben Sie die **Skelettformeln** und die systematischen Namen von drei Vertretern an.

2.2 Ethen wird chloriert.

- Formulieren Sie das Reaktionsprodukt (Name + Strukturformel).
- [Wenn im U behandelt:] Erklären Sie den Reaktionsmechanismus mit Reaktionsgleichungen und dazugehörigem Text.
- Auch Ethan kann chloriert werden. Wie heißt hier das Reaktionsprodukt?

2.3 Formulieren Sie die Bruttoreaktionsgleichungen in Strukturformeln folgender Additionsreaktionen.

- | | |
|--|---|
| a) Bromierung (Rkt. mit Brom) von Propen | b) Hydrierung (Rkt. mit H ₂) von Propen |
| c) Hydratisierung (Rkt. mit H ₂ O) von Propen | d) Hydrofluorierung (Rkt. mit HF) von Ethen |

2.4 Es sollen folgende Stoffe aus Alkenen hergestellt werden. Geben Sie eine denkbare Synthese-Reaktionsgleichung an. **a)** 3,4-Dibrom-Hexan **b)** Ethan **c)** Cyclohexan **d)** 2-Bromheptan

2.5 An Propen wird Chlorwasserstoff addiert (ein Beispiel einer **Hydrohalogenierung**). Notieren Sie die Bruttoreaktionsgleichung und eines der Hauptreaktionsprodukt.

2.6 Notieren Sie die Reaktionsgleichung und die Hauptreaktionsprodukte für die Hydrobromierung eines Alkins (R₁-C≡C-R₂).

2.7 a) 2-Brom-2-Methylbutan kann Wasserstoff eliminieren. Welche Reaktionsprodukte können entstehen?

b) 2-Brom-2-Methylbutan kann Bromwasserstoff eliminieren. Welche Reaktionsprodukte können entstehen?

2.8 Geben Sie die Bruttoreaktionsgleichungen an.

- a) Vollständige Hydrierung von 1-Chlorbuta-1,3-dien
- b) Hydratisierung von (2Z)-But-2-en
- c) Hydrobromierung folgender Verbindungen

I) Hex-1-en

II) 1-Methyl-cyclohexen

III) 2-Methyl-but-2-en

2.9 Notieren Sie eine allgemeine Verbrennungsreaktionsgleichung für die Verbrennung von Alkinen. Welches Volumen Sauerstoff wird bei der Verbrennung von 1 kg Ethin verbraucht (Hinweis: 1 mol Sauerstoff nimmt bei den gegebenen Bedingungen ein Volumen von 24,6 L ein).

2.10 Propin besitzt einen Siedepunkt von -23 °C. Es besitzt eine kritische Temperatur von 129°C und einen kritischen Druck von 56 bar.

- a) Definieren Sie den Begriff *Siedepunkt* mithilfe des *Dampfdrucks*. [ähnlich Aufgabe aus Abschlussprüfung Teil 1. Jahr 2020]
- b) Definieren Sie den Begriff *kritische Temperatur*. [ähnlich Aufgabe aus Abschlussprüfung Teil 1. Jahr 2020]
- c) Definieren Sie den Begriff *kritischer Druck*. [ähnlich Aufgabe aus Abschlussprüfung Teil 1. Jahr 2020]

3. Weitere Aufgaben – häufigen themenübergreifend (zumeist aus Klassenarbeiten)

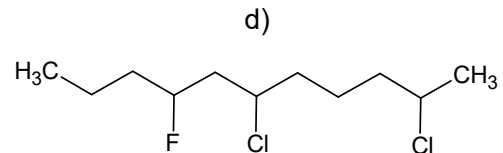
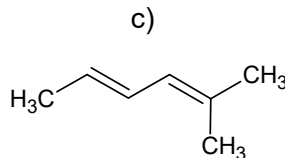
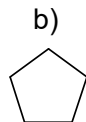
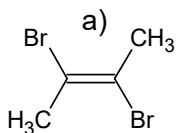
3.1 Alkane

- a) Zeichnen Sie die ausführliche Strukturformeln aller Alkane mit $M = 72 \text{ g/mol}$ und benennen Sie diese.
- b) Sortieren Sie die Verbindungen aus a) begründet nach steigendem Siedepunkt.
- c) Welches Masse an H_2O fällt an, wenn bei der Verbrennung eines Gemisches der Verbindungen aus a) 100 Gramm CO_2 entstehen?

3.2 Chloroform (CHCl_3) wurde früher als Narkotikum benutzt.

- a) Schlagen Sie einen Syntheseweg aus einem Kohlenwasserstoff vor, indem Sie die Gesamtreaktionsgleichung und den Namen des Reaktionstyps angeben.
- b) Beurteilen Sie, ob es sich um eine Redox-Reaktion handelt, indem Sie überprüfen, ob sich die Oxidationszahlen ändern. Geben Sie hierfür auch alle Oxidationszahlen der organischen Stoffe an.
- c) Im Reaktionsprodukt finden sich Spuren einer Verbindung mit der Summenformel $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$. Erklären Sie kurz das Vorkommen im Reaktionsprodukt.
- d) Die in Spuren vorhandene Verbindung $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$ kann auch durch aus Ethin in einem mehrstufigem Prozess hergestellt werden. Formulieren Sie die dazugehörige Reaktionsgleichung in Strukturformeln und benennen Sie die auftretenden Zwischenprodukte.

3.3 Benennen Sie folgende Verbindungen



3.4 Die Iodzahl einer Verbindung gibt die Masse an Iod (I_2) an, die 100 Gramm maximal addieren können.

- a) Berechnen Sie die Iodzahl der doppelt ungesättigten Verbindung 3.3c)
- b) Bei der experimentellen Bestimmung, wird eine Iodhaltige Lösung benötigt. Dabei ist als Lösungsmittel für das Iod *n*-Hexan geeignet, H_2O hingegen nicht. Begründen Sie auf molekularer Ebene!
- c) Die ringförmige Verbindung 3.3b) kann eine Eliminierung eingehen. Definieren Sie kurz diesen Begriff und geben Sie die Skelettformel und den Namen des Reaktionsprodukts an.

3.5 Propen wird hydrochloriert.

- a) Notieren Sie die Bruttoreaktionsgleichung und die denkbaren isomeren Reaktionsprodukte.
- b) In Wirklichkeit entsteht nahezu ausschließlich 2-Chlorpropan. Geben Sie die einzelnen Schritte des Mechanismus an. Beachten Sie, dass hier als Zwischenprodukt ein gewöhnliches Carbeniumion (Carbokation) auftritt.
- c) Warum wird kaum 1-Chlorpropan gebildet?

3.6 Addition von Wasser (Hydratisierung) an die Doppelbindung. Hierzu schreibt Wikipedia (leicht verändert): *Die Reaktion von Alkenen mit Wasser läuft unter Säurekatalyse ab. Dabei addiert sich im ersten Schritt ein Proton von H_3O^+ (Säuren) an die Doppelbindung. Das gebildete Carbokation ist nun ausreichend elektrophil für den nukleophilen Angriff eines Wassermoleküls. Dieses spaltet nach der Addition ein Proton an ein Wassermolekül ab, wodurch auch der gewünschte Alkohol entsteht.* Notieren Sie den passenden Reaktionsmechanismus mit $R-CH=CH_2$ als Alken.

3.7 Auch an Alkinen können Additionsreaktionen stattfinden. Notieren Sie die Bruttogleichungen für die doppelte Hydrobromierung von $R-C\equiv C-R$ in zwei Einzelschritten.

3.8 2-Brom-2-methylbutan kann Bromwasserstoff eliminieren. Welche Reaktionsprodukte können daraus entstehen?

3.9 Geben Sie die Brutto-Reaktionsgleichungen an, beschränken Sie sich ggf. auf das Hauptprodukt (*ähnlich einigen Prüfungsaufgaben aus Abschlussprüfung CL, Teil I*)

- a) Vollständige Hydrierung von 1-Chlorbuta-1,3-dien
- b) Hydratisierung von (2Z)-But-2-en
- c) Hydrobromierung folgender Verbindungen...

I) ...Hex-1-en

II) ...1-Methyl-cyclohexen

III) ...2-Methyl-but-2-en

3.10 Geben Sie die Reaktionsgleichung für die Dehydrierung an, die 2-Chlor-prop-1en als Produkt liefert .

3.11 2-Chlor-2-methylpropan kann in Anwesenheit von NaOH dehydrochloriert werden.

- a) Geben Sie die Bruttoreaktionsgleichung an.
- b) Geben Sie den Mechanismus mit passenden Strukturformeln an. Welche Rolle übernimmt NaOH?
- c) Welche Nebenprodukte können jeweils entstehen, wenn im Lösungsmittel Wasser zugegen ist?

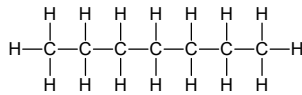
Lösungshinweise: www.laborberufe.de (Nummerierung und Aufgabenstellung abgleichen!)



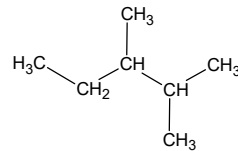
NICHT VERFRÜHT IN DIE LÖSUNGEN SCHAUEN.

1.1

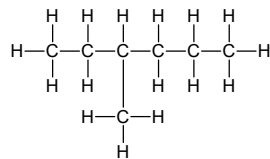
Grundlagen zur Nomenklatur: <https://www.youtube.com/watch?v=wyB0zii57dw>



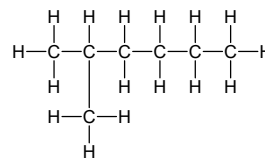
n-Heptan



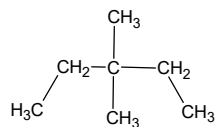
2,3-Dimethylpentan



3-Methylhexan



2-Methylhexan



3,3-Dimethylpentan

Es existieren auch viele weitere Isomere. In diesen Medien sind alle aufgeführt:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Heptane>

<https://youtu.be/ie5go20r6pl>



1.2

Sehr gutes Video, dass die van-der-Waals-Kräfte noch mal genau erklärt. Im Video werden sie zwar für n-Pentan dargestellt, das ganze gilt genau so aber auch für andere unpolare Moleküle, beispielsweise Halogenmoleküle.



<https://youtu.be/nj9w-IPXaLA>

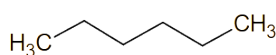
Brom ist ein größeres Molekül, dessen Atome ausladendere Elektronenhüllen besitzen. So sind bei Brom 4 Elektronenschalen besetzt, bei Fluor hingegen nur 2 Elektronenschalen. Diese weit außen liegenden Elektronen unterliegen weniger der anziehenden Kräfte des Atomkerns. Die Elektronenhülle im Brom ist deshalb diffuser und ausladender. Es kann leichter zu spontanen (temporären) Dipolen und dadurch dann zur induzierten Bildung von Dipolen kommen. Insgesamt existiert bei Brom deshalb ein stärkerer Zusammenhalt der Moleküle untereinander, denn die van-der-Waals-Kräfte sind größer als beim Fluor.

1.3

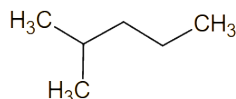
siehe auch: <https://www.youtube.com/watch?v=bXHor4n67Dg> oder andere youtube-Videos zum Stichwort van-der-Waals-Kräfte

VAN-DER-WAALS-Kräfte sind bindende Wechselwirkungen zwischen einem „zufälligen“ Dipol (oder „spontaner Dipol“) und einem in Nachbarmolekülen induzierten Dipol. Je größer die Kontaktfläche, mit denen die Nachbarmoleküle aufeinander treffen, desto stärker kann die VAN-DER-WAALS-Bindung werden. Grund: Große Kontaktflächen zwischen Dipolen erhöht die elektrostatische Anziehung.

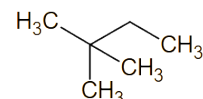
Eine elektrostatische Anziehung ist bei eher kugeligem, bzw. kompakteren Molekülbau nicht über weitere Teile des Moleküls möglich, denn die Berührungsflächen sind kleiner als bei länglichem Bau. Entsprechend fällt hier der Zusammenhalt der Moleküle untereinander gering aus, die Siedepunkte sind entsprechend niedrig:



n-hexane



2-methylpentane



2,2-dimethylbutane

Alle drei Moleküle besitzen die gleiche Summenformel aber unterschiedliche Atomabfolge. Damit sind sie zueinander isomer. Mit stärker verzweigtem, und damit kompakteren Bau, nimmt der Siedepunkt ab:

Siedepunkte: n-Hexan: 69°C, 2-Methylpentan: 60 °C, Dimethylbutan: 50 °C

1.4

Man beachte: Jedes H-Atom wird durch ein Cl-Atom ersetzt. Das zweite Cl-Atom des Cl-Moleküls findet sich nicht im organischen Produkt, sondern in HCl. Studieren Sie genau den Mechanismus der radikalischen Substitution! Für jedes substituierte H-Atom entsteht ein HCl-Molekül.

Reaktionsgleichung: $\text{CH}_4 + 4 \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CCl}_4 + 4 \text{HCl}$

a) Berechnung der Stoffmenge CH_4 .

$$n(\text{CH}_4) = \frac{m(\text{CH}_4)}{M(\text{CH}_4)} \Rightarrow n(\text{CH}_4) = \frac{20,0 \text{ g}}{16,043 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 1,2466 \text{ mol}$$

b) Berechnung der Stoffmenge und der Masse an Cl_2

$$n(\text{Cl}_2) = 4 \cdot n(\text{CH}_4) \text{ (Folgt aus dem Koeffizientenverhältnis der Reaktionsgleichung)}$$

$$\Rightarrow n(\text{Cl}_2) = 4 \cdot 1,2466 \text{ mol} \approx 4,9866 \text{ mol.}$$

$$m(\text{Cl}_2) = M(\text{Cl}_2) \cdot n(\text{Cl}_2) = 70,9054 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 4,9866 \text{ mol} \approx 353,6 \text{ g}$$

c) Berechnung der Stoffmenge und der Masse an CCl_4

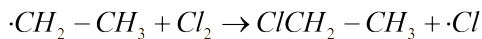
$$n(\text{CH}_4) = n(\text{CCl}_4) \text{ (Folgt aus dem Koeffizientenverhältnis der Reaktionsgleichung)}$$

$$\Rightarrow n(\text{CCl}_4) = 1,2466 \text{ mol}$$

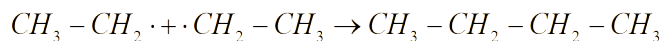
$$m(\text{CCl}_4) = M(\text{CCl}_4) \cdot n(\text{CCl}_4) \Rightarrow m(\text{CCl}_4) = 153,822 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 1,2466 \text{ mol} \approx 191,75 \text{ g}$$

1.5

Kettenstart: UV-Strahlung bedingt die homolytische Spaltung von Chlor. $\text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{UV-Strahlung}} 2 \text{Cl}\cdot$



Abbruchreaktionen: Reaktion zwischen 2 beliebigen Radikalen:

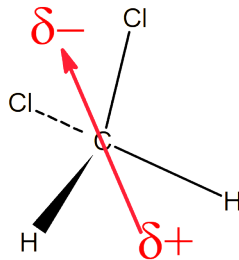


Nebenprodukte: In Abhängigkeit des Chloranteils im Reaktionsgemisch kann es auch zur Mehrfachchlorierung kommen. Dabei wird schon chlorierten Molekülen während der Reaktionskette mit $\text{Cl}\cdot$ ein H-Atom entrissen.

Durch Reaktion radikalischer organischer Moleküle untereinander, kann es in sehr geringem Ausmaß auch Kettenverlängerung kommen.

1.6

Halogenierte Kohlenwasserstoffe besitzen polare Elektronenpaarbindungen zwischen dem Kohlenstoff und dem Halogen z.B. Cl. Die höhere Elektronegativität des Halogen bewirkt, dass es die Bindungselektronen näher zu sich zieht. Insgesamt entstehen Dipolmoleküle, die einen δ^- -Pol und einen δ^+ -Pol besitzen.



Dichlormethan mit eingezeichnetem Dipolvektor.

Bei einigen Halogenalkanen, wie z.B. Tetrachlormethan (CCl_4) oder Methan (CH_4) fällt aufgrund des hochsymmetrischen regelmäßigen Baus, der Schwerpunkt der Orte negativer Ladungsdichte mit dem positiven Pol zusammen, so dass es sich hier um unpolare Moleküle handelt.

Obwohl Verbindungen wie Dichlormethan zumindest eine geringe Polarität besitzen, lösen sie sich nur schlecht im ebenfalls polaren Wasser. Die starken Wechselwirkungen zwischen den H_2O -Molekülen (Wasserstoffbrücken) bzw. die Wechselwirkungen zwischen den Dichlormethanmolekülen untereinander lassen sich nicht durch H_2O -Dichlormethan-Wechselwirkungen kompensieren/ersetzen. Statt sich bis auf molekularer Ebene zu durchmischen, bilden sich zwei Phasen. Die Moleküle gehen bindende Wechselwirkungen nur mit ihresgleichen ein.

Aus Symmetriegründen sind alle n-Alkane völlig unpolare.

1.7

Brom ist ein unpolares Molekül und löst sich damit gut in unpolaren Lösungsmitteln wie z.B. n-Hexan. Zwischen den Molekülen kommt es zu bindenden Wechselwirkungen, den VAN-DER-WAALS-Kräften.

In Wasser ist Brom hingegen nur mäßig löslich, weil sich beide Stoffe in der Polarität unterscheiden. Zwar können Wassermoleküle als permanente Dipole in benachbarten Brommolekülen Dipolen induzieren. Allerdings sind die dabei entstehenden bindenden Wechselwirkungen schwächer als die H_2O - H_2O -Wechselwirkungen (Wasserstoff-Brücken-Bindungen) und die Br_2 - Br_2 -Wechselwirkungen (v.d.W-Wechselwirkungen). Statt sich also im H_2O auf molekularer Ebene

zu verteilen und Br₂-H₂O-Wechselwirkungen einzugehen, ist der Zustand des Zusammenbleibens der Br₂-Moleküle (Br₂-Br₂-Wechselwirkungen) bzw. der H₂O-Moleküle energetisch günstiger. Es bilden sich 2 Phasen: Brom-Phase und wässrige Phase (incl. kleinem Br₂-Anteil).

1.8



1.9

- a) n-Octan b) 3-Ethyl-4-methylhexan (auch 4-Ethyl-3-methylhexan als richtig akzeptiert) c) 2,4,4-Trimethylhexan d) 2,2-Dimethylbutan

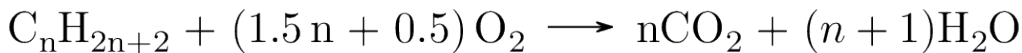
1.11

| | | | | | |
|--|---|---------------------|---|--|---------|
| a) | CH ₄ | + 2 Cl ₂ | → | CH ₂ Cl ₂ | + 2 HCl |
| Masse m | 189 g | 1670 g | | 1000 g | |
| Molare Masse M | 16,04246 g/mol | 70,906 g/mol | | 84,93258 g/mol | |
| Stoffmenge n | 11,77404 mol | 23,548090 mol | | 11,77404 mol | |
| b) Radikalbildung Cl ₂ → 2 Cl· | Reaktionskette Cl· + CH ₄ → HCl + CH ₃ · CH ₃ · + Cl ₂ → CH ₃ Cl + Cl· CH ₃ Cl + Cl· → CH ₂ Cl· + HCl CH ₂ Cl· + Cl ₂ → CH ₂ Cl ₂ + Cl· | | | Kettenabbruch: Reaktion zweier Radikale untereinander, z.B.: CH ₃ · + CH ₂ Cl· → H ₃ C-CH ₂ Cl Konkurrenzreaktion: z.B. Dreifachsubstitution | |

1.12 allgemeine Verbrennungsgleichung

siehe auch: <https://www.youtube.com/watch?v=LHmzeFPh63Q>

Merke: Bei der vollständigen Verbrennung von Kohlenwasserstoffen, wird jedes C in CO₂ überführt also maximal möglich oxidiert.



1.13

a) Für die Richtwerte kann man bedenken, dass z.B. n-Pentan bei Raumtemperatur gerade noch flüssig ist. D.h. der Siedepunkt muss knapp über Raumtemperatur liegen. Aus dem Alltag wissen Sie, dass Feuerzeuggas (=n-Butan) gasförmig ist. Mit steigender Kettenlänge nimmt die Molekülgröße und damit die Berührungsfläche zwischen den Molekülen zu. So bilden mit steigender Kettenlänge die Moleküle leichter spontane Dipole aus. Auch lassen sich leichter Dipole induzieren, wenn das Nachbarmolekül schon als Dipol vorliegt. Insgesamt nehmen die zwischenmolekularen Anziehungskräfte (hier: van-der-Waals-Kräfte) und der Zusammenhalt zwischen den Molekülen zu. Es wird mehr Energie benötigt, um die Moleküle voneinander zu trennen und aus dem gegenseitigen Anziehungsbereich zu entfernen. Die Überführung in die Gasphase durch Sieden erfolgt also bei höherer Temperatur. Die Kurve flacht ab, da der relative Unterschied zwischen den v.d.W.-Kräften immer geringer ausfällt. So sind die Unterschiede in Molekülgrößen, von v.d.W.-Kräften und von den Siedepunkten zwischen dem C₁-Alkan (Methan) und C₂-Alkan (Ethan) noch sehr groß, zwischen C₂₀ und C₂₁-Alkan aber z.B. nur noch gering.

b) Dreisatz => 100 mL sind 0,00446 mol => $M(X) = \frac{m(X)}{n(X)} = \frac{0,197\text{g}}{0,00446\text{mol}} \approx 44,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ (A C₃H₈)

1.14

- a) 1-Hexen, (2Z)-Hex-2-en, (3E)-Hex-3-en, Cyclohexan, 2-Methyl-Pent-1-en etc.
 nicht zulässige, da unvollständige Namen wären „Hex-2-en“, „Hex-3-en“
- b) C₆H₁₂ + 9 O₂ → 6 CO₂ + 6 H₂O

c) Die im Vgl. zu CO_2 sauerstoffärmeren Produkte: CO (Kohlenstoffmonoxid) und C (Kohlenstoff, Ruß) entstehen. Schon Laien kennen solche „rußenden Flammen“ oder rußende Abgase eines schlecht eingestellten alten Dieselmotors. Alle kennen auch den Hinweis aus Garagen, nicht bei geschlossener Garage den Motor laufen zu lassen. Im Motor wird nämlich bei der Verbrennung des fossilen Kraftstoffs (Diesel, Benzin, Erdgas) O_2 verbraucht. Die Luft in der geschlossenen Garage verarmt an O_2 . Bei der Verbrennung bildet sich aufgrund der O_2 -Verknappung immer mehr des sauerstoffärmeren Verbrennungsproduktes Kohlenstoffmonoxid. Dieses ist hochgiftig und verhindert die O_2 -Aufnahme und den O_2 -Transport im Blut. Wenn Rauchern schwindlig wird (z.B. bei der ersten Zigarette der Woche), liegt das an der mangelnden Sauerstoffzufuhr durch die Kohlenstoffmonoxidvergiftung. Denn auch der Tabak im Glimmstengel verbrennt unvollständig. Durch den Sauerstoffmangel im Gehirn sterben auch Nervenzellen ab. siehe auch: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffmonoxidintoxikation>

| |
|---------------|
| 1.15a) und b) |
|---------------|

Allgemeines Vorgehen zum Lösen solcher Aufgaben:

1. Solche Umsatzberechnungen beginnen immer mit einer richtig eingerichteten Reaktionsgleichung.
2. Anschließend rechnet man die gegebene Stoffportion in eine Stoffmenge um.
3. Über die Koeffizientenverhältnisse kann man die gesuchte(n) Stoffmenge(n) herleiten.
4. Aus der Stoffmenge muss dann häufig zum Schluss noch in eine Masse oder ein Volumen umgerechnet werden.

Zu 1) $2 \text{C}_3\text{H}_6 + 9 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$

Zu 2) Berechnung der gegebenen Stoffmenge: 1000 g CO_2 entsprechen 22,72210861 mol. ACHTUNG: Wir nehmen hier viele Nachkommastellen mit. **Erst am Ende werden wir runden, dort dann aber massiv!**

Teilaufgabe 1.15 a)

Zu 3) **Berechnung der Propen-Stoffmenge:**

Wegen des Koeffizientenverhältnisses 2 : 6 (siehe Reaktionsgleichung) kann man also berechnen:

$$\begin{array}{rcl} 6 & \hat{=} & 22,72210861 \text{ mol} \\ 2 & \hat{=} & x \end{array} \quad \Rightarrow x = 7,574036 \text{ mol Propen.}$$

Zu 4)

Berechnung der Propenmasse: 7,574036 mol Propen wiegen (wegen $M = 42,08 \text{ g/mol}$) $\approx 318,7 \text{ g}$. **Am Ende MUSS das Ergebnis auf eine vernünftige Anzahl an Nachkommastellen gerundet werden! Wenn das versäumt wird, gibt es einen Punktabzug! Was ist eine «vernünftige» Anzahl?** Das kann man nicht pauschal angeben. Das hängt von der genauen Formulierung der Fragestellung ab. Es muss jedes mal darüber nachgedacht werden. Einige Aspekte die einen hier veranlassen, großzügig zu runden.: 1) Jede organische Reaktion ist mit Nebenreaktionen verbunden, die hier gar nicht berücksichtigt wurden. Schon allen deshalb kann man nur schätzen welche Stoffportionen eingesetzt werden müssen. Außerdem sind hier die Stoffportionen so groß (Hunderte Gramm, Hunderte Liter Gas), dass es völlig irrelevant ist, wie viel Milligramm oder Milliliter tatsächlich benötigt werden.

Teilaufgabe b)

Zu 3) **Berechnung der O_2 -Stoffmenge:**

Wegen des Koeffizientenverhältnisses 6 : 9 (siehe Reaktionsgleichungen) kann man also berechnen:

$$\begin{array}{rcl} 6 & \hat{=} & 22,72210861 \text{ mol} \\ 9 & \hat{=} & x \end{array} \quad \Rightarrow x = 34,08316292 \text{ mol O}_2.$$

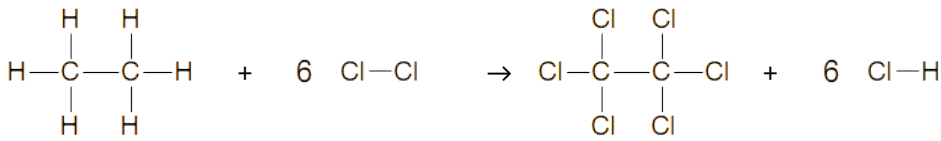
Zu 4) **Berechnung des O_2 -Volumens:** Wenn 1 mol 22,4 L einnimmt (vgl. Hinweis in der Aufgabenstellung!), dann nehmen 34,08316292 mol zusammen ein Volumen von 763,4628 L ein. Es werden also ca. 763,5 L reines O_2 verbraucht.

Berechnung des Luftvolumens in dem 763,5 L O_2 enthalten sind:

$$\begin{aligned} 20\% &\cong 763,5 \text{ L} \\ 100\% &\cong x \end{aligned}$$

$$\Rightarrow x \approx \underline{\underline{3817 \text{ L Luft}}}$$

1.16



50 g

393,6 g

$M(\text{C}_2\text{H}_6) = 30,07 \text{ g/mol}$. $M(\text{C}_2\text{Cl}_6) = 236,74 \text{ g/mol}$. Koeffizientenverhältnis 1:6:1

1,66278 mol

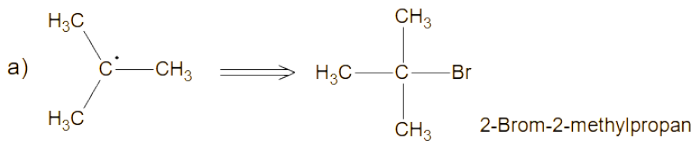
9,97668 mol

1,66278 mol

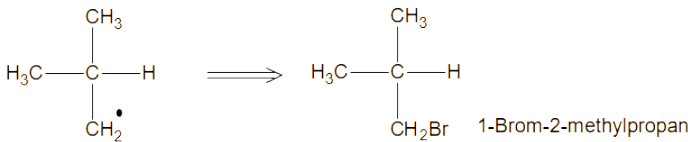
223,5 L

b) Durch den Überschuss wird erreicht, dass ein hoher Anteil der org. Verbindung auch wirklich vollständig chloriert wird und nicht ein bestimmter Anteil der Produkte nur einen geringeren Chlorierungsgrad besitzt.

1.17



Je nachdem, welches H-Atom abgespalten wird, können 2 unterschiedliche Kohlenwasserstoffradikale auftreten, die letzten Endes zu einem jeweils anderen Produkt führen!



b) Startreaktion: Spaltung des Brommoleküls (z.B. durch Licht): $\text{Br}-\text{Br} \rightarrow 2 \text{ Br}^\bullet$

Reaktionskette: Bildung des HBr und des org. Radikals: $\text{Br}^\bullet + \text{HC}(\text{CH}_3)_3 \rightarrow \text{HBr} + \bullet\text{C}(\text{CH}_3)_3$

Bildung des Produkts: $\text{Br}-\text{Br} + \bullet\text{C}(\text{CH}_3)_3 \rightarrow \text{BrC}(\text{CH}_3)_3 + \text{Br}^\bullet$

Abschnitt 2

gutes Einstiegsvideo: <https://www.youtube.com/watch?v=U1fbeyocWvU>

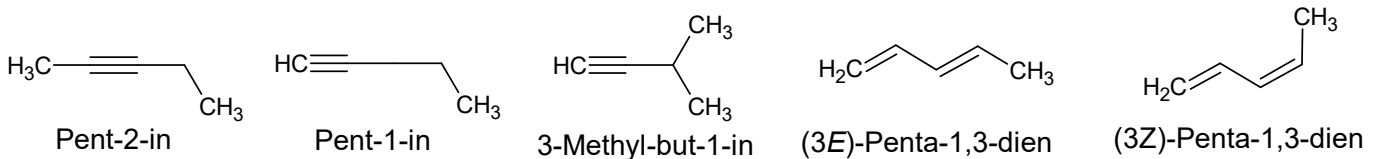
2.1

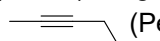
Die Formeln C_5H_8 verrät, dass es eine ungesättigte Verbindung sein muss, denn Alkane besitzen die Formel $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, als z.B. C_5H_{12} . Es kann sich auch nicht um ein einfaches Alken handeln, denn diese besitzen die Formel C_nH_{2n} .

Unsere gesuchten Verbindungen sind noch ärmer an Wasserstoff. Es handelt sich um ein Alkin (ein Pentin) ODER um ein Alkadien, das also zwei Doppelbindungen besitzt.

Haben Sie Schwierigkeit die Skelettformel zu notieren? Dann formulieren Sie erst die Strukturformeln und übersetzen Sie diese erst danach in Skelettformeln.

Hier einige Beispiele für Vertreter:



Beachten Sie: Auch das dritte angegebene Beispiel ist ein Pentin, denn es besitzt C_5H_8 . **Beachten Sie weiter,** dass es an der Dreifachbindung keine E/Z-Isomerie gibt und das der Bindungswinkel hier 180° beträgt. \Rightarrow dort linear zeichnen! Häufig werden endständige C-Atome als Halbstruktur ("CH₃") ausgeschrieben. Das muss aber nicht sein, folgende Skelettformel ist also beispielsweise auch zulässig:  (Pent-2-in)

2.2 Chlorierung

a) 1,2-Dichlorethan. Strukturformel selbst herleiten!

b) siehe Schulbuchseite

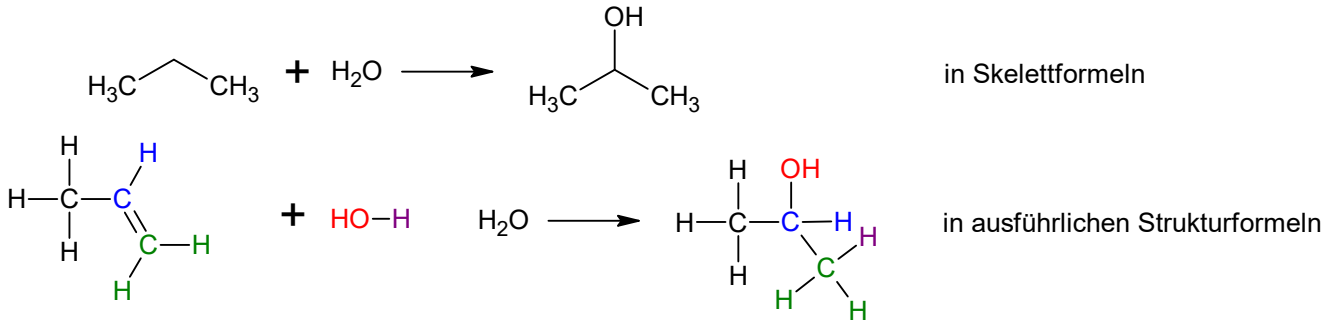
c) Einfachchlorierungsprodukt! Chlorethan (+ HCl). siehe vorangegangener Abschnitt: radikalische Substitution am Alkan

2.3 Verschiedene Additionen

a) 1,2-Dibrompropan

b) Propan

c) Wasser ist H-OH. Ein C-Atom der Doppelbindung bekommt ein H-Atom, das andere C-Atom die OH-Gruppe. Produkt müssen Sie hier noch nicht benennen können. Bitte überzeugen Sie sich, dass beide angegebenen Reaktionsgleichungen den gleichen Sachverhalt darstellen!!!! Jecke Ecke und jedes Ende der Zickzack-Linien in Skelettformeln steht für ein mit H-Atomen abgesättigtes C-Atom.



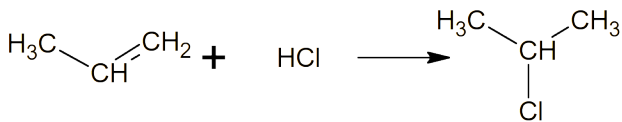
d) Fluorethan.

2.4 Herstellung aus Alkenen

Hier nur Lösungshinweise:

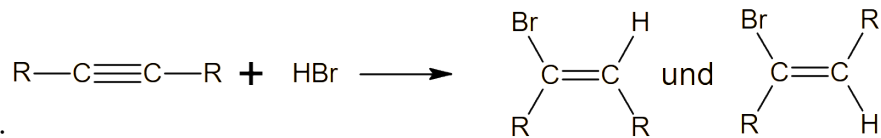
- a) Addition von Br₂ an das entsprechende Hexen.
- b) Hydrierung des entsprechenden Alkens.
- c) Hydrierung von Cyclohexen
- d) Hydrobromierung des passenden Alkens.

2.5 eine Hydrohalogenierung



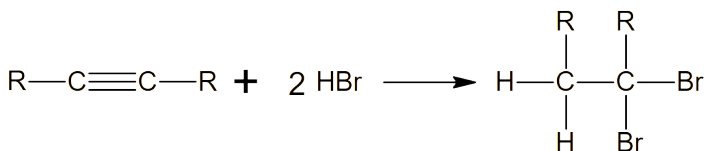
(auch die Anlagerung mit Cl am terminalen C-Atom ist theoretisch möglich)

2.6



einfache Hydrobromierung:

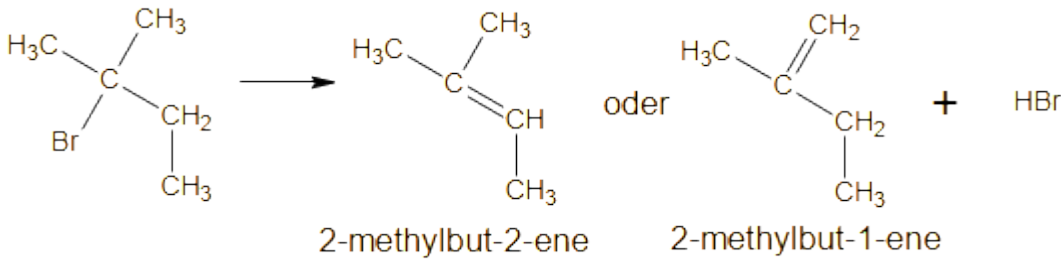
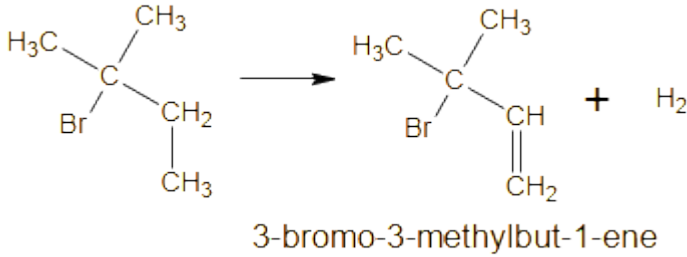
doppelte Hydrobromierung



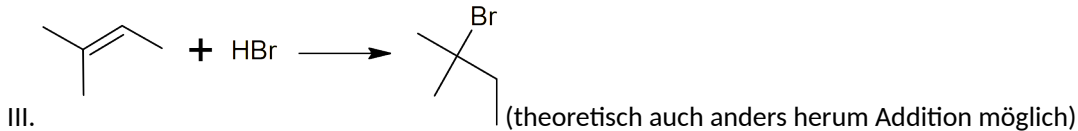
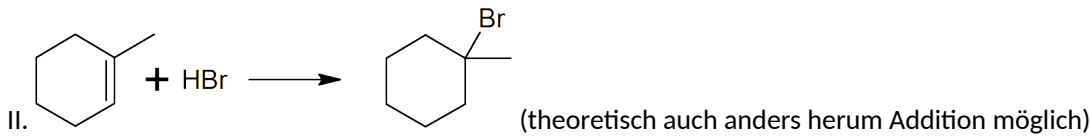
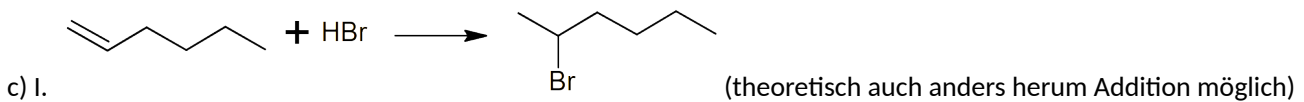
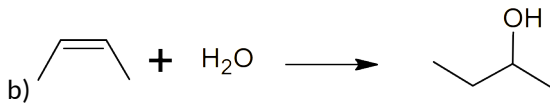
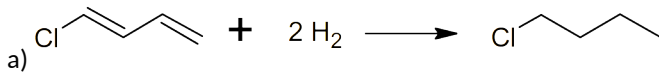
Das zweite HBr kann sich theoretisch auch so anlagern, dass ein 1,2-Dibromprodukt entsteht.

2.7

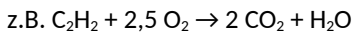
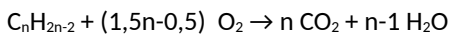
Vs. 2023-06-26



2.8



2.9



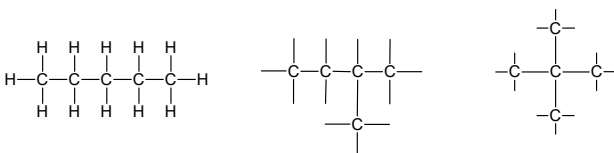
$$n(C_2H_2) = m(C_2H_2) : M(C_2H_2) = 1000 \text{ g} : 26,038 \text{ g/mol} = 38,4054 \text{ mol}$$

Es wird die 2,5-fache Stoffmenge an O_2 benötigt, wie C_2H_2 verbrannt wird (Koeffizientenverhältnis). $\Rightarrow n(O_2) = 96,01 \text{ mol}$

Dreisatz: 1 mol entspricht 24,6 L O_2 , wie viel entsprechen dann 96,01 mol

$$\Rightarrow V(O_2) = 96,01 \text{ mol} \cdot 24,6 \text{ L/mol} \approx \underline{2362 \text{ L}}$$

3.1

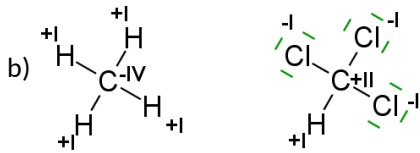


b) Je größer die Kontaktflächen zwischen den Molekülen, desto besser können sich die van-der-Waals-Kräfte ausbilden. Je verzweigter das Molekül **bei gleicher Molekülmasse**, desto niedriger der Smp/Sdp: n-Pentan > 2-Methylbutan > Dimethylpropan

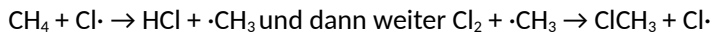
$C_5H_{12} + 8O_2 \rightarrow 5CO_2 + 6H_2O$ Da $M(CO_2) = 44 \text{ g/mol}$, sind 100 g ca. $n(CO_2) = \text{ca. } 2,2727 \text{ mol}$. Wegen des 5:6-Koeffizientenverhältnisses entsteht etwas mehr H_2O , nämlich $n(H_2O) = \text{ca. } 2,7272 \text{ mol}$. Da $M(H_2O) = 18 \text{ g/mol}$, sind das $m(H_2O) = \text{ca. } 49,1 \text{ g}$.

3.2

a) $CH_4 + 3 Cl_2 \rightarrow CHCl_3 + 3 HCl$ radikalische Substitutionsreaktion



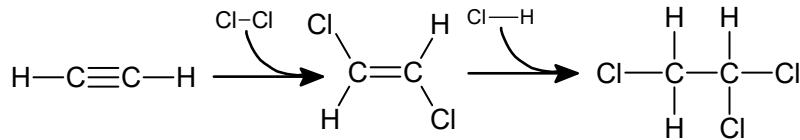
c) Der Mechanismus der Substitution läuft über radikalische Zwischenstufen ab:



Bei der Mehrfachsubstitution tritt dieselbe Reaktionsfolge auf, nur sind hier mittlerweile Cl-Atome in den Molekülen vorhanden: $ClCH_3 + Cl\cdot \rightarrow \dots$ [siehe oben]

Es handelt sich um eine Redoxreaktion, weil sich die Oxidationszahlen ändern (z.B. für das Element C). Die Verbindung $C_2H_2Cl_3$ kann in Spuren durch eine Abbruchreaktion entstehen bei der 2 Radikale reagieren. hier: $HCl_2C\cdot + \cdot CClH_2 \rightarrow HCl_2C-CClH_2$

d) Ethin kann ein HCl und ein Cl_2 -Molekül addieren. In welcher Reihenfolge spielt (bei uns) keine Rolle. Als Zwischenprodukt tritt (E)-1,2-Dichlorethen oder (Z)-1,2-Dichlorethen aus, wenn zuerst Cl_2 addiert wird:



Wird zuerst das Chlorwasserstoff addiert, so tritt als Zwischenprodukt 1-Chlorethen auf.

3.3

- a) (2E)-2,3-Dibrom-but-2-en
- b) Cyclopentan
- c) (4E)-2-Methyl-hexa-2,4-dien
- d) 2,6-Dichlor-8-Fluor-undecan

3.4

a) An jede Doppelbindung kann ein Iodmolekül addieren, also kann ein Di-en 2 Iodmoleküle addieren:

| | | | |
|--------------------|--|----------------------|---|
| |=.....=... | + 2 I ₂ → |(I)-(I).....(I)-(I)... |
| Masse: | 100 g | | ca. 529 g |
| Rechenweg: | $n = m/M = 100 \text{ g} / 96 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ | | $m = n \cdot M = 2,08333 \text{ mol} \cdot 253,8 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ |
| Stoffmenge: | 1,041667 mol | ⇒ | ·2 = 2,08333 mol |

b) Iod ist unpolar und löst sich deshalb relativ gut in unpolarem n-Hexan. Dabei umgeben sich die Iodmoleküle mit Hexanmolekülen und untereinander werden relativ starke van-der-Waals-Wechselwirkungen ausgebildet. H_2O ist hingegen ein polares Molekül, hier sind keine starken bindenden Wechselwirkungen zu I_2 möglich.

c) **Eliminierung:** Abspaltung eines kleinen Moleküls unter Ausbildung einer Mehrfachbindung. Hier kann nur H_2 abgespalten werden (Dehydrierung), es entsteht dabei Cyclopenten.



3.5

a) Je nachdem welches Atom des addierten Moleküls sich an welches der C-Atome anlagert, entstehen zwei verschiedene Isomere.

b) Die Regel von MARKOWNIKOW.....!

c) ... erklärt sich über die unterschiedliche Stabilität der temporär auftretenden Carbokationen. Ein primäres Carbokation, aus der sich das 1-Chlorpropan bilden würde, ist instabiler als ein sekundäres. Aufgrund des hohen Energiegehalts, ist seine Bildung unwahrscheinlicher.

3.6

siehe Unterlagen aus dem Unterricht

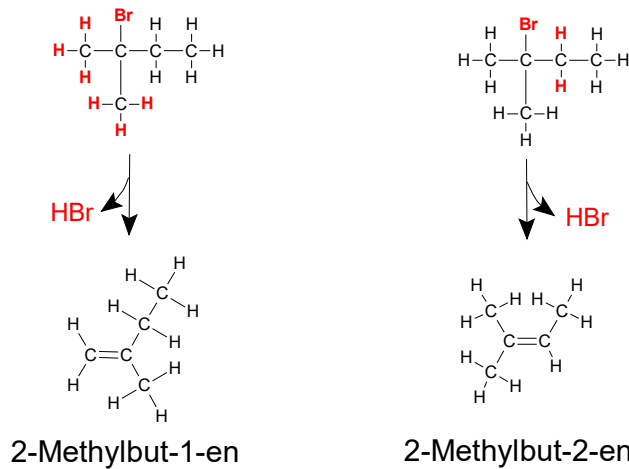
3.7

Nach der ersten Addition liegt ein Alken vor. Hier gibt es sowohl die Möglichkeit zur Bildung des (E)-Isomers, sowie die Bildung des (Z)-Isomers. Egal welches der beiden Isomere sich gebildet hat: Bei der zweiten Addition bildet sich das gleiche Hauptprodukt. Hier ist jetzt allerdings die Regel von MARKOWNIKOW zu beachten.

3.8

Das Br-Atom des C-Atoms wird mit einem H-Atom eines unmittelbar benachbarten A-Atoms entfernt (= 1,2-Eliminierung). Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten:.

das Br-Atom wird mit einem der jeweils rot markierten H-Atome entfernt

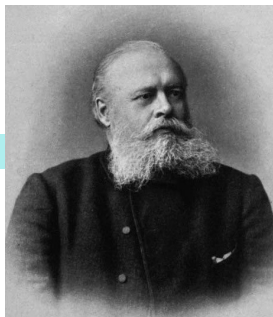


E/Z-Isomerie tritt bei beiden Produkten nicht auf.

3.9

a) alle Doppelbindungen können hydriert werden. Ein organisches Molekül kann zwei H₂-Moleküle addieren.

b)



Марковников, Владимир Васильевич

c) [„Wer hat, dem wird gegeben“](#)

3.10

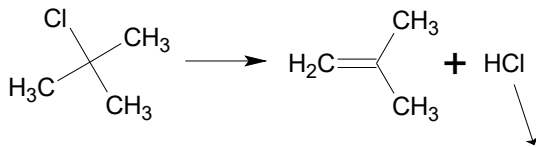
Ausgangsstoff ist das H-reichere 2-Chlor-propan

3.11

2-Chlor-2-methylpropan kann in Anwesenheit von NaOH dehydrochloriert werden.

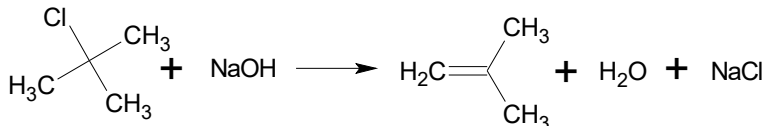
a) Eliminierung von HCl. Aufgrund des Molekülbaus entsteht stets 2-Methylpropen. cis/trans-Isomerie tritt im Produkt nicht auf. Das NaOH fängt das entstehende Proton ab ($\text{Na}^+ \text{OH}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{Na}^+ + \text{H}_2\text{O}$):

eigentlich:



reagiert im Augenblick der Entstehung mit NaOH (vgl. Mechanismus in Teilaufgabe b):
 $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

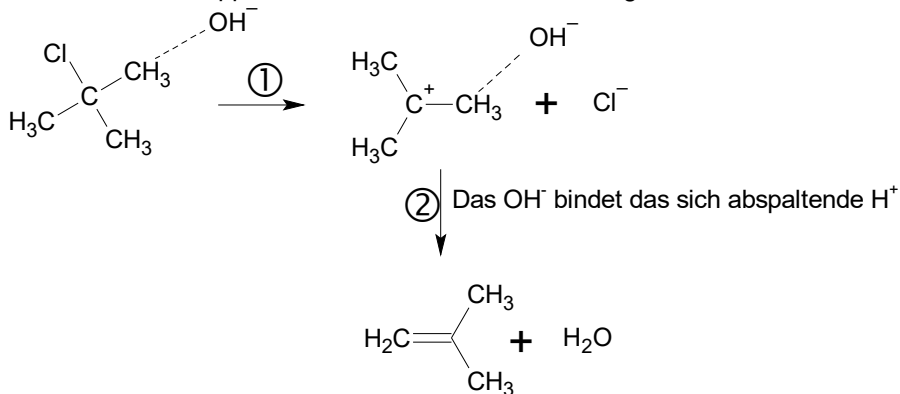
Zusammengefasst (Bruttogleichung)



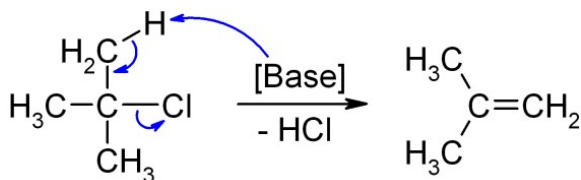
b) Die Reaktion läuft wie die Addition ab, nur rückwärts:

- Schritt 1: ① **Zuerst** wird ein Chloridion abgespalten, denn bei der Addition wurde es *zuletzt* angelagert. Dabei entsteht das Carbokation. Damit dieser Vorgang stattfinden kann, bedarf es der Unterstützung des anwesenden OH^- , das eine Bindung zu eine der C-H-Bindungen bereits schwächt. Dies unterstützt die Abspaltung des Cl^- .
- Schritt ②: Dann spaltet das Carbokation das Proton (H^+) ab, denn bei der Addition wurde es *zuerst* angelagert. Das Proton wird an das OH^- angelagert ($\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$)

Die Base OH^- "zoppelt" an einem H-Atom: Die Bindung zu einem H-Atom wird bereits geschwächt



- Die beiden Schritte ① und ② können auch mehr oder weniger zeitgleich ablaufen: Noch bevor ① beendet ist, beginnt schon ②:



Q: wikicommons

- Die Base ist das OH^- . Sie kann das entstehende Proton abfangen: $\text{OH}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
- In welchem Ausmaß ① und ② gleichzeitig konzertiert ablaufen, oder abgestuft hintereinander, lässt sich nicht pauschal sagen. Alle Schattierungen zwischen absoluter Gleichzeitigkeit und vollständiger zeitlicher Abstufung sind möglich.

c) Wenn sich das Carbokation bildet bzw. bei der Abspaltung des Cl^- , kann das Molekül durch das Nucleophil H_2O angegriffen werden. Statt einer Eliminierung und der Bildung einer Doppelbindung, kommt es zu einer Anlagerung von H_2O :

Vs. 2023-06-26

