

## **1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)**

---

Die **Organische Chemie** (auch **Organik**, kurz: OC) ist der Teilbereich der Chemie, der sich mit dem Aufbau, der Herstellung und den Eigenschaften von Kohlenstoffverbindungen beschäftigt. Die Organische Chemie wird daher auch als **Kohlenstoffchemie** bezeichnet.

### **Inhalt:**

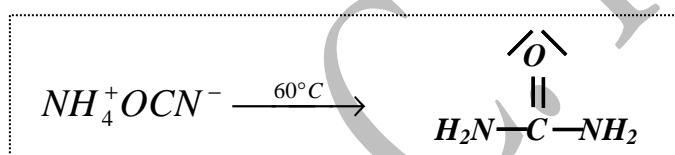
1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)	1
1.1 Organik (und Anorganik) .....	2
1.2 Alkane .....	3
1.2.a Nomenklatur.....	4
1.2.b Cycloalkane.....	6
1.2.c chemische Eigenschaften .....	7
1.2.d Molekülgeometrie.....	11
1.3 Alkene .....	13
1.3.a Nomenklatur.....	14
1.3.b Cycloalkene .....	15
1.3.c chemische Eigenschaften .....	15
1.3.d Molekülgeometrie.....	20
1.4 Alkine .....	22
1.4.a Nomenklatur.....	23
1.4.b Cycloalkine.....	24
1.4.c chemische Eigenschaften .....	25
1.4.d Molekülgeometrie.....	26
1.5 Halogenalkane .....	28

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

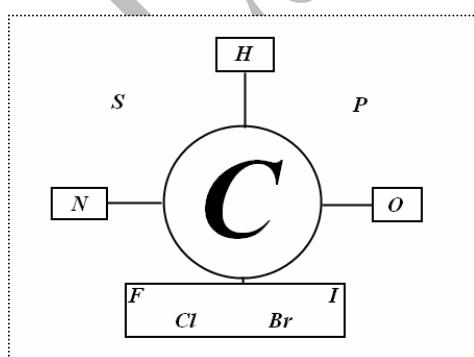
### 1.1 Organik (und Anorganik)

Früher unterschied man im Wesentlichen zwei Teilbereiche der Chemie: einerseits die **Organische Chemie**, andererseits die **Anorganische Chemie**. Die Einteilung viel leicht. Organisch war alles was tierischen oder pflanzlichen Ursprungs (also belebter Natur) war, und anorganisch waren die Stoffe der unbelebten Natur.

Es wurde davon ausgegangen, dass organische Stoffe nur von Lebewesen mit einer Art Lebenskraft (**vis vitalis**) erschaffen werden konnten. Im Jahre 1828 gelang es *Friedrich Wöhler* aus **Ammoniumcyanat** ( $CH_4N_2O$  /  $NH_4^+ OCN^-$ ), einem anorganischen Salz, die organische Substanz **Harnstoff** ( $CH_4N_2O$  /  $O=C-(NH_2)_2$ ) herzustellen. Die **Wöhlersche Harnstoffsynthese** revolutionierte das wissenschaftliche Weltbild, weil sie bewies, dass man auch ohne Lebenskraft organische Stoffe darstellen kann.



Heute gilt die eingangs genannte Definition für die Organik. Zur Organischen Chemie zählen aber nicht alle Kohlenstoffverbindungen: **Kohlenstoffmonoxid** und -**dioxid** ( $CO$  /  $CO_2$ ), **Kohlensäure**, deren Salze, die **Carbonate** ( $CO_3^{2-}$ ), **Carbide** ( $E_xC_y$ ), sowie reine **Kohlenstoff-Schwefel-Verbindungen** und die **Cyanide** und **Cyanate** werden weiterhin der anorganischen Chemie zugeordnet.



Organische Verbindungen enthalten neben **Kohlenstoff** häufig auch **Wasserstoff** und insbesondere **Sauerstoff**, **Stickstoff**, **Phosphor** und **Schwefel**, ferner auch **Halogene**. Verbindungen aus **C** und **H** werden **Kohlenwasserstoffe** genannt.

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.2 Alkane

**Kohlenwasserstoffe**, deren Moleküle nur **C-C-Einfachbindungen** enthalten, werden als Alkane bezeichnet. Sie gehören zur Gruppe der **gesättigten Kohlenwasserstoffe**, da sie keine C-C-Mehrfachbindungen enthalten und somit die maximale Anzahl an H-Atomen besitzen.

Das einfachste Alkanmolekül wird **Methan** genannt:

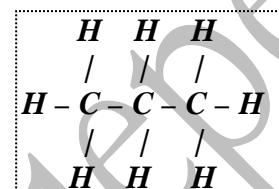
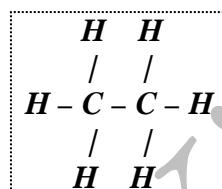
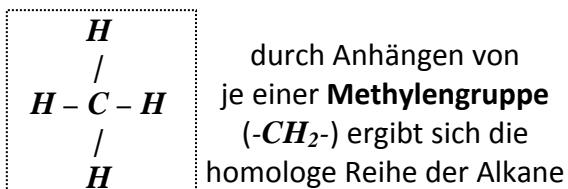
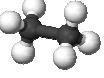
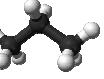
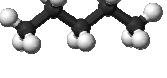
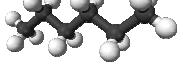
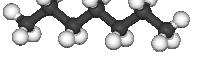
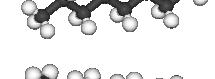
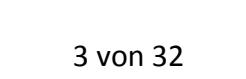


Abbildung 3:  
Methan, Ethan  
und Propan

**Homologe Reihe der Alkane:**

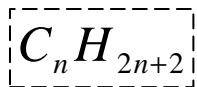
Name	Summenformel	Smp.	Sdp.	Aggregatzustand bei Standardbedingungen	Struktur
Methan	CH <sub>4</sub>	91 K	111 K	gasförmig	
Ethan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	90 K	185 K	gasförmig	
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	85 K	231 K	gasförmig	
n-Butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	135 K	273 K	gasförmig	
n-Pentan	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	144 K	309 K	flüssig	
n-Hexan	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	178 K	342 K	flüssig	
n-Heptan	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	182 K	371 K	flüssig	
n-Octan	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	216 K	399 K	flüssig	
n-Nonan	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	222 K	424 K	flüssig	
n-Decan	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	243 K	447 K	flüssig	

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.2 Alkane

Im Weiteren heißen die Alkane: **Undecan**, Dodecan, Tridecan, Tetradecan, Pentadecan, Hexadecan, Heptadecan, Octadecan, Nonadecan, (E)icosan, Henicosan, Docosan, Trisocan, Tetracosan, ... , **Triacontan**, Hentriacontan, Dotricontan, Tetratricotan, ...

Es gilt die allgemeine Summenformel:



#### 1.2.a Nomenklatur

Die Benennung von Molekülen nach systematischen Namen wird als Nomenklatur bezeichnet. Sie ist durch die **International Union of Pure and Applied Chemistry** (IUPAC) genau festgelegt. Dies ist wichtig, denn es gibt nicht nur kettenartige n-Alkane, sondern auch verzweigte i-Alkane (Iso-Alkane). Viele Moleküle haben dieselbe **Summenformel**, aber unterschiedliche **Strukturformeln**. Diese Alkane werden als **Isomere** bezeichnet, das Phänomen allgemein als **Isomerie**.

Für verzweigte Alkane gelten die folgenden **Benennungsregeln**:

1. Längste Kohlenstoffkette ermitteln; entsprechend dieser längsten Kette erhält das Molekül seinen **Stammnamen**.
2. a) **Verknüpfungsstellen** zwischen Haupt- und Seitenketten ermitteln. **Hauptkette** so **durchnummerieren**, dass die Verknüpfungsstellen kleinstmögliche Zahlen erhalten.  
b) Die **Namen** der **abzweigenden Alkylgruppen** (Seitenketten) werden ebenfalls durch ihre Länge bestimmt und alphabetisch aufsteigend sortiert dem Stammnamen des Alkans vorangestellt. c) **Anzahl der gleichen Seitenketten ermitteln**, dafür griechische Zahlwörter einsetzen (di = zwei, tri = drei, etc.) und diese, den jeweiligen Seitenkettennamen voransetzen. Diese Zahlwörter werden bei der alphabetischen Sortierung nicht berücksichtigt.

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.2.a Nomenklatur

3. Den **Alkylgruppennamen** werden die Nummern - durch Bindestriche von diesen getrennt - der Kohlenstoffatome, an denen sie abzweigen, vorangestellt. Gibt es **mehrere abzweigende Alkylgruppen** mit gleichem Namen, werden die Zahlen mit aufsteigendem Wert durch Kommata getrennt notiert. Zweigen zwei gleiche Alkylgruppen an einem quartären Kohlenstoffatom ab, dann wird die Nummer des Kohlenstoffatoms doppelt notiert.

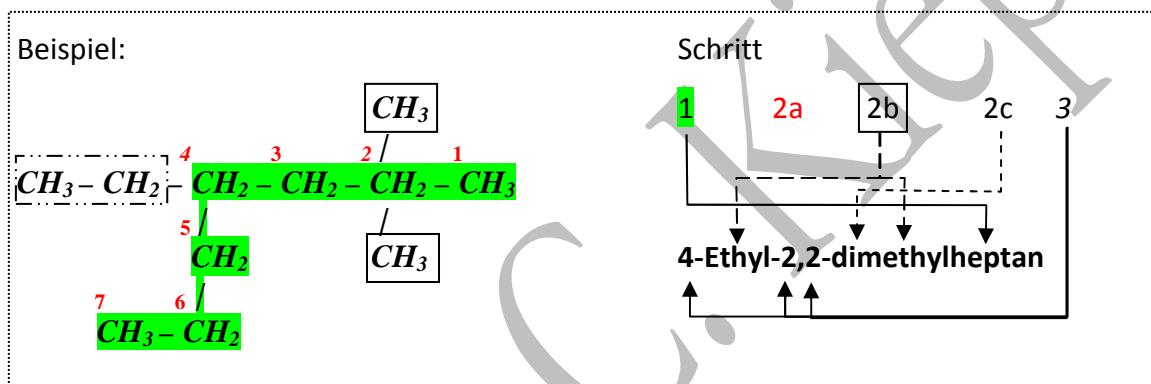


Abbildung 4:  
systematische Benennung eines Moleküls

**Isomere** werden nach der Anzahl der Kohlenstoffatome klassifiziert. Butan beispielsweise hat zwei Isomere. Das n-Butan und das i-Butan, welches nach der Nomenklatur aber auch 2-Methylpropan genannt werden kann. **Iso-Alkane** sind die, die am vorletzten Atom eine **Methylverzweigung** aufweisen, **neo**: Dimethylverzweigung. Methan, Ethan und Propan haben logischerweise keine Isomere, da ihre Kohlenstoffanzahl keine verschiedenen Verknüpfungsmuster, also Strukturen (**Konstitutionen**) zulassen.

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

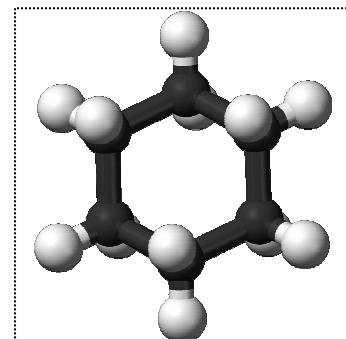
### 1.2.a Nomenklatur

Name	Zahl der Konstitutions-isomere	Mit wachsender Anzahl der Kohlenstoffatome steigt auch die Zahl der möglichen Isomere stark, von denen die meisten allerdings nur theoretisch bestehen – in Natur und Technik sind nur wenige von Bedeutung. Die nebenstehende Tabelle gibt die Zahl der theoretisch möglichen <b>Konstitutionsisomere</b> für die ersten zehn Alkane an.
Methan	1	
Ethan	1	
Propan	1	
Butan	2	
Pentan	3	Icosan mit einer Kette aus zwanzig Kohlenstoffatomen besitzt bereits 366.319 verschiedene Konstitutionsisomere. Bei Alkanen mit 167 Kohlenstoffatomen übersteigt die Anzahl der theoretisch möglichen Isomere die geschätzte Zahl der Teilchen im sichtbaren Universum.
Hexan	5	
Heptan	9	
Octan	18	
Nonan	35	
Decan	75	

Abbildung 5:  
tabellarische Übersicht der Alkanisomere

### 1.2.b Cycloalkane

Kohlenwasserstoffe können auch **cyclische Verbindungen** bilden. Die Cycloalkane ohne Seitenketten bilden ebenfalls eine homologe Reihe mit der allgemeinen Summenformel  $C_nH_{2n}$ , wobei  $n \geq 3$  ist. Somit ist das kleinste vorkommende Cycloalkan das Cyclopropan.



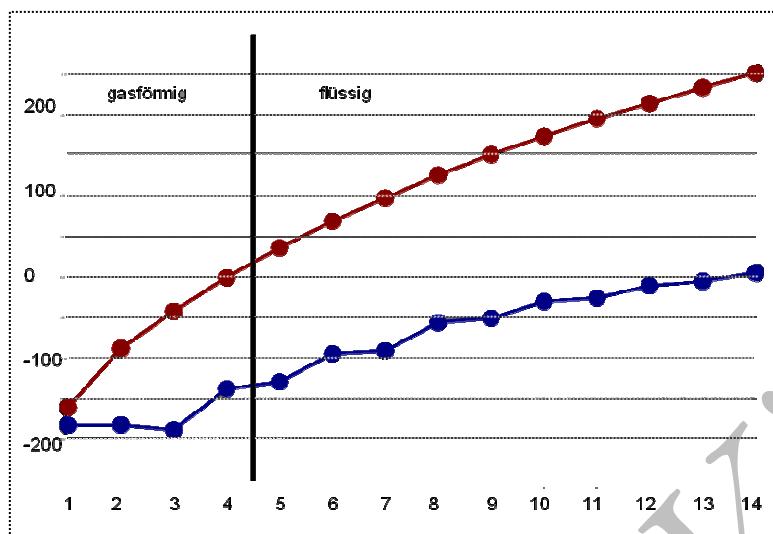
Nomenklatur bei Cycloalkanen:

Die Namen der Cycloalkane werden aus denjenigen der entsprechenden offenkettigen Alkanen mit gleicher Kohlenstoffanzahl durch die Vorsilbe **Cyclo-** gebildet. Weist das Molekül Substituenten auf, wird deren Ort mit einer Zahl am Anfang gekennzeichnet, darauf folgt, getrennt durch einen Bindestrich (-), der Name des Substituenten und schließlich der Name des **Cycloalkanrings**.

Abbildung 6:  
bekanntes  
Cycloalkan:  
das ringförmige  
Cyclohexan

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.2.c chemische Eigenschaften



Kurzkettige Alkane mit bis zu vier Kohlenstoffatomen sind bei Raumtemperatur (25 °C, Normaldruck) **gasförmig**. Alkane mit fünf bis 16 Kohlenstoffatomen sind **flüssig** und längerkettige Alkane sind **Feststoffe**.

Abbildung 7:  
Schmelz (blau)- und Siedepunkte (rot) der homologen Reihe n-Alkane

Wie die obige Tabelle zur homologen Reihe der Alkane schon verdeutlichte, steigen mit zunehmender Anzahl der Kohlenstoffatome im unverzweigten Molekül die **Schmelz-** und **Siedetemperaturen**.

Die **Siedetemperaturen** lassen sich mit dem **unpolaren** Charakter der Alkane erklären. Die Moleküle sind insgesamt unpolär, weil die **C-H-Bindungen** unpolär (**gering polarisiert**) sind. Zwischen den Molekülen treten aber **van-der-Waals-Kräfte** auf. *Van-der-Waals-Kräfte* (seltener auch Bindungen genannt) treten zwischen allen Teilchenarten auf, sind aber so schwach, dass sie nur bei der Abwesenheit der anderen Bindungsarten eine Rolle spielen. Je größer und schwerer die Moleküle, desto stärker sind auch deren **Anziehungskräfte** aufeinander und umso mehr **Energie E** wird benötigt, um sie voneinander zu trennen. Daher sind bei größeren Molekülen, die **Siedpunkte** höher, so auch bei den Alkanen. Je verzweigter und damit kugelförmiger ein Alkanisomer ist, desto tiefer liegt der Siedepunkt, weil die **Oberfläche** kleiner und damit die Anziehungen, sprich die *van-der-Waals-Kräfte* geringer werden.

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

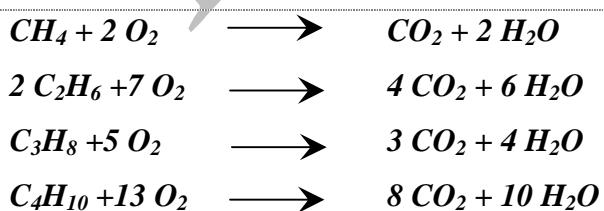
### 1.2.c chemische Eigenschaften

Eine weitere durch die **Polarität** beeinflusste Eigenschaft ist die **Löslichkeit**. Bekanntermaßen löst sich Ähnliches im Ähnlichem (Latein: **similia similibus solvuntur**). Unpolare Stoffe lösen sich in unpolaren Lösungsmitteln und polare Stoffe in polaren Lösungsmitteln. Die unpolaren Alkane lösen sich also schlecht im polaren **Wasser**, in **Ethanol** und anderen unpolaren Lösungsmitteln hingegen gut. Alkane sind folglich **lipophil** (fettfreundlich) und **hydrophob** (wassermeidend).

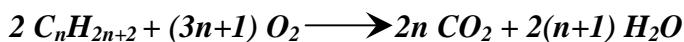
Bei dem Versuch Alkane in Wasser zu lösen, fällt auf, dass es praktisch keine **Mischbarkeit** gibt. Es bildet sich eine **Phasengrenze**, die Alkane sind jeweils oben auf. Die **Dichte** von Alkanen ist also geringer als von **Wasser** (< 1 g/ml), nimmt aber bei längerkettigen Molekülen zu.

Alkane gelten bei Raumtemperatur als **reaktionsträge**. Daher werden sie auch als **Paraffine** bezeichnet, dieses Wort leitet sich von den lateinischen Wörtern parum und affinis her und bedeutet soviel wie wenig verwandt oder auch wenig beteiligt.

Alkane sind aber **brennbar**, besonders die kurzkettigen Alkane sind **leicht entzündlich** und die Gase ggf. **explosiv**. Methan ist Hauptbestandteil von **Erdgas**, die **Flüssiggasse** Butan und Propan werden in Feuerzeugen und Kartuschenbrennern eingesetzt und als **Treibstoff** verwendet. Der **Kraftstoff** Benzin besteht meist aus Kohlenwasserstoffen mit 4 bis 11 C-Atomen pro Molekül, Diesel aus Nonan bis Hexadecan (leichtes und schweres Heizöl ebenfalls). Aus Heptadecan und höheren Alkanen werden **Kerzen** hergestellt.



Allgemein:



Die totale **Verbrennungsenergie** steigt vergleichsweise regelmäßig mit zunehmender Anzahl der Kohlenstoffatome; jede **CH<sub>2</sub>**-Gruppe steuert etwa **650 Kilojoule pro Mol** bei.

Abbildung 8:  
Oxidation (Verbrennung) von Alkanen

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.2.c chemische Eigenschaften

Aus der Tatsache, dass die **Verbrennungsenergie** verzweigter Alkane etwas niedriger ist als die unverzweigter, lässt sich auf eine höhere **Stabilität** ersterer Gruppe schließen.

Die ringförmige Struktur der **Cycloalkane** wirkt sich auf ihre Reaktivität und die **Schmelz- und Siedepunkte** aus. Schmelz- und Siedepunkt eines monocyclischen Alkans sind immer höher als die des entsprechenden n-Alkans, da die **intermolekularen Kräfte** beim Cycloalkan - wegen seiner **starreren Struktur** - stärker sind, als beim **flexibleren n-Alkan**. Monocyclische unsubstituierte Alkane mit drei oder vier Kohlenstoffatomen sind unter Normalbedingungen **gasförmig**, ab fünf Kohlenstoffatomen sind sie **flüssig**. In **Wasser** sind Cycloalkane **schlecht löslich** bis **unlöslich**. Cycloalkane sind **leicht entflammbar**, jedoch relativ **reaktionsträge**. Sie gehen im Wesentlichen die gleichen Reaktionen wie die Alkane ein.

Bei erhöhten **Temperaturen** oder bei **Belichtung** mit **energiereicher Strahlung** (UV-Licht) reagieren Alkane mit **Halogenen** zu **Halogenalkanen**. Da die Alkane keine **C-C-Mehrfachbindungen** aufweisen, an die die Halogene addiert werden könnten, werden sie auch als **gesättigte Kohlenwasserstoffe** bezeichnet. Sie reagieren nach dem **Mechanismus** der **radikalischen Substitution S<sub>R</sub>**. Ein **Wasserstoffatom H** wird durch ein **Halogenatom X** ersetzt.

Berechnung der **Wellenlänge λ** des Lichtes, welches zur Spaltung des Halogenmoleküls benötigt wird:

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad E = \frac{\Delta_B H_m^0}{N_A} \quad \Rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c \cdot N_A}{\Delta_B H_m^0} \quad \left[ \frac{Js \cdot \frac{m}{s} \cdot \frac{1}{mol}}{\frac{J}{mol}} = m \right]$$

Taschenrechner :

Shift 7 :

h = 6; N<sub>A</sub> = 24; c = 28;

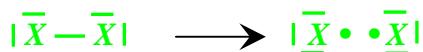
## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.2.c chemische Eigenschaften

Das Reaktionsschema von Halogenalkanen lautet: Halogen + Alkan  $\longrightarrow$  Halogenalkan

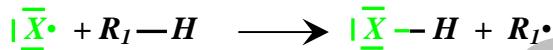
Reaktionsmechanismus: **radikalische Substitution  $S_R$**  ( $H$  ersetzt durch  $X$ )

Startreaktion:



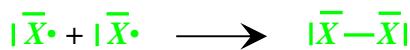
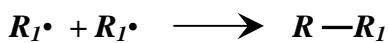
**Homolytische Spaltung** des Halogenmoleküls unter **Energieaufwendung** in zwei Halogenradikale.

**Ketten(fortpflanzungs)reaktion** (auch: Folgereaktion):



Das **Halogenradikal** greift die **Kohlenwasserstoffkette** an und geht eine **Elektronenpaarbindung** mit einem **Wasserstoffatom** ein, reagiert also zu einem **Halogenwasserstoffmolekül**. Die restliche **Kohlenwasserstoffkette** wird dabei zu einem **Alkyrradikal**. Die gebildeten **Alkyrradikale** können wiederum mit **Halogenmolekülen** zu **Halogenalkanen** und **Halogenradikalen** reagieren oder **höher substituierte Halogenalkane** bilden. Diese freigesetzten **Halogenradikale** können ihrerseits wieder mit **Alkanen** reagieren. Damit wird die Kettenreaktion fortgesetzt.

(Ketten-)Abbruchreaktion:



## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.2.c chemische Eigenschaften

Je mehr **Radikale** im Verlauf der **Kettenreaktion** entstehen, desto eher kommt es zu **Abbruchreaktionen**, bei denen sich zwei **Radikale** vereinen, ohne die **Reaktionskette** durch Bildung neuer **Radikale** fortzusetzen.

### 1.2.d Molekülgeometrie

In Alkanen ist das **Kohlenstoffatom** immer  **$sp^3$ -hybridisiert**, das bedeutet, dass durch Überlagerung (**Hybridisierung**) der vier Ausgangsorbitale (ein **s**-Orbital und drei **p**-Orbitale) vier neue Orbitale gleicher Energie vorhanden sind. Diese sind räumlich in der Form eines **Tetraeders** angeordnet, der Winkel zwischen ihnen beträgt **109,5 Grad**.

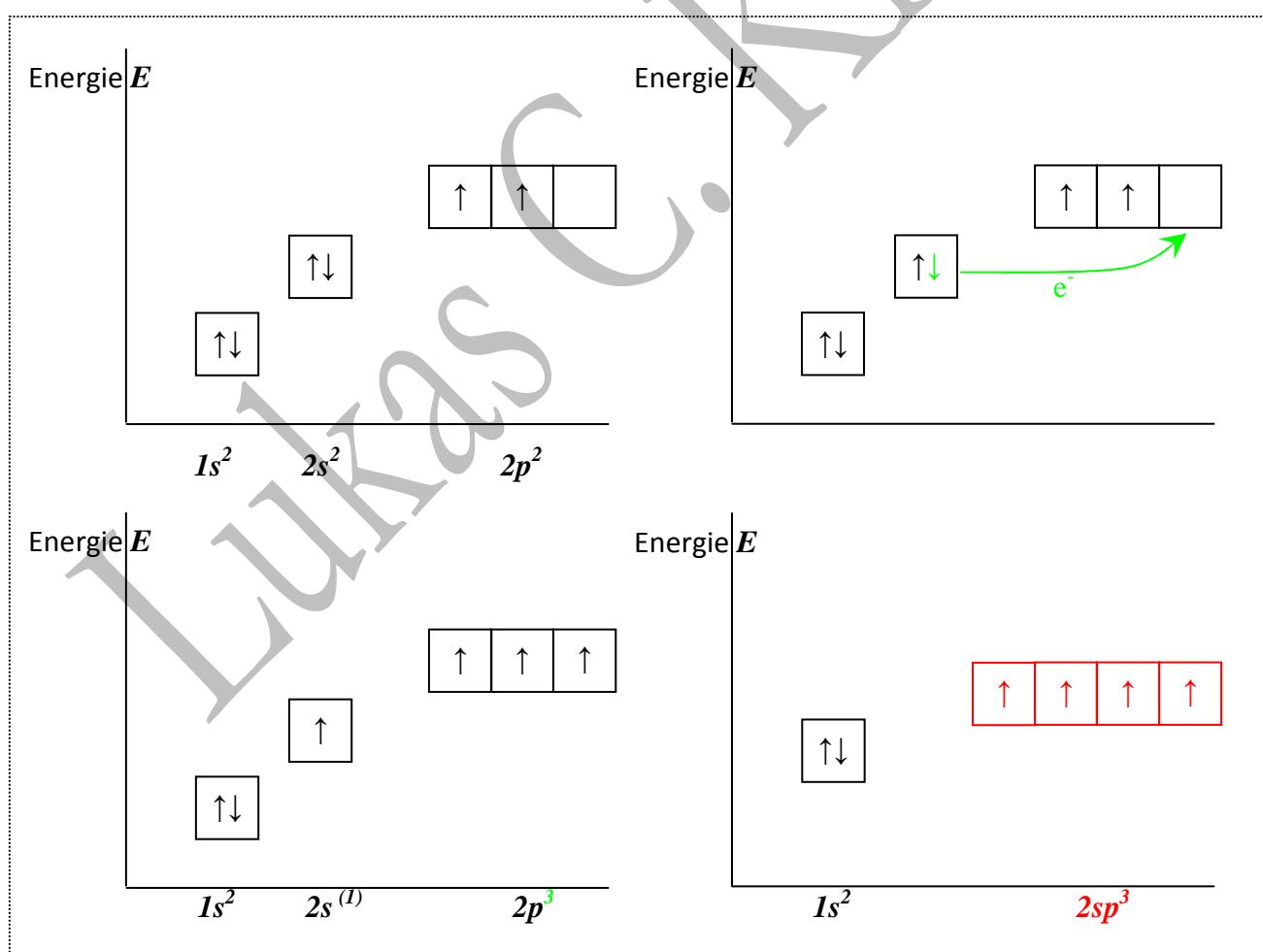


Abbildung 9 a-d (im Uhrzeigersinn):  
Elektronenkonfiguration von Kohlenstoff in Verbindungen

- Grundzustand des Kohlenstoffatoms,
- Anhebung eines  $2s$ -Elektrons auf  $2p$ -Niveau (Promotion),
- angeregter Zustand des Kohlenstoffatoms,
- hybridisierter Zustand des Kohlenstoffatoms

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.2.d Molekülgeometrie

Ein  $sp^3$ -**Hybridorbital** sieht aus wie eine verzerrte Hantel. Die tetraedrische Form wird eingenommen, da dies der maximale Abstand der sich abstoßenden Elektronen ist.

Das Kohlenstoffatom kann so vier Einfachbindungen ausbilden. Bei einer **Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindung** handelt es sich um eine Überlappung des s-Orbitals des Wasserstoffs mit einem  $sp^3$ -Orbital des Kohlenstoffatoms:  **$s-sp^3$ - $\sigma$ -Bindung**. Bei Methan liegen vier dieser Bindungen vor. Bei einer **Kohlenstoff-Kohlenstoff-Einfachbindung** handelt es sich die Überlappung eines  $sp^3$ -Orbitals eines Kohlenstoffatoms mit dem  $sp^3$ -Orbital eines anderen Kohlenstoffatoms:  **$sp^3-sp^3$ - $\sigma$ -Bindung**.

Diese Orbitalüberlappungen werden auch als Sigmabindungen ( $\sigma$ ) bezeichnet.

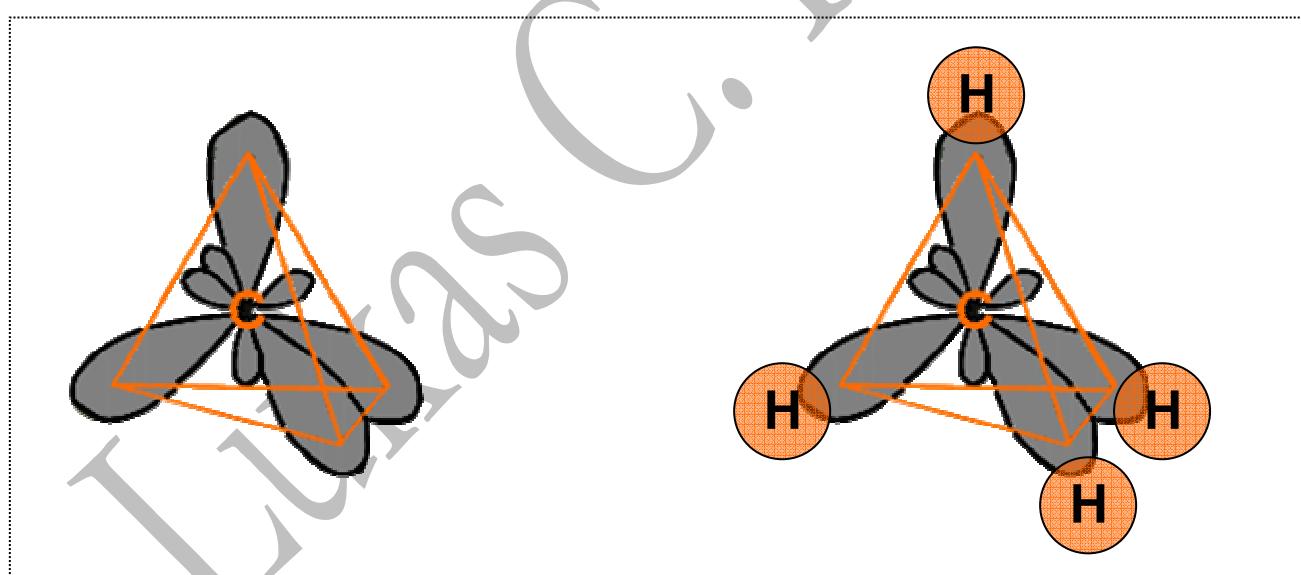


Abbildung 10 a und b:  
Elektronenkonfiguration vom  
Kohlenstoffatom und von Methan

Die **Bindungslänge** beträgt 109 Pikometer für die **C-H-Bindung** und 154 Pikometer für die **C-C-Einfachbindung**, der Abstand zweier Kohlenstoffatome ist also etwa 50 Prozent größer als der Abstand zwischen einem Kohlenstoff- und einem Wasserstoffatom, was in erster Linie mit den unterschiedlichen Atomradien zusammenhängt.

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.3 Alkene

**Kohlenwasserstoffe**, deren Moleküle mindestens eine **C=C-Doppelbindung** enthalten, werden als Alkene (früher Olefine / Gruppe der Polyene) bezeichnet. Sie gehören zur Gruppe der **ungesättigten Kohlenwasserstoffe**, da an die Moleküle andere Teilchen addiert werden können.

Das einfachste Alkenmolekül wird **Ethen** genannt:

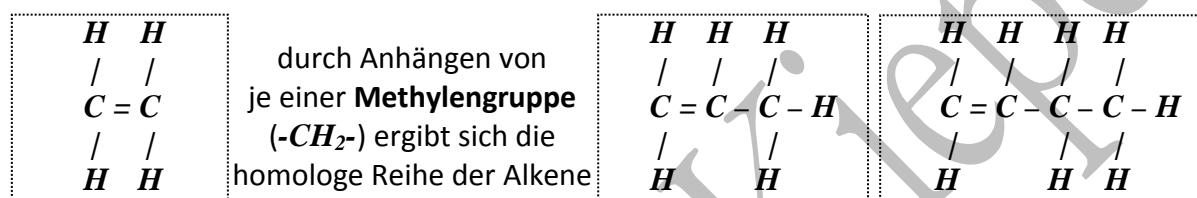


Abbildung 11:  
Ethen, Propen und n-Buten

**Homologe Reihe der Alkene:**

Name	Summenformel	Smp.	Sdp.	Aggregatzustand bei Standardbedingungen	Struktur	
Ethen (Ethylen)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>		104 K	170 K	gasförmig	
Propen (Propylen)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>		88 K	226 K	gasförmig	
n-Buten (Butylen)	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>		88 K	267 K	gasförmig	
n-Penten (Amylen)	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>		135 K	303 K	flüssig	
n-Hexen	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>		133 K	336 K	flüssig	
n-Hepten	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>		154 K	367 K	flüssig	

Es gilt die allgemeine Summenformel:  $\boxed{C_n H_{2n}}$ . Sie ist identisch mit der allgemeinen Summenformel der Cycloalkane, wobei hier  $n \geq 2$  sein muss.

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.3.a Nomenklatur

Die Nomenklatur erfolgt wie bei den Alkanen. Die **Stammmamen** sind die gleichen, bis darauf, dass das Suffix -an nun -en lautet. Um deutlich zu machen nach welchem **Kohlenstoffatom** die **C=C-Doppelbindung** folgt, wird die Position der Doppelbindung mit Bindestrichen getrennt vor die Endsilbe -en gestellt. Sind mehrere Doppelbindungen vorhanden so wird dem Suffix das griechische Zahlenwort vorangestellt.

Beispiel: **Hex-2,3-dien**       $CH_3 - CH = C = CH - CH_2 - CH_3$

Ist die Position der Doppelbindung direkt nach dem ersten Kohlenstoffatom, kann der Verweis -1-en weggelassen werden. Kommt dieser Fall bei unverzweigten Alkanen vor, reicht das Präfix n-.

Bei **Doppelbindungen**, die im Gegensatz zur Einfachbindung **nicht frei drehbar** sind, tritt eine besondere Art der **Konfigurationsisomerie**, die **Geometrische Isomerie** (auch: **cis/trans-Isomerie**, IUPAC: **(Z)/(E)-Isomerie**) auf. Bei der **(Z)/(E)-Isomerie** wird die Lage zweier **Substituenten** an einer Zweifachbindung bzw. an Ringsystemen untersucht.

- Von einer **cis-** bzw. **(Z)-Anordnung** spricht man, wenn sich beide Substituenten auf der **gleichen Seite** der Referenzebene befinden.
- Von einer **trans-** bzw. **(E)-Anordnung** spricht man, wenn sich beide Substituenten auf **entgegengesetzten Seiten** der Referenzebene befinden.

**cis-trans-Isomere** unterscheiden sich in den chemischen und physikalischen Eigenschaften wie zum Beispiel Schmelztemperatur, Siedetemperatur und Bindungsenthalpie. Die Schreibweise erfolgt jeweils kursiv gedruckt.

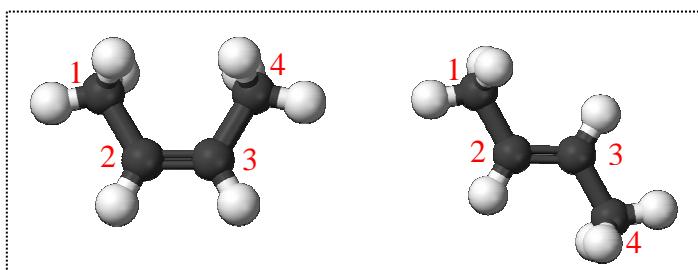


Abbildung 12:  
**cis-But-2-en** und **trans-But-2-en**

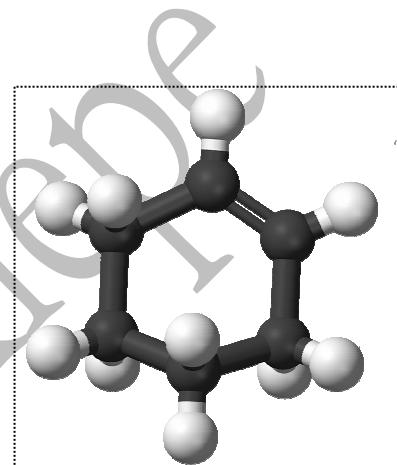
## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.3.a Nomenklatur

Es werden jeweils die Atome mit den höchsten Prioritäten betrachtet. Es gilt die *Cahn-Ingold-Prelog-Konvention*: Für die Oberstufe ist nur die Sortierung nach der Prioritätsreihe der Ordnungszahlen von Interesse: höhere Ordnungszahl, bzw. größere Masse gleich höherer Priorität.

### 1.3.b Cycloalkene

Es gibt auch cyclische Alkene. Die Cycloalkene ohne Seitenketten bilden ebenfalls eine homologe Reihe mit der allgemeinen Summenformel  $[C_nH_{2n-2}]$ , wobei  $n \geq 3$  ist. Somit ist das kleinste vorkommende Cycloalken das Cyclopropen.



**Nomenklatur** bei Cycloalkenen:

Die Namen der Cycloalkene werden aus denjenigen der entsprechenden offenkettigen Alkenen mit gleicher Kohlenstoffanzahl durch die Vorsilbe **Cyclo-** gebildet. Weist das Molekül Substituenten auf, wird deren Ort mit einer Zahl am Anfang gekennzeichnet, darauf folgt, getrennt durch einen Bindestrich (-), der Name des Substituenten und schließlich der Name des **Cycloalkenrings**. Kommen mehrere Doppelbindungen vor, so wird die Kohlenstoffkette so durchnummieriert, dass den Doppelbindungen die kleinsten Positionen zugewiesen werden können. Achtung: **Aromaten** haben oft Eigennamen. Beispiel: Cyclohexa-1,3,5-trien heißt **Benzol**.

Abbildung 13:  
bekanntes  
Cycloalken:  
das ringförmige  
Cyclohexen

### 1.3.c chemische Eigenschaften

Die Alkene sind von Ethen (wichtiger Botenstoff bei Pflanzen) bis Buten **gasförmig** und damit leicht flüchtig. Von Penten mit 5 bis zu Pentadecen mit 15 Kohlenstoff-Atomen sind die Alkene **flüssig**. Alkene mit mehr als 15 Kohlenstoffatomen sind **fest** (jeweils unter Normalbedingungen).

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.3.c chemische Eigenschaften

Die **C=C-Doppelbindung** ist zwar kürzer als eine **C-C-Einfachbindung** (bedeutet kleinere v.-der-Waals-Kräfte), aber durch die bessere **Polarisierbarkeit** sind die Wechselwirkungen zwischen den Molekülen größer. Die **Phasengrenzen** von Alkenen und **Alkanen** sind daher sehr ähnlich.

In Wasser sind Alkene **schwer löslich** (aber besser als Alkane), d. h., sie sind **lipophil** und **hydrophob**. Sie verbrennen mit **rußender Flamme**. Die Alkene sind **reaktionsfreudig**.

**Herstellung** von Alkenen: Alkene können u.a. bei der **Eliminierung** von **Wasser** (**Dehydratisierung**) aus **Alkanolen** entstehen. Sie können aber auch bei der **Dehydrohalogenierung** von **Halogenalkanen** entstehen, hier wird **Halogenwasserstoff** frei. Das geht jeweils mit tertiären Stoffen am besten. Ebenso können auch einfache Alkane dehydriert werden.

Treten bei Kohlenwasserstoffen Einfachbindungen und Doppelbindungen im Wechsel auf, spricht man von **konjugierten Doppelbindungen**. Unter **Konjugation** allgemein versteht man die Überlappung eines  $\pi$ -Orbitals ( $2p_z$ ) mit einem  $p$ -Orbital eines  $sp^2$ -hybridisierten Kohlenstoffatoms.

Als **Mesomerie** (oder **Resonanz**) wird das Phänomen bezeichnet, dass die in einem Molekül vorliegenden Bindungsverhältnisse nicht durch eine einzige Strukturformel dargestellt werden können, sondern nur durch mehrere **Grenzformeln**. Keine dieser Grenzformeln beschreibt die realexistierenden Bindungsverhältnisse und damit die Verteilung der Elektronen in ausreichender Weise. Die tatsächliche Elektronenverteilung im Molekül liegt zwischen den von den Grenzformeln angegebenen Elektronenverteilungen. Dies wird durch den **Mesomeriepfeil** (Resonanzpfeil)  $\longleftrightarrow$  symbolisiert, der nicht mit dem ein **chemisches Gleichgewicht** symbolisierenden Doppelpfeil (**Gleichgewichtspfeil**) verwechselt werden darf.

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.3.c chemische Eigenschaften

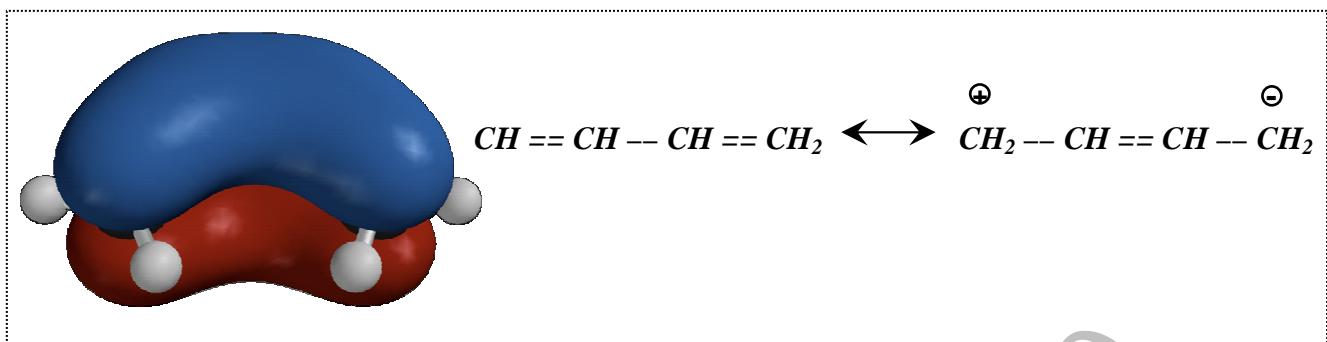


Abbildung 14:  
Elektronendelokalisation bei Butadien-1,3-dien

Die Alkene reagieren nach dem Mechanismus der **elektrophilen Addition A<sub>E</sub>**.

Benachbarte Atome und Atomgruppen beeinflussen die Reaktivität einer funktionellen Gruppe in einem Molekül. Diese **Nachbargruppeneffekte** zeigen sich beispielsweise in der Veränderung der Reaktionsgeschwindigkeit  $v_R$ . Einer dieser Nachbargruppeneffekte ist der **induktive Effekt**. Er beruht auf der unterschiedlichen **Elektronegativität** von Atomen. Der positive **I-Effekt** (+) **schiebt** Elektronen weg und tritt u.a. bei Alkylgruppen auf. (Je länger und verzweigter, desto stärker.) Der negative **I-Effekt** (-) **zieht** Elektronen an:

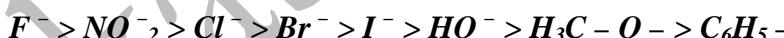


Abbildung 15:  
-I-Effekt von links nach rechts abnehmend

Die **Markovnikow-Regel** besagt, dass bei der **Addition** von **Halogenwasserstoff** an ein **unsymmetrisches Alken** der **Wasserstoff** an das **wasserstoffreichere Kohlenstoffatom** addiert wird. Bei der Bildung des **Markovnikow-Produkts** tritt als **Zwischenstufe** ein **sekundäres Carbokation** auf. Dessen Bildung ist gegenüber dem **primären Carbokation** bevorzugt, weil durch den positiven **induktiven Effekt** (+I / elektronenschiebend) zweier **Alkylgruppen** die **Elektronen** mehr über das gesamte Molekül verteilt werden können und so die Verbindung durch die geringeren Ladungsdifferenzen stabilisiert wird. (Ein **tertiäres Carbokation** wäre noch stabiler, ist aber erst bei Alkinen möglich.) Ein solcher Zustand ist also energetisch gesehen immer bevorzugt. Als Merksatz gilt: "**Wer hat, dem wird gegeben**".

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.3.c chemische Eigenschaften

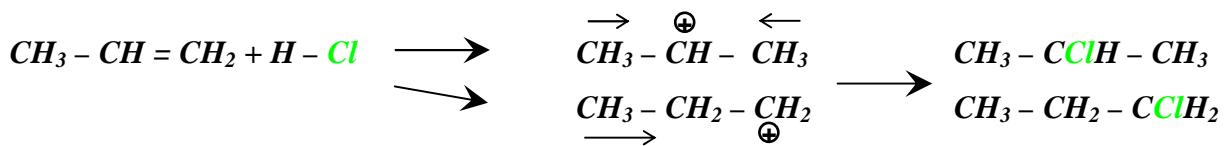


Abbildung 16: **Markovnikow-Regel:**  
oben ein **Markovnikow-Produkt**, unten das **Antimarkovnikow-Produkt**

Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit  $v_R$  bei  $A_E$ : Der **elektronenziehende -I-Effekt** setzt die Reaktionsbereitschaft herab, weil die Elektronen von der Doppelbindung weggezogen werden, sie ist also nicht so stark polarisiert und damit ist das Molekül stabiler. Der **elektronenschiebende +I-Effekt** erhöht die Reaktionsgeschwindigkeit  $v_R$ , weil die Elektronen zur Doppelbindung hingeschoben werden und diese damit polarer und schließlich die Verbindung instabiler wird.

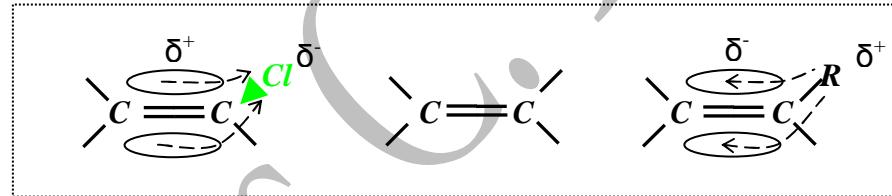


Abbildung 17:  
**I-Effekt von links nach rechts zunehmend**

Die Doppelbindung lässt sich mithilfe von **Brom** nachweisen. In Anwesenheit von ungesättigten Kohlenwasserstoffen findet eine schnelle Entfärbung statt. Da **Brom** an die Doppelbindung addiert wird.

Beispiele für die  $A_E$ :

- Nachweis von Doppelbindungen in Alkenen (z. B. Cyclohexen / Hex-1-en) mittels **Brom**
- Reaktion von Propen mit Salzsäure zu Chlorpropan
- Selbstaddition (Polymerisation) von Ethen zu Polyethen (früher: Polyethylen)
- Selbstaddition (Polymerisation) von Propen zu Polypropen (früher: Polypropylen)
- Selbstaddition (Polymerisation) von Vinylchlorid ( $\text{ClC}_2\text{H}_3$ ) zu PVC
- Selbstaddition (Polymerisation) von Tetrafluorethylen zu PTFE (Teflon)

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.3.c chemische Eigenschaften

- Selbstaddition (Polymerisation) von Styrol ( $C_8H_8 / C_2H_3 - C_6H_5$ )
- Ethen und Wasser reagieren bei hohen Temperaturen und Drücken zu Ethanol
- Ethen und Benzol reagieren mittels Katalysatoren unter Hydrierung zu Styrol
- Ethen und Chlor reagieren mittels Katalysatoren unter Abspaltung von Chlorwasserstoff bei hohen Temperaturen zu Vinylchlorid
- Ethen und Sauerstoff reagieren mittels Katalysatoren zu Ethanal
- Ethen und Sauerstoff reagieren mittels Katalysatoren zu Ethylenoxid (1,2-Epoxyethan oder auch Oxiran)
- Alken und Wasserstoff reagieren zu einem Alkan (Gegenreaktion Dehydrierung)
- Hydrohalogenierung von Alkenen zu Halogenalkanen

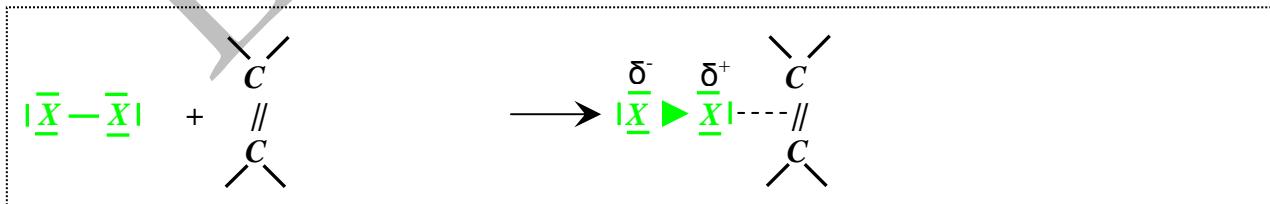
Die entstehenden **Zwischenstufen** bei der  $A_E$  können durch die Gegenwart von konkurrierenden Ionen (z. B.  $Cl^-$ ) nachgewiesen werden. Es entstehen so u.a. gemischte **Additionsverbindungen**, da bei der Bildung des **Carbokations** das **Halogenanion** nicht bevorzugt wird.

Das Reaktionsschema von Halogenalkanen lautet:



Reaktionsmechanismus: **elektrophile Addition  $A_E$**  ( $X$  bzw.  $XH$  addiert an ein Alken)

1. Schritt: **Polarisierung des Halogenmoleküls durch die Doppelbindung**

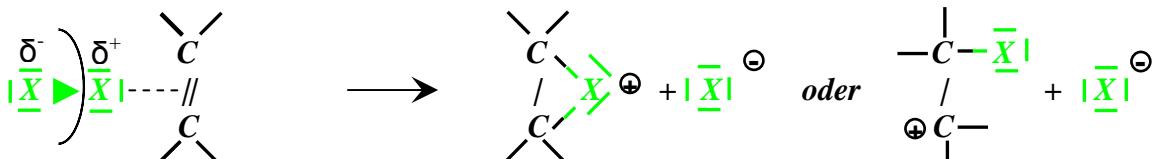


Die dichte  $\pi$ -**Elektronenwolke** der **Doppelbindung** stößt die ebenfalls **negative Ladung** des **Halogenmoleküls** ab. Es entsteht der  $\pi$ -**Komplex**.

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

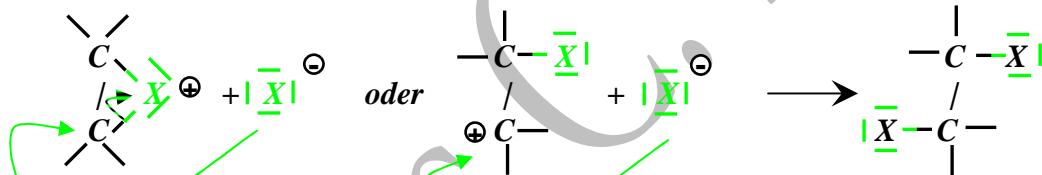
### 1.3.c chemische Eigenschaften

2. Schritt: **Addition** des Kations an die Doppelbindung



Das Halogenmolekül wird **heterolytisch** gespalten. Das Halogenkation  $X^+$  wird an die Doppelbindung addiert. Es bildet sich a) ein **Halogenion** (z. B.: Bromoniumion) oder b) ein **Carbeniumion** (Carbokation). Der Zustand wird als  $\sigma$ -Komplex bezeichnet. Dieser Schritt ist geschwindigkeitsbestimmend, weil langsam.

3. Schritt: **Addition** des Anions



Addition des Anions mittels nukleophilem Angriff auf die Rückseite des Substrates unter Bildung einer  $n,n+1$ -Dihalogenverbindung.

### 1.3.d Molekülgeometrie

In Alkenen sind die an der Doppelbindung beteiligten **Kohlenstoffatome  $sp^2$ -hybridisiert**; das bedeutet, dass durch Überlagerung (**Hybridisierung**) der drei Ausgangsorbitale (ein  $s$ -Orbital und zwei  $p$ -Orbitale) drei neue Orbitale gleicher Energie entstehen und ein Orbital höherer Energie sich bildet. Die drei gleichen Orbitale liegen **in einer Ebene** und der **Bindungswinkel** liegt bei **120 Grad**. Das nicht hybridisierte  $p$ -Orbital steht senkrecht zu diesen Orbitalen.

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.3.d Molekülgeometrie

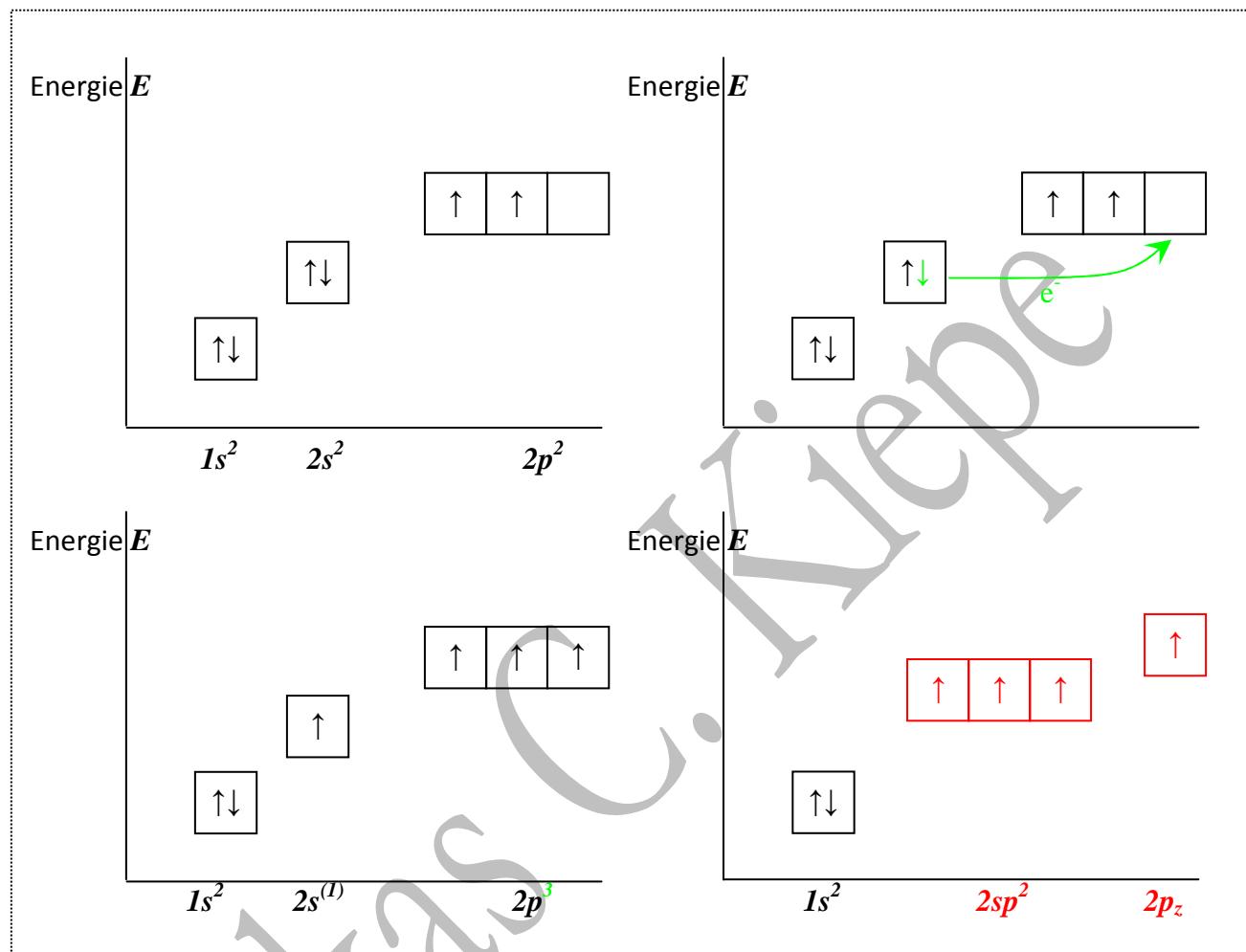


Abbildung 18 a-d:  
Elektronenkonfiguration von Kohlenstoff bei Doppelbindungen

- a) Grundzustand des Kohlenstoffatoms, b) Anhebung eines  $2s$ -Elektrons auf  $2p$ -Niveau (Promotion), c) angeregter Zustand des Kohlenstoffatoms,  
d) hybridisierter Zustand des Kohlenstoffatoms

Das Kohlenstoffatom kann so zwei Einfachbindungen und eine Doppelbindung ausbilden. Bei einer **Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindung** handelt es sich um eine Überlappung des  $s$ -Orbitals des Wasserstoffs mit einem  $sp^2$ -Orbital des Kohlenstoffatoms:  $s-sp^2$ - $\sigma$ -Bindung. Bei Ethen liegen vier dieser Bindungen vor. Bei einer **Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung** handelt es sich um die Überlappung eines  $sp^2$ -Orbitals eines Kohlenstoffatoms mit dem  $sp^2$ -Orbital eines anderen Kohlenstoffatoms:  $sp^2-sp^2$ - $\sigma$ -Bindung und um eine Überlappung der beiden  $2p_z$ -Orbitale:  $p_z-p_z$ - $\pi$ -Bindung. Oberhalb und unterhalb der Ebene der  $\sigma$ -Bindungen entsteht je eine  $\pi$ -Elektronenwolke.

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.3.d Molekülgeometrie

Diese Orbitalüberlappungen werden auch als Sigmabindungen ( $\sigma$ ) bzw. Pibindungen ( $\pi$ ) bezeichnet.

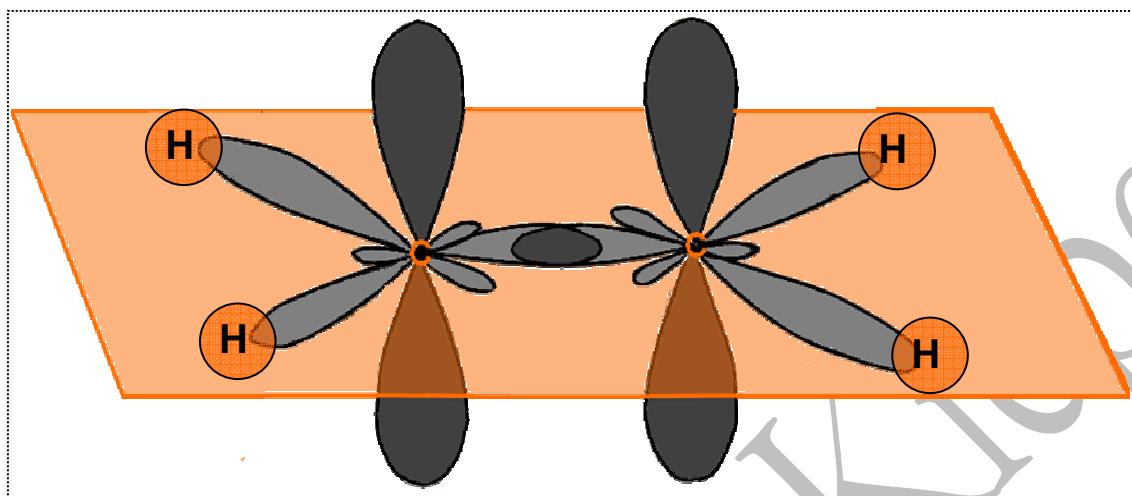


Abbildung 19:  
Bindungsverhältnisse von Ethen

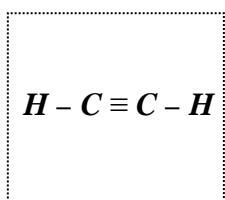
Deutlich erkennbar die  $\sigma$ -Bindungen in Molekülebene und senkrecht dazu die  $\pi$ -Bindung der  $p_z$ -Orbitale

Die **Bindungslänge** beträgt **109 Pikometer** für die **C-H-Bindung** und **154 Pikometer** für die **C-C-Einfachbindung**, für die **C=C-Doppelbindung** aber nur **135 Pikometer**. Die Bindungsenergie einer **C-C-Einfachbindung** liegt bei **348 kJ/mol** und bei einer **C=C-Doppelbindung** bei **614 kJ/mol**. Damit ist klar, dass die Pibindung schwächer ist als eine normale **C-C-Einfachbindung**. Dies erklärt auch die höhere Reaktivität.

### 1.4 Alkine

**Kohlenwasserstoffe**, deren Moleküle mindestens eine  **$C\equiv C$ -Dreifachbindung** enthalten, werden als **Alkine** (Gruppe der Polyne) bezeichnet. Sie gehören zur Gruppe der **ungesättigten Kohlenwasserstoffe**, da an die Moleküle andere Teilchen addiert werden können.

Das einfachste Alkinmolekül wird **Ethin** genannt:



durch Anhängen von  
je einer **Methylengruppe**  
( $-CH_2-$ ) ergibt sich die  
homologe Reihe der Alkine

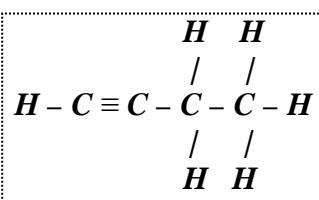
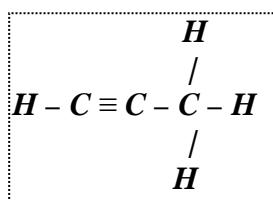
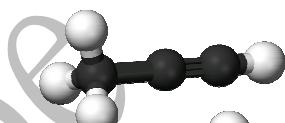
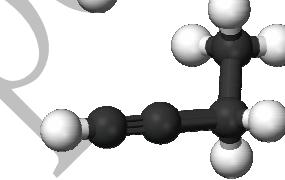
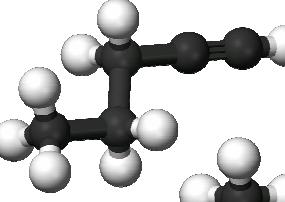
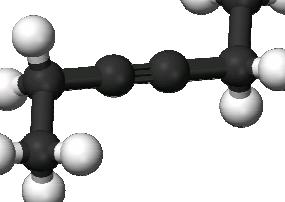


Abbildung 20:  
Ethin, Propin und n-Butin

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

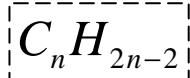
### 1.4 Alkine

#### Homologe Reihe der Alkine:

Name	Summenformel	Smp.	Sdp.	Aggregatzustand bei Standardbedingungen	Struktur
Ethin (Acetylen)	$C_2H_2$		<i>sublimiert bei 189 K</i>	gasförmig	
Propin (Methylacetylen)	$C_3H_4$		<i>170 K</i> <i>250 K</i>	gasförmig	
n-Butin (Ethylacetylen)	$C_4H_6$		<i>147 K</i> <i>281 K</i>	gasförmig	
n-Pentin (Propylacetylen)	$C_5H_8$		<i>167 K</i> <i>313 K</i>	flüssig	
n-Hexin (Butylacetylen)	$C_6H_{10}$		<i>168 K</i> <i>354 K</i>	flüssig	

*Achtung! Hier Hex-3-in →*

Es gilt die allgemeine Summenformel:



Sie identisch mit der allgemeinen Summenformel der Cycloalkene, wobei hier  $n \geq 2$  sein muss.

#### 1.4.a Nomenklatur

Die Nomenklatur erfolgt wie bei den Alkanen und Alkenen. Die **Stammnamen** sind die gleichen, bis darauf, dass das Suffix -an /-en in **-in** umgewandelt wurde. Um deutlich zu machen, nach welchem **Kohlenstoffatom** die  **$C \equiv C$ -Dreifachbindung** folgt, wird die Position der Dreifachbindung mit Bindestrichen getrennt vor die Endsilbe -in gestellt. Sind mehrere Dreifachbindungen vorhanden, so wird dem Suffix das griechische Zahlenwort vorangestellt.

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.4.a Nomenklatur

Beispiel: **Buta-1,3-diin** (Diacetylen) [  $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$  ]

Ist die Position der Dreifachbindung direkt nach dem ersten Kohlenstoffatom, kann der Verweis -1-in weggelassen werden. Kommt dieser Fall bei unverzweigten Alkanen vor, reicht das Präfix n-.

Bei **Dreifachbindungen**, die im Gegensatz zur Einfachbindung **nicht frei drehbar** sind, tritt keine **Geometrische Isomerie** (auch: *cis/trans*-Isomerie, IUPAC: (Z)/(E)-Isomerie) auf. Da die Bindungswinkel **180 Grad** betragen.

### 1.4.b Cycloalkine

Es gibt auch cyclische Alkine. Die Cycloalkine ohne Seitenketten bilden ebenfalls eine homologe Reihe mit der allgemeinen Summenformel  $[\text{C}_n\text{H}_{2n-4}]$ . Kleine cyclische Alkine sind sehr gespannt und daher recht unstabil. Cyclooctin ist das erste Cycloalkin, das bei Raumtemperatur stabil ist.

**Cycloalkine sind kaum von Bedeutung.**

**Nomenklatur bei Cycloalkinen:**

Die Namen der Cycloalkine werden aus denjenigen der entsprechenden offenkettigen Alkinen mit gleicher Kohlenstoffanzahl durch die Vorsilbe **Cyclo-** gebildet. Weist das Molekül Substituenten auf, wird deren Ort mit einer Zahl am Anfang gekennzeichnet, darauf folgt, getrennt durch einen Bindestrich (-), der Name des Substituenten und schließlich der Name des **Cycloalkinrings**. Kommen mehrere Dreifachbindungen vor, so wird die Kohlenstoffkette so durchnummeriert, dass den Dreifachbindungen die kleinsten Positionen zugewiesen werden können.

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.4.c chemische Eigenschaften

Die Alkine sind von Ethan bis Butin **gasförmig** und damit leichtflüchtig. Es liegen keine Daten bzgl. der Phasengrenzen höherer Alkine vor. Die  **$C\equiv C$ -Dreifachbindung** ist zwar kürzer als eine  **$C-C$ -Einfachbindung** (bedeutet kleinere *van-der-Waals-Kräfte*), aber durch die bessere **Polarisierbarkeit** sind die Wechselwirkungen zwischen den Molekülen größer. Die **Phasengrenzen** von **Alkanen**, **Alkenen** und **Alkinen** sind daher sehr ähnlich; das Siedepunktniveau ist bei Alkinen jedoch leicht höher.

In **Wasser** sind Alkine **schwer löslich** (aber besser als Alkene), d. h., sie sind **lipophil** und **hydrophob**, sie sind gut **brennbar** und teilweise **explosiv**. Die Alkine sind **reaktionsfreudig**. Von technischer Bedeutung sind aber lediglich Ethan (Trivialname: Acetylen) und Propin, sie werden unter anderem als **Schweißgas** verwendet, da ihre Flammen extrem heiß (bis zu **3100 °C**) werden. Ethan ist in der chemischen Industrie von hoher Bedeutung zur Herstellung von vielen weiteren Verbindungen.

Die Dreifachbindung lässt sich mithilfe von **Brom** nachweisen. In Anwesenheit von ungesättigten Kohlenwasserstoffen findet eine schnelle Entfärbung statt, da **Brom** an die Mehrfachbindungen addiert wird.

**Herstellung** von Alkinen: Aus **Calciumcarbid** kann mittels **Kochsalzlösung** Ethan hergestellt werden: 
$$[CaC_2 + 2H_2O \longrightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2]$$
 Dieser Reaktion liegt auch die Funktion der **Carbidlampe** zugrunde.

[ $/C\equiv C/$ ]<sup>2-</sup>-Ionenverbindungen werden als **Acetylid** bezeichnet. Sie sind die Salze der Alkine. Es handelt sich um **Carbanionen** (negative Kohlenstoffionen). Verbindungen des Typs  $E_xC_y$  werden als **Carbide** bezeichnet. Silberacetylid (Sprengsilber) ist explosiv:  $2 [Ag]^+ [C\equiv C]^{2-}$

Die Alkine reagieren auch nach dem Mechanismus der **elektrophilen Addition**  $A_E$ . Die **Markovnikow-Regel** findet bei Alkinen aber keine Anwendung.

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.4.d Molekülgeometrie

In Alkinen sind die an der Dreifachbindung beteiligten **Kohlenstoffatome  $sp$ -hybridisiert**; das bedeutet, dass durch Überlagerung der zwei Ausgangsorbitale (ein s-Orbital und ein p-Orbital) zwei neue Orbitale gleicher Energie entstanden sind. Die  $sp$ -Orbitale liegen auf einer Geraden, die verbleibenden  $p$ -Orbitale stehen senkrecht auf dieser Geraden und bilden untereinander rechte Winkel.

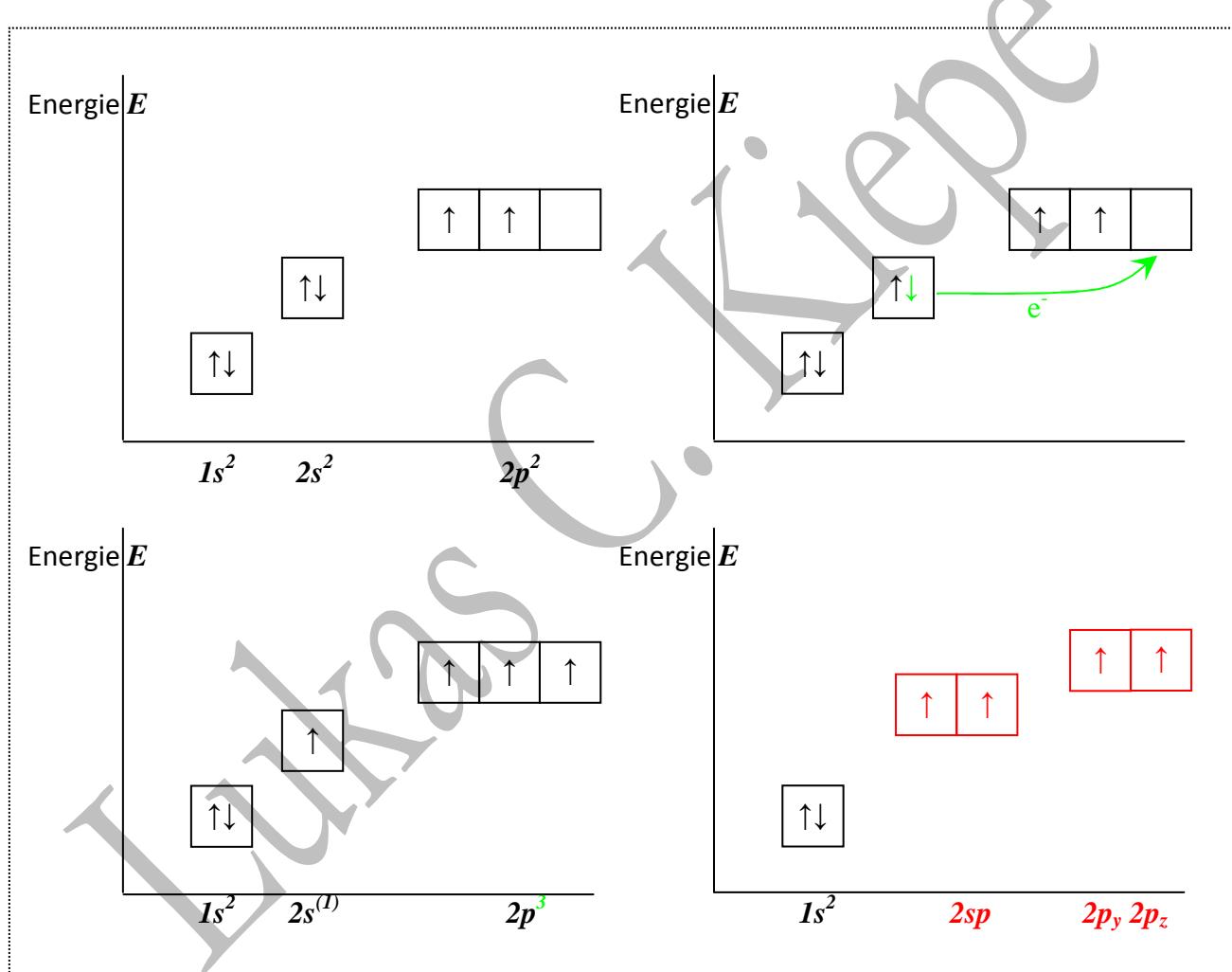


Abbildung 21 a-d:  
Elektronenkonfiguration von Kohlenstoff bei Dreifachbindungen

- Grundzustand des Kohlenstoffatoms,
- Anhebung eines  $2s$ -Elektrons auf  $2p$ -Niveau (Promotion),
- angeregter Zustand des Kohlenstoffatoms,
- hybridisierter Zustand des Kohlenstoffatoms

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.4.d Molekülgeometrie

Das Kohlenstoffatom kann so eine Einfachbindung und eine Dreifachbindung ausbilden. Bei einer **Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindung** handelt es sich um eine Überlappung des *s*-Orbitals des Wasserstoffs mit einem *sp*-Orbital des Kohlenstoffatoms: ***s-sp*- $\sigma$ -Bindung**. Bei Ethin liegen zwei dieser Bindungen vor. Bei einer **Kohlenstoff-Kohlenstoff-Dreifachbindung** handelt es sich um die Überlappung eines *sp*-Orbitals eines Kohlenstoffatoms mit dem *sp*-Orbital eines anderen Kohlenstoffatoms: ***sp-sp*- $\sigma$ -Bindung und** um eine Überlappung der beiden *2p<sub>y</sub>*-Orbitale, also einer ***p<sub>y</sub>-p<sub>y</sub>- $\pi$ -Bindung und*** der beiden *2p<sub>z</sub>*-Orbitale, also einer ***p<sub>z</sub>-p<sub>z</sub>- $\pi$ -Bindung***. Die  **$\pi$ -Orbitale** treten im Abstand von 90 Grad um die Gerade herum auf, und bilden so eine **zylindrische Elektronenwolke**. Diese Orbitalüberlappungen werden auch als Sigmabindungen ( $\sigma$ ) bzw. Pibindungen ( $\pi$ ) bezeichnet.

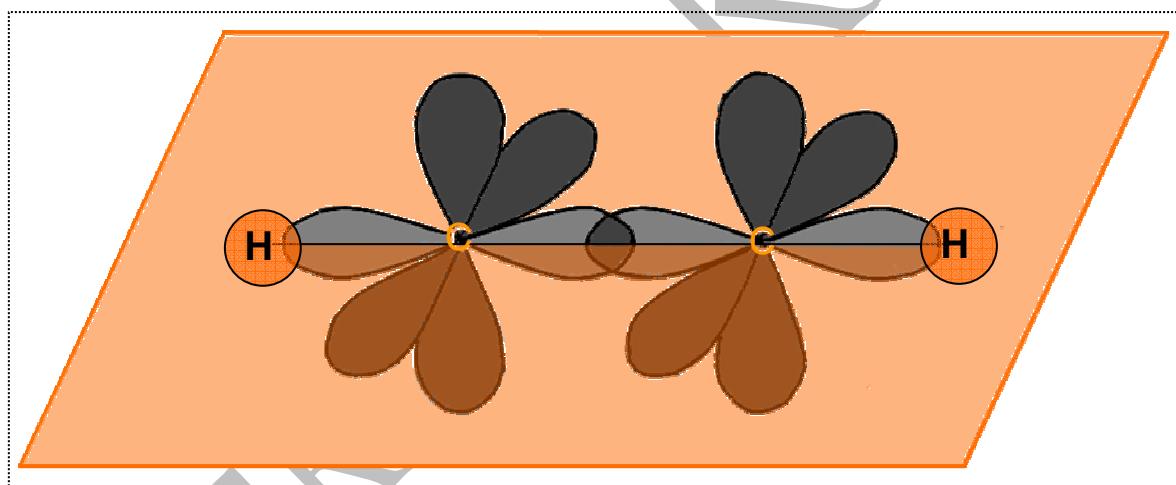


Abbildung 22:

#### Bindungsverhältnisse von Ethin:

Deutlich erkennbar die  $\sigma$ -Bindungen auf der Geraden und senkrecht dazu die  $\pi$ -Bindungen der *p*-Orbitale (aus Gründen der Übersichtlichkeit habe ich hier den jeweils verzerrten Teil der Hanteln weggelassen)

Eine passende  
Abbildung gibt es  
hier:  

---

Die **Bindungslänge** beträgt **109 Pikometer** für die **C-H-Bindung** und **154 Pikometer** für die **C-C-Einfachbindung**, für die  **$C\equiv C$ -Dreifachbindung** aber nur **120 Pikometer**. Die Bindungsenergie einer **C-C-Einfachbindung** liegt bei **348 kJ/mol** und bei einer  **$C\equiv C$ -Dreifachbindung** bei **837 kJ/mol**. Dies erklärt auch die höhere Reaktivität.

Abbildung 23:  
Bindungsverhältnisse  
von Ethin

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

---

### 1.5 Halogenalkane

Wird in einem Kohlenwasserstoffmolekül ein Wasserstoffatom durch ein Halogenatom (Fluor, Chlor, Brom oder Iod) ersetzt, so entsteht ein **Halogenkohlenwasserstoff**. Nach der systematischen **Nomenklatur** wird das Halogenatom als Substituent betrachtet. Die Benennung erfolgt, wie oben erklärt. Der Substituent / die Substituenten wird / werden alphabetisch dem Stammnamen vorangestellt, es wird darauf geachtet, dass die Positionsnummer(n), die mit einem Bindestrich vorgestellt wird / werden so klein wie möglich ist / sind. Es werden auch die schon bekannten griechischen Zahlwörter benutzt.

Durch die größeren molaren Massen als ihre unsubstituierten Verwandten haben die Halogenalkane höhere Schmelz- und Siedepunkte. Diese **Eigenschaft** lässt sich zudem durch die Dipolarität erklären. Halogenkohlenwasserstoffe sind in Wasser unlöslich. Sie lösen sich gut in unpolaren Lösungsmitteln. Sie sind **hydrophob** und **lipophil**. Weil sie gut Fette lösen, kommen sie häufig in Reinigungsmitteln vor (chemische Reinigung). Sie selber sind **reaktionsträge**, schwer bzw. gar nicht brennbar. Durch die hohe Verdampfungswärme sind sie schlechte Wärmeleiter und damit **gute Kühlmittel**. Sie sind aber **meist krebserregend** und weisen eine hohe (**Öko-)Toxizität** auf. Deshalb nimmt ihre Herstellung und Verwendung weiter ab. Zudem sind sie wichtige Ausgangsstoffe für die chemische Industrie, z. B. für die Herstellung von Kunststoffen.

Halogenalkane können in **nukleophilen Substitutionen  $S_N$**  (vgl.: 12.I.2. MONOALKYDERIVATE DES WASSERS 2.A.9 REAKTIONEN DER ALKOHOLE UND IHRE HERSTELLUNG) Abgangsgruppen ersetzen (Halogen austauschreaktionen), aber auch zu Halogenwasserstoff und Alkenen dehydrohalogeniert werden. Hergestellt werden sie z. B. durch die **radikalische Substitution  $S_R$**  von Halogenen mit Alkanen oder durch die **elektrophile Addition  $A_E$**  von Halogenen an Alkene, weitere Möglichkeit:  $S_N$ -Reaktionen.

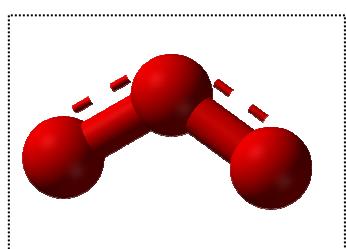


Abbildung 24:  
Ozonmoleköl

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### 1.5 Halogenalkane

Zwischen einem Halogen- und Kohlenstoffatom befindet sich aufgrund der Differenz der Elektronegativität eine polare Atombindung (Elektronenpaarbindungen). Diese Bindung ist eine Überlappung eines  $sp^3$ -Orbitals des Kohlenstoffs mit einem  $p$ -Orbital des Halogenatoms, ferner eine  $sp^3$ - $p$ - $\sigma$ -Bindung.

**Fluorchlorkohlenwasserstoffe** haben einen **gravierenden Umwelteinfluss**. Die niedermolekularen, wasserstofffreien **FCK(W)s** gelangen aufgrund ihrer chemischen Stabilität und ihrer großen Flüchtigkeit in die Stratosphäre und reagieren dort mit der **Ozonschicht**. Mittels Licht geeigneter Wellenlänge und Energie werden aus **FCKWs** Chlorradikale frei. Das Chlorradikal baut Ozon zu bimolekularem Sauerstoff ab. Das an den Sauerstoff gebundene Chlor (Chlormonoxid) wird wieder frei und kann viele Tausend weitere Ozonmoleküle zerstören.

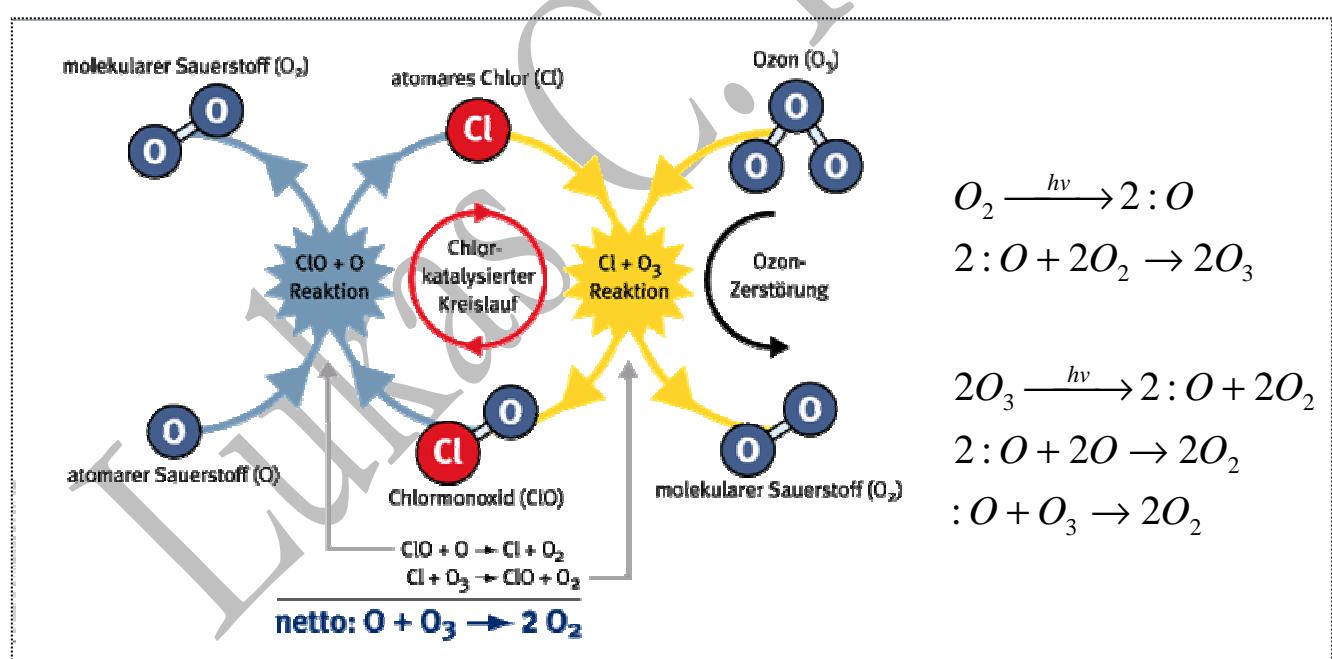


Abbildung 25:

links: radikalischer Abbau von Ozon durch Chlor; rechts: Ozonbildung und -abbau

Dadurch wird die Schutzwirkung der Ozonschicht zerstört und harte UV-Strahlung kann bis zur Erdoberfläche dringen und hat schädigende Wirkung auf Pflanzen, Tiere und Menschen. Zusätzlich absorbieren **FCKW** Licht im Infrarotbereich (stärker als  $CO_2$ ) und tragen zur globalen Erwärmung bei.

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### Abbildungsverzeichnis

Sollten Sie schlechte bzw. falsche Formulierungen oder Darstellungen finden, so informieren Sie mich bitte umgehend. Ich versuche so schnell, wie möglich die entsprechende Stelle nachzubessern. Schicken Sie mir einfach eine Mail an: [fehler@lukaskiepe.de](mailto:fehler@lukaskiepe.de) oder nutzen Sie das Kontaktformular: <http://lukaskiepe.de/chemie>.

Dieses Skript ist als Gesamtwerk urheberrechtlich geschützt. Das Copyright liegt bei mir, Lukas Kiepe. Ich publiziere die Skripte unter der Creative Commons Namensnennung-Nicht-kommerziell-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 Unported Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>). Nachstehend weitere lizenzrechtliche Hinweise:

**Abbildung 1:** Wöhlersche Harnstoffsynthese  
[Eigenarbeit: keine ausreichende Schöpfungshöhe]

**Abbildung 2:** Kohlenstoffverbindungen  
[Eigenarbeit: keine ausreichende Schöpfungshöhe]

**Abbildung 3:** Methan, Ethan und Propan  
[Eigenarbeit: keine ausreichende Schöpfungshöhe]

Darstellungen auf Seite 3 alle von Wikimedia Commons, gemeinfrei:  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Methane-3D-balls.png>  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ethane-3D-balls.png>  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Propane-3D-balls-B.png>  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Butane-3D-balls.png>  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pentane-3D-balls.png>  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hexane-3D-balls.png>  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Heptane-3D-balls.png>  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Octane-3D-balls.png>  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nonane-3D-balls.png>  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Decane-3D-balls.png>

**Abbildung 4:** systematische Benennung eines Moleküls  
[Eigenarbeit: keine ausreichende Schöpfungshöhe]

**Abbildung 5:** tabellarische Übersicht der Alkanisomere  
Nach <http://de.wikipedia.org/wiki/Alkane#i-Alkane>  
Text ebenfalls nach dieser Quelle. Veröffentlicht unter folgender Lizenz:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/> Die Autoren können hier <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Alkane&action=history> eingesehen werden.

**Abbildung 6:** bekanntes Cycloalkan: das ringförmige Cyclohexan  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cyclohexane-3D-balls-B.png>  
gemeinfrei

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

---

### Abbildungsverzeichnis

**Abbildung 7:** Schmelz- (blau) und Siedepunkte (rot) der homologen Reihe ...  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alkanschmelzundsiedepunkt.svg>  
gemeinfrei

**Abbildung 8:** Oxidation (Verbrennung) von Alkanen  
[Eigenarbeit: keine ausreichende Schöpfungshöhe]

Nebenstehender/nachfolgender Satz nach <http://de.wikipedia.org/wiki/Alkane>  
Urheber hier:

<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Alkane&action=history>.

Veröffentlicht unter folgender Lizenz:

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/> Darauf folgender Absatz  
nach <http://de.wikipedia.org/wiki/Cycloalkane#Eigenschaften> Urheber hier:

<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Cycloalkane&action=history>.

Veröffentlicht unter folgender Lizenz:

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/>.

**Abbildung 9:** Elektronenkonfiguration von Kohlenstoff in Verbindungen  
[Eigenarbeit: keine ausreichende Schöpfungshöhe]

**Abbildung 10:** Elektronenkonfiguration vom Kohlenstoffatom und von Methan  
[Eigenarbeit]

**Abbildung 11:** Ethen, Propen, n-Buten

[Eigenarbeit: keine ausreichende Schöpfungshöhe]

Darstellungen auf Seite 13 alle von Wikimedia Commons, gemeinfrei:

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ethylene-CRC-MW-3D-balls.png>

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Propylene-3D-balls.png>

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:But-1-ene-3D-balls.png>

n-Penten [Eigenarbeit]

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:1-Hexen.png>

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:1-Heptene.png>

Aufzählung und nachfolgende Sätze auf Seite 14 teilweise nach  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Cis-trans-Isomerie> Urheber hier:

<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Cis-trans-Isomerie&action=history>

Veröffentlicht unter folgender Lizenz:

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/>.

**Abbildung 12:** cis-But-2-en und trans-But-2-en

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cis-but-2-ene-3D-balls.png>

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trans-but-2-ene-3D-balls.png>

**Abbildung 13:** Cyclohexen

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cyclohexene-3D-balls.png>

gemeinfrei

Seite 16 letzter Absatz teilweise nach:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Mesomerie> Urheber hier:

<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Mesomerie&action=history>

Veröffentlicht unter folgender Lizenz:

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/>.

**Abbildung 14:** Elektronendelokalisation bei Buta-1,3-dien

Teilweise nach: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Butadiene-HOMO-minus-1-Spartan-3D-balls.png> gemeinfrei

## 1. Alkane, Alkene und Alkine (KC I)

### Abbildungsverzeichnis

**Abbildung 15:** -I-Effekt von links nach rechts abnehmend  
[Eigenarbeit: Keine ausreichende Schöpfungshöhe]

**Abbildung 16:** Markovnikow-Regel ...  
[Eigenarbeit: Keine ausreichende Schöpfungshöhe]

**Abbildung 17:** I-Effekt von links nach rechts zunehmend  
[Eigenarbeit: Keine ausreichende Schöpfungshöhe]

**Abbildung 18:** Elektronenkonfiguration von Kohlenstoff bei Doppelbindungen  
[vgl. Abb. 9]

**Abbildung 19:** Bindungsverhältnisse von Ethen  
[vgl. Abb. 10]

**Abbildung 20:** Ethin, Propin, n-Butin  
[Eigenarbeit: keine ausreichende Schöpfungshöhe]

Darstellungen auf Seite 23 alle von Wikimedia Commons, gemeinfrei:  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acetylene-CRC-IR-3D-balls.png>  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Propyne-3D-balls-B.png>  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:1-butyne-3D-balls-A.png>  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:1-pentyne-3D-balls.png>  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:3-hexyne-3D-balls.png>

**Abbildung 21:** Elektronenkonfiguration von Kohlenstoff bei Dreifachbindungen  
[vgl. Abb. 9]

**Abbildung 22:** Bindungsverhältnisse von Ethin  
[vgl. Abb. 10]

**Abbildung 23:** Bindungsverhältnisse von Ethin [ Link:  
[http://www.chemgapedia.de/vsengine/media/vsc/de/ch/2/oc/stoffklassen/systematik\\_struktur/acyclische\\_verbindungen/ungesaettigte\\_kohlenwasserstoffe/monoene\\_monoine/alkine/bauprinzip\\_ethin.gif](http://www.chemgapedia.de/vsengine/media/vsc/de/ch/2/oc/stoffklassen/systematik_struktur/acyclische_verbindungen/ungesaettigte_kohlenwasserstoffe/monoene_monoine/alkine/bauprinzip_ethin.gif) ]

**Abbildung 24:** Ozonmolekül  
[Quelle: Wikimedia Commons <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ozone-CRC-MW-3D-balls.png>; gemeinfrei]

**Abbildung 25:** links: radikalischer Abbau von Ozon durch Chlor; rechts: Ozonbildung und -abbau  
[Quelle: <http://www.weltderphysik.de/de/7792.php?i=7835> Lizenz: CC 2.0 by-nc-nd(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/deed.de>); von Lena Brey, Dirk Günther]

Seite 29 teilweise nach:  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Fluorchlorkohlenwasserstoffe#Umwelteinfluss>  
Urheber hier:  
<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fluorchlorkohlenwasserstoffe&action=history>. Veröffentlicht unter folgender Lizenz:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/>