

## 2.1. Alkane

### 2.1.1. Abgrenzung der organischen Chemie

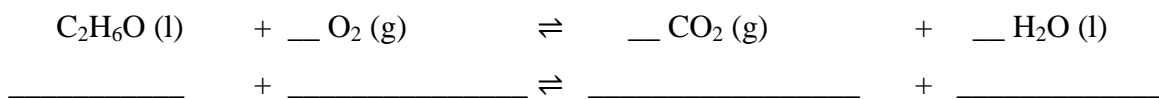
Als \_\_\_\_\_ **Verbindungen** bezeichnet man seit **Berzelius** (1807) Verbindungen der **belebten Natur** (\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, ...), die sich zunächst nicht im Labor herstellen ließen. Demgegenüber standen die \_\_\_\_\_ **Verbindungen** aus der **unbelebten Natur** (\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_), die aufgrund ihrer geringen Flüchtigkeit und besseren Wasserlöslichkeit leichter zu untersuchen und herzustellen waren.

Die organischen Verbindungen zeichnen sich durch einige **typische Eigenschaften** aus:

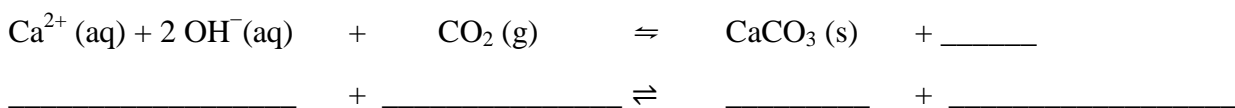
1. **Versuch:** Untersuchung von \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_ auf \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_  
Organische Verbindungen sind meist \_\_\_\_\_ (charakteristischer Geruch!), \_\_\_\_\_ und häufig \_\_\_\_\_.

2. **Versuch:** Verbrennung von Ethanol  $C_2H_6O$  im Standzylinder mit Nachweis von Kohlenstoff (Trübung von Kalklauge) und Wasserstoff (Kondenswasser)

**Alle** organischen Verbindungen enthalten **Kohlenstoff** bzw. **Wasserstoff**, die bei der Verbrennung zu \_\_\_\_\_  $CO_2$  bzw. \_\_\_\_\_  $H_2O$  reagieren.



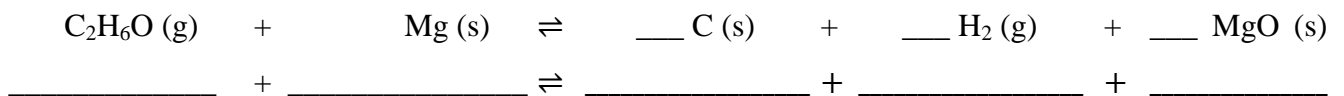
$CO_2$  lässt sich durch **Trübung von** \_\_\_\_\_ nachweisen:



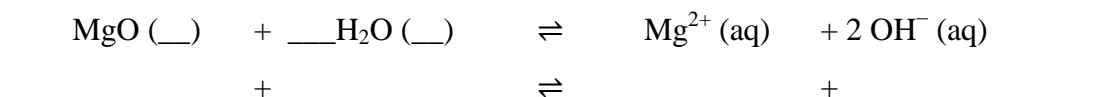
$H_2O$  wird an kalten Glasflächen als \_\_\_\_\_ sichtbar.

3. **Versuch:** Reaktion von Alkoholdampf  $C_2H_6O$  mit Magnesiumband  $Mg$  zu weißem \_\_\_\_\_  
 $MgO$  (Nachweis durch \_\_\_\_\_) und schwarzem \_\_\_\_\_  $C$ .

**Viele** organische Verbindungen enthalten **Sauerstoff**, der beim **Erhitzen unter Luftausschluss** mit Metallen wie z.B. Magnesium zu **Metalloxiden** reagiert, welche mit Wasser \_\_\_\_\_ reagieren:

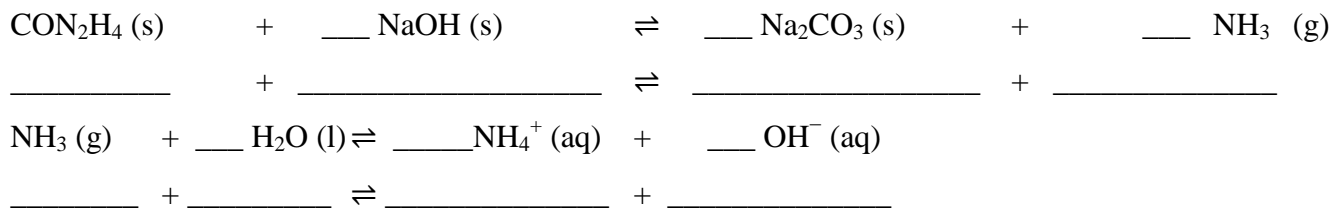


Das Magnesiumoxid bildet mit Wasser \_\_\_\_\_-Ionen  $OH^-$ :



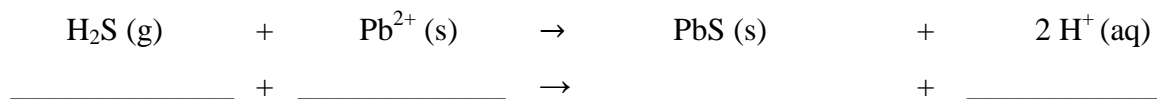
4. **Versuch:** Erwärmen von Harnstoff  $\text{CON}_2\text{H}_4$  mit  $\text{NaOH}$  in RG unter feuchtem Indikatorpapier

**Einige** organische Verbindungen enthalten auch **Stickstoff**, der beim **Erwärmen mit Natriumhydroxid** zu **Ammoniak** reagiert, welches durch den Geruch und Säure-Base-Indikatoren nachgewiesen werden kann:



5. **Versuch:** Erwärmen von Zwiebelstücken mit Bleiacetatpaier

**Einige** organische Verbindungen enthalten auch \_\_\_\_\_ **S**, der beim **Erwärmen** zu \_\_\_\_\_ **H<sub>2</sub>S** reagiert, welches durch den Geruch und Schwärzung von Blei oder Silber nachgewiesen werden kann.



Im Jahr 1828 gelang es **Friedrich Wöhler**, einem **Studenten von \_\_\_\_\_**, durch Erhitzen des anorganischen Salzes Ammoniumcyanat  $\text{NH}_4\text{OCN}$  den organischen \_\_\_\_\_  $\text{CON}_2\text{H}_4$  herzustellen. Damit war die ursprüngliche Definition der organischen Verbindungen überholt und man unterscheidet organische und anorganische Verbindungen heute nach ihrer chemischen Zusammensetzung:

**Definition:**

Die **organische Chemie** ist die Chemie der Kohlenstoffverbindungen mit der (traditionsbedingten) Ausnahme der Kohlensäure und ihrer Salze.

**Ausnahmestellung des Kohlenstoffs:**

1. Kohlenstoff hat \_\_\_\_\_ Außenelektronen in \_\_\_\_\_ Orbitalen und kann daher bis zu \_\_\_\_\_ verschiedene Atome binden, z.B. Fluor-Chlor-Brommethan  $\text{CHFCIBr}$ .
2. Die C-C-Bindung ist sehr stabil, so dass sich große Moleküle mit Gerüsten aus Kohlenstoff-Ketten und -Ringen bilden können, z.B. Decan  $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$  oder Cyclohexan  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ .
3. Kohlenstoff kann innerhalb der Ketten und Ringe stabile Doppel- und Dreifachbindungen bilden.

Alle anderen Elemente haben zuviel bzw. zuwenig Außenelektronen (B, N, O) oder bilden aufgrund ihres Umfangs weniger stabile Einfachbindungen und keine Mehrfachbindungen untereinander aus (Si, P, S)

In der anorganischen Chemie übernimmt Silizium Si die Rolle des Kohlenstoffs. Es bindet ebenfalls \_\_\_ Atome, kann aufgrund seiner Größe aber keine \_\_\_\_\_bindungen eingehen. Si bildet daher mit Sauerstoff O<sub>2</sub> im Gegensatz zu CO<sub>2</sub> dreidimensionale \_\_\_\_\_ der Grundzusammensetzung SiO<sub>2</sub> (Quarz), aus denen durch Einlagerung beliebiger Elemente die gewaltige Vielfalt der \_\_\_\_\_ entsteht. (siehe rechts)



Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 1

## 2.1.2. Die homologe Reihe der Alkane

**Alkane** enthalten neben C-H-Bindungen nur C-C-Einfachbindungen. Da die Kohlenstoffatome dieser Verbindungen die maximal mögliche Anzahl von \_\_\_\_\_atomen gebunden haben, bezeichnet man sie auch als **gesättigte Kohlenwasserstoffe**.

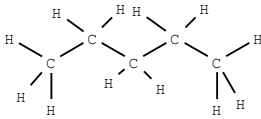
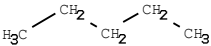
**Beispiele:**

Alkan	Formel	Fp.in °C	Sp. in °C	Aggregatz. bei 20 °C	Dichte in g/ml	Alkylrest	Formel
Methan	CH <sub>4</sub>	-182,6	-161,7			Methyl	CH <sub>3</sub> -
Ethan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	-183,3	-88,6			Ethyl	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> -
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-187,1	-42,2				
Butan		-135,8	-0,5				
Pentan		-129,7	36,1		0,626	...	...
Hexan		-94,1	68,7		0,695		
Heptan		-90,5	98,4		0,684		
Octan		-56,8	125,6		0,703		
Nonan		-53,7	150,7		0,718		
Decan		-29,7	174,1		0,730		
...	...	...	...	...			...
Hexadecan		18,1	287,1		0,775	...	...
Heptadecan		22,1	303,1		0,780	...	...
...	...	...	...	...			...

## Bemerkungen

1. Alkane haben die allgemeine Formel  $C_nH_{2n+2}$  mit  $n \geq 1$  und bilden eine **homologe Reihe**. Aufeinanderfolgende Glieder einer homologen Reihe unterscheiden sich nur durch eine  $-CH_2-$ -Gruppe voneinander.
2. Organische Moleküle sind häufig aus Alkanketten aufgebaut, bei denen nur an der Verbindungsstelle zur Hauptkette oder sonstigen Atomgruppe ein  $-CH_2-$ -Atom fehlt. Diese Seitenketten nennt man **Alkylreste**.
3. Die Verbindungen einer homologen Reihe zeigen **chemische und physikalische Eigenschaften**, die sich mit steigender Kettenlänge nur allmählich ändern.

## Darstellung organischer Moleküle durch Struktur-, Halbstruktur oder Summenformeln:

<b>Strukturformel:</b>		
		
<b>Halbstrukturformel:</b>	$H_3CCH_2CH_2CH_2CH_3$	
	$H_3C(CH_2)_3CH_3$	
<b>Summenformel:</b>	$C_5H_{12}$	$C_6H_{14}$

Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 2

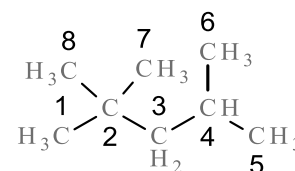
### 2.1.3. Verzweigte Alkane und Isomerie

Verbindungen mit gleicher Summenformel, die sich in ihrer Struktur unterscheiden, nennt man **Isomere**.

#### Nomenklatur verzweigter Moleküle:

1. Die längste Kohlenstoffkette bildet den Stammnamen
2. Die Kette wird so nummeriert, dass das erste verzweigte C-Atom eine möglichst kleine Nummer erhält.
3. Die Position der jeweiligen Alkylgruppe (Seitenkette) wird durch vorangestellte Ziffern gekennzeichnet. Tritt die gleiche Alkylgruppe mehrfach auf, so wird das entsprechende griechische Zahlwort (mono, di, tri, tetra, penta, u.s.w. ) vorangestellt:

**Beispiel:** 2,2,4-Trimethylpentan (Isooctan) dient als Vergleichssubstanz für die Klopfneigung (Neigung zum vorzeitigen Zünden) von Treibstoffgemischen für Ottomotoren und hat die Oktanzahl 100. Je größer die Oktanzahl, desto geringer ist die Klopfneigung des entsprechenden Stoffes. Beispiele sind Hexan mit OZ = 26 und Benzol mit OZ = 106.



Man unterscheidet **primäre**, **sekundäre**, **tertiäre** und **quartäre** C-Atome nach der Zahl der benachbarten C-Atome:

$C_1$  und  $C_5$ : \_\_\_\_\_,  $C_4$ : \_\_\_\_\_,  $C_3$ : \_\_\_\_\_ und  $C_2$ : \_\_\_\_\_.

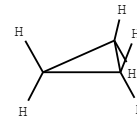
Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 3 - 5

## 2.1.4. Cycloalkane und Ringspannung

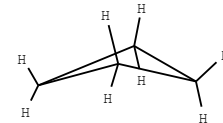
Die vier benachbarten Atome eines C-Atoms ordnen sich idealerweise im maximalen Abstand zueinander auf den Ecken eines Tetraeders im Winkel von  $109,5^\circ$  zueinander an ( $sp^3$ -Hybridisierung). In ringförmigen (**cyclischen**) Verbindungen kann dieser ideale Bindungswinkel nicht immer eingehalten werden, was zu **Ringspannungen** und instabilen bzw. reaktiven Bindungen führt. Um die Ringspannung zu vermindern, sind in allen Ringsystemen bis auf Cyclopropan Teile des Ringes aus der Ringebene herausgedreht. Kann ein Molekül durch Drehen um die C-C-Einfachbindungen verschiedene räumliche Anordnungen annehmen, so spricht man auch von **Konformationen**.

**Beispiele:** (mit Molekülbaukasten nachbauen und Ringspannung minimieren)

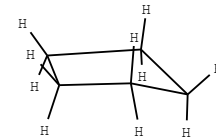
**Cyclopropan:** C-C-Bindungswinkel  $60^\circ$  planar:



**Cyclobutan:** C-C-Bindungswinkel  $90^\circ$  planar und  $\sim 100^\circ$  gefaltet:



**Cyclopentan:** C-C-Bindungswinkel  $108^\circ$  planar und  $\sim 109^\circ$  gefaltet:



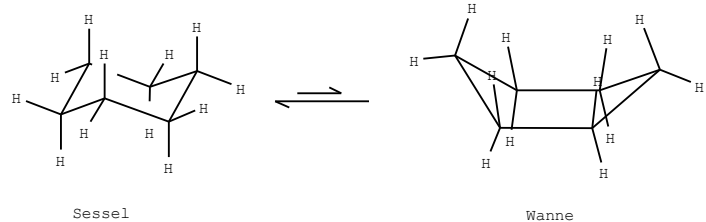
**Cyclohexan:**

C-C-Bindungswinkel  $120^\circ$  planar und  $109,5^\circ$  gefaltet in **Sessel-** oder **Wannenkonformation**:

Die **Wannenform** ist bei Raumtemperatur kaum vertreten, da

- die **gegenüberliegenden** H-Atome von  $C_1$  und  $C_4$
- die **benachbarten** H-Atome von  $C_2$  und  $C_3$  sowie  $C_5$  und  $C_6$

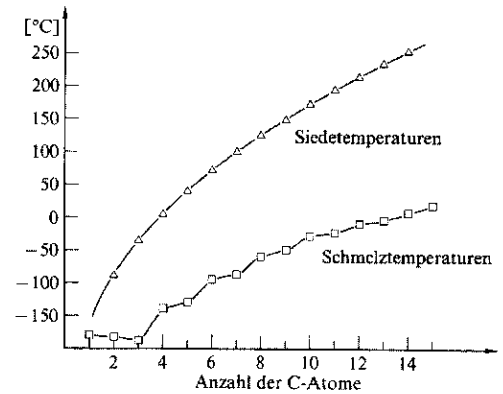
sich gegenseitig **abstoßen** und das Molekül zurück in die Sesselform drängen.



*Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 6*

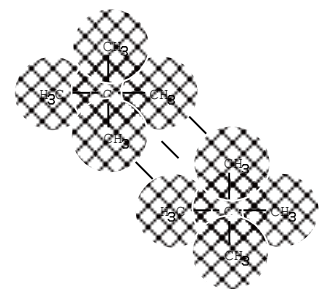
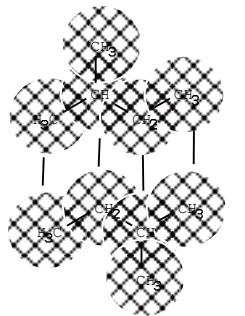
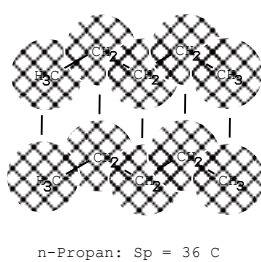
## 2.1.5. Physikalische Eigenschaften

Trotz der EN-Differenz von  $\Delta EN = \underline{\hspace{2cm}}$  zwischen C- und H-Atomen zeigen die Alkane keinerlei **Dipol-Dipol-Kräfte**, da sich die                      Teilladungen der H-Atome vollkommen gleichmäßig um die                      Teilladungen der C-Atome verteilen. Die Alkane sind daher völlig **unpolar**, lösen sich nur in                      **Lösungsmitteln** und haben                      **Schmelz- und Siedepunkte**.



Mit **steigender Kettenlänge** nehmen die **van-der-Waals-Kräfte**                     , wodurch die Schmelz- und Siedepunkte                     .

Mit **zunehmendem Verzweigungsgrad** nehmen die Oberfläche und damit auch die                     -Kräfte und infolgedessen die Siedepunkte                     :



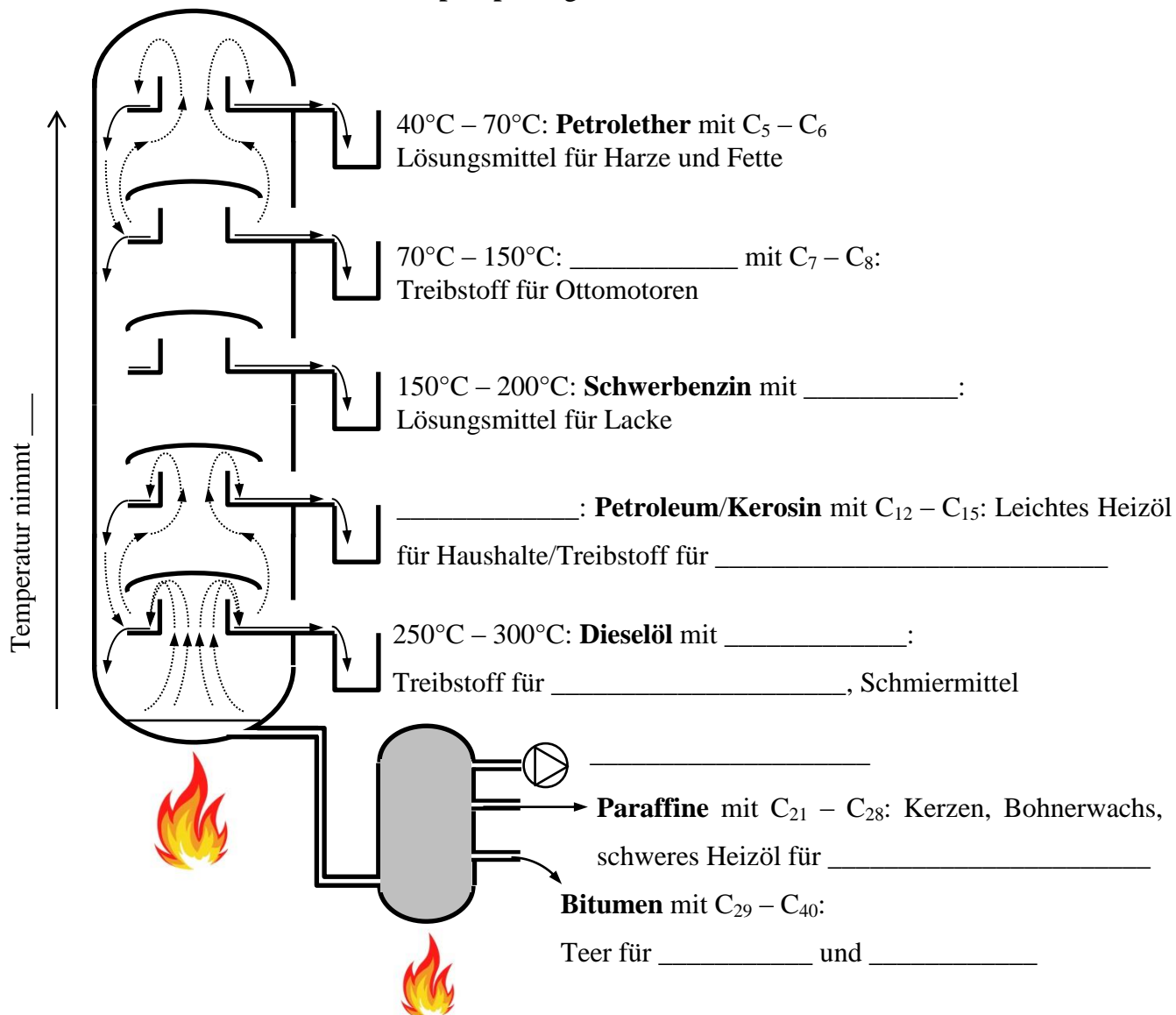
Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 7

## 2.1.6. Gewinnung und Verwendung

Alkane sind die Hauptbestandteile des **Erdöls** und des **Erdgases**, die in großen Mengen z.B. unter der                      lagern. Ihre Entstehung ist vermutlich auf Schichten abgestorbener **Meereslebewesen** (Plankton) zurückzuführen, die unter dem                      des Wassers und anderer Sedimente im Laufe der Jahrmillionen zu Kohlenwasserstoffen **kondensierten**. Dabei wurden die übrigen in organischen Stoffen vorhandenen Elemente                     ,                      und                      in Form von leichtflüchtigen **Wasserstoffverbindungen** wie                      H<sub>2</sub>O,                      NH<sub>3</sub> und                      H<sub>2</sub>S abgegeben.

Die **Trennung** der Alkane erfolgt durch **fraktionierte Destillation** des Rohöls. In den **Glockenböden** des **Destillationsturms** kondensieren in zunehmender Höhe und                      Temperatur Fraktionen (Bruchteile) mit                      Siedebereichen und                      Kettenlängen.

Sehr langkettige Alkane zersetzen sich vor Erreichen des Siedepunktes, weil die Van-der-Waals-Kräfte größer sind als die Bindungskräfte. Daher wird der Rückstand durch **Vakuumdestillation** in einem zweiten Destillationsturm mit **Vakuumpumpe** aufgetrennt:



Übungen: Aufgaben zu Alkanen. ....

### 2.1.7. Radikalische Substitution $S_R$

Alkane reagieren aufgrund ihres **unpolaren** Charakters nicht mit \_\_\_\_\_ Verbindungen wie z.B. Säuren, Basen oder Salzen. Auch gegenüber sehr aggressiven Verbindungen wie konz  $H_2SO_4$ , konz  $NaOH$ ,  $KMnO_4$  oder  $H_2O_2$  sind Alkane beständig. Man nennt sie daher auch **Paraffine** (parum affinum = wenig zugeneigt). Nur mit \_\_\_\_\_ und sehr reaktiven Halogen- oder Sauerstoffradikalen werden Verbindungen gebildet.

**Versuch: Bromierung von Hexan**

**Durchführung:**

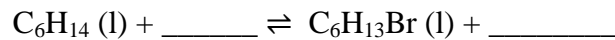
5 ml Hexan werden mit  $Br_2$ -Lösung versetzt und \_\_\_\_\_. Über der Lösung wird ein feuchtes \_\_\_\_\_ angebracht. Anschließend wird Silbernitrat-Lösung  $AgNO_3$  (aq) dazugegeben.

**Beobachtung:**

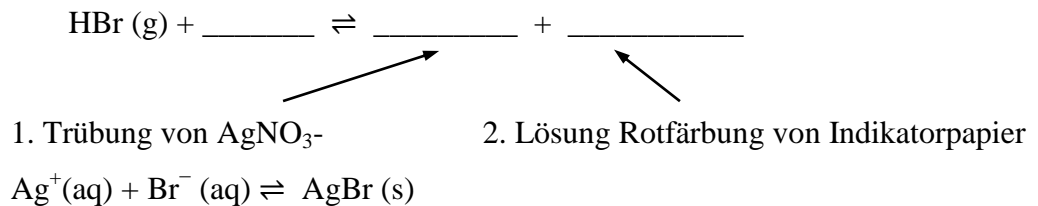
1. Es entstehen \_\_\_\_\_, die das Indikatorpapier \_\_\_\_\_ färben.
2. Die  $\text{AgNO}_3$ -Lösung \_\_\_\_\_

**Erklärung:**

Hexan reagiert mit Brom unter Lichteinwirkung zu Bromhexan und Bromwasserstoff:



Der Bromwasserstoff reagiert mit Wasser zu Bromid-Ionen  $\text{Br}^-$  und Oxonium-Ionen  $\text{H}_3\text{O}^+$ :

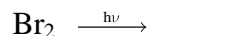


**Mechanismus:** Die Reaktion wird als **radikalische Substitution  $\text{S}_\text{R}$**  bezeichnet: **Substitution** bedeutet \_\_\_\_\_ und **Radikale** sind Moleküle mit einzelnen Elektronen in halbbesetzten \_\_\_\_\_. Sie sind extrem reaktionsfreudig, krebserregend und \_\_\_\_\_. Das wichtigste Beispiel ist der **Luftsauerstoff**, der im Widerspruch zu den (menschlichen) Bindungsregeln keine Doppelbindung eingeht, sondern ein **Diradikal** bildet:

Der menschliche Körper benötigt spezielle **Enzyme** und außerdem laufend pflanzliche \_\_\_\_\_ („Radikalfänger“) um die durch dieses extrem reaktive Abbauprodukt der pflanzlichen \_\_\_\_\_-synthese hervorgerufenen Schäden zu beheben.

Es handelt sich um eine **Kettenreaktion**, bei der ein **einziges Radikal** die vollständige Umsetzung der Edukte auslösen kann, da alle weiteren benötigten Radikale im Verlauf der Reaktion produziert werden:

**(1)Startreaktion:** Spaltung von Halogenmolekülen in Radikale durch Lichteinwirkung:



**(2)Kettenfortsetzung:**

- a) Ein Halogenradikal reagiert mit dem Alkan zu Halogenwasserstoff und einem Alkylradikal:



- b) Das Alkylradikal reagiert mit einem weiteren Halogenmolekül zu Halogenalkan und einem neuen Halogenradikal:

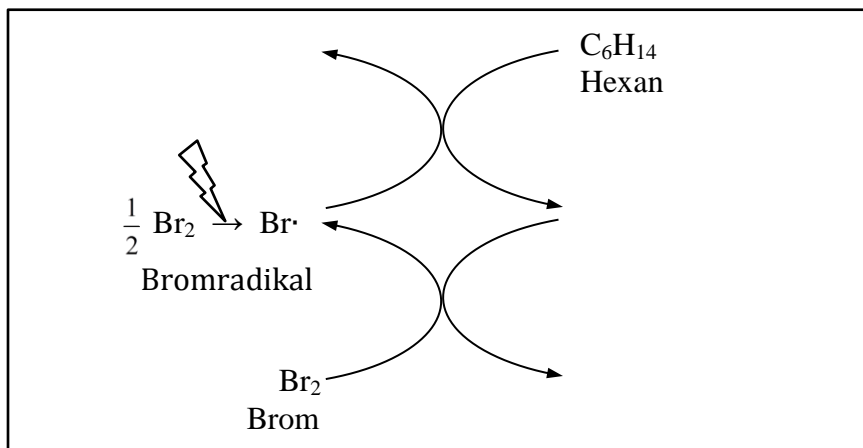


**(3)Kettenabbruch:** Zwei beliebige Radikale reagieren miteinander ohne ein neues Radikal zu bilden:





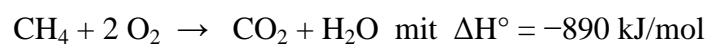
## Zusammenfassung:



Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 9

### 2.1.8. Oxidation mit Luftsauerstoff

Es handelt sich ebenfalls um eine **radikalische Kettenreaktion**, die im Gegensatz zur radikalischen Substitution auch im Dunkeln anläuft, da die Sauerstoffmoleküle bereits radikalischen Charakter besitzen und direkt mit Methan reagieren können.



Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 10

## 2.1. Alkane

### 2.1.1. Abgrenzung der organischen Chemie

**Fragen zu youtube: jöns jakob berzelius:** [https://youtu.be/Lb1Wb\\_vq31k](https://youtu.be/Lb1Wb_vq31k)

- Welchen Beruf übte Jöns Jakob Berzelius aus? Arzt
- Welche unentgeltliche Nebentätigkeit wurde von ihm erwartet? Behandlung der Armen vor dem Stadttor
- Wo richtete er sein erstes Labor ein? In seiner Küche
- Welche Experimente führte er dort durch? Reindarstellung aller bekannten chemischen Elemente, Elektrolyse
- Welche Elemente entdeckte er? Cer, Silizium und Thorium
- Wie erleichterte und vereinfachte er die Beschreibung von Reinstoffen? Formelschreibweise mit Buchstaben, z.B. H<sub>2</sub>O.

Als **organische Verbindungen** bezeichnet man seit **Berzelius** (1807) Verbindungen der **belebten Natur** (Pflanzen, Tiere, Pilze, usw.), die sich zunächst nicht im Labor herstellen ließen. Demgegenüber standen die **anorganischen Verbindungen** aus der **unbelebten Natur** (Mineralien, Salze), die aufgrund ihrer geringen Flüchtigkeit und besseren Wasserlöslichkeit leichter zu untersuchen und herzustellen waren.

Die organischen Verbindungen zeichnen sich durch einige **typische Eigenschaften** aus:

- Verkohlen von Zucker und Mehl, Verbrennen von Hexan, Löslichkeit in Wasser*  
Organische Verbindungen sind meist **flüchtig** (charakteristischer Geruch!), **brennbar** und häufig **wasserunlöslich**.
- Verbrennung von Ethanol C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O im Standzylinder mit Nachweis von Kohlenstoff (Trübung von Kalklauge) und Wasserstoff (Kondenswasser)*  
Alle organischen Verbindungen enthalten **Kohlenstoff** bzw. **Wasserstoff**, die bei der Verbrennung zu **Kohlenstoffdioxid** CO<sub>2</sub> bzw. **Wasser** H<sub>2</sub>O reagieren:  
$$\text{C}_2\text{H}_6\text{O} (\text{l}) + 3 \text{O}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{CO}_2 (\text{g}) + 3 \text{H}_2\text{O} (\text{l})$$
$$\text{Ca}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{OH}^- (\text{aq}) + \text{CO}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 (\text{s}) + \text{H}_2\text{O}$$

Kalklauge + Kohlenstoffdioxid  $\rightleftharpoons$  Calciumcarbonat (Kalk) + Wasser

H<sub>2</sub>O wird an kalten Glasflächen als **Kondenswasser** sichtbar.
- Reaktion von Alkoholdampf C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O (hinten im schwerschmelzbaren RG an Sand gebunden) mit Magnesiumband Mg (mit HCl und Stahlwalle blank poliert und aufgewendelt in der Mitte des RG) zu weißem Magnesiumoxid MgO (Nachweis durch Universalindikator) und schwarzem Kohlenstoff C. Das RG muss vorher mit Stickstoff gespült und mit einer Glasdüse mit Rückschlagsicherung versehen werden!*  
**Viele** organische Verbindungen enthalten **Sauerstoff**, der beim **Erhitzen unter Luftausschluß** mit Metallen wie z.B. Magnesium zu **Metalloxiden** reagiert, welche mit Wasser **basisch** reagieren:  
$$\text{C}_2\text{H}_6\text{O} (\text{g}) + \text{Mg} (\text{s}) \rightleftharpoons 2 \text{C} (\text{s}) + 3 \text{H}_2 (\text{g}) + 1 \text{MgO} (\text{s})$$

Ethanol + Magnesium  $\rightleftharpoons$  Kohlenstoff + Wasserstoff + Magnesiumoxid

Das Magnesiumoxid bildet mit Wasser **Hydroxid-Ionen** OH<sup>-</sup>:  
$$\text{MgO} (\text{s}) + 1 \text{H}_2\text{O} (\text{g}) \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{OH}^- (\text{aq})$$

Magnesiumoxid + Wasser  $\rightleftharpoons$  Magnesium-Ionen + Hydroxid-Ionen
- Erwärmen von Harnstoff CON<sub>2</sub>H<sub>4</sub> mit NaOH-Plätzchen in RG unter feuchtem Indikatorpapier*  
**Einige** organische Verbindungen enthalten auch **Stickstoff**, der beim **Erwärmen mit Natriumhydroxid** zu **Ammoniak** reagiert, welches durch den Geruch und Säure-Base-Indikatoren nachgewiesen werden kann:  
$$\text{CON}_2\text{H}_4 (\text{s}) + 2 \text{NaOH} (\text{s}) \rightleftharpoons 1 \text{Na}_2\text{CO}_3 (\text{s}) + 2 \text{NH}_3 (\text{g})$$

Harnstoff + Natriumhydroxid  $\rightleftharpoons$  Natriumcarbonat (Soda) + Ammoniak

$$\text{NH}_3 (\text{g}) + 1 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightleftharpoons 1 \text{NH}_4^+ (\text{aq}) + 1 \text{OH}^- (\text{aq})$$

Ammoniak + Wasser  $\rightleftharpoons$  Ammonium + Hydroxid
- Erwärmen von Zwiebelstücken mit Bleiacetatpaier*  
**Einige** organische Verbindungen enthalten auch **Schwefel S**, der beim **Erwärmen** zu **Schwefelwasserstoff H<sub>2</sub>S** reagiert, welches durch den Geruch und Schwärzung von Blei oder Silber nachgewiesen werden kann.  
$$\text{H}_2\text{S} (\text{g}) + \text{Pb}^{2+} (\text{s}) \rightarrow \text{PbS} (\text{s}) + 2 \text{H}^+ (\text{aq})$$

Schwefelwasserstoff + Blei-Ionen  $\rightarrow$  Bleisulfid (schwarz) + Oxonium-Ionen

Im Jahr 1828 gelang es **Friedrich Wöhler**, einem Studenten von Berzelius, durch Erhitzen des anorganischen Salzes Ammoniumcyanat NH<sub>4</sub>OCN den organischen **Harnstoff** OC(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> herzustellen. Damit war die ursprüngliche Definition der organischen Verbindungen überholt und man unterscheidet organische und anorganische Verbindungen heute nach ihrer chemischen Zusammensetzung:

**Definition:**

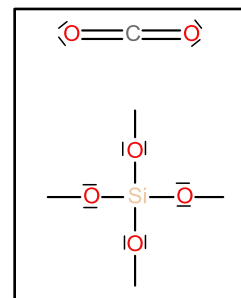
Die **organische Chemie** ist die Chemie der Kohlenstoffverbindungen mit der (traditionsbedingten) Ausnahme der Kohlensäure und ihrer Salze.

**Ausnahmestellung des Kohlenstoffs:**

1. Kohlenstoff hat vier Außenelektronen in vier Orbitalen und kann daher bis zu vier verschiedene Atome binden, z.B. Fluor-Chlor-Brommethan CHFCIBr.
2. Die C-C-Bindung ist sehr stabil, so dass sich große Moleküle mit Gerüsten aus Kohlenstoff-Ketten und -Ringen bilden können, z.B. Decan C<sub>10</sub>H<sub>22</sub> oder Cyclohexan C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>.
3. Kohlenstoff kann innerhalb der Ketten und Ringe stabile Doppel- und Dreifachbindungen bilden.

Alle anderen Elemente haben zu viele bzw. zu wenig Außenelektronen (B, N, O) oder bilden aufgrund ihres Umfangs weniger stabile Einfachbindungen und keine Mehrfachbindungen untereinander aus (Si, P, S)

In der anorganischen Chemie übernimmt Silizium Si die Rolle des Kohlenstoffs. Es bindet ebenfalls **4** Atome, kann aufgrund seiner Größe aber keine **Mehrfachbindungen** eingehen. Si bildet daher mit Sauerstoff O<sub>2</sub> im Gegensatz zu CO<sub>2</sub> dreidimensionale **Gitter** der Grundzusammensetzung SiO<sub>2</sub> (Quarz), aus denen durch Einlagerung beliebiger Elemente die gewaltige Vielfalt der **Mineralien** entsteht. (siehe rechts)



Übungen: Aufgaben zu Alkanen Aufgabe 1

**2.1.2. Die homologe Reihe der Alkane**

gasförmige und feste Alkane vergleichen, Geruch nach Benzin und Brennbarkeit überprüfen

**Alkane** enthalten neben C-H-Bindungen nur C-C-Einfachbindungen. Da die Kohlenstoffatome dieser Verbindungen die maximal mögliche Anzahl von Wasserstoffatomen gebunden haben, bezeichnet man sie auch als **gesättigte Kohlenwasserstoffe**.

**Beispiele:**

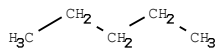
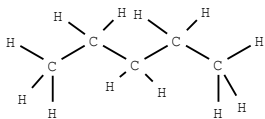
Alkan	Formel	Fp. in °C	Sp. in °C	Aggregatz. bei 20 °C	Dichte in g/ml	Alkylrest	Formel
Methan	CH <sub>4</sub>	-182,6	-161,7	gasförmig		Methyl	CH <sub>3</sub> -
Ethan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	-183,3	-88,6	gasförmig		Ethyl	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> -
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-187,1	-42,2	gasförmig		Propyl	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> -
Butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-135,8	-0,5	gasförmig		Butyl	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> -
Pentan	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-129,7	36,1	flüssig	0,626	...	...
Hexan	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	-94,1	68,7	flüssig	0,695		
Heptan	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	-90,5	98,4	flüssig	0,684		
Octan	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-56,8	125,6	flüssig	0,703		
Nonan	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	-53,7	150,7	flüssig	0,718		
Decan	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-29,7	174,1	flüssig	0,730		
...	...	...	...	...			...
Hexadecan	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	18,1	287,1	flüssig	0,775	...	...
Heptadecan	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	22,1	303,1	fest	0,780	...	...
...	...	...	...	...			...

**Bemerkungen**

1. Alkane haben die allgemeine Formel C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub> mit n ≥ 1 und bilden eine **homologe Reihe**. Aufeinanderfolgende Glieder einer homologen Reihe unterscheiden sich nur durch eine CH<sub>2</sub>-Gruppe voneinander.
2. Organische Moleküle sind häufig aus Alkanketten aufgebaut, bei denen nur an der Verbindungsstelle zur Hauptkette oder sonstigen Atomgruppe ein H-Atom fehlt. Diese Seitenketten nennt man **Alkylreste**.
3. Die Verbindungen einer homologen Reihe zeigen **ähnliche chemische und physikalische Eigenschaften**, die sich mit steigender Kettenlänge nur allmählich ändern.

## Darstellung organischer Moleküle durch Struktur-, Halbstruktur oder Summenformeln:

Strukturformel:



Halbstrukturformel:



Summenformel:



Übungen: Aufgaben zu Alkanen Aufgabe 2

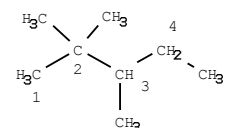
### 2.1.3. Verzweigte Alkane und Isomerie

Verbindungen mit gleicher Summenformel, die sich in ihrer Struktur unterscheiden, nennt man **Isomere**.

**Nomenklatur verzweigter Moleküle:**

1. Die längste Kohlenstoffkette bildet den Stammnamen
2. Die Kette wird so nummeriert, dass das erste verzweigte C-Atom eine möglichst niedrige Nummer erhält:
3. Die Position der jeweiligen Alkylgruppe (Seitenkette) wird durch vorangestellte Ziffern gekennzeichnet. Tritt die gleiche Alkylgruppe mehrfach auf, so wird das entsprechende griechische Zahlwort (mono, di, tri, tetra, penta, u.s.w. ) vorangestellt:

**Beispiel:** 2,2,4-Trimethylpentan (Isooctan) dient als Vergleichssubstanz für die Klopfneigung (Neigung zum vorzeitigen Zünden) von Treibstoffgemischen für Ottomotoren und hat die Oktanzahl 100. Je größer die Oktanzahl, desto geringer ist die Klopfneigung des entsprechenden Stoffes. Beispiele sind Hexan mit OZ = 26 und Benzol mit OZ = 106.



Man unterscheidet **primäre, sekundäre, tertiäre** und **quartäre** C-Atome nach der Zahl der benachbarten C-Atome: C<sub>1</sub> und C<sub>5</sub> sind primäre, C<sub>4</sub> ein sekundäres, C<sub>3</sub> ein tertiäres und C<sub>2</sub> ein quartäres C-Atom.

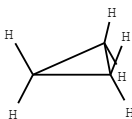
Übungen: Aufgaben zu Alkanen Aufgaben 3 - 5

### 2.1.4. Cycloalkane und Ringspannung

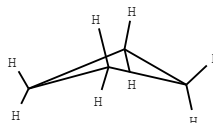
Die vier benachbarten Atome eines C-Atoms ordnen sich idealerweise im maximalen Abstand zueinander auf den Ecken eines Tetraeders im Winkel von 109,5° zueinander an (sp<sup>3</sup>-Hybridisierung). In ringförmigen (**cyclischen**) Verbindungen kann dieser ideale Bindungswinkel nicht immer eingehalten werden, was zu **Ringspannungen** und instabilen bzw. reaktiven Bindungen führt. Um die Ringspannung zu vermindern, sind in allen Ringsystemen bis auf Cyclopropan Teile des Ringes aus der Ringebene herausgedreht. Kann ein Molekül durch Drehen um die C-C-Einfachbindungen verschiedene räumliche Anordnungen annehmen, so spricht man auch von **Konformationen**.

**Beispiele:** (mit Molekülbaukasten nachbauen und Ringspannung minimieren)

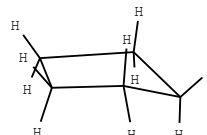
**Cyclopropan:** C-C-Bindungswinkel 60° planar



**Cyclobutan:** C-C-Bindungswinkel 90° planar und ~100° gefaltet



**Cyclopentan:** C-C-Bindungswinkel 108° planar und ~109° gefaltet

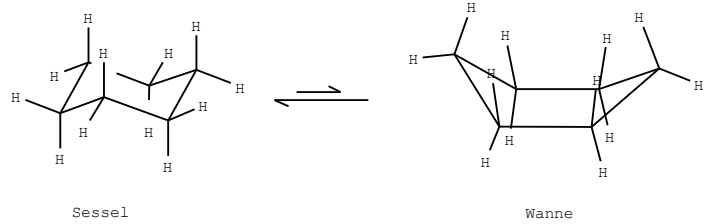


**Cyclohexan:** C-C-Bindungswinkel 120° planar und 109,5° gefaltet in **Sessel-** oder **Wannenkonformation:**

Die **Wannenform** ist bei Raumtemperatur kaum vertreten, da

- die **gegenüberliegenden H-Atome** von C<sub>1</sub> und C<sub>4</sub>
- die **benachbarten H-Atome** von C<sub>2</sub> und C<sub>3</sub> sowie C<sub>5</sub> und C<sub>6</sub>

sich gegenseitig **abstoßen** und das Molekül zurück in die Sesselform drängen.



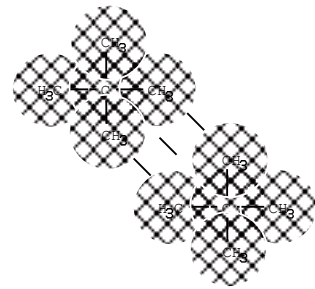
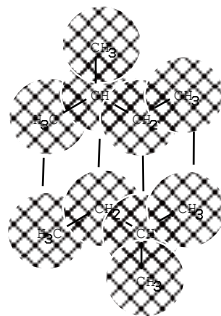
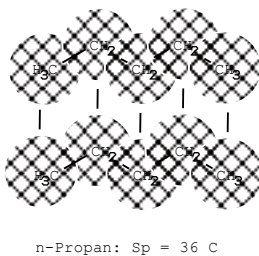
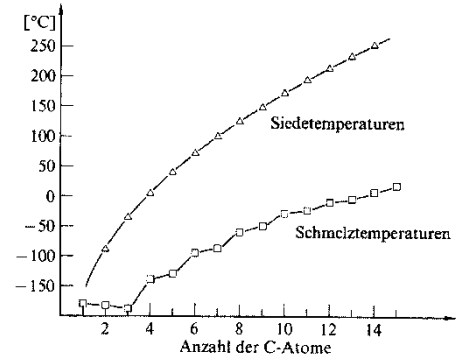
Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 6

### 2.1.5. Physikalische Eigenschaften

Trotz der EN-Differenz von  $\Delta EN = 0,4$  zwischen C- und H-Atomen zeigen die Alkane keinerlei **Dipol-Dipol-Kräfte**, da sich die **positiven** Teilladungen der H-Atome vollkommen gleichmäßig um die **negativen** Teilladungen der C-Atome verteilen. Die Alkane sind daher völlig **unpolar**, lösen sich nur in **unpolaren Lösungsmitteln** und haben **geringe Schmelz- und Siedepunkte**.

Mit **steigender Kettenlänge** nehmen die **van-der-Waals-Kräfte** zu, wodurch die Schmelz- und Siedepunkte ansteigen:

Mit **zunehmendem Verzweigungsgrad** nehmen die Oberfläche und damit auch die van-der-Waals-Kräfte und infolgedessen die Siedepunkte ab:



Übungen: Aufgaben zu Alkanen Aufgabe 7

### 2.1.6. Gewinnung und Verwendung

Alkane sind die Hauptbestandteile des **Erdöls** und des **Erdgases**, die in großen Mengen z.B. unter der **Nordsee** lagern. Ihre Entstehung ist vermutlich auf Schichten abgestorbener **Meereslebewesen** (Plankton) zurückzuführen, die unter dem **Druck** des Wassers und anderer Sedimente im Laufe der Jahrtausende zu Kohlenwasserstoffen **kondensierten**. Dabei wurden die übrigen in organischen Stoffen vorhandenen Elemente Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel in Form von leichtflüchtigen **Wasserstoffverbindungen** wie Wasser H<sub>2</sub>O, Ammoniak NH<sub>3</sub> und Schwefelwasserstoff H<sub>2</sub>S abgegeben.

Die **Trennung** der Alkane erfolgt durch **fraktionierte Destillation** des Rohöls. In den **Glockenböden** des **Destillationsturms** kondensieren in zunehmender Höhe und abnehmender Temperatur Fraktionen (Bruchteile) mit sinkenden Siedebereichen und zunehmenden Kettenlängen.

Sehr langkettige Alkane zersetzen sich vor Erreichen des Siedepunktes, weil die Van-der-Waals-Kräfte größer sind als die Bindungskräfte. Daher wird der Rückstand durch **Vakuumdestillation** in einem zweiten Destillationsturm mit **Vakuumpumpe** aufgetrennt.

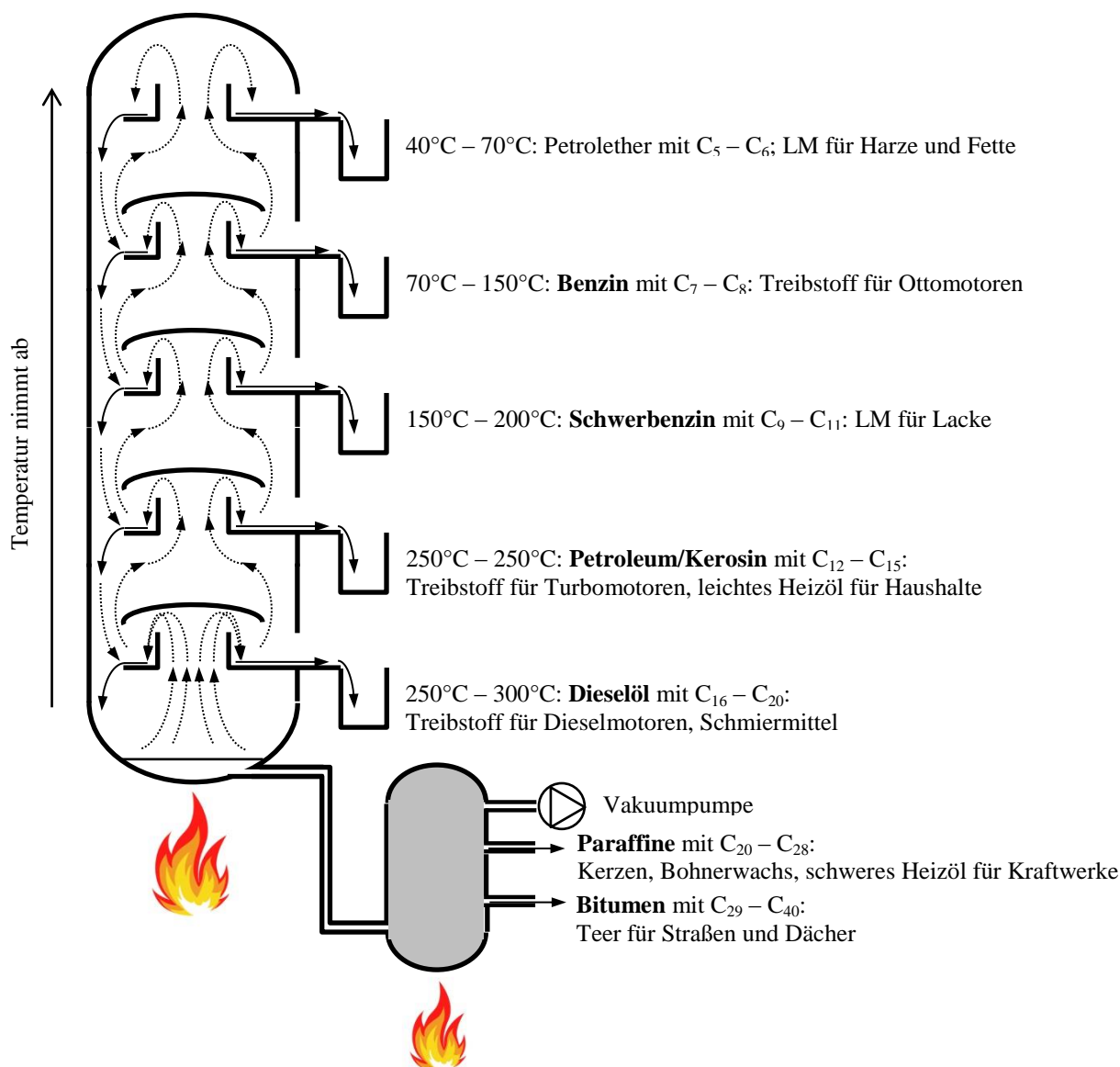
Sendung mit der Maus.

Erdöl part 1 (Grundprinzip, Destillation von Farblösung, 1. Fraktion: Gase) <https://youtu.be/5iah96MyomM>:

Erdöl part 2 (Höhere Fraktionen: Benzin, Diesel, Kerosin, Heizöl, Schweröl, Bitumen) <https://youtu.be/OtjkkStLfm8>

Erdöl part 3 (Cracken von Erdöl) <https://youtu.be/bogVJ2jrsBA>

Reise durch die Ruhr-Öl-Raffinerie in Gelsenkirchen [https://youtu.be/V\\_pKI-W7cP8](https://youtu.be/V_pKI-W7cP8)



### Klopfen und Oktanzahl

Benzin, der wichtigste Motorentreibstoff, ist ein Gemisch, das vor allem Alkane mit fünf bis zehn Kohlenstoff-Atomen enthält. Da der Wirkungsgrad von Benzinmotoren vom Verhältnis von Anfangs- zu Endvolumen des Treibstoff-Luft-Gemisches (**Verdichtungsverhältnis**) abhängt, ist es günstig, ein möglichst hochverdichtetes Gemisch im Motor zur Zündung zu bringen. Hochverdichtete Treibstoff-Luft-Gemische zünden jedoch häufig schon vorzeitig. Diese Erscheinung wird als „**Klopfen**“ bezeichnet und führt nicht nur zu beträchtlichem Energieverlust, sondern auch zu starkem **Motorenverschleiß**. Um hohe Verdichtungen erreichen zu können, ist es notwendig, möglichst „**klopffeste**“ Treibstoffe zu entwickeln.

Als Maß für die Klopfestigkeit eines Benzins wurde die sogenannte **Oktanzahl** eingeführt. Dabei teilte man dem **n-Heptan**, das besonders stark zum Klopfen neigt, die Oktanzahl 0, dem **Isooctan** (2,2,4-Trimethylpentan), das sehr klopffest ist, die Oktanzahl 100 zu (heute sind Stoffe mit Oktanzahlen über 100 bekannt). Um die Oktanzahl eines Treibstoffes festzustellen, testet man seine Klopfestigkeit in einem genormten Einzylindermotor. Verhält sich z. B. ein untersuchter Treibstoff so wie ein Gemisch aus 85 % Isooctan und 15 % n-Heptan, so erhält er die Oktanzahl 85. Die Oktanzahl wurde früher durch Zusatz von so genannten **Antiklopfmitteln**, z. B. **Bleitetraethyl**,  $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ , heraufgesetzt. Da sowohl das Bleitetraethyl als auch seine Verbrennungsprodukte giftig sind, verwendet man heute klopffestere Kohlenwasserstoffgemische und verzichtet auf diesen Zusatz (**bleifreies Benzin**).

Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 8

### 2.1.7. Radikalische Substitution $\text{S}_\text{R}$

1. Reaktion von Stoff, Papier, Eisendraht und Hexan mit konz.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  und konz.  $\text{NaOH}$
2. 5 ml Hexan in 100 ml Erlenmeyerkolben geben und dann 1 ml Brom in Cyclohexan vorsichtig mit Pipette direkt auf die Flüssigkeitsoberfläche geben, um Bromdämpfe zu vermeiden. Auf OHP stellen und entstehende  $\text{HBr}$ -Dämpfe, die aufgrund ihrer großen Dicht direkt über der Flüssigkeitsoberfläche liegen mit feuchtem Indikatorpapier nachweisen. Anschließend  $\text{AgNO}_3$ -Lösung dazugeben, mit Stopfen verschließen und vorsichtig umschwenken

Alkane reagieren aufgrund ihres **unpolaren** Charakters nicht mit polaren Verbindungen wie z.B. Säuren, Basen oder Salzen. Auch gegenüber sehr aggressiven Verbindungen wie konz H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, konz NaOH, KMnO<sub>4</sub> oder H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sind Alkane beständig. Man nennt sie daher auch **Paraffine** (parum affinum = wenig zugeneigt). Nur mit (unpolaren und sehr reaktiven) Halogen- oder Sauerstoffradikalen werden Verbindungen gebildet.

### Versuch: Bromierung von Hexan

#### Durchführung:

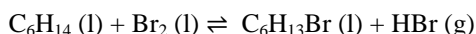
5 ml Hexan werden mit Br<sub>2</sub>-Lösung versetzt und **belichtet**. Über der Lösung wird ein feuchtes **Indikatorpapier** angebracht. Anschließend wird Silbernitrat-Lösung AgNO<sub>3</sub> (aq) dazugegeben.

#### Beobachtung:

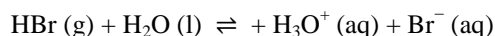
1. Es entstehen **Dämpfe** die das Indikatorpapier **rot** färben.
2. Die AgNO<sub>3</sub>-Lösung **trübt sich weißlich**

#### Erklärung:

Hexan reagiert mit Brom unter Lichteinwirkung zu Bromhexan und Bromwasserstoff:



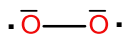
Der Bromwasserstoff reagiert mit zu Wasser Bromid-Ionen Br<sup>-</sup> und Oxonium-Ionen H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>:



1. Rotfärbung von Indikatorpapier

2. Trübung von AgNO<sub>3</sub>-Lösung durch Silberbromid  
 $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Br}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{AgBr} (\text{s})$

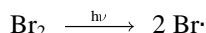
**Mechanismus:** Die Reaktion wird als **radikalische Substitution S<sub>R</sub>** bezeichnet: **Substitution** bedeutet Ersetzung und **Radikale** sind Moleküle mit einzelnen Elektronen in halbbesetzten Orbitalen. Sie sind extrem reaktionsfreudig, krebserregend und giftig. Das wichtigste Beispiel ist der **Luftsauerstoff**, der im Widerspruch zu den (menschlichen) Bindungsregeln keine Doppelbindung eingeht, sondern ein **Diradikal** bildet:



Der menschliche Körper benötigt spezielle **Enzyme** und außerdem laufend **Vitamine** („Radikalfänger“) um die durch dieses extrem reaktive Abbauprodukt der pflanzlichen Photosynthese hervorgerufenen Schäden zu beheben.

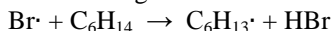
Es handelt sich um eine **Kettenreaktion**, bei der ein **einziges Radikal** die vollständige Umsetzung der kompletten Edukte auslösen kann, da alle weiteren benötigten Radikale im Verlauf der Reaktion selbst produziert werden:

(1) **Startreaktion:** Spaltung von Halogenmolekülen in Radikale durch Lichteinwirkung:

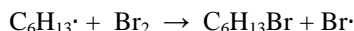


(2) **Kettenfortsetzung:**

a) Ein Halogenradikal reagiert mit dem Alkan zu Halogenwasserstoff und einem Alkylradikal:



b) Das Alkylradikal reagiert mit einem weiteren Halogenmolekül zu Halogenalkan und einem neuen Halogenradikal:



(3) **Kettenabbruch:** Zwei beliebige Radikale reagieren miteinander ohne ein neues Radikal zu bilden:

