

# STOFFE IM WANDEL



## I Stoffe in der organischen Chemie

- 1 Grundlagen der organischen Chemie

## II Reaktionsarten der organischen Chemie

- 1 Substitutionsreaktion
- 2 Additionsreaktion
- 3 Eliminationsreaktion
- 4 Oxidationsreaktion
- 5 Kondensationsreaktion

## III Erdöl – die Basis vieler organischer Verbindungen

## IV Stoff-Wechsel

- 1 Kreislauf der Stoffe in Ökosystemen
- 2 Kreislauf der Stoffe in Organismen = Stoffwechsel
- 3 Kohlenhydrate – die Energiereichen
- 4 Fette (Triglyceride)
- 5 Zellatmung – Energiebereitstellung bei Pflanze, Tier und Mensch
- 6 Proteine – Baustoff und Werkzeug in lebenden Zellen
- 7 Organsysteme des Stoffwechsels bei Tier und Mensch



# 1 STOFFE ...

## ... in der organischen Chemie

### 1 Grundlagen der organischen Chemie

Bereits mit Ende des 18. bzw. Anfang des 19. Jahrhunderts wurde die erste Definition des Begriffes der **organischen Chemie** von **Berzelius** aufgestellt.

Stoffe, die von lebenden Organismen gebildet werden oder von ihnen stammen, sind Stoffe der organischen Chemie.

Alle anderen Stoffe gehören zur **anorganischen Chemie**.

#### MINI 1

##### Unterschied organisch – anorganisch

☺☺ Überlegt, welcher der folgenden Stoffe organisch bzw. anorganisch ist:  
Papier, Aluminium, Plastikfolie, Glas, Holz

- Versucht, eure Ergebnisse mit der Aussage von Berzelius zu vergleichen.
- Überlegt, was geschieht, wenn ihr diese Stoffe anzündet.
- Welche Endprodukte könnten entstehen? Begründet eure Ergebnisse in einer Tabelle.

Stoff	Verbrennungsendprodukte	organisch	anorganisch	Begründung
Papier				

- Könnte es noch eine genauere Definition für organische Stoffe geben? Versucht, eine Definition zu formulieren.

Schon bald wurde die Definition der organischen Chemie durch **Wöhler** in Frage gestellt. Ihm gelang es, aus anorganischen Stoffen ohne Hilfe eines Lebewesens den organischen **Harnstoff** herzustellen. Dadurch zeigte sich, dass die bisherige Definition der organischen Chemie umgeschrieben werden musste. Die heute gültige Definition der organischen Chemie lautet:

**Die organische Chemie ist die Chemie der Kohlenstoffverbindungen.** Neben dem Element Kohlenstoff kommt in den Verbindungen vorwiegend Wasserstoff vor, seltener kommen die Elemente Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel sowie Halogene vor.

Bei den Verbindungen des Kohlenstoffs gibt es Ausnahmen, die zum Teilgebiet der anorganischen Chemie gehören. Dazu zählen Kohlenstoffoxide (z. B.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ), die Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) und ihre Salze, Carbide (Halb- und Metallverbindungen des Kohlenstoffs) und Ruß (Kohlenstoff enthält noch geringe Mengen an Wasserstoff- und Sauerstoffatomen).

Man erkennt organische Stoffe daran, dass sie brennbar sind und sich Ruß bildet. Weiters haben sie meist niedrige Schmelz- und Siedepunkte.

### 1.1 Warum ist Kohlenstoff ein wichtiger Bindungspartner?

#### MINI 2

##### Erinnert euch ...

☺☺ Erstellt mit Hilfe des Periodensystems (► S. XY) eine Beschreibung des Elementes Kohlenstoff und beantwortet folgende Fragen:

- Wie viele Protonen und wie viele Elektronen besitzt Kohlenstoff?
- Wie viele Elektronen fehlen ihm, um den Edelgaszustand zu erreichen?
- Warum verbindet sich Kohlenstoff so gerne mit Wasserstoff?
- Um welchen Bindungstyp handelt es sich bei dieser Verbindung?

**organische Chemie** =  
Chemie der Kohlenstoff-  
verbindungen

**Jöns Jakob Berzelius**  
(1779 – 1848), schwedischer  
Mediziner und Chemiker

**anorganische Chemie** =  
Chemie der vorwiegend  
kohlenstofffreien  
Verbindungen sowie  
einiger Ausnahmen

**Friedrich Wöhler**  
(1800 – 1882), deutscher  
Chemiker

**Edelgaszustand**  
(**Edelgaskonfiguration**) =  
Die äußerste Atomhülle  
ist vollständig mit  
Elektronen besetzt  
(meist 8 Elektronen).



Kohlenstoff ist ein Element der zweiten Periode und hat einen kleinen Atomdurchmesser. Kohlenstoff benötigt in der Einfachbindung vier Bindungspartner, um den Edelgaszustand zu erreichen. Bei den Mehrfachbindungen verbinden sich zwei Kohlenstoffelemente entweder über eine Doppel- oder über eine Dreifachbindung.

Der **Elektronegativitätsunterschied** zwischen Kohlenstoff und Wasserstoff ist sehr gering, dadurch ist die Kohlenwasserstoffbindung stabil.

Durch den kleinen Atomdurchmesser und die mittlere Elektronegativität kann Kohlenstoff stabile Bindungen mit sich selbst bilden. Es können lange unverzweigte oder verzweigte Ketten sowie ringförmige Verbindungen entstehen. Die Ketten können neben den Einfachbindungen auch Mehrfachbindungen enthalten.

**Elektronegativität (EN)**  
= Maß für die Fähigkeit von Atomen, innerhalb einer Bindung Elektronen anzuziehen

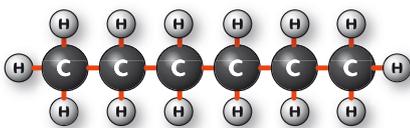


Abb. 1 Unverzweigte Kohlenwasserstoffkette

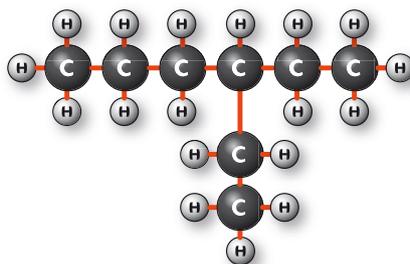


Abb. 2 Verzweigte Kohlenwasserstoffkette

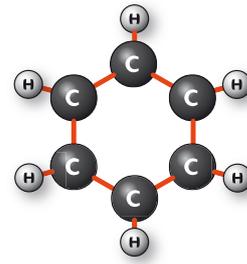
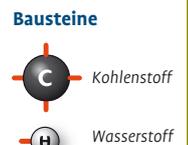


Abb. 3 Ringförmige Kohlenwasserstoffe



Diese Vielfalt an Bindungsmöglichkeiten lässt unendlich viele verschiedene organische Verbindungen entstehen.

Der ideale Bindungspartner bei den kettenförmigen und ringförmigen Verbindungen ist der Wasserstoff. Er verbindet sich mit den frei gebliebenen Elektronen des Kohlenstoffs und schirmt ihn so fast vollkommen ab.

Dies kann man sehr schön in den Abbildungen 1 bis 3 sehen. Wasserstoff besitzt ein Valenzelektron und hat seinen Edelgaszustand erreicht, wenn er zwei Valenzelektronen durch die Verbindung mit Kohlenstoff erhält.

**Valenzelektronen** =  
Elektronen in den äußersten Orbitalen/Hüllen

## 1.2 Arten der Kohlenwasserstoffe

In Anbetracht der vielen Möglichkeiten der Verbindungen kann man die Kohlenwasserstoffe folgendermaßen einteilen:

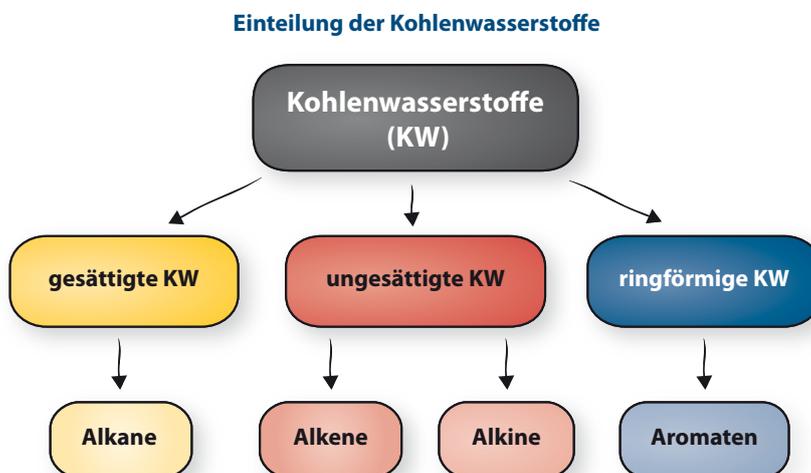


Abb. 4 Einteilung der Kohlenwasserstoffe

### gesättigte

**Kohlenwasserstoffe** = Moleküle mit Einfachbindungen, die aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen

**homologe Reihe** = eine Stoffreihe, die sich über eine Summenformel darstellen lässt, wobei ein Stoff dieser Reihe durch Anhängen eines weiteren Molekülanteils der Kette gebildet wird

**Summenformel** = gibt die Anzahl und die Art der Bindungspartner an

**Trivialname** = der Name einer chemischen Verbindung, der nicht der systematischen Namensgebung der Chemie entspricht

## 1.2.1 Alkane

Sie gehören zu den **gesättigten Kohlenwasserstoffen**, da die Moleküle nur aus Einfachbindungen zwischen Kohlenstoff und Wasserstoff aufgebaut sind. Man gewinnt sie aus Erdöl und Erdgas (► S. XY). Sie sind wichtige Rohstoffe und Energieträger.

Die Moleküle werden in einer Reihe aufgezählt, der so genannten **homologen Reihe**. Eine homologe Reihe ist eine Stoffreihe, die sich über eine **Summenformel** darstellen lässt, wobei ein Stoff dieser Reihe durch Anhängen eines weiteren Molekülanteils der Kette gebildet wird. Durch Hinzufügen von weiteren  $\text{CH}_2$ -Gruppen entstehen bei den Alkanen immer längere Ketten. Die Summenformel entspricht bei den Alkanen einer **allgemeinen Formel**:  $\text{C}_n \text{H}_{2n+2}$ . Hier steht n für die Anzahl der Kohlenstoffe.

Die Namen der **Alkane** enden alle auf die Silbe **-an**. Die ersten vier Namen sind **Trivialnamen**. Diese muss man auswendig lernen. Die weiteren Namen lassen sich entsprechend der Zahl der Kohlenstoffe aus dem griechischen Zahlwort plus der **Endung -an** abwandeln.

Das einfachste Molekül ist **Methan**  $\text{CH}_4$ . Das nächste Molekül ist **Ethan**  $\text{C}_2\text{H}_6$ . Es folgen **Propan, Butan, Pentan, Hexan, Heptan, Octan, Nonan, Decan usw.**

Die Länge der Kette bestimmt die Schmelz- und Siedetemperatur der Stoffe. Die ersten vier Alkane der Reihe sind bei Raumtemperatur gasförmig. Propan ist zum Beispiel das Gas, das in der Gasflasche beim Gasgriller verwendet wird. Die weiteren Verbindungen sind bei Raumtemperatur flüssig.



Abb. 5 Gasflasche

## MINI 3

### Alkan – wie bitte?

☺☺ Erstellt eine Tabelle der Alkane mit ansteigender Kohlenstoffanzahl bis 7 C laut folgendem Muster:

Kohlenstoffanzahl	Strukturformel	Summenformel	Name
1 C	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H} - \text{C} - \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\text{CH}_4$	Methan

- Wenn ihr genau hinschaut, könnt ihr die gemeinsame Formel für alle Alkane erkennen. Versucht sie zu finden und schreibt sie auf.

## NAWI-XTRA

### Die Molekülgeometrie

Alle Kohlenwasserstoffverbindungen besitzen eine **Molekülgeometrie**. Die Molekülgeometrie beschreibt die räumliche, geometrische Anordnung der Atome in einem Molekül. Diese Anordnung wird in der **Strukturformelschreibweise** dargestellt, wie am Beispiel Methan in der Tabelle des Mini 3 ersichtlich ist. Ursache dieser Molekülgeometrie ist die **Elektronenkonfiguration des Kohlenstoffs**. Die Elektronenkonfiguration beschreibt die Verteilung der Elektronen in den Atomhüllen und in ihren Orbitalen (s, p, d, f).

Beim ungebundenen Kohlenstoffatom befinden sich die vier Valenzelektronen in Orbitalen mit unterschiedlichen Energieniveaus, verteilt auf s- und p-Orbitalen. Das s-Orbital besitzt eine niedrigere Energie als das p-Orbital.



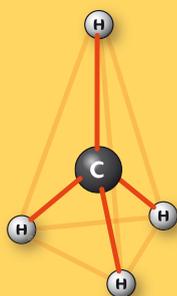
**Molekülgeometrie** = die räumliche, geometrische Anordnung der Atome in einem Molekül

**Elektronenkonfiguration** = die Verteilung der Elektronen in den Atomhüllen und in ihren Orbitalen

**Orbital** = beschreibt jenen Ort, an dem sich ein Elektron mit 90%iger Wahrscheinlichkeit aufhält



## NAWI-XTRA



Bei den **Alkanen** sind die Kohlenstoffatome gebunden. Dabei überlagern sich ein s- und drei p-Orbitale zu vier neuen Orbitalen mit gleicher Energie. Diese vier Orbitale sind räumlich mit einem Winkel (Bindungswinkel) von 109,47 Grad voneinander getrennt. Es entsteht die geometrische Figur eines **Tetraeders**.

In Abbildung 6 sieht man die Tetraederstruktur des Methans, in der die gewinkelte Anordnung der Wasserstoffatome mit Kohlenstoff dargestellt ist.

Abb. 6 Tetraederstruktur des Methans

Alkane bestehen nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff bzw. Kohlenstoff und Kohlenstoff-Einfachbindungen. Die Länge der Bindungen zwischen den Bindungspartnern ist unterschiedlich. So beträgt sie zwischen Kohlenstoff und Wasserstoff rund 109 **Pikometer** (pm) und zwischen Kohlenstoff und Kohlenstoff rund 154 Pikometer (pm). Der Unterschied in der **Bindungslänge** der Atome entsteht durch den unterschiedlichen Atomradius der Atome. Die Bindungslänge beschreibt den Abstand zwischen zwei Atomkernen in einer chemischen Bindung.

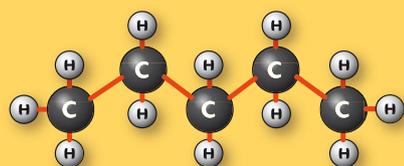


Abb. 7 Gewinkelte Strukturformel von Pentan

Auch zwischen den Kohlenstoff-Kohlenstoff- und Wasserstoff-Kohlenstoff-Bindungen beträgt der Bindungswinkel (► S. XY) 109,47 Grad. Aus diesem Grund ist die geradlinig gezeichnete Strukturformel der Alkane nicht korrekt.

Die **korrekte Darstellung** muss gewinkelt erfolgen. Diese gewinkelte Strukturformel wird in Abbildung 7 am Beispiel von Pentan dargestellt.

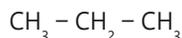
Die Moleküle der Kohlenwasserstoffverbindungen können grafisch verschieden dargestellt werden – als ...

### Strukturformel:

Hier gibt es zwei Möglichkeiten:

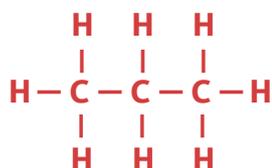
- Man schreibt CH für Kohlenwasserstoffe und der **Index** gibt die Anzahl der Wasserstoffe an.

**Beispiel:** Propan



- Kohlenstoff verbindet sich mit Kohlenstoffen über Valenzstriche und man fügt die Wasserstoffe um die Kohlenstoffe herum ebenfalls mit Valenzstrichen an.

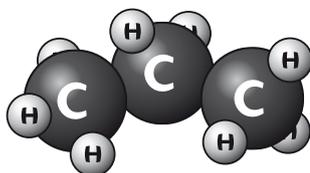
**Beispiel:** Propan



### Kalottenmodell:

Hier werden verschiedenfarbige Kugeln zur räumlichen oder zur 3D-Darstellung der Molekülstruktur verwendet.

**Beispiel:** Propan



### Kurzschreibweise:

Hier werden nur mehr die Valenzstriche in Zickzackform aufgezeichnet. Die Striche sind das Kohlenstoffgerüst, an den Ecken sind die Kohlenstoffatome. Die Wasserstoffe werden nicht mehr angeschrieben. Diese Schreibweise eignet sich vor allem für längere Molekülketten.

**Beispiel:** Butan



### Bindungswinkel =

Winkel zwischen einem Atom zu zwei Nachbaratomen bei der Atombindung

### Pikometer (pm) =

$1 \cdot 10^{-12}$  Meter (m)

**Bindungslänge** = bei chemischen Bindungen der gemessene Abstand von Atomkern zu Atomkern

**Index** = Teilchenanzahl in der Chemie

**Kalottenmodell** = ein räumliches oder ein 3D-Modell zur anschaulichen Darstellung der Molekülstruktur

**Alkene** = besitzen mindestens eine Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen

**ungesättigte Kohlenwasserstoffe** = Moleküle, die mindestens eine Mehrfachbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen besitzen

**Pheromone** = Botenstoffe, die z. B. als Duftstoffe den Insekten helfen, Geschlechtspartner zu finden

**Phytohormone** = pflanzeigene organische Verbindungen, die das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen steuern

### 1.2.2 Alkene

Moleküle mit mindestens einer **Doppelbindung** werden **Alkene** genannt. Sie gehören zu den **ungesättigten Kohlenwasserstoffen**, da sie im Molekül mindestens eine Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen besitzen.

Die Namen dieser Stoffgruppe leiten sich von den Alkanen ab, jedoch bekommen sie die **Endung -en**. Auch hier gibt es eine **homologe Reihe** (► S. XY). Da die Doppelbindung allerdings nur zwischen zwei Kohlenstoffatomen auftritt, beginnt diese Reihe bei **Ethen**  $C_2H_4$ . Für die Summenformel der Alkene gibt es ebenfalls eine **allgemeine Formel:  $C_nH_{2n}$** .

Im Erdöl kommen Alkene nur gering vor. Lebewesen verwenden die Alkene als **Pheromone** und **Phytohormone**. Alkene sind vor allem wichtige Basisprodukte der organischen Chemie.

## SPECIALS

- **Pheromone** sind Botenstoffe, die zur Kommunikation zwischen Lebewesen einer Art dienen. Insekten finden dadurch ihren Geschlechtspartner, Reviere werden mit diesen Stoffen markiert und Nest- und Futterplätze können so von den Arbeiterinnen gefunden werden. Bei bestimmten Tierfallen nützt man diese Pheromone, um Schädlinge in Haus und Garten anzulocken (z. B. Mottenfallen).
- **Phytohormone** sind organische Verbindungen, die als **Signalmoleküle** (Botenstoffe) das Wachstum und die Entwicklung von Pflanzen steuern. Sie werden entweder von Zelle zu Zelle oder als Gas (Ethylen) weitergegeben. **Äpfel** geben reichlich **Ethylen** an die Umgebung ab. Man sollte daher man Bananen nicht gemeinsam mit Äpfeln in einer Schale aufbewahren, weil sonst die Bananen schneller braun werden. Ethylen fördert die Reifung von Früchten.

## MINI 4

### Alken – wie bitte?

😊😊 Erstellt eine Tabelle der Alkene mit ansteigender Kohlenstoffanzahl bis 7 C nach folgendem Muster:

Kohlenstoffanzahl	Strukturformel	Summenformel	Name
2 C	$  \begin{array}{c}  \text{H} \quad \text{H} \\  \backslash \quad / \\  \text{C} = \text{C} \\  / \quad \backslash \\  \text{H} \quad \text{H}  \end{array}  $	$C_2H_4$	Ethen

- Wenn ihr genau hinsieht, könnt ihr die gemeinsame Formel für alle Alkene erkennen. Versucht, sie zu finden, und schreibt sie auf.

## NAWI-XTRA

### cis-trans-Isomerie

Unter **Isomerie** versteht man zwei oder mehrere Verbindungen, die eine gleiche Summenformel und Molekülmasse besitzen. Die Verknüpfung oder die räumliche Anordnung der Atome ist aber unterschiedlich. Diese Verbindungen lassen sich durch unterschiedliche Strukturformeln darstellen. Sie unterscheiden sich in ihren chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften und treten häufig bei organischen Verbindungen auf.

Bei Alkenen tritt die **cis-trans-Isomerie** oder **(Z)-(E)-Isomerie** auf, da beide Kohlenstoffatome einer Doppelbindung unterschiedliche Bindungspartner tragen.





## NAWI-XTRA

- **Z bzw. cis** steht für „zusammen“. – Wie im Beispiel (► Abb. XY) befinden sich die Bindungspartner Chlor (Cl) auf der gleichen Seite der Kohlenstoffatome.



Abb. 8 Z-1,2-Dichlorethen oder cis-1,2-Dichlorethen

- **E bzw. trans** steht für „entgegengesetzt“. – Die Bindungspartner Chlor (Cl) befinden sich, wie im Beispiel (► Abb. 9) dargestellt, auf der gegenüberliegenden Seite der Kohlenstoffatome.



Abb. 9 E-1,2-Dichlorethen oder trans-1,2-Dichlorethen

### 1.2.3 Alkine

Moleküle mit einer **Dreifachbindung** werden **Alkine** genannt. Sie gehören zu den **ungesättigten Kohlenwasserstoffen**, da sie im Molekül mindestens eine Dreifachbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen besitzen.

Die Namen dieser Stoffgruppe leiten sich ebenfalls von den Alkanen ab, jedoch bekommen sie die **Endung -in** angefügt. Auch hier gibt es eine **homologe Reihe** (► S. XY). Da die Dreifachbindung jedoch nur zwischen zwei Kohlenstoffatomen auftritt, beginnt diese Reihe bei **Ethin  $C_2H_2$** . Für die Summenformel der Alkine gibt es ebenfalls eine **allgemeine Formel:  $C_n H_{2n-2}$** .

Alkine kommen in der Natur nicht sehr häufig vor. In der Technik sind vor allem Ethin (Acetylen) und Propin von Bedeutung. Sie werden als Schweißgas verwendet. Die Flamme erreicht bis zu  $3\ 100\ ^\circ C$ .



Abb. 10 Schweißer bei der Arbeit

**Alkine** = besitzen mindestens eine Dreifachbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen

**ungesättigte Kohlenwasserstoffe** = Moleküle, die mindestens eine Mehrfachbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen besitzen

## SPECIALS

- Der **Pfeilgiftfrosch** produziert in seiner Haut eine Substanz, die zwei Alkingruppen enthält. Dadurch ist er vor Fressfeinden, wie Reptilien und Säugetieren, geschützt.
- Bei den Pfeilgiftfröschen handelt es sich um die Gruppe der **Baumsteigerfrösche**. Die Frösche dieser Gruppe sind zwischen 12 und 50 mm groß. Nur bei drei Arten dieser Frösche wird von Naturvölkern das **Pfeilgift** für die **Jagd Pfeilspitzen** gewonnen. Diese Pfeilgifte sind tödliche Nervengifte.

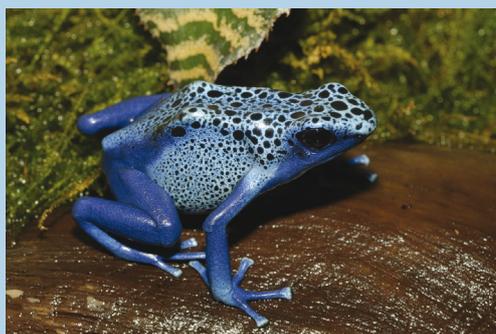


Abb. 11 Pfeilgiftfrosch – Färberfrosch

## MINI 5

### Alkin – wie bitte?

☺☺ Erstellt eine Tabelle der Alkine mit ansteigender Kohlenstoffanzahl bis 7 C nach folgendem Muster:

Kohlenstoffanzahl	Strukturformel	Summenformel	Name
2 C	H - C = C - H	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Ethin

- Wenn ihr genau hinschaut, könnt ihr die gemeinsame Formel für alle Alkine erkennen. Versucht, sie zu finden, und schreibt sie auf.

### 1.2.4 Aromaten

**Aromaten** sind organische Verbindungen, deren Molekül eine **ringförmige Struktur** aufweist. Die ersten Verbindungen aus dieser Gruppe wurden bei Pflanzen entdeckt. Sie hatten einen **aromatischen** Geruch.

Aromaten besitzen mindestens ein ringförmiges Molekül mit Doppel- und Einfachbindungen sowie **delokalisierten Elektronen**.

Delokalisierte Elektronen können keinem bestimmten Atom in der Verbindung zugeordnet werden. Sie bilden eine Art Elektronenwolke, die sich über mehrere Atome legt. Diese entsteht, da sich die Orbitale der freien, delokalisierten Elektronen zu ringförmigen Orbitalen zusammenschließen.

Bei **Benzen** C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, einem typischen Aromat, kann man das sehr gut erkennen. In Abbildung 12 sieht man die ringförmige Strukturformel von Benzen. Es schließen sich die sechs Kohlenstoffe zu einem sechseckigen Ring zusammen. Nach außen verbindet sich jeder Kohlenstoff mit einem Wasserstoff. Damit bleiben im Inneren aber noch sechs Elektronen übrig. Diese bilden mit ihren Orbitalen zwei ringförmige Orbitale, in denen sich die Elektronen bewegen. In Abbildung 13 sieht man die ringförmigen Orbitale als Wolken über und unterhalb des Benzenrings.

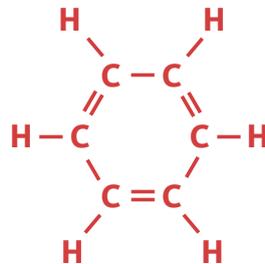


Abb. 12 Eine der Strukturformeln von Benzen

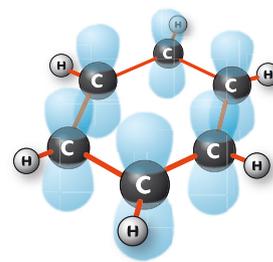


Abb. 13 Benzen mit Orbitalen

Durch Messungen und Berechnungen weiß man, dass sich die Elektronen in den Orbitalen ständig bewegen. Daher kann man grafisch keine eindeutige Zuordnung dieser Elektronen darstellen. Aus diesem Grund zeichnet man zwei Grenzstrukturformeln von Benzen auf. Dabei beschreiben die beiden Grenzstrukturformeln nicht die tatsächliche Verteilung der Elektronen. Der tatsächliche Verteilungszustand der Elektronen liegt dazwischen. Dieses Phänomen wird in der Chemie als **Mesomerie** bezeichnet und durch den **Mesomeriepfeil**  $\longleftrightarrow$  zwischen den Grenzstrukturformeln dargestellt.

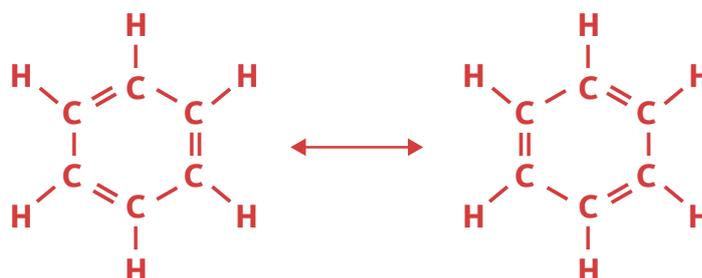


Abb. 14 Mesomerie von Benzen

**Aromaten** = organische Verbindungen, deren Molekül eine ringförmige Struktur aufweist

**delokalisierte Elektronen** = bilden eine Art Elektronenwolke, die sich über mehrere Atome legt

**Orbital** = beschreibt jenen Ort, an dem sich ein Elektron mit 90%iger Wahrscheinlichkeit aufhält

**Mesomerie** = Bindungsverhältnisse in einem Molekül werden nur durch mehrere Grenzstrukturformeln dargestellt.



In Abbildung 14 sieht man die beiden Grenzstrukturformeln von Benzen. Bei der linken Abbildung ist die Lage der Doppelbindungen gegenüber der rechten Abbildung unterschiedlich. In der Mitte der beiden Formeln ist der Mesomeriepfeil zu sehen.



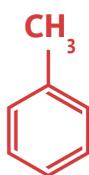
Da es nicht immer sinnvoll ist, beide Grenzstrukturen aufzuzeichnen, verwendet man, wie in Abbildung 15 dargestellt, eine einfache Schreibweise.

Abb. 15 Benzen – einfache Schreibweise

**Benzen** ist **krebserregend** und wird heute durch weniger gefährliche Substanzen ersetzt. Früher war es ein häufig gebrauchtes Lösungsmittel, z. B. in Filzstiften. In der chemischen Industrie wird es heute nur zur Herstellung von Industriechemikalien verwendet.

Neben Benzen zählen alle Moleküle mit ringförmigen, geschlossenen Orbitalen zu den Aromaten.

- Die ringförmigen Moleküle stehen einzeln. An Stelle der Wasserstoffe können sich andere Atome oder Moleküle an die Kohlenstoffe anhängen.



So zum Beispiel bei **Toluen** (Toluol, Methylbenzen), einem wichtigen Lösungsmittel: Es ist nicht so gesundheitsschädlich wie Benzen, führt aber auch zu Nerven-, Nieren- und Leberschäden. Toluen darf in der Europäischen Union (EU) nicht mehr als Bestandteil von frei verkäuflichen Klebstoffen und Farben verwendet werden.

Abb. 16 Toluen

Wie man in der Abbildung 16 erkennen kann, ist ein Wasserstoff durch einen Abkömmling von Methan  $\text{CH}_4$ , nämlich  $\text{CH}_3$ , ersetzt. Da  $\text{CH}_3$  einen **Rest von Methan** darstellt, bekommt es im Namen die **Endung -yl** und wird **Methyl** genannt.

- Schließen sich mehrere Benzenringe so zusammen, dass sie sich zwei gemeinsame Kohlenstoffe teilen, spricht man von **kondensierten Aromaten**.



Abb. 17 Naphthalin

Abbildung 17 zeigt die Struktur von **Naphthalin**  $\text{C}_{10}\text{H}_8$ , einem kondensierten Aromat. Naphthalin ist ein weißlicher Feststoff, der bei Raumtemperatur **sublimiert**. Er geht dabei vom Feststoff sofort in ein Gas über, ohne sich vorher zu verflüssigen. Der Geruch, den man wahrnimmt, ist der von **Mottenpulver**. Auch Naphthalin ist gesundheitsschädlich.



Abb. 18 Mottenkugeln

**Toluen** = ein wichtiges Lösungsmittel

**Methyl** =  $\text{CH}_3$  ist ein Rest von Methan ( $\text{CH}_4$ )

**kondensierte Aromaten** = Zusammenschluss mehrerer Benzenringe, die sich zwei gemeinsame Kohlenstoffe teilen

**Sublimierung** = Übergang eines Stoffes vom festen Zustand in den gasförmigen, ohne sich vorher zu verflüssigen

**Termiten** = staatenbildende Insekten in warmen Ländern mit typischen Bauten

## SPECIALS

- Geringe Mengen von **Naphthalin** werden von Termiten als Abwehrstoff gegen natürliche Feinde wie Ameisen und giftige Pilze produziert. **Termiten** sind staatenbildende Insekten, die Gras und Holz zerkleinern und zum Aufbau der typischen Termitenbauten verwenden. Sie kommen in warmen Erdregionen vor.
- Auf der **Haut** kann es durch Naphthalin zu **Reizungen** und **Ausschlägen** kommen. Es schädigt die roten Blutkörperchen und reizt die Schleimhäute. Wenn man es isst, führt Naphthalin zu Magen-Darm-Störungen, Atemlähmung und Krämpfen.
- Als **Alternative** zu Naphthalin bei der Bekämpfung der Kleidermotten kann man **Lavendel** oder **Pheromonfallen** (► S. XY) verwenden.

Abb. 19 Termitenbau

