

Elemente der Organischen Chemie
für Studierende der Pharmazie

H. W. Schramm
Institut für Pharmazeutische Wissenschaften,
Pharmazeutische Chemie
Karl - Franzens - Universität Graz

Graz, November 2005
2. korrigierte Auflage

- **Atombau**

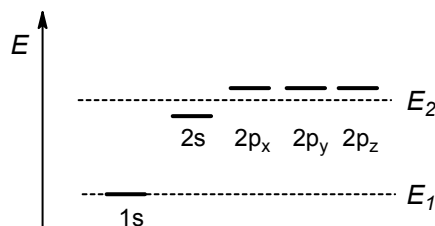
Für das chemische Verhalten der Atome ist die Struktur der Elektronenhülle verantwortlich. Erste Einblicke in den Bau waren mit Hilfe der älteren Quantentheorie (*Planck, Bohr, Sommerfeld*) aufgrund spektroskopischer Daten möglich. Aufgrund der Linienspektren fand man, dass Elektronen gruppenweise verschiedene Energieniveaus (K-, L-, M-, N-Schale) besitzen. Innerhalb dieser Schalen stehen im *Bohr - Sommerfeld - Rutherford* 'schen Atommodell s-, p-, d-, f-Bahnen zur Verfügung. Dieses Modell ist anschaulich, wird aber den wirklichen Verhältnissen nicht gerecht. Die Erklärung der chemischen Bindung erfolgte durch die Theorie der neueren Quanten- und Wellenmechanik von *De Broglie, Schrödinger, Heisenberg und Dirac* wonach die Elektronen eines Atoms Wellennatur zeigen. Die Beziehung der Wellenfunktion ψ eines Elektrons mit seiner Energie wird durch die *Schrödinger* - Gleichung beschrieben. Wird diese auf Elektronen eines Atoms angewendet, so ist sie nur für diskrete Energiewerte E_1, E_2 usw. lösbar. Diese Energieeigenwerte entsprechen den durch die Hauptquantenzahlen 1, 2, 3 usw. gekennzeichneten Energiezuständen in einem Atom. Die Anregung eines Atoms vom tieferen Zustand E_1 zum höheren E_2 erfordert ein Energiequantum ($\Delta = E_2 - E_1$), das z.B. durch Strahlungsenergie aufgebracht werden kann. Für ein Atom und eines seiner Elektronen begrenzt ψ^2 einen bestimmten Raum um den Atomkern in dem sich Ladungsdichte des Elektrons befindet. Diese durch ψ^2 beschriebene Ladungsdichteverteilung bezeichnet man als Orbital, wobei Umriss und Ausdehnung des Atomorbitales von der Energie des Elektrons abhängen.

- **s-Orbitale**

Kugelsymmetrische Orbitale mit dem Atomkern als Zentrum werden als s-Orbitale bezeichnet. Auf dem tiefsten Energiezustand E_1 (Hauptquantenzahl $n=1$) eines Atoms besetzen maximal 2 Elektronen das 1s-Orbital (He-Konfiguration); das 2s folgt mit dem Energieeigenwert E_2 .

- **p-Orbitale**

Für den Energiezustand E_2 ($n=2$) sind insgesamt 4 Atomorbitale möglich. Neben dem kugelförmigen 2s-Orbital erstrecken sich 3-p-Orbitale mit ‚hantelförmigen‘ Umriss jeweils längs der x-, y-, z-Achse des kartesischen Koordinatensystems mit dem Atomkern im Ursprung. Die Werte der Wellenfunktion ψ der Orbitale besitzen einen positiven und einen negativen Bereich. Die 2p-Orbitale reichen um den Faktor $\sqrt{3}$ weiter als die 2s-Orbitale; die drei p-Orbitale sind energetisch gleichwertig.



Energiezustände E_1 und E_2 der 1s-, 2s- und 2p-Orbitale.

- **Spin**

Die Elektronen besitzen neben ihrer negativen Ladung, ihrem Bahnimpuls noch einen Eigenimpuls, den Elektronenspin.

Ist die Eigenrotation zweier Elektronen gleichsinnig, so sagt man, dass die Elektronen einen parallelen Spin haben und symbolisiert dies $\uparrow\uparrow$. Umgekehrt spricht man bei entgegen gesetzter Eigenrotation von antiparallelem Spin $\uparrow\downarrow$.

Die Orbitale werden in der Reihenfolge ihrer Energie mit Elektronen besetzt.

- **Pauli - Prinzip:** Keine zwei Elektronen in einem Atom dürfen in allen 4 Quantenzahlen übereinstimmen.
- Daraus folgt: Jedes Orbital kann maximal mit 2 Elektronen besetzt werden, wenn sie antiparallelen Spin besitzen.
- **Hund'sche Regel:** Solange innerhalb einer Schale Orbitale gleicher Energie zur Verfügung stehen (*entartete Orbitale*), werden sie einfach besetzt.

Elektronenkonfiguration leichter Atome

Element	Orbitale					Grundzustand	Angeregter Zustand *	Stöchiometrische Wertigkeit gegen H
	K-Schale		L-Schale					
	1s	2s	2p _x	2p _y	2p _z			
H	\uparrow					$1s^1$		1
He	$\uparrow\downarrow$					$1s^2$		0
Li	$\uparrow\downarrow$	\uparrow				$1s^2 2s^1$		1
Be	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$				$1s^2 2s^2$	$1s^2 2s^1 2p^1$	2
B	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	\uparrow			$1s^2 2s^2 2p^1$	$1s^2 2s^1 2p^2$	3
C	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	\uparrow	\uparrow		$1s^2 2s^2 2p^2$	$1s^2 2s^1 2p^3$	4
N	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	\uparrow	\uparrow	\uparrow	$1s^2 2s^2 2p^3$		3
O	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	\uparrow	\uparrow	$1s^2 2s^2 2p^4$		2
F	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	\uparrow	$1s^2 2s^2 2p^5$		1
Ne	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$1s^2 2s^2 2p^6$		0

*Der zur Hebung (Promotion) des Elektrons notwendige Energieaufwand wird von der bei der chemischen Bindung durch Wechselwirkung der Elektronen freiwerdenden Energie überkompensiert (Bindungsenergie).

- **Oktettprinzip von Kossel und Lewis**

Das chemische Verhalten ist von der Elektronenanordnung der äußeren Schale bzw. dem Vorhandensein ungepaarter (einsamer) Elektronen abhängig.

Der Edelgastyp wird durch Spinkombination der einsamen Elektronen zu einem Bindungselektronenpaar erreicht.

- **Kovalente Bindungen**

Bindungen bei denen die Ladungswolken *rotationsymmetrisch* um die Kernverbindungsline liegen werden als σ -Bindung bezeichnet.

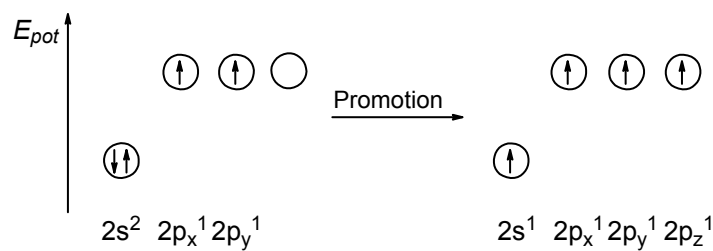
Bei Wasserstoff H_2 überlappen die beiden ungepaarten 1s-Atomorbitale - wenn sie antiparallelen Spin haben - unter Energiegewinn (Bindungsenergie) zu einem doppelt besetzten σ -Molekülorbital; im F_2 durch Überlappung ungepaarter p-Orbitale zu einer p-p σ -Bindung. In der Fluorwasserstoff-

säure HF wird die σ -Bindung durch Überlappung von einem $1s$ -Orbital des Wasserstoffs mit einem $2p$ -Orbital des Fluor gebildet.

- **Hybridisierung**

Im Grundzustand ist die Elektronenkonfiguration des Kohlenstoffes $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1$. Daraus resultiert, dass nur die beiden $2p_x$ -, $2p_y$ - Orbitale für eine Bindung zur Verfügung stünden - der Kohlenstoff wäre - gegenüber Wasserstoff - 2 *bindig*, der Bindungswinkel in solch einem CH_2 würde 90° betragen.

Durch spektroskopische Messungen an Methan CH_4 ist erwiesen, dass Kohlenstoff vier bindig ist und die C-H σ -Bindungen gleichwertig nach den 4 Ecken eines reg. Tetraeders gerichtet sind und einen Winkel von $109^\circ 28'$ einschließen.

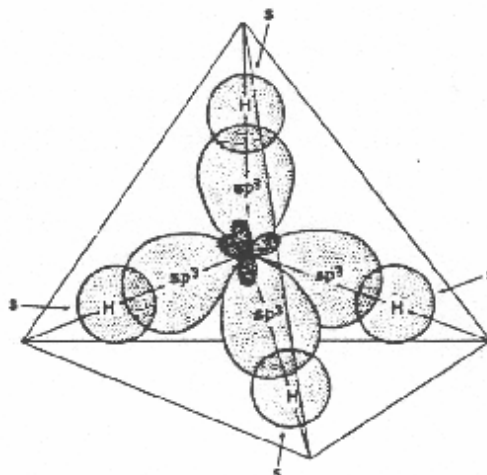


Promotion eines $2s$ -Elektrons in ein $2p$ -Orbital

Die Bindungsäquivalenz schließt eine Überlappung "reiner" Atomorbitale aus. Eine Promotion eines $2s$ -Orbitals in das $2p_z$ im angeregten Zustand bringt zwar die 4-Bindigkeit, erklärt aber nicht die 4 (auch energetisch) gleichwertigen Bindungen.

L. Pauling konnte zeigen, dass sich nach der Promotion aus dem *kugelsymmetrischen* $2s^1$ -Orbital und den drei rechtwinklig aufeinander stehenden $2p_x^1$ -, $2p_y^1$ -, $2p_z^1$ -Orbitalen des Kohlenstoffes **4**, an sich geometrisch und energetisch gleichwertige, sp^3 - Hybridorbitale aufbauen lassen.

Durch die Addition der Wellenfunktionen (s-Orbitale - in ihrer Kugelsymmetrie - haben nur positive Vorzeichen) entstehen Orbitale mit noch stärker gerichtetem Charakter (als ein p-Orbital). Diese sp^3 - Hybridorbitale befinden sich rotationsymmetrisch um die Höhenlinien eine reg. Tetraeders, woraus sich der Bindungswinkel ergibt.



- **sp-Orbitale:** Bei der Hybridisierung von s- und p-Orbitalen können sp^3 -, sp^2 - und sp -Hybridorbitale entstehen je nachdem, ob sich ein p-Orbital (sp), zwei oder alle drei p-Orbitale an der Hybridisierung mit dem 2s-Orbitalen beteiligen.
So entstehen zwei sp -Hybridorbitale bei der Kombination eines s- und eines p-Orbitals. Diese beiden Orbitale haben daher 50% s- und 50% p-Charakter, aufgrund des hohen s-Anteils am Hybrid geringere Reichweite, und erstrecken sich aufgrund des Winkels von 180° entlang der (x, y oder z) Achse. Die nicht an der Hybridisierung beteiligten p-Orbitale befinden sich rotationsymmetrisch um die beiden anderen Achsen.
- **sp^2 -Orbitale:** Kombiniert sich ein s- mit zwei p-Orbitalen so entstehen drei (gleichwertige) sp^2 Hybridorbitale mit 66% p- und 33% s-Anteil. *Die rotationssymmetrische Achse der drei sp^2 Hybridorbitale liegt in der Tafelebene und schließt einen Winkel von 120° ein (trigonale Anordnung).* Senkrecht auf diese Ebene (vor die Tafelebene und hinter die Tafelebene) steht das an der Hybridisierung nicht beteiligte p-Orbital.
- **sp^3 -Orbitale:** Hybridisieren alle drei p-Orbitale mit dem s-Orbital entstehen vier- sp^3 -Hybridorbitale mit 75% p- und 25% s-Charakter. Die Achsen der Hybridorbitale schließen den Tetraederhöhenwinkel von $109^\circ 28'$ ein.
- **Einfachbindung:** Überlappen drei sp^3 -Hybridorbitale eines Kohlenstoffes mit den s-Atomorbitalen von 3 Wasserstoffen und das vierte sp^3 -Hybridorbital des Kohlenstoffes mit eben einem solchen eines 2. Kohlenstoffes, so erhält man **Ethan** (C_2H_6) die so gebildeten σ -Bindungen sind frei drehbar.
- **Doppelbindung:** C-Atome können ebenso wie N und O aus der 2. Periode und P und S aus der 3. Periode Doppelbindungen ausbilden.
Tritt ein sp^2 -hybridisierter Kohlenstoff mit einem zweiten sp^2 -hybridisierten Kohlenstoff oder einem anderen Element (N, O, P, S) in Wechselwirkung, so erfolgt wie beim Ethan die Bildung der σ -Bindungen, in diesem Fall durch Überlappen zweier sp^2 Orbitale der Kohlenstoffe zur C-C-Bindung und der restlichen 4 sp^2 Orbitale mit 4 s-Orbitalen der Wasserstoffe zu den 4 C-H σ -Bindungen. Alle σ -Bindungen liegen trigonal in der Tafelebene. Die beiden benachbarten freien p-Atomorbitale der beiden Kohlenstoffe - oberhalb und unterhalb der Tafelebene, mit antiparallelem Spin - überlappen ihrerseits - oberhalb und unterhalb der Tafelebene - unter Ausbildung einer π -Bindung, wodurch die freie Drehbarkeit verloren geht. Durch die Entfernung der π -Bindung von den Atomkernen ist diese, aufgrund des *Coulomb'schen* Gesetzes weniger stark elektrostatisch angezogen und dadurch *polarisierbar* (verschiebbar).
- **Dreifachbindung:** C- und N-Atome bilden auch Dreifachbindungen aus, wobei in Analogie zum vorausgesagten sich, im Falle des Ethins (C_2H_2) aus den sp -Orbitalen der 2 Kohlenstoffe und den s-Orbitalen der Wasserstoffe die σ -Bindungen auf der X-Achse ausbilden. Durch Überlappung der p-Orbitale in der y-Ebene und der z-Ebene bilden sich die beiden π -Bindungen aus.
Durch den hohen s-Anteil der σ -Bindungen liegen die π -Bindungen näher am positiven Zentrum, sie werden nach *Coulomb* stärker angezogen und sind daher weniger polarisierbar.

- Aliphatische Verbindungen

Gesättigte und ungesättigte, gerade und verzweigte Kohlenwasserstoffe ohne Substituenten

Die einfachsten aliphatischen Verbindungen sind die unsubstituierten Kohlenwasserstoffe. Man teilt sie ein in: **Alkane**, **Alkene** und **Alkine**

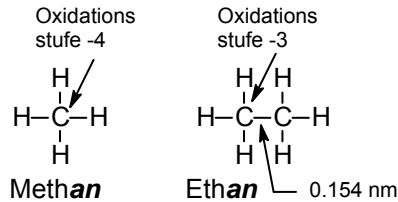
1. Alkane (früher oft Paraffine)

Das einfachste Alkan ist das Methan, das aus einem C-Atom und vier H-Atomen (CH₄) besteht. Der Kohlenstoff steht im Mittelpunkt (Höhenschnittpunkt) eines Tetraeders, die Wasserstoffatome befinden sich an den Ecken des Tetraeders. Der Bindungswinkel beträgt 109°28' (Tetraederhöhenwinkel), die *kovalenten* Bindungen zwischen C-H und C-C, - σ -Bindung genannt - entsteht im Methan durch Überlappung eines sp³-Hybridorbitales des Kohlenstoffes mit den s-Orbitalen der 4 Wasserstoffe, oder, im Ethan durch Überlappung mit einem sp³-Hybridorbital des 2. Kohlenstoffes und mit den s-Orbitalen der 6 Wasserstoffe zu den σ -Bindungen. Die C-H-Bindungen und die C-C-Bindungen in den höheren Kohlenwasserstoffen sind also *Atombindungen* und weitgehend unpolar.

Die niedrigen Kohlenwasserstoffe bis zum Butan besitzen Trivialnamen die auf die Endsilbe „-an“ enden.

Summen-Formel	Strichformel	Strichformel	C	gr. Zahl	Name		Kp °C	Aggregatzust.
					trivial	systematisch		
CH ₄	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$		1	Han	<i>Methan</i>		-161.5°	gasförmig
C ₂ H ₆	$\begin{array}{c} \text{H} \ \text{H} \\ \ \ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \ \ \\ \text{H} \ \ \text{H} \end{array}$	—	2	Do	<i>Ethan</i>		-88.6°	gasförmig
C ₃ H ₈	$\begin{array}{c} \text{H} \ \text{H} \ \text{H} \\ \ \ \ \ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \ \ \ \ \\ \text{H} \ \ \text{H} \ \ \text{H} \end{array}$		3	Tri	<i>Propan</i>		-42.2°	gasförmig
C ₄ H ₁₀	$\begin{array}{c} \text{H} \ \text{H} \ \text{H} \ \text{H} \\ \ \ \ \ \ \ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \ \ \ \ \ \ \\ \text{H} \ \ \text{H} \ \ \text{H} \ \ \text{H} \end{array}$		4	Tetra	<i>Butan</i>		-0.5°	gasförmig
C ₅ H ₁₂	$\begin{array}{c} \text{H} \ \text{H} \ \text{H} \ \text{H} \ \text{H} \\ \ \ \ \ \ \ \ \ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \ \ \ \ \ \ \ \ \\ \text{H} \ \ \text{H} \ \ \text{H} \ \ \text{H} \ \ \text{H} \end{array}$		5	Penta		Pentan	36.1°	flüssig
C ₆ H ₁₄	$\begin{array}{c} \text{H} \ \text{H} \ \text{H} \ \text{H} \ \text{H} \ \text{H} \\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \\ \text{H} \ \ \text{H} \ \ \text{H} \ \ \text{H} \ \ \text{H} \ \ \text{H} \end{array}$		6	Hexa		Hexan	68.8°	flüssig

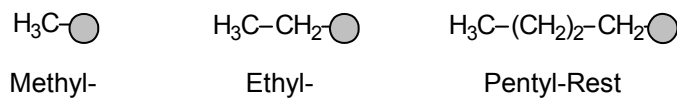
Die höheren KW werden durch Anfügen der Endsilbe „-an“ an griechische Zahlwörter benannt [Stamm = griechisches Zahlwort + Endung „-an“].



Bei der Summenformel werden die Elemente in der Reihenfolge C_nH_m angeführt. Alle übrigen Elemente folgen bei organischen Verbindungen in alphabetischer Reihenfolge.

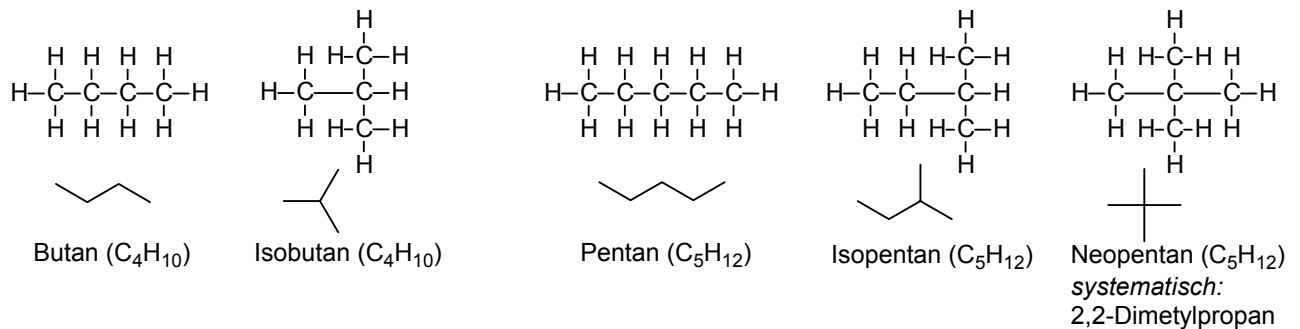
• **Einwertige Radikale [KW-Reste]**

Entfernt man von einem KW ein H-Atom, so entsteht ein einwertiges Kohlenwasserstoff-Radikal. Derartige Radikale bezeichnet man durch Anhängen der Silbe „-yl“ an den Namensstamm des Kohlenwasserstoffes. Z.B.:

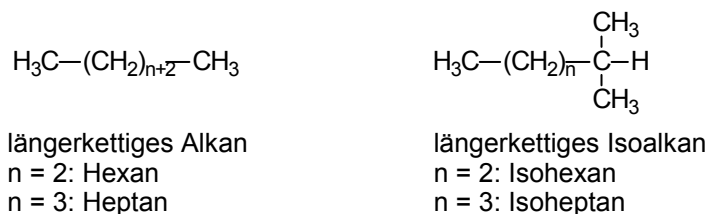


• **Verzweigte Ketten: Strukturisomerie**

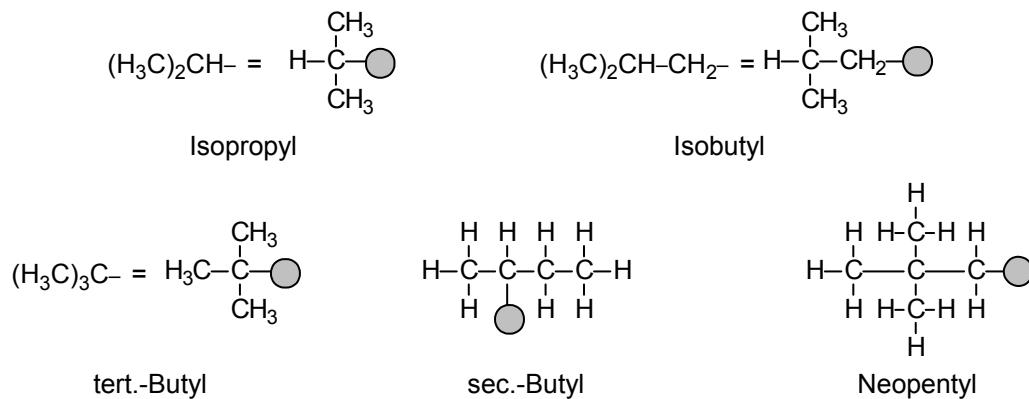
Kohlenwasserstoffe mit vier und mehr C-Atomen können nicht nur ein geradkettiges, sondern auch ein verzweigtes C-Gerüst aufweisen. Dadurch entstehen so genannte *Struktur-isomere* mit gleicher Summenformel. Sie unterscheiden sich durch ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften.



Die Trivialbezeichnung „Iso“ ist nur für nicht substituierte KW zulässig wenn sie am vorletzten C-Atom verzweigt sind und dort eine Methylgruppe tragen!

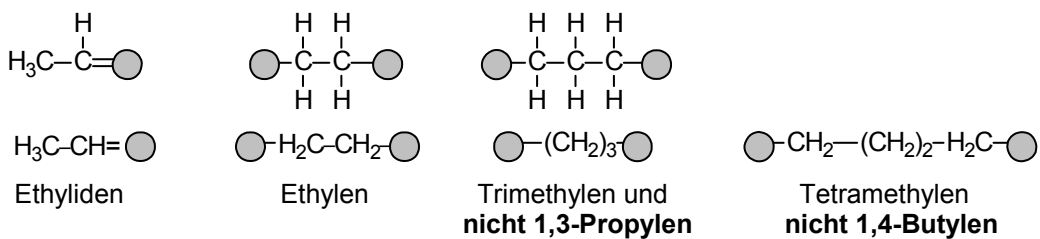


Trivial und nicht trivial benannte verzweigte Radikale (nur für nicht substituierte Kohlenwasserstoffe)



• **Zweiwertige Radikale [KW-Reste]**

Zur Kennzeichnung zweiwertiger Radikale mit zwei freien Valenzen an einem C-Atom fügt man die Endsilbe „-yliden“ an den Namenstamm an.



Radikale mit zwei freien Valenzen an verschiedenen C-Atomen werden dagegen durch die Endsilbe „-ylen“ gekennzeichnet.

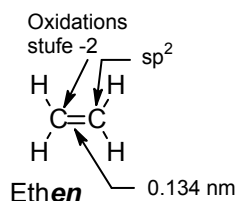
• **Prim.-, sek.-, tert.- und quart.- C-Atome**

C-Atome in KW, die mit *einem* bzw. *zwei* bzw. *drei* bzw. *vier* weiteren C-Atomen verknüpft sind, bezeichnet man als

primär	$\begin{array}{ccc} \text{H} & \text{H} & \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}-\text{H} & \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \end{array}$
sekundär: C-2	$\begin{array}{ccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$
tertiär: mittleres C	$\begin{array}{ccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{CH}_3 & \text{H} \end{array}$
quartär: mittleres C	$\begin{array}{ccc} \text{H} & \text{H}_3\text{C} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{CH}_3 & \text{H} \end{array}$

2. Alkene (Olefine)

Die Alkene haben die allgemeine Summenformel C_nH_{2n} , besitzen also um 2 H-Atome weniger als die entsprechenden Alkane und haben eine C=C-Doppelbindung.



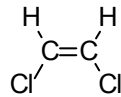
Sie werden durch den Namensstamm mit der Endsilbe „-en“ bezeichnet. Bei Vorliegen von zwei oder mehreren Doppelbindungen mit den Endsilben „-dien“, „-trien“ usw.

Doppelbindungen entstehen durch Überlappung eines sp^2 -Orbitales des Kohlenstoffes mit einem zweiten sp^2 -hybridisierten Kohlenstoff, oder mit einem anderen Element (N, S, O, P), während im Falle des Ethens die restlichen sp^2 -Hybridorbitale mit 4 s-Orbitalen des Wasserstoffes zu σ -Bindungen überlappen. Aufgrund der Geometrie von 120° liegen die σ -Bindungen streng in der Tafelenebene, die verbleibenden einfach besetzten p-Orbitale überlappen oberhalb und unterhalb der Tafelenebene zur π -Bindung.

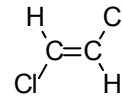
Summen- Formel	Strichformel	Strichformel	Name		Kp °C	Aggre- gatzust.
			systematisch	trivial		
C_2H_4			Ethen	<i>Ethylen</i>	-103.7°	gas- förmig
C_3H_6			Propen	<i>Propylen</i>	-47.7°	gas- förmig
C_4H_8			1-Buten	<i>Butylen</i>	-6.5°	gas- förmig
C_4H_8			2-Buten	<i>Butylen</i>	3.7	gas- förmig
C_4H_8			2-Methyl-1-propen	<i>Isobuten</i>	6.6°	gas- förmig
C_5H_{10}			trans-2-Penten		37	flüssig
C_5H_{10}			cis-2-Penten		36.5°	flüssig

Zur Kennzeichnung der Lage von Mehrfachbindungen und Substituenten in KW beziffert man C-Atome der KW-Kette, die die meisten Doppelbindungen enthalten in der Weise, dass die C-Atome

von denen die Doppelbindungen ausgehen, möglichst niedrige Ziffern erhalten. Die Lage der Doppelbindung bezeichnet man mit der Ziffer (Lokant) des C-Atoms von dem sie ausgeht. Durch die π -Elektronenwolke der Doppelbindung in Alkenen wird die Drehbarkeit der darunter liegenden C-C- σ -Bindung aufgehoben. Dies führt zu einer Rotationsbehinderung an der betreffenden Doppelbindung wodurch cis- trans- Isomere entstehen.



cis-1,2-Dichlorethen
 $\mu = 9.84 \times 10^{-30} \text{ Cm}(2.95 \text{ D})$



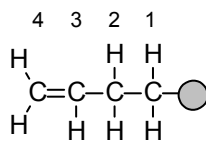
trans-1,2-Dichlorethen
 $\mu = 0 \text{ Cm}(0 \text{ D})$

Diese stereoisomeren Formen unterscheiden sich im chemischen und physikalischen Verhalten (Brechungsindex, Schmelz- und Siedepunkt, Dipolmoment) und können bei niedriger Temperatur nicht ineinander übergeführt werden.

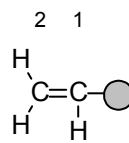
• Radikale mit einer Doppelbindung

Sie werden wie gesättigte Radikale bezeichnet. Ausgehend vom C-Atom mit der freien Valenz, das den Ziffer 1 erhält, wird die Kette fortlaufend nummeriert und im Namen des Radikals wird die Doppelbindung durch Angabe des C-Atoms, von dem diese ausgeht, gekennzeichnet.

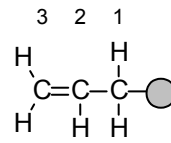
Trivialbezeichnungen für ungesättigte Radikale sind zugelassen:



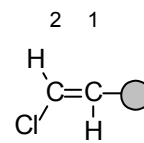
3-Butenyl



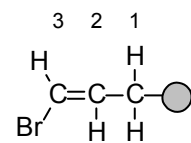
Vinyl



Allyl



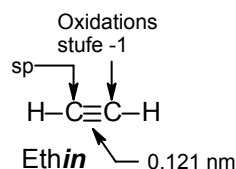
2-Chlorvinyl



3-Bromallyl

3. Alkine

Alkine sind Kohlenwasserstoffe mit einer Dreifachbindung mit der allgemeinen Summenformel C_nH_{2n-2} . Sie werden durch den Namensstamm mit der Endsilbe "-in" bezeichnet. Mehrere Dreifachbindungen werden durch Einfügen des *Infixes* -di-, -tri-, -tetra- gekennzeichnet (z.B. Butadiin).



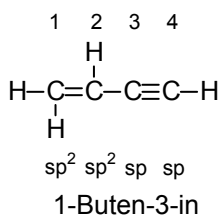
Die Kohlenstoffe (C, bzw. N) der Dreifachbindung sind sp -hybridisiert, wobei ein sp -Hybridorbital des Kohlenstoffes im Fall des Ethins mit einem weiteren sp -Hybridorbital des 2. Kohlenstoffes unter Ausbildung der σ -Bindung überlappt. Die beiden übrigen sp -Hybridorbitale der beiden Kohlenstoffe überlappen mit dem s -Orbital des Wasserstoffes unter Ausbildung von 2 C-H- σ -Bindungen. Von den verbleibenden 4 einfach besetzten p -Orbitalen überlappen 2 oberhalb und unterhalb der Tafelenebene und 2 vor und hinter der Tafelenebene zur 2 π -Bindungen. Der Bindungswinkel beträgt 180° , sie liegen also linear vor.

Die π -Bindungen in der Dreifachbindung werden aufgrund der sp -Hybridisierung fester von den Kernen angezogen und sind daher meist weniger reaktiv als Doppelbindungen. Wie bei den Doppelbindungen bezeichnet man die Lage der Dreifachbindung durch Angabe des Lokanten des C-Atoms von dem die Dreifachbindung ausgeht. Die Lokanten sind möglichst niedrig zu wählen.

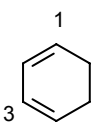
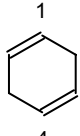
Summen-Formel	Strichformel	Name		Kp °C	Aggregatzust.
		systematisch	trivial		
C_2H_2	$H-C\equiv C-H$	Ethin	<i>Acetylen</i>	-83.6°	gasförmig
C_3H_4	$H_3C-C\equiv C-H$	Propin	<i>Methylacetylen</i>	-27.5°	gasförmig
C_4H_8	$H_3C-H_2C-C\equiv C-H$	1-Butin		$+18,0^\circ$	gasförmig
$C_2H^\ominus Na^\oplus$	$H-C\equiv C:^\ominus Na^\oplus$		<i>Natrium-acetylid</i>		

4. Kohlenstoffe mit zwei und mehr Mehrfachbindungen

In KW mit mehreren Mehrfachbindungen gibt man den Doppel- und Dreifachbindungen möglichst kleine Lokanten. Hat man die Wahl, so erhalten die Doppelbindungen die niedrigeren Ziffern. Im Namen wird „-en“ immer vor „-in“ zitiert.



Man unterscheidet zwischen

Lokanten Kumulierten Doppelbindungen Hybridisierung	$ \begin{array}{ccc} 1 & 2 & 3 \\ H & & H \\ & C=C=C & \\ H & & H \\ sp^2 & sp & sp^2 \\ \text{1,2-Propadien} \\ \text{Allen} \end{array} $	$ \begin{array}{ccc} 1 & 2 & 3 \\ O=C=O \\ sp^2 & sp & sp^2 \\ \text{Kohlendioxid} \end{array} $
Konjugierten Doppelbindungen	$ \begin{array}{cccc} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ H & & H & & \\ & C=C & & C=C & \\ H & & H & & H \\ 0.148 \text{ nm} & & & & 0.134 \text{ nm} \\ sp^2 & sp^2 & sp^2 & sp^2 & sp^2 \\ \text{1,3-Butadien} \end{array} $	 1,3-Cyclohexadien
Isolierten Doppelbindungen	$ \begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ & H & H & & H \\ H & -C & -C & -C & =C & -H \\ & H & & H & H \\ sp^2 & sp^2 & sp^3 & sp^2 & sp^2 \\ \text{1,4-Pentadien} \end{array} $	 1,4-Cyclohexadien

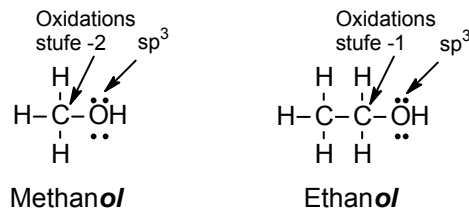
1,3-Butadien ist der einfachste KW mit konjugierten Doppelbindungen. Die Konjugation führt zu einer Verkürzung der Bindung zwischen den C-Atomen 2 und 3, da nicht nur die p-Orbitale der C-Atome 1 und 2 bzw. 3 und 4, sondern auch die der Atome 2 und 3 überlappen.

Diesen Effekt nennt man *Mesomerie* oder *Resonanz*.

- **Monosubstituierte Kohlenwasserstoffe**

5. Alkanole (=einwertige Alkohole)

Sie entstehen aus Kohlenwasserstoffen durch Oxidation bzw. durch Ersatz eines H-Atoms durch eine OH-Gruppe. Die Summenformel ist dementsprechend $C_nH_{2n+1}OH$.



Bezeichnet werden sie (mit Hilfe der substitutiven Nomenklatur) durch Anfügen des Suffixes „-ol“ an die Endung „-an“ des gesättigten KWs. Funktionen wie hier die OH-Gruppe, die als Suffix zitiert wird, bekommt möglichst die niedrigste Ziffer.

- **Primäre Alkohole**

Summen- Formel	Strichformel	Name:		Kp °C
		Substitutiv (bevorzugt)	Radikofunktionll	
H_3COH	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H \end{array}$	Methanol	Methylalkohol	64.7°
C_2H_5OH	$\begin{array}{c} H & H \\ & \\ H-C & -C-OH \\ & \\ H & H \end{array}$	Ethanol	Äthylalkohol	78.4°
C_3H_7OH	$\begin{array}{c} H & H & H \\ & & \\ H-C & -C & -C-OH \\ & & \\ H & H & H \end{array}$	n-Propanol	n-Propylalkohol	97.3°
C_4H_9OH	${}^4 H_3C-(CH_2)_2-CH_2-OH$	n-Butanol	n-Butylalkohol	117.8
$C_5H_{11}OH$	${}^5 H_3C-(CH_2)_3-CH_2-OH$	n-Pentanol	n-Pentylalkohol (n-Amylalkohol)	138°

- **Sekundäre Alkohole**

Summen- Formel	Strichformel	Name:	
		Substitutiv (bevorzugt)	Radikofunktionrll
C_3H_7OH	$ \begin{array}{c} 3 \quad 2 \quad 1 \\ H \quad H \quad H \\ \quad \quad \\ H-C-C-C-H \\ \quad \quad \\ H \quad OH \quad H \end{array} $	2-Propanol	Isopropylalkohol
C_4H_9OH	$ \begin{array}{c} H \quad H \quad H \quad H \\ \quad \quad \quad \\ H-C-C-C-C-H \\ \quad \quad \quad \\ H \quad H \quad OH \quad H \end{array} $	2-Butanol	sec- Butylalkohol

- **Tertiäre Alkohole**

Summen- Formel	Strichformel	Name:	
		Substitutiv (bevorzugt)	Radikofunktionrll
C_4H_9OH	$ \begin{array}{c} 3 \quad 2 \quad 1 \\ H \quad OH \quad H \\ \quad \quad \\ H-C-C-C-H \\ \quad \quad \\ H \quad CH_3 \quad H \end{array} $	2-Methyl-2-propanol	tert-Butylalkohol
$C_5H_{11}OH$	$ \begin{array}{c} H \quad H \quad OH \quad H \\ \quad \quad \quad \\ H-C-C-C-C-H \\ \quad \quad \quad \\ H \quad H \quad CH_3 \quad H \end{array} $	2-Methyl-2-butanol	tert-pentylalkohol

Alkohole sind brennbare Flüssigkeiten. Sie besitzen einen lipophilen (R) und einen hydrophilen (OH) Anteil. Die niedrigen Alkohole bis C-3 sind mit Wasser unbegrenzt mischbar, die höheren nur begrenzt mit Wasser und mit organischen Lösungsmitteln unbegrenzt mischbar.

Aliphatische Alkohole sind als „*monoalkyliertes Wasser*“ schwächer sauer als H_2O , die niedrigen Alkanole reagieren mit metallischem Natrium zu Alkoholaten:

Summenformel	Name:	
	systematisch	trivial
$H_3CO^{\ominus} Na^{\oplus}$	Natriummethanolat	<i>Natriummethylat</i>
$H_5C_2O^{\ominus} Na^{\oplus}$	Natriummethanolat	<i>Natriummethylat</i>

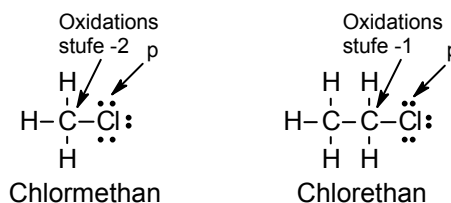
6 Alkanpolyole (Mehrwertige Alkohole)

Unter zwei-, drei- und mehrwertigen Alkoholen versteht man Alkane, bei denen an zwei, drei oder mehreren C-Atomen je ein H-Atom durch eine Hydroxylgruppe ersetzt ist.

Summenformel	Name:	
	systematisch	trivial
$\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	1,2-Ethandiol	Ethylenglycol
$\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{OH} \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	1,2,3-Propantriol	Glycerin
$\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{OH} \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C}-\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$	1,2,3,4-Butantetrol	Erythrit

7 Halogenalkane (Alkylhalogenide)

Ersetzt man ein, oder mehrere H-Atome durch die Halogene F, Cl, Br, I, so erhält man Halogenalkane.



Formal sind sie als Ester der Alkohole mit Halogenwasserstoffsäuren anzusehen.

Formel	substitutiver Name	radikofunktioneller Name	Trivialname
CH ₃ Cl	Chlormethan	Methylchlorid	-----
CH ₃ Br	Brommethan	Methylbromid	-----
CH ₃ I	Iodmethan	Methyliodid	-----
CH ₂ Cl ₂	Dichlormethan	Methylenchlorid	-----
CHCl ₃	(Trichlormethan)	-----	<i>Chloroform</i>
C ₂ H ₅ Cl	Chlorethan	Ethylchlorid	-----
Cl-CH ₂ -CH ₂ -Cl	1,2-Dichlorethan	Ethylendichlorid	-----

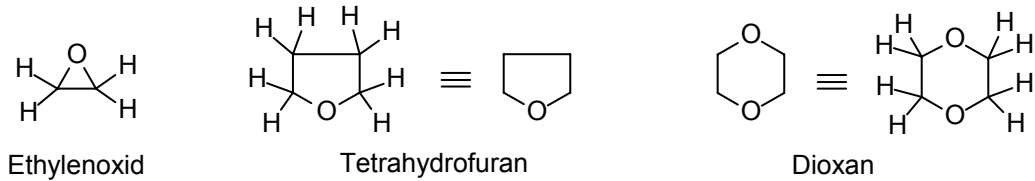
8 Ether

Wird in einem Alkan ein H-Atom durch einen Alkoxyrest (R-O-) ersetzt, erhält man Ether.

Die Bezeichnung der Ether erfolgt **bevorzugt** radikofunktionell durch Vorsetzen der Namen der beiden Reste vor der Bezeichnung Ether (für die Sauerstoffbrücke).

Formel	substitutiver Name	radikofunktioneller Name
$\text{H}_3\text{C}-\text{O}-\text{CH}_3$	(Methoxymethan)	Dimethylether
$\text{H}_5\text{C}_2-\text{O}-\text{C}_2\text{H}_5$	(Ethoxyethan)	Diethylether
$\text{H}_5\text{C}_2-\text{O}-\text{C}_3\text{H}_7$	(Ethoxypropan)	Ethylpropylether

Cyclische Ether



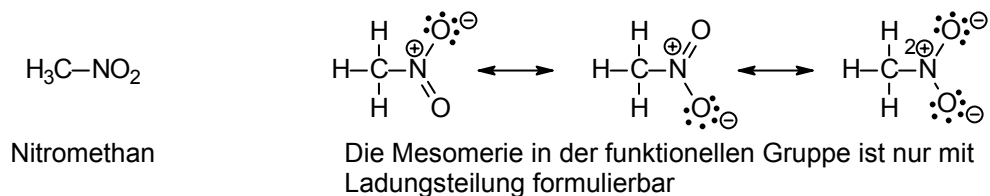
9 Alkanthiole (Merkaptane)

Alkohole, deren Sauerstoff durch Schwefel ersetzt ist

Formel	Formel	substitutiver Name	radikofunktioneller Name
$\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{SH} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Ethanthiol	Ethylmerkaptan, Ethylhydrogensulfid

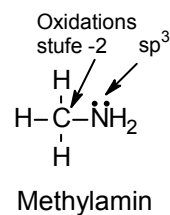
10 Nitroalkane

Die Bezeichnung erfolgt durch das Vorsetzen des Präfixes „Nitro-“ vor den Namen des entsprechenden KW.

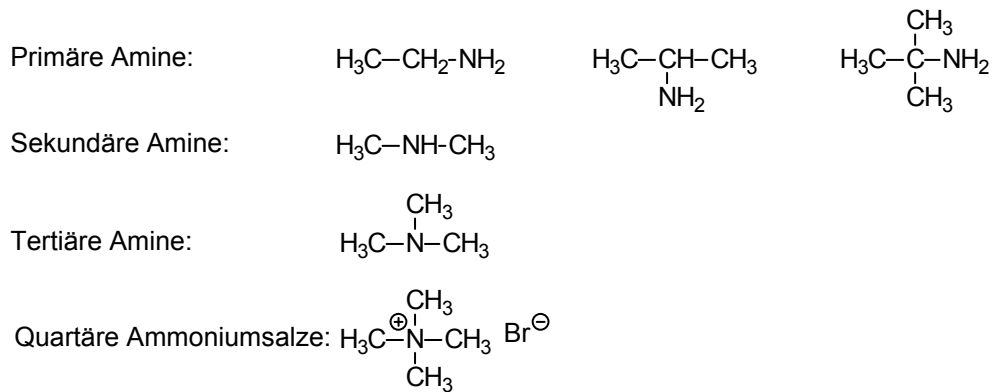


11 Aliphatische Amine

Ersetzt man ein H-Atom in einem Alkan durch eine $-\text{NH}_2$ -Gruppe (Aminogruppe), so erhält man sog. primäre Amine und zwar - *anders als bei Alkoholen* - unabhängig davon ob die Aminogruppe an einem prim-, sec-, oder tert.- C-Atom sitzt.



Unter *sekundären* bzw. *tertiären Aminen* versteht man Verbindungen, die aus NH_3 durch Ersatz von zwei bzw. drei H-Atomen durch zwei bzw. drei organische Reste entstehen
Amine reagieren als „*alkylierter Ammoniak*“ basisch.



- **Primäre Amine**

Formel	substitutiver Name	radikofunktioneller Name
$\text{C}_2\text{H}_5-\text{NH}_2$	Ethanamin	Etylamin
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{CH}_3$	2-Propanamin	Isopropylamin
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{NH}_2$ CH_3	2-Methyl-2-propanamin	tert Butylamin
$\text{C}_2\text{H}_5-\overset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{C}_3\text{H}_7$	3-Hexanamin	

- **Sekundäre Amine**

Formel	substitutiver Name	radikofunktioneller Name
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{H}}{\text{N}}-\text{CH}_3$	N-Methylmethanamin	Dimethylamin
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{H}}{\text{N}}-\text{C}_6\text{H}_{13}$	N-Methyl-1-hexylamin	Hexylmethylamin

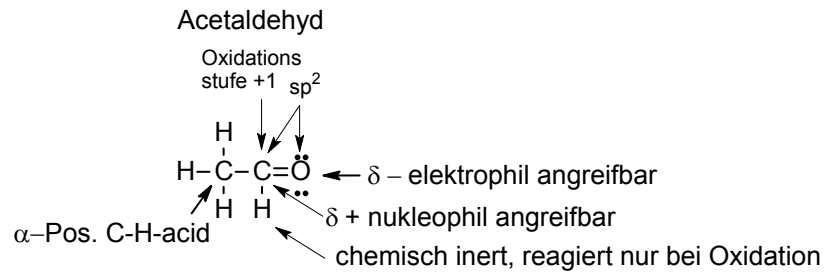
- **Tertiäre Amine**

Formel	substitutiver Name	radikofunktioneller Name
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{CH}_3}{\text{N}}-\text{CH}_3$	N,N-Dimethylmethanamin	Trimethylamin
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{CH}_3}{\text{N}}-\text{C}_6\text{H}_{13}$	N,N-Dimethyl-1-hexylamin	Hexyldimethylamin

- **Quartäre Ammoniumsalze**

Formel	substitutiver Name	radikofunktioneller Name
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\oplus}{\underset{\text{CH}_3}{\text{N}}}-\text{CH}_3 \text{ Br}^\ominus$	N,N,N-Trimethylmethan- ammoniumbromid	Tetramethylammonium- bromid

12 Alkanale



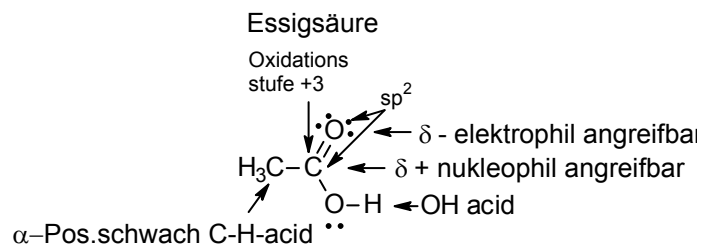
Aldehyde

Formel	Formel	substituiver Name	Trivialname
H_2CO	$H-C=O$ H	(Methanal)	<i>Formaldehyd</i>
H_3C-CHO	H H-C-C=O H	(Ethanal)	<i>Acetaldehyd</i>
H_3C-CH_2-CHO	$H H$ H-C-C-C=O H H H	(Propanal)	<i>Propionaldehyd</i>
$H_3C-(CH_2)_2-CHO$	$H H H$ H-C-C-C-C=O H H H H	Butanal	<i>Butyraldehyd</i>
$(H_3C)_2CH-CH_2-CHO$	$H H H$ H-C-C-C-C=O H CH ₃ H H	3-Methylbutanal	<i>Isobutyraldehyd</i>

Ketone

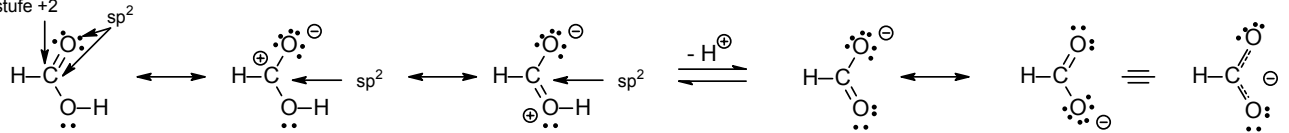
Formel	Formel	substituiver Name	Trivialname
H_3CCOCH_3	O H ₃ C-C-CH ₃	2-Propanon	<i>Aceton</i>
$H_3CCOC_2H_5$	O H ₃ C-C-CH ₂ -CH ₃	2-Butanon	<i>Ethylmethylketon</i>

13 Alkansäuren



Ameisensäure

Oxidations
stufe +2



Formel	Formel	substitutiver Name	Trivialname
HCOOH		(Methansäure)	<i>Ameisensäure</i>
H ₃ C-COOH		(Ethansäure)	<i>Essigsäure</i>
H ₃ C-CH ₂ -COOH		Propansäure	<i>Propionsäure</i>
H ₃ C-(CH ₂) ₂ -COOH		(Butansäure)	<i>Buttersäure</i>
H ₃ C-(CH ₂) ₃ -COOH		(Pentansäure)	<i>Valeriansäure</i>
H ₃ C-(CH ₂) ₄ -COOH		Hexansäure	<i>Capronsäure</i>
H ₃ C-(CH ₂) ₁₄ -COOH			<i>Palmitinsäure</i>
H ₃ C-(CH ₂) ₁₆ -COOH			<i>Stearinsäure</i>

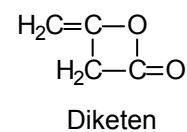
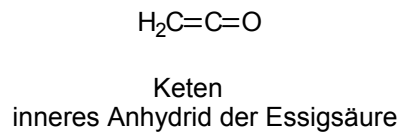
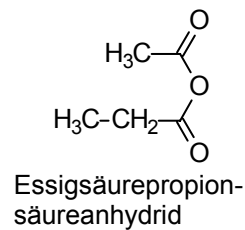
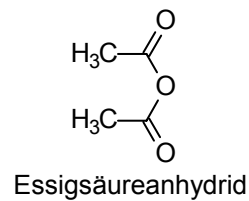
14 Alkensäuren

Formel	substitutiver Name	Trivialname
H ₂ C=CH-COOH	(Propensäure)	<i>Acrylsäure</i>
H ₃ C-CH=CH-COOH	(2-Butensäure)	<i>Crotonsäure</i>
	2-Methylpropensäure	<i>Methacrylsäure</i>

15 Carbonsäurehalogenide (Alkanoylhalogenide)

Formel	Formel	substitutiver Name	Trivialname
HCOCl		Methanoylchlorid	Formylchlorid, <i>Ameisensäurechlorid</i>
H ₃ C-COCl		Ethanoylchlorid	Acetylchlorid
H ₃ C-CH ₂ -COCl		Propanoylchlorid	Propionylchlorid

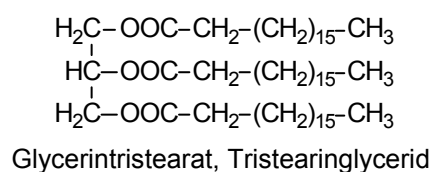
16 Carbonsäureanhydride



17 Carbonsäureester (Alkylalkanoate, Alkansäureester)

Ersetzt man die Hydroxylgruppe (-OH) der Carbonsäuren durch eine Alkoxygruppe (-OR), so entstehen Carbonsäureester.

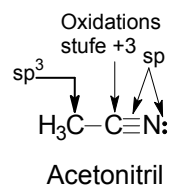
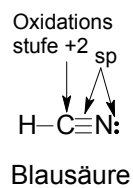
Formel	Formel	substitutiver Name	Trivialname
HCOOCH ₃		Ameisensäuremethyl- ester	Methylformiat, Methylmethanoat
H ₃ C-COOC ₂ H ₅		Essigsäureethylester	Ethylethanoat Ethylacetat
H ₃ C-CH ₂ -COOCH ₃		Propionsäuremethyl- ester	Methylpropionat



18 Alkanamide (aliphatische Carbonsäureamide)

Ersetzt man die Hydroxylgruppe in Carbonsäuren durch NH_2 , NHR , oder durch NR_2 so erhält man unsubstituierte bzw. mono- bzw. disubstituierte Säureamide. Die Bezeichnung erfolgt am besten substitutiv durch Anfügen des Suffixes „-amid“ an den Namen des KW mit der gleichen Anzahl an Kohlenstoffatomen.

Formel	substitutiver Name	radikofunktioneller Name	Trivialname
	(Methanamid)	Formamid	
	(Ethanamid)	Acetamid Ethanoylamid	<i>Essigsäureamid</i>
	(Hexanamid)	Hexanoylamid	<i>Caprylamid</i>
	(N-Methylmethanamid)	N-Methylformamid	
	(N,N-Dimethyl-methanamid)	N,N-Dimethyl-formamid	

19 Nitrile

Formel	substitutiver Name	Radikofunktioneller Name
$\text{H}_3\text{C}-\text{CN}$	(Ethannitril)	Acetonitril
$\text{H}_3\text{C}(\text{CH}_2)_4\text{CN}$	Hexannitril	

20 Halogenalkansäuren

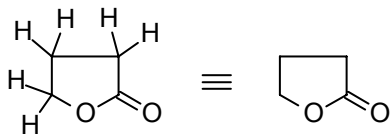
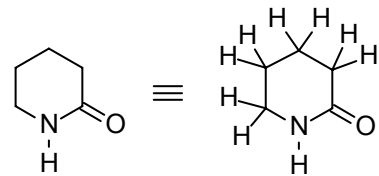
Formel	substitutiver Name
$\begin{array}{c} \alpha \\ 2 \\ \text{Br}-\text{CH}_2-\text{COOH} \end{array}$ Funktionelle Gruppe 1	2-Bromessigsäure, α -Bromessigsäure
$\text{Cl}_2\text{CH}-\text{COOH}$	2,2-Dichloressigsäure α,α -Dichloressigsäure
$\text{Cl}_3\text{C}-\text{COOH}$	2,2,2-trichloressigsäure
$\begin{array}{c} \beta \\ 3 \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$ Funktionelle Gruppe 1	2-Chlorbuttersäure α -Chlorbuttersäure
$\begin{array}{c} \beta \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{COOH} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$ Funktionelle Gruppe 1	3-Chlorbuttersäure β -Chlorbuttersäure

21 Hydroxyalkansäuren

Formel	Semitrivial Name	Trivial Name
$\begin{array}{c} \alpha \\ 2 \\ \text{HOCH}_2-\text{COOH} \end{array}$ Funktionelle Gruppe 1	2-Hydroxyessigsäure, α -Hydroxyessigsäure	<i>Glykolsäure</i>
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	2-Hydroxypropionsäure	<i>Milchsäure</i>
$\text{HOCH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$	4-Hydroxybuttersäure	

22 Aminosäuren

Formel	Halbsystematischer Name	Trivial Name, bevorzugt
$\begin{array}{c} \alpha \\ 2 \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH} \end{array}$ Funktionelle Gruppe 1	α -Aminoessigsäure	<i>Glycin</i>
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	α -Aminopropionsäure	<i>α-Alanin</i>
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}$	α -Aminoisovaleriansäure	<i>Valin</i>
$\begin{array}{c} \delta \\ 5 \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_3-\text{COOH} \end{array}$ Funktionelle Gruppe 1	5-Aminovaleriansäure	

 γ -Butyrolacton,ein innerer Ester der γ -Hydroxybuttersäure; δ -Valerolactam,

ein inneres Säureamid der 5-Aminovaleriansäure

23 Oxoalkansäuren (Oxocarbonsäuren, Ketocarbonsäuren)

• Aldehydcarbonsäuren

Formel	systematischer Name	Trivial Name
$\text{O}=\text{CH}_2-\text{COOH}$	Formylameisensäure	<i>Glyoxylsäure</i>
$\text{O}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{COOH}$	Formylessigsäure	

• α -Ketocarbonsäuren

Formel	systematischer Name	Trivial Name
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{COOH}$	2-Oxopropionsäure	<i>Brenztraubensäure</i>

• β -Ketocarbonsäuren

Nur in Form Ihrer Ester beständig!

Formel	systematischer Name	Trivial Name
$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_2-\text{COOC}_2\text{H}_5$	3-Oxobuttersäure-ethylester	<i>Acetessigester</i>

24 Hydroxyalkanale (Hydroxyaldehyde)

Formel	systematischer Name	Trivial Name
$\text{HOCH}_2-\underset{\text{H}}{\text{C}}=\text{O}$	2-Hydroxyacetaldehyd	<i>Glycolaldehyd</i>
$\text{HOCH}_2-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\underset{\text{H}}{\text{C}}=\text{O}$	2,3-Dihydroxy-propionaldehyd	<i>Glycerinaldehyd</i>

28 Di- bzw. Tricarbonsäuren mit Hydroxygruppen

Formel	systematischer Name	Trivial Name
$\begin{array}{c} \text{O} & & \text{O} \\ \parallel & & \parallel \\ \text{HO}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C} \\ & & \\ \text{OH} & & \text{OH} \end{array}$	(2-Hydroxybutandisäure)	Äpfelsäure
$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ & \\ \text{OH} & \text{OH} \end{array}$	(2,3-Dihydroxybutandisäure)	Weinsäure
$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{COOH} \\ & \\ \text{HO} & \text{COOH} \end{array}$	(2-Hydroxypropan-1,2,3-tricarbonsäure)	Zitronensäure

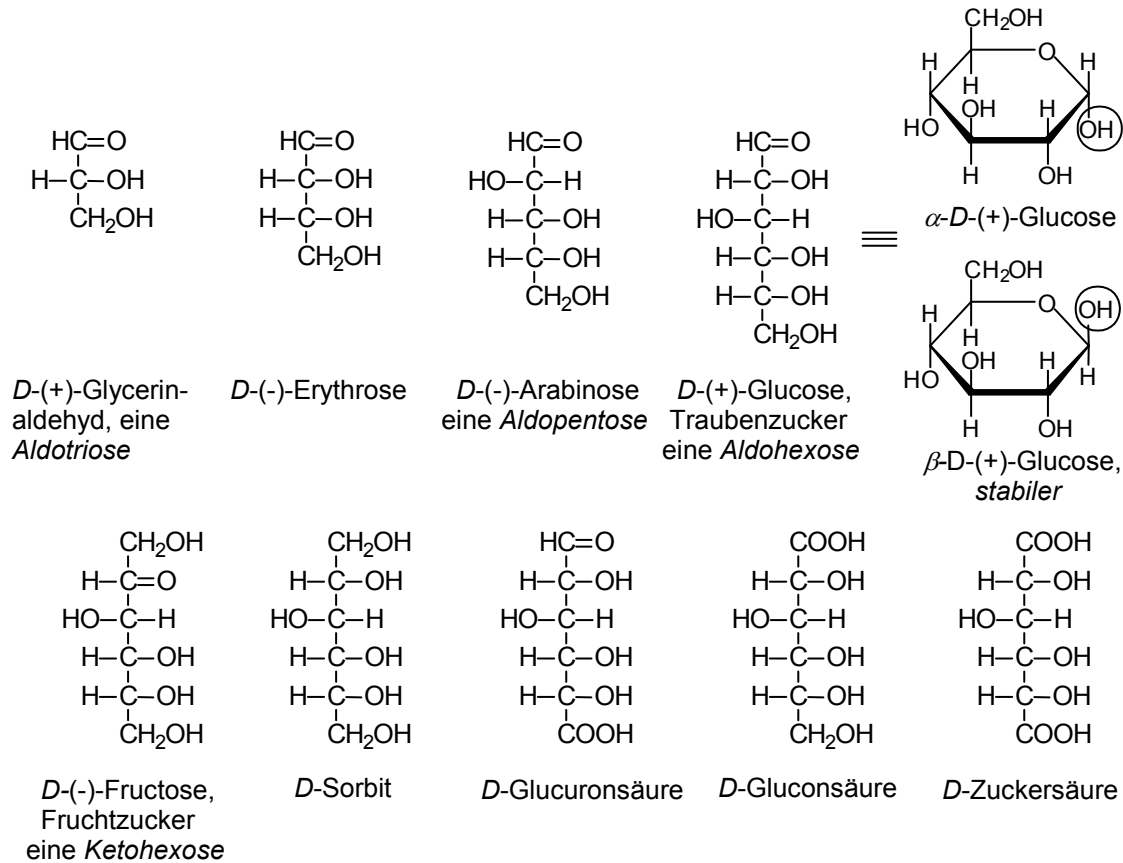
29 Derivate der Kohlensäure

Formel	systematischer Name	Trivial Name
$\begin{array}{c} \text{O}=\text{C}=\text{O} \\ \text{sp}^2 \quad \text{sp} \quad \text{sp}^2 \end{array}$	Kohlensäure	Kohlendioxid
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{Cl} \end{array}$	Kohlensäuredichlorid	Phosgen
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{OC}_2\text{H}_5 \end{array}$	Chlorameisensäure-ethylester	Ethylchlorformiat
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_5\text{C}_2\text{O}-\text{C}-\text{OC}_2\text{H}_5 \end{array}$	Diethylcarbonat, (Kohlensäurediethylester)	
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{OH} \end{array}$	(Kohlensäuremonamid)	Carbaminsäure
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{OC}_2\text{H}_5 \end{array}$	Ethylcarbamat	Ethylurethan
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}_2 \end{array}$	(Kohlensäurediamid)	Harnstoff, Carbamid
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}-\text{NH}_2 \end{array}$		Semicarbazid
$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}_2 \end{array}$	(Thiokohlensäurediamid)	Thioharnstoff
$\begin{array}{c} \text{NH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}_2 \end{array}$	(Iminokohlensäurediamid)	Guanidin
$\begin{array}{c} \text{NH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}-\text{C}\equiv\text{N} \end{array}$	Cyanguanidin	Dicyandiamid
$\text{H}-\text{N}=\text{C}=\text{O}$	Isocyansäure	
$\text{H}_3\text{C}-\text{N}=\text{C}=\text{O}$	Methylisocyanat	

30 Kohlenhydrate

Können als Oxidationsprodukte mehrwertiger Alkohole aufgefasst werden. Man unterscheidet zwischen Aldosen (Aldehydzucker) und Ketosen (Ketozyucker).

- **Monosaccharide**



- **Oligosaccheride**

Di-, Tri-, Tetra- etc. saccharide mit 2 bis 15 Zuckerbausteinen.

Disaccharide: Saccharose (*Rohrzucker*), Maltose (*Malzucker*), Lactose (*Milchzucker*),...

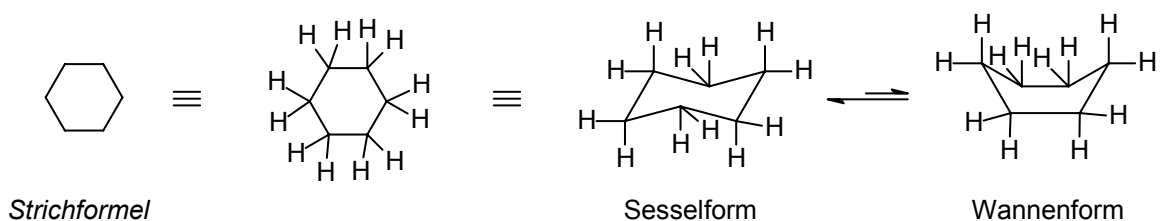
- **Polysaccheride**

Stärke, Zellulose, ...

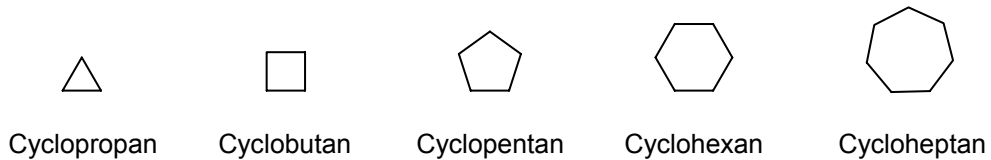
31 Cycloalkane

Cyclische Verbindungen beschreibt man durch *Strichformeln* ohne CH₂-Gruppen an den Verbindungsstellen.

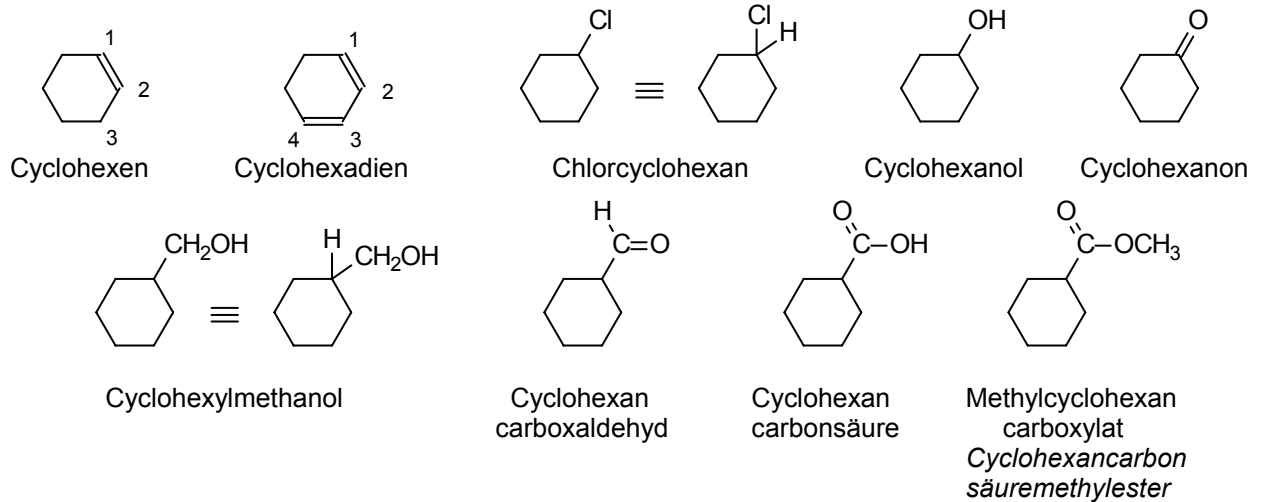
Cyclohexan



Cycloalkane



• Derivate des Cyclohexans

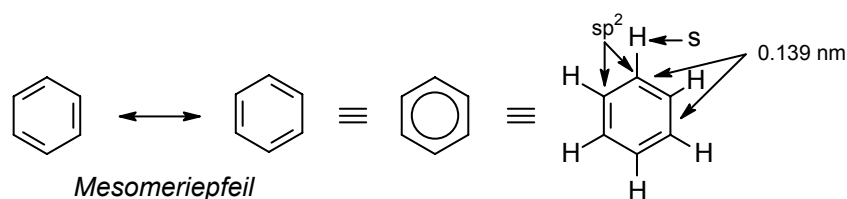


• Aromatische Verbindungen

Zu den aromatischen Verbindungen zählen das Benzol und seine Derivate, sowie kondensierte Ringsysteme sowie heterocyclische Ringsysteme (mit einem oder mehreren Heteroatomen wie z.B.: N, O, S), die der *Hückel*-Regel gehorchen.

Auch bei den aromatischen Systemen wird der Wasserstoff nicht angezeigt!

Benzol

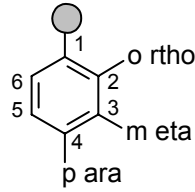


Alle σ -Bindungen liegen in der Tafelebene. Eine verschmierte p-Elektronenwolke oberhalb und unterhalb der Tafelebene ist für die hohe Mesomeriestabilisierung des Benzols gegenüber einem hypothetischen 1,3,5-Cyclohexatriens mit normal konjugierten Doppelbindungen verantwortlich.

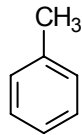
Der Kohlenwasserstoff Benzol, mit der Summenformel C_6H_6 unterscheidet sich von den bisher besprochenen ungesättigten Verbindungen durch *physikalische und chemische Eigenschaften* die man als **Aromatizität** bezeichnet.

Röntgenbeugung und spektroskopische Messungen ergeben, dass die σ -Bindungen der 6 Kohlenstoffe des Benzols ein ebenes reg. 6-Eck bilden (C-C-Abstand 0.139 nm also zwischen dem Abstand für die C-C-Einfach- 0.154 nm und der C-C-Doppelbindung 0.134 nm). Die 6 Wasserstoffe liegen ebenfalls in der gleichen Tafelebene. Alle Bindungswinkel betragen $\sim 120^\circ$.

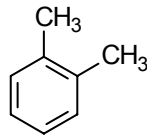
Lokantenbezeichnung für die Substituenten in zyklischen Verbindungen:



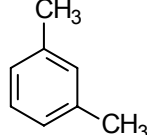
32 Derivate des Benzols



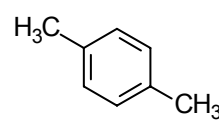
Toluol



o- oder 1,2-



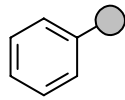
m- oder 1,3-



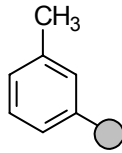
p- oder 1,4-

Dimethylbenzol *Xylol*

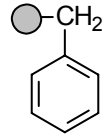
- **Reste**



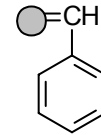
C_6H_5
Phenylrest



m-Tolyl-

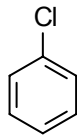


Benzyl-

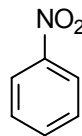


Benziliden-
Benzal-

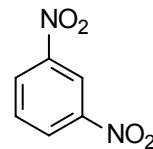
- **Substitutionsprodukte des Benzols**



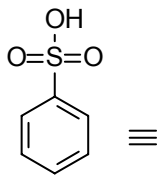
Chlorbenzol



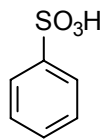
Nitrobenzol



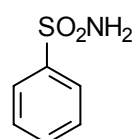
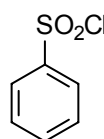
m-Dinitrobenzol



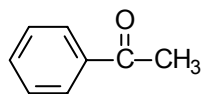
Benzolsulfonsäure



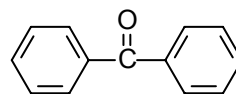
Benzolsulfon- Benzolsulfon-
säurechlorid



- **Ketone**

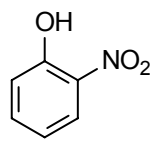


Acetophenon
1-Phenylethanon

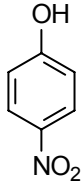


Benzophenon
Diphenylketon

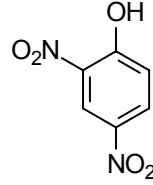
33 Phenole



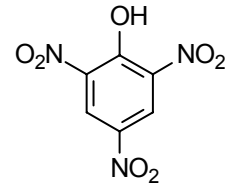
o-Nitrophenol



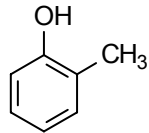
p-Nitrophenol



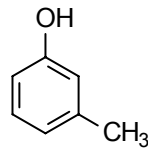
2,4-Dinitrophenol



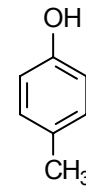
Pikrinsäure
2,4,6-Trinitrophenol



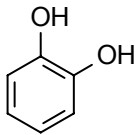
o-Kresol



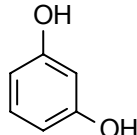
m-Kresol



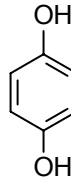
p-Kresol



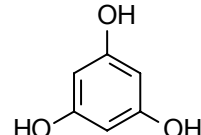
Brenzkatechin
1,2-Dihydroxybenzol



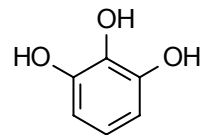
Resorcin
m-Dihydroxybenzol



Hydrochinon
1,4-Dihydroxybenzol

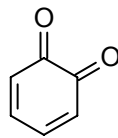


Phloroglucin
1,3,5-Trihydroxybenzol

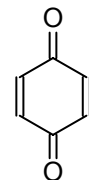


Pyrogallol
1,2,3-Trihydroxybenzol

- Oxidationsprodukte von Phenolderivaten**

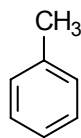


o-Chinon

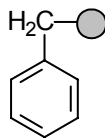


p-Chinon

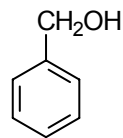
34 Derivate des Toluols



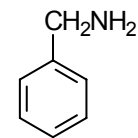
Toluol



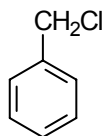
Benzyl-



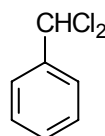
Benzylalkohol



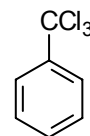
Benzylamin



Benzylchlorid,
Chlormethylbenzol

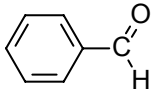


Benzalchlorid,
Dichlormethylbenzol

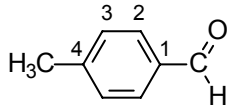


Benzotrichlorid
Trichlormethylbenzol

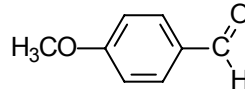
35 Aromatische Aldehyde



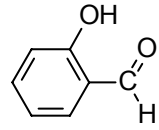
Benzaldehyd
(Benzolcarboxaldehyd)



p-Tolylaldehyd
4-Methylbenzaldehyd (p-Methylbenzaldehyd)

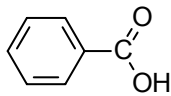


Anisaldehyd

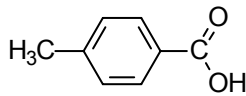


Salicylaldehyd
(o-Hydroxybenzaldehyd)

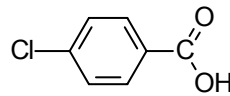
36 Aromatische Carbonsäuren



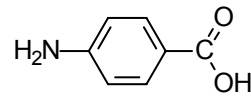
Benzoessäure



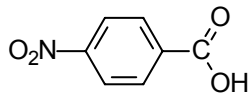
p-Methylbenzoessäure



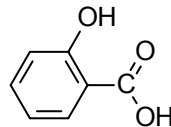
p-Chlorbenzoessäure



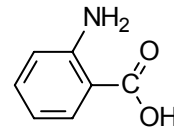
Vitamin H
p-Aminobenzoessäure



p-Nitrobenzoessäure

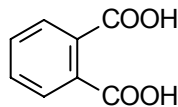


Salicylsäure
o-Hydroxybenzoessäure

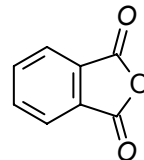


Anthranilsäure
o-Aminobenzoessäure

- **Aromatische Dicarbonsäuren und Anhydride**

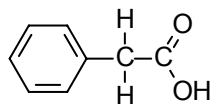


Phthalsäure
Benzol-1,2-dicarbonsäure

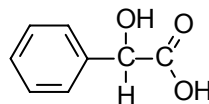


Phthalsäureanhydrid

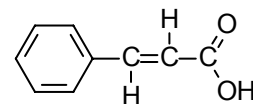
- **Araliphatische Carbonsäuren**



Phenyllessigsäure
 $C_6H_5-CH_2-COOH$

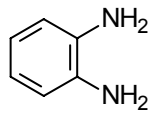
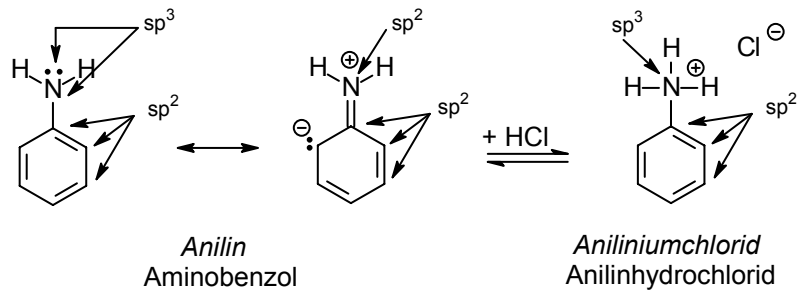


Mandelsäure
 α -Hydroxyphenyllessigsäure

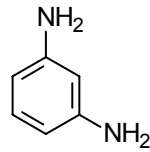


Zimtsäure
 β -Phenylacrylsäure

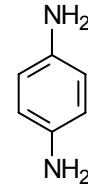
37 Aromatische Aminoverbindungen



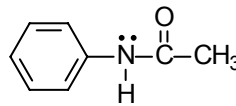
o-Phenylendiamin



m-Phenylendiamin

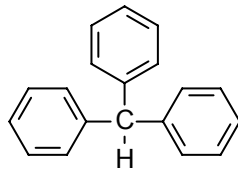


p-Phenylendiamin

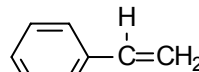


Acetanilid

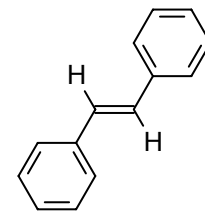
38 Arylmethane, Arylalkene



Triphenylmethan

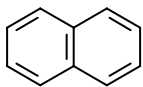


Styrol

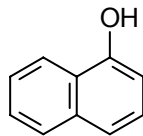


Stilben

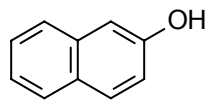
39 Kondensierte Aromaten



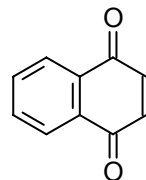
Naphtalin



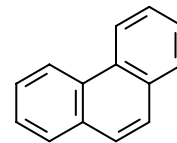
α -Naphtol



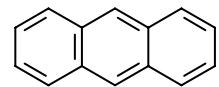
β -Naphtol



Naphtochinon



Phenantren



Anthracen

40 Heterocyclen

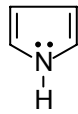
• mit 5- Atomen



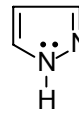
Furan



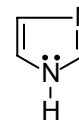
Thiophen



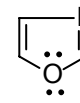
Pyrrol



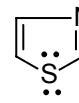
Pyrazol



Imidazol



Oxazol



Thiazol

• mit 6-Atomen



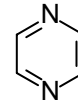
Pyridin



Pyridazin

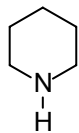


Pyrimidin

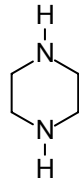


Pyrazin

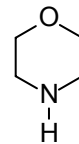
• nichtaromatische Heterocyclen



Piperidin



Piperazin



Morpholin

Literatur:

Kurze Systematik der Organischen Chemie, Skriptum zur Vorlesung „Einführung in die Organisch-Chemischen Übungen I für Studierende der Pharmazie, H.W. Schramm und W. Wendelin, 1988
Organikum; Organisch chemisches Grundpraktikum, 19. Auflage, Johann Ambrosius Barth Leipzig
Organische Chemie; 1. Auflage, Streitwieser, C.H. Heathcock, VCH Verlagsgesellschaft
Organische Chemie: E. Breitmaier, und G. Jung, Georg Thieme Verlag Stuttgart