

2.1. Alkane

2.1.1. Abgrenzung der organischen Chemie

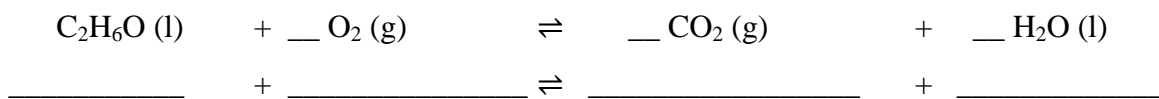
Als _____ **Verbindungen** bezeichnet man seit **Berzelius** (1807) Verbindungen der **belebten Natur** (_____, _____, _____, ...), die sich zunächst nicht im Labor herstellen ließen. Demgegenüber standen die _____ **Verbindungen** aus der **unbelebten Natur** (_____, _____), die aufgrund ihrer geringen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

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

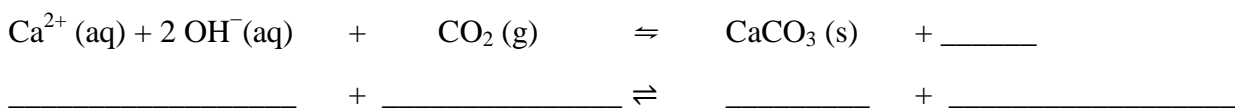
1. **Versuch:** Untersuchung von _____ und _____ auf _____ und _____
Organische Verbindungen sind meist _____ (charakteristischer Geruch!), _____ und häufig _____.

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.



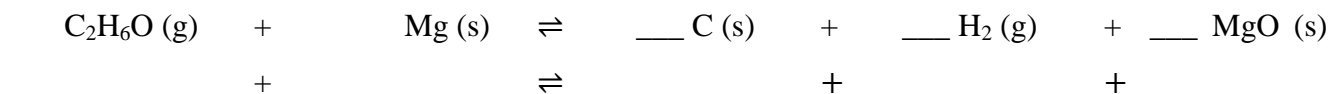
CO_2 lässt sich durch **Trübung von** _____ nachweisen:



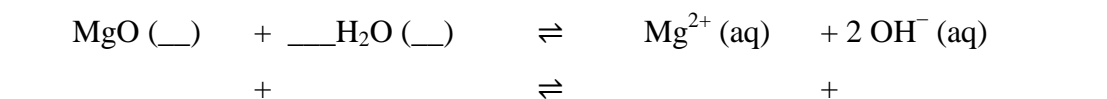
H_2O wird an kalten Glasflächen als _____ sichtbar.

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:

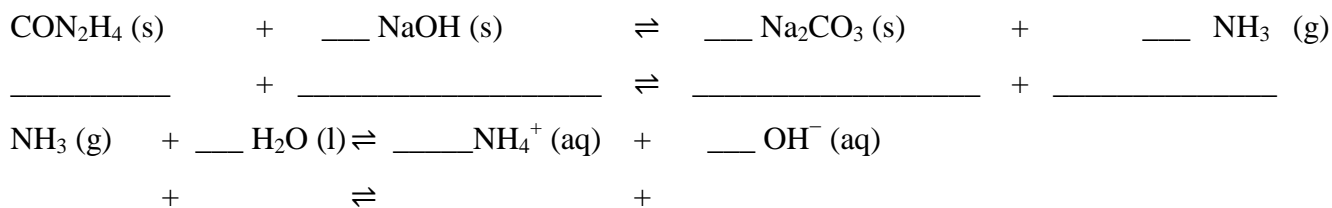


Das Magnesiumoxid bildet mit Wasser _____-Ionen OH^- :



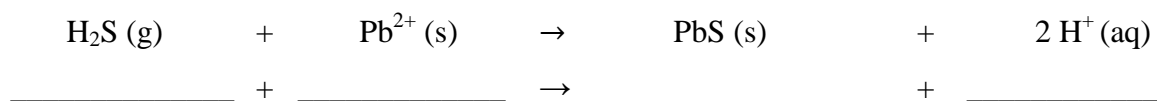
4. **Versuch:** Erwärmen von Harnstoff CON_2H_4 mit NaOH in RG unter feuchtem Indikatorpapier

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 _____ **H₂S** 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 NH_4OCN den organischen _____ CON_2H_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 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 C_6H_{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 O₂ im Gegensatz zu CO₂ dreidimensionale _____ der Grundzusammensetzung SiO₂ (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**.

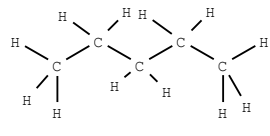
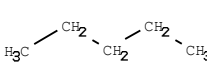
Beispiele:

Alkan	Formel	Fp.in °C	Sp. in °C	Aggregatz. bei 20 °C	Dichte in g/ml	Alkylrest	Formel
Methan	CH ₄	-182,6	-161,7			Methyl	CH ₃ -
Ethan	C ₂ H ₆	-183,3	-88,6			Ethyl	C ₂ H ₅ -
Propan	C ₃ H ₈	-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:

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

Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 2

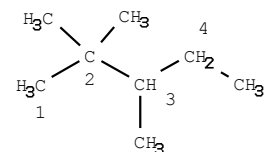
2.1.3. Verzweigte Alkane und Isomerie

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 : _____.

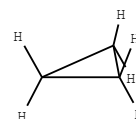
Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 3 - 5

2.1.4. Cycloalkane und Ringspannung

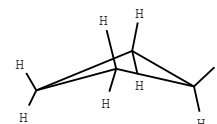
Die vier benachbarten Atome eines C-Atoms ordnen sich idealerweise im maximalen Abstand zueinander auf den Ecken eines Tetraeders im Winkel von $109,5^\circ$ zueinander an (sp^3 -Hybridisierung). In ringförmigen (**cyclischen**) Verbindungen kann dieser ideale Bindungswinkel nicht immer eingehalten werden, 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)

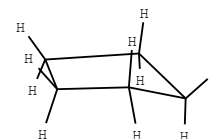
Cyclopropan: C-C-Bindungswinkel 60° planar:



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



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



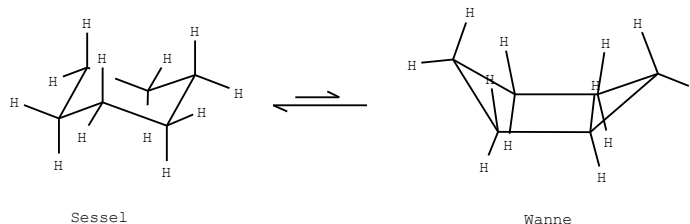
Cyclohexan:

C-C-Bindungswinkel 120° 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

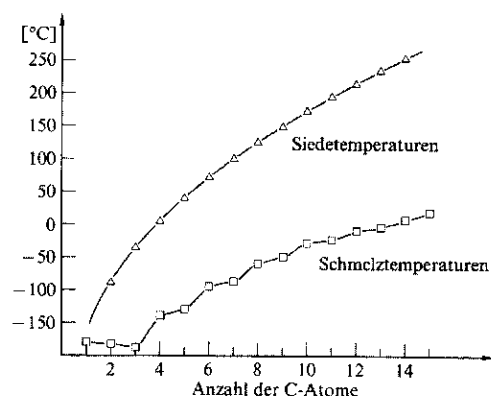
sich gegenseitig **abstoßen** und das Molekül zurück in die Sesselform drängen.



Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 6

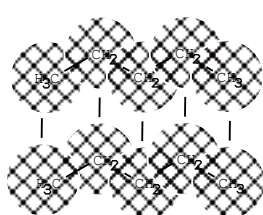
2.1.5. Physikalische Eigenschaften

Trotz der EN-Differenz von $\Delta EN = \text{_____}$ 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**.

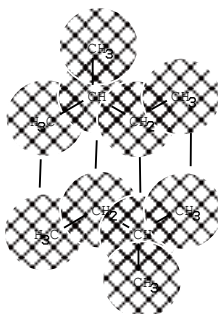


Mit **steigender Kettenlänge** nehmen die **van-der-Waals-Kräfte** _____ , wodurch die Schmelz- und Siedepunkte _____ .

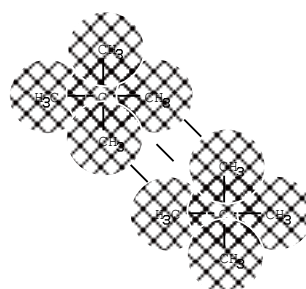
Mit **zunehmendem Verzweigungsgrad** nehmen die Oberfläche und damit auch die _____ -Kräfte und infolgedessen die Siedepunkte _____ :



n-Propan: Sp = 36 C



2-Methyl-Butan: Sp 28 C



2,2-Dimethyl-Propan: Sp = 10 C

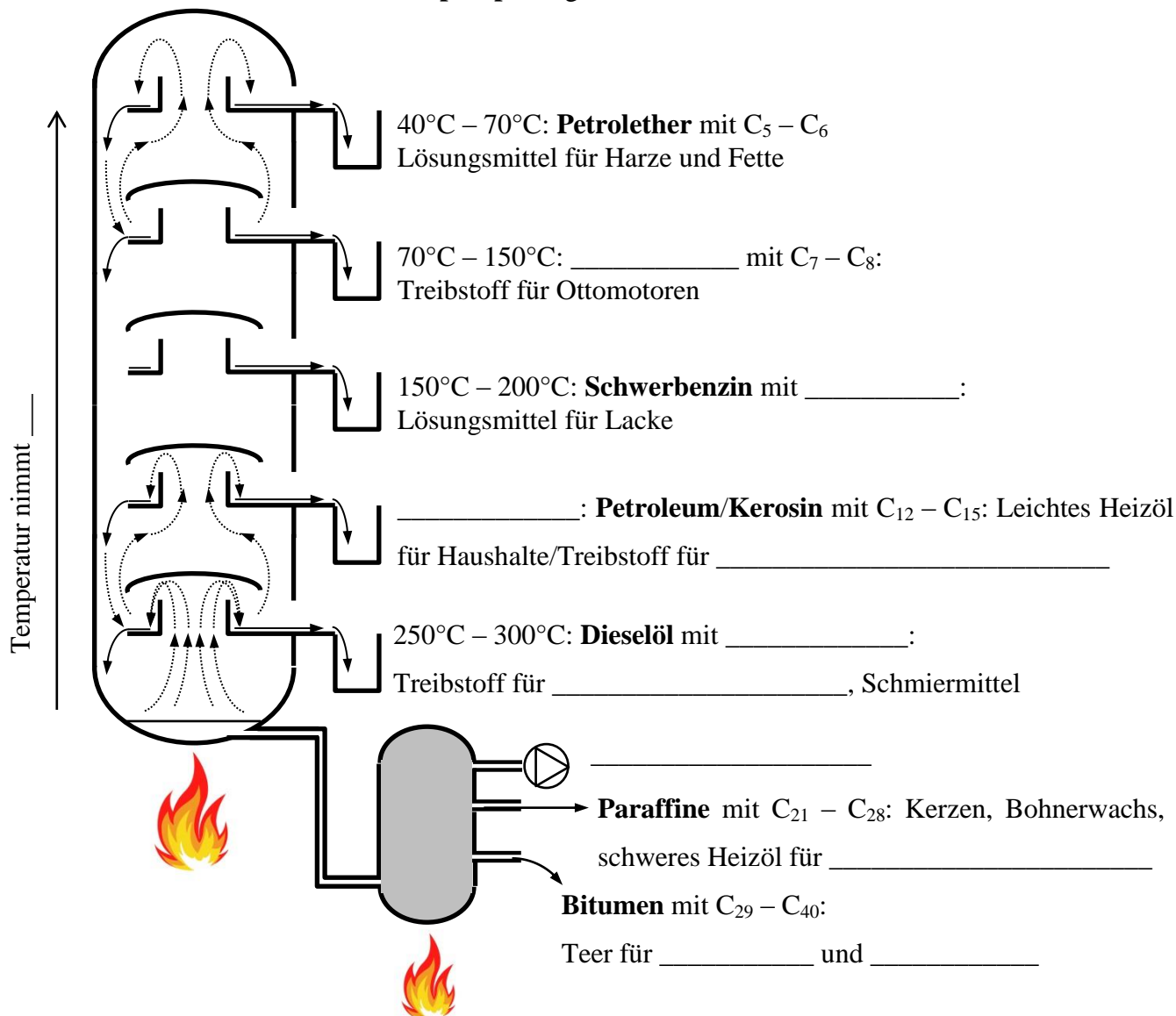
Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 7

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 _____ H₂O, _____ NH₃ und _____ H₂S 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:



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 „**klopfeste**“ 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 klopfest 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 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 H₂SO₄, konz NaOH, KMnO₄ oder H₂O₂ 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:

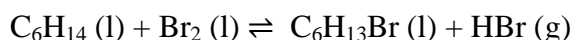
5 ml Hexan werden mit Br₂-Lösung versetzt und _____. Über der Lösung wird ein feuchtes _____ angebracht. Anschließend wird Silbernitrat-Lösung AgNO₃ (aq) dazugegeben.

Beobachtung:

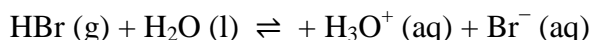
1. Es entstehen _____, die das Indikatorpapier _____ färben.
2. Die AgNO₃-Lösung _____

Erklärung:

Hexan reagiert mit Brom unter Lichteinwirkung zu Bromhexan und Bromwasserstoff:



Der Bromwasserstoff reagiert mit zu Wasser Bromid-Ionen Br⁻ und Oxonium-Ionen H₃O⁺:



1. Rotfärbung von Indikatorpapier

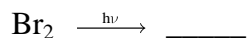
2. Trübung von AgNO₃-Lösung
 $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Br}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{AgBr} (\text{s})$

Mechanismus: Die Reaktion wird als **radikalische Substitution S_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 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:



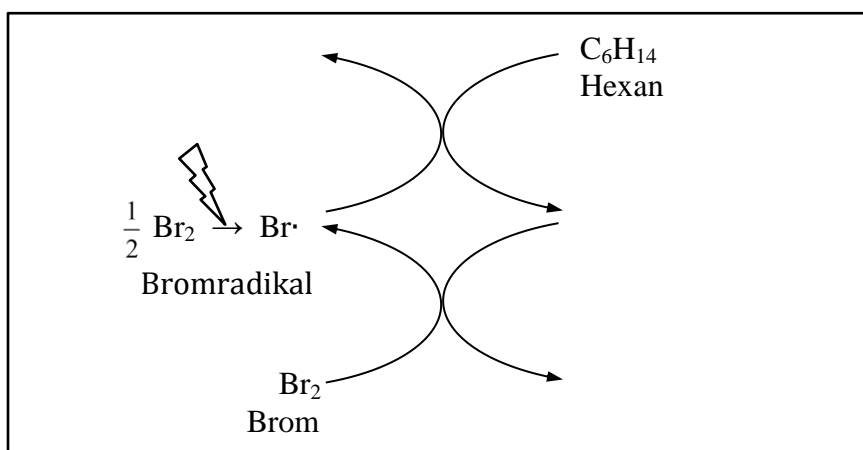
b) Das Alkylradikal reagiert mit einem weiteren Halogenmolekül zu Halogenalkan und einem neuen Halogenradikal:



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



Zusammenfassung:



Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 9

Reaktivität der Halogene

Die **Reaktivität der Halogene** nimmt vom Iod (Auch unter Blitzlicht keine Reaktion mit Methan) zum Fluor (Auch im Dunkeln explosionsartiger Verlauf bei Raumtemperatur) stark zu. Der Grund für diese Tendenz liegt in der Zunahme der Stabilität bzw. der Zunahme der bei der Bildung der C-Halogen-Bindung gewonnenen Energie in **Schritt 2 b**). Die C-I-Bindung ist nicht sehr stabil und bei ihrer Bildung wird nur wenig Energie (75 kJ/mol) frei. Die C-F-Bindung dagegen ist extrem stabil (Daher auch die geringe Abbaubarkeit von FCKW oder Teflon) und bei ihrer Bildung werden 292 KJ/mol frei.

Der induktive Effekt

Der **induktive Effekt** beschreibt, wie die Substituenten die Elektronendichte eines C-Atoms beeinflussen. Substituenten mit **höherer** EN (vor allem F, Cl, Br, I, O, S, und N) ziehen die Elektronen des C-Atoms an sich und vermindern daher die Elektronendichte (**-I-Effekt**). Umgekehrt verlieren Substituenten mit **geringerer** oder gleicher EN (vor allem Alkylgruppen) Elektronen an das C-Atom und erhöhen so dessen Elektronendichte (**+I-Effekt**).

Reaktivität der C-Atome und Mehrfachsubstitution

Radikale fehlt ein Elektron zur Edelgaskonfiguration. Sie werden also durch Erhöhung der Elektronendichte stabilisiert, d.h., wenn möglichst viele +I-Substituenten vorhanden sind.

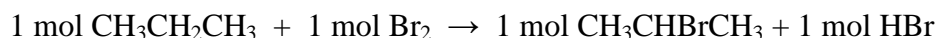
Tertiäre Radikale mit drei Alkylresten sind also in **Schritt 2 a)** stabiler und leichter zu bilden als primäre Radikale mit nur einem Alkylrest. Das Halogenradikal kommt infolgedessen bei einem tertiären C-Atom viel schneller und leichter zum Zuge als bei einem primären C-Atom. Entsprechend werden tertiäre C-Atome schneller und vollständiger substituiert als primäre C-Atome.

Dagegen wird die Bildung eines Radikals durch –I-Substituenten erschwert. Auch bei hohem Überschuss an Halogenen wird zunächst jedes C-Atom nur einfach substituiert, da die Substitution eines zweiten H-Atoms durch die –I Wirkung des bereits vorhandenen Halogenatoms behindert wird.

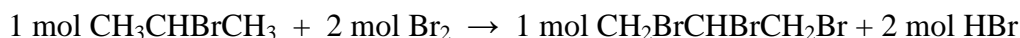
Beispiel zur Mehrfachsubstitution

1 mol Propan reagieren mit 4 mol Brom:

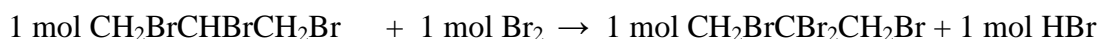
Zunächst werden alle sekundären C-Atome durch 1 mol Brom substituiert und es entsteht 2-Brompropan:



Anschließend werden alle restlichen unsubstituierten C-Atome durch weitere 2 mol Brom substituiert und es entsteht 1,2,3-Tribrompropan:



Nachdem alle C-Atome einfach substituiert sind, beginnt die Zweitsubstitution wieder am sekundären C-Atom und man erhält **1,2,2,3-Tetrabrompropan** als Endprodukt:

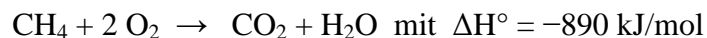


Gesamtbilanz: $1 \text{ mol CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3 + 4 \text{ mol Br}_2 \rightarrow 1 \text{ mol CH}_2\text{BrCBr}_2\text{CH}_2\text{Br} + 4 \text{ mol HBr}$

Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 10

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. 11

2.1. Alkane

2.1.1. Abgrenzung der organischen Chemie

Fragen zu youtube: jöns jakob berzelius: 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. H₂O.

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 C₂H₆O 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** CO₂ bzw. **Wasser** H₂O 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

H₂O wird an kalten Glasflächen als **Kondenswasser** sichtbar.
- Reaktion von Alkoholdampf C₂H₆O (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⁻:
$$\text{MgO} (\text{s}) + 1 \text{H}_2\text{O} (\text{g}) \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{OH}^- (\text{aq})$$

Magnesiumoxid + Wasser \rightleftharpoons Magnesium-Ionen + Hydroxid-Ionen
- Erwärmen von Harnstoff CON₂H₄ 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 H₂S** 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 NH₄OCN den organischen **Harnstoff** OC(NH₂)₂ herzustellen. Damit war die ursprüngliche Definition der organischen Verbindungen überholt und man unterscheidet organische und anorganische Verbindungen heute nach ihrer chemischen Zusammensetzung:

Definition:

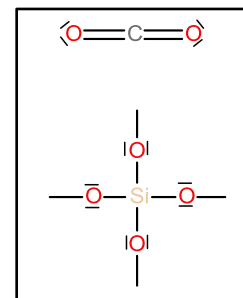
Die **organische Chemie** ist die Chemie der Kohlenstoffverbindungen mit der (traditionsbedingten) Ausnahme der Kohlensäure und ihrer Salze.

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 $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ oder Cyclohexan C_6H_{12} .
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_2 im Gegensatz zu CO_2 dreidimensionale **Gitter** der Grundzusammensetzung SiO_2 (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:

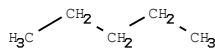
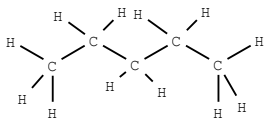
Alkan	Formel	Fp. in °C	Sp. in °C	Aggregatz. bei 20 °C	Dichte in g/ml	Alkylrest	Formel
Methan	CH_4	-182,6	-161,7	gasförmig		Methyl	CH_3-
Ethan	C_2H_6	-183,3	-88,6	gasförmig		Ethyl	C_2H_5-
Propan	C_3H_8	-187,1	-42,2	gasförmig		Propyl	C_3H_7-
Butan	C_4H_{10}	-135,8	-0,5	gasförmig		Butyl	C_4H_9-
Pentan	C_5H_{12}	-129,7	36,1	flüssig	0,626	...	...
Hexan	C_6H_{14}	-94,1	68,7	flüssig	0,695		
Heptan	C_7H_{16}	-90,5	98,4	flüssig	0,684		
Octan	C_8H_{18}	-56,8	125,6	flüssig	0,703		
Nonan	C_9H_{20}	-53,7	150,7	flüssig	0,718		
Decan	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	-29,7	174,1	flüssig	0,730		
...
Hexadecan	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	18,1	287,1	flüssig	0,775	...	...
Heptadecan	$\text{C}_{17}\text{H}_{36}$	22,1	303,1	fest	0,780	...	...
...

Bemerkungen

1. Alkane haben die allgemeine Formel $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ 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 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

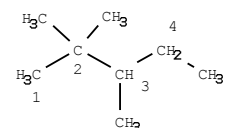
2.1.3. Verzweigte Alkane und Isomerie

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: C₁ und C₅ sind primäre, C₄ ein sekundäres, C₃ ein tertiäres und C₂ ein quartäres C-Atom.

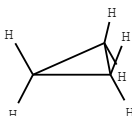
Übungen: Aufgaben zu Alkanen Aufgaben 3 - 5

2.1.4. Cycloalkane und Ringspannung

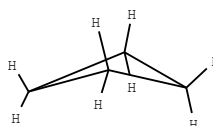
Die vier benachbarten Atome eines C-Atoms ordnen sich idealerweise im maximalen Abstand zueinander auf den Ecken eines Tetraeders im Winkel von 109,5° zueinander an (sp³-Hybridisierung). In ringförmigen (**cyclischen**) Verbindungen kann dieser ideale Bindungswinkel nicht immer eingehalten werden, was 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)

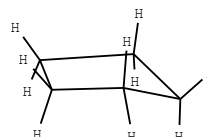
Cyclopropan: C-C-Bindungswinkel 60° planar



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



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

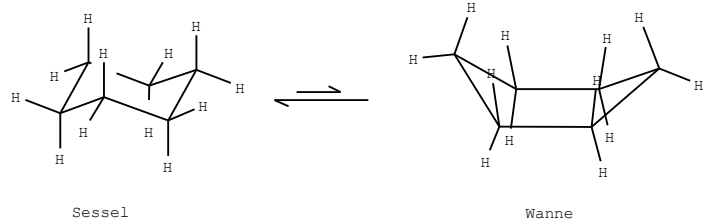


Cyclohexan: C-C-Bindungswinkel 120° planar und 109,5° gefaltet in **Sessel-** oder **Wannenkonformation:**

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

- die **gegenüberliegenden H-Atome** von C₁ und C₄
- die **benachbarten H-Atome** von C₂ und C₃ sowie C₅ und C₆

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



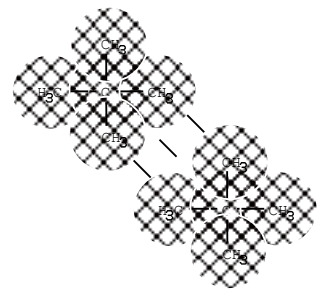
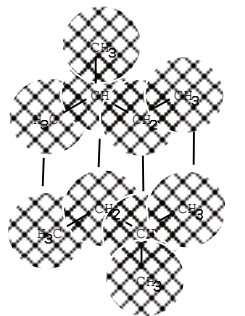
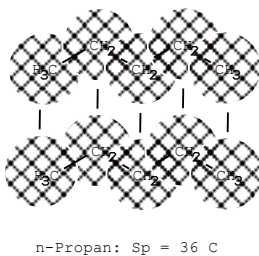
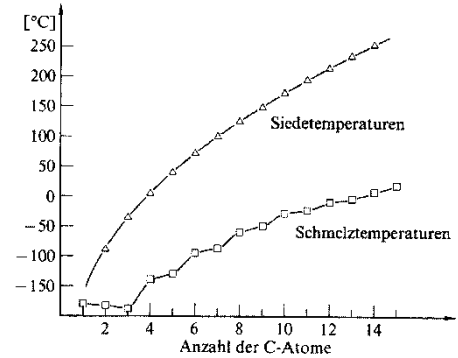
Übungen: Aufgaben zu Alkanen Nr. 6

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

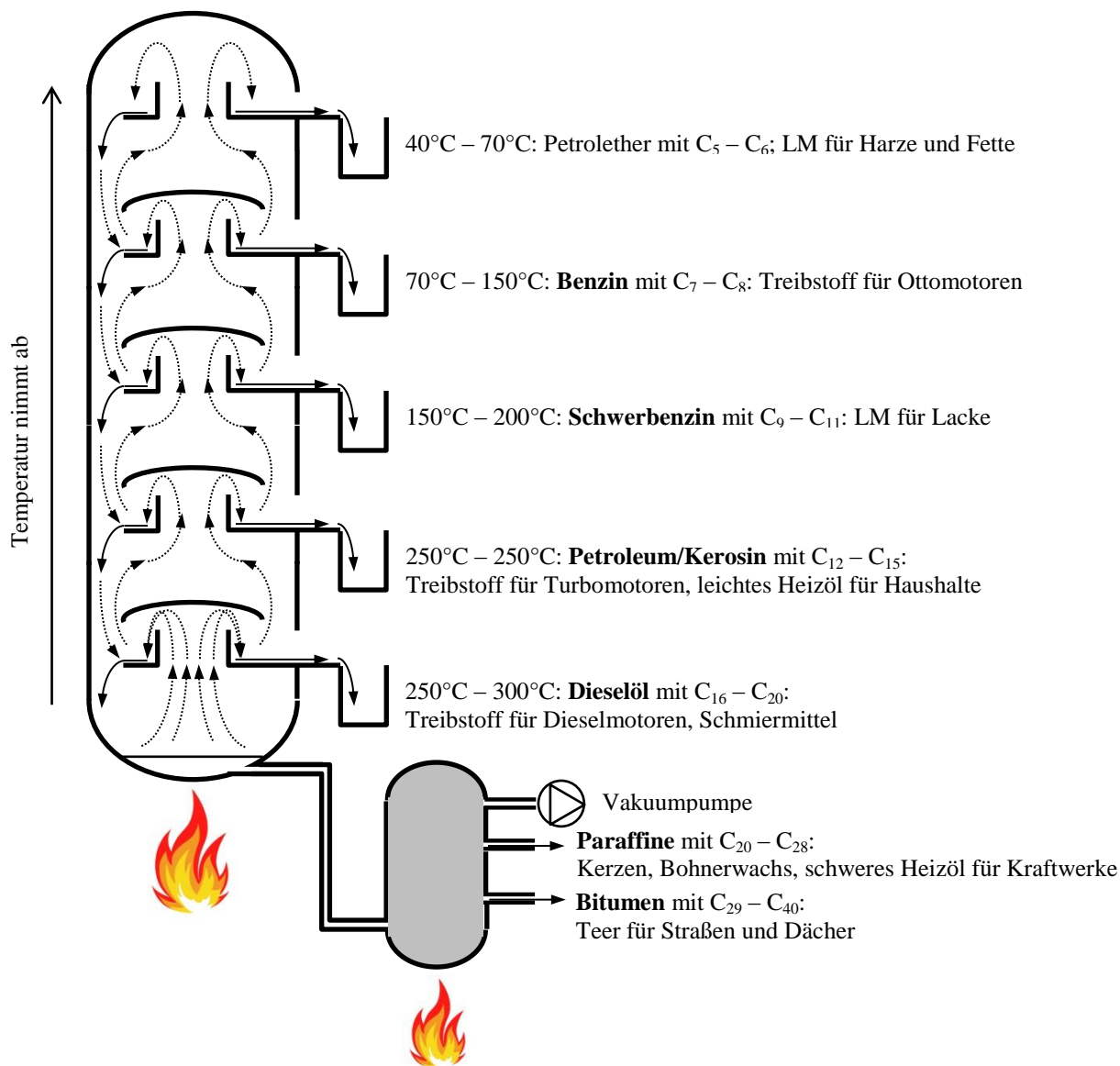
2.1.6. Gewinnung und Verwendung

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 H₂O, Ammoniak NH₃ und Schwefelwasserstoff H₂S 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.

youtube: Reise durch die Ruhr-Öl-Raffinerie in Gelsenkirchen 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**, Pb(C₂H₅)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 S_R

1. Reaktion von Stoff, Papier, Eisendraht und Hexan mit konz. H₂SO₄ und konz. 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 HBr-Dämpfe, die aufgrund ihrer großen Dicht direkt über der Flüssigkeitsoberfläche liegen mit feuchtem Indikatorpapier nachweisen. Anschließend AgNO₃-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 H₂SO₄, konz NaOH, KMnO₄ oder H₂O₂ 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 Br₂-Lösung versetzt und **belichtet**. Über der Lösung wird ein feuchtes **Indikatorpapier** angebracht. Anschließend wird Silbernitrat-Lösung AgNO₃ (aq) dazugegeben.

Beobachtung:

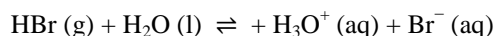
1. Es entstehen **Dämpfe** die das Indikatorpapier **rot** färben.
2. Die AgNO₃-Lösung **trübt sich weißlich**

Erklärung:

Hexan reagiert mit Brom unter Lichteinwirkung zu Bromhexan und Bromwasserstoff:



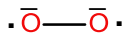
Der Bromwasserstoff reagiert mit zu Wasser Bromid-Ionen Br⁻ und Oxonium-Ionen H₃O⁺:



1. Rotfärbung von Indikatorpapier

2. Trübung von AgNO₃-Lösung durch Silberbromid
 $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Br}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{AgBr} (\text{s})$

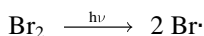
Mechanismus: Die Reaktion wird als **radikalische Substitution S_R** bezeichnet: **Substitution** bedeutet Ersetzung und **Radikale** sind Moleküle mit einzelnen Elektronen in halbbesetzten Orbitalen. Sie sind extrem reaktionsfreudig, krebserregend und giftig. Das wichtigste Beispiel ist der **Luftsauerstoff**, 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.

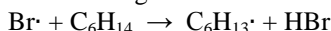
Es handelt sich um eine **Kettenreaktion**, bei der ein **einziges Radikal** die vollständige Umsetzung der kompletten Edukte auslösen kann, da alle weiteren benötigten Radikale im Verlauf der Reaktion selbst produziert werden:

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

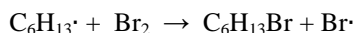


(2) **Kettenfortsetzung:**

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:

