

Grundlagen der organischen Chemie: Gesättigte Kohlenwasserstoffe*

Patrick Bucher

13. August 2011

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung in die organische Chemie	1
1.1 Die Einteilung der organischen Verbindungen	3
2 Alkane	3
3 Cycloalkane	5

1 Einführung in die organische Chemie

- In der Chemie unterscheidet man zwischen *organischen* und *anorganischen* Stoffen. Organische Stoffe werden von Lebewesen gebildet. Zu den organischen Stoffen zählen aber auch *naturfremde* Stoffe, d.h. Stoffe, die nur im Labor erzeugt werden können und in der Natur nicht anzutreffen sind.
- Organische Verbindungen sind *Kohlenstoffverbindungen*. Doch nicht alle Kohlenstoffverbindungen sind auch organische Stoffe. Ausnahmen sind: Oxide des Kohlenstoffs (CO , CO_2); Kohlensäure (H_2CO_3) und ihre Salze, z.B. Carbonate wie Kalk ($CaCO_3$); Blausäure (HCN) und ihre Salze – die Cyanide (z.B. KCN); und Carbide.
- Kohlenstoff-Atome erreichen das Elektronenoktett durch die Bildung vier gemeinsamer Elektronenpaare. Untereinander gehen sie Einfach- ($C - C$), Doppel- ($C = C$) und Dreifachbindungen ($C \equiv C$) ein. Diese Verbindungen sind bei Raumtemperatur stabil und bilden Ketten, Netze und Ringe. Dies ermöglicht eine grosse Zahl verschiedener Kohlenstoffverbindungen.

* AKAD-Reihe CH 201, ISBN: 3-7155-2108-2

- Bei Raumtemperatur sind die meisten organischen Verbindungen *inert* (reaktionsträge). Sie sind jedoch thermisch instabil und brennbar. Dadurch verkohlen sie beim Erhitzen und verbrennen nach dem Entzünden. In organischen Verbindungen sind neben Kohlenstoff fast immer auch Wasserstoff-, häufig Sauerstoff- und manchmal auch Schwefel-, Phosphor- und Halogen-Elemente (7. Hauptgruppe) gebunden. Dies kann mit *CHONSPX* abgekürzt werden, wobei *X* für die Halogene steht.
- Die *Konstitution* (Struktur) einer Verbindung beschreibt, in welcher Reihenfolge und mit welchen Verknüpfungen die Atome in einem Molekül gebunden sind. Die *räumliche Struktur* beschreibt die Gestalt eines Moleküls.
- Bei *isomeren Verbindungen* haben die Moleküle zwar die gleiche Molekülformel (z.B. C_2H_6O), die Atome sind jedoch unterschiedlich verknüpft. Die Moleküle von *Konstitutionsisomeren* unterscheiden sich in ihrer Konstitution (die Verknüpfungen der Atome).
- Die Lewis-Formel (Strichformel) ist eine sehr aufwändige Darstellungsform, gerade bei grösseren Molekülen. Sie kann folgendermassen vereinfacht werden:
 - Nicht-bindende Elektronenpaare können einfach weggelassen werden. Bei Wasserstoff-Atomen können die Symbole (*H*) weggelassen werden, es bleiben deren Verbindungsstriche.
 - Bei der *Skelettformel* werden die Kohlenstoff-Atome und die Striche für die Kohlenstoff-Wasserstoff-Verbindungen weggelassen. Kohlenstoffverbindungen werden durch einen Verbindungsstrich dargestellt, wobei die Linie bei jedem Kohlenstoff-Atom geknickt ist. Die Wasserstoff-Atome müssen einfach hinzugedacht werden, sodass das Oktett der Kohlenstoff-Atome jeweils vollständig ist. Steht am Ende eines Verbindungsstriches kein Elementsymbol bzw. keine Elementgruppe, so ist dort ein Kohlenstoff-Atom hinzuzudenken.

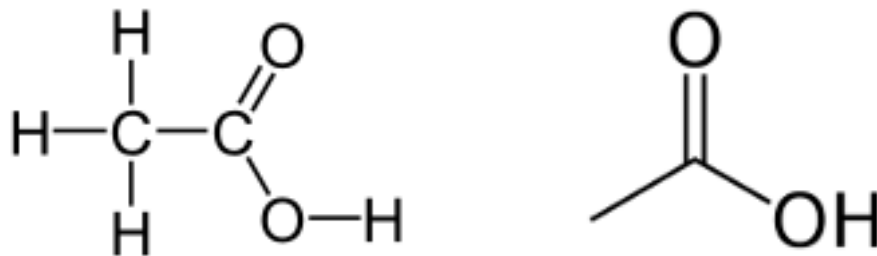


Abbildung 1: Strukturformel (links) und Skelettformel (rechts)

- Die Gestalt eines Moleküls kann mit dem Kalotten- oder dem Kugel-Stab-Modell beschrieben werden. Am Kalottenmodell lassen sich die Bindungswinkel nur schwer ablesen, beim Kugel-Stab-Modell ist die Molekülgestalt nur schwer erkennbar.

1.1 Die Einteilung der organischen Verbindungen

- Eine *funktionelle Gruppe* ist der Teil eines Moleküls, der die chemischen Eigenschaften eines Stoffes massgeblich bestimmt und die Stoffklasse kennzeichnet. Der Rest eines organischen Moleküls wird mit *R* bezeichnet (Restgruppe). Die organischen Stoffe lassen sich in folgende Klassen einteilen:
 - *Kohlenwasserstoffe* bestehen nur aus Kohlen- und Wasserstoffatomen. Man unterscheidet zwischen *acyclischen* (offenkettigen) und *cyclischen* Kohlenwasserstoffen: *Alkane* ($C - C$), *Alkene* ($C = C$) und *Alkine* ($C \equiv C$) sind acyclische Kohlenwasserstoffe; *Cycloalkane* ($C - C$), *Cycloalkene* ($C = C$) und *Cycloalkine* ($C \equiv C$) sind cyclische Kohlenwasserstoffe.
 - *Halogenkohlenwasserstoffe* verfügen über mindestens ein Halogen-Atom.
 - Bei *Stickstoffverbindungen* spielen vorallem die *Amine* ($R - NH_2$) eine wichtige Rolle. Aminosäuren, die Bestandteile der Eiweisse, verfügen zusätzlich über eine *Carboxy-Gruppe* ($COOH$).
 - *Sauerstoffverbindungen* sind etwa *Alkohole* und *Phenole* ($R - OH$); *Ether* ($R - O - R$); *Aldehyde* und *Ketone*, die über eine *Carbonyl-Gruppe* ($C = O$) verfügen; *Carbonsäuren* ($R - COOH$), *Fette* (Ester), und *Kohlenhydrate*.

2 Alkane

- Alkane sind offenkettige Kohlenwasserstoffe. Sie liegen als *gesättigte Verbindungen* vor, d.h. zwischen den Kohlenstoffatomen gibt es nur Einfachbindungen. Je nach Molekülgrösse sind sie bei Normalbedingungen gasförmig, flüssig (C_5 bis C_{16}) oder fest.
- Alkane sind anaerob (unter Luftabschluss) unter hohem Druck aus Lebewesen (fossil) entstanden. Man findet sie in den Energieträgern Kohle, Erdöl (Heizöl, Benzin) und Erdgas. Die Verbrennung fossiler Brennstoffe belastet die Umwelt durch die Verstärkung des Treibhauseffekts, sauren Regen und Smogbildung.
- Bei der Verbrennung von Alkanen werden bei den Edukten unpolare ($C - C$) oder schwach polare ($C - H$) Bindungen aufgetrennt. Dies erfordert nur sehr wenig Energie. Die Bindungen der Produkte ($C = O$, $H - O$) sind stark polar. Bei deren Bildung wird somit sehr viel Energie freigesetzt. Die Verbrennung von Alkanen läuft darum stark exotherm ab.
- In Alkan-Molekülen ist jedes Kohlenstoff-Atom von vier Bindungspartnern tetraedisch umgeben, die Bindungswinkel betragen somit 109.5° .
 - Die $C - C$ Einfachbindungen können rotiert werden. Die Atomgruppen um die Kohlenstoff-Atome werden dadurch räumlich unterschiedlich angeordnet. Man bezeichnet solche verschiedene Formen als *Konformationen*. In Gasen und Flüssigkeiten ändert sich die Konformation der Moleküle dauernd. Bei grossen Atomgruppen ist die Drehbarkeit der $C - C$ Achsen eingeschränkt.

- Unter den Konformationen gibt es zwei Extremstellungen: Bei der *ekliptischen Konformation* stehen die Wasserstoff-Atome der beiden Kohlenstoff-Atome räumlich genau auf einer Linie hintereinander. Bei der *gestaffelten Konformation* stehen die Wasserstoff-Atome des vorderen Kohlenstoff-Atoms genau zwischen den Wasserstoffatomen des hinteren Kohlenstoff-Atoms. Die gestaffelte Konformation ist energieärmer und stabiler. Bei Raumtemperatur ist das Molekül während 99% der Zeit gestaffelt angeordnet.
 - Längere Kohlenstoffketten liegen meistens in der *Zickzack-Konformation* vor, weil diese Konformation energetisch am günstigsten ist.
- Methan (CH_4) ist das einfachste Alkan. Erweitert man Methan um CH_2 , entsteht daraus das nächsthöhere Alkan Ethan (C_2H_6). Durch Hinzufügen weiterer CH_2 entstehen Propan (C_3H_8), Butan (C_4H_{10}), Pentan (C_5H_{12}), Hexan (C_6H_{14}), Heptan (C_7H_{16}), Octan (C_8H_{18}), Nonan (C_9H_{20}) und Decan ($C_{10}H_{22}$). Eine solche Reihe verwandter Bindungen bezeichnet man als *homologe Reihe*. Alkane können allgemein mit der Formel C_nH_{2n+2} ausgedrückt werden (H_{2n+2} , weil das erste und letzte C jeweils von drei statt zwei H umgeben ist).
 - Alkane können auch Seitenketten haben. Darum reichen Namen wie Butan und Octan nicht mehr aus, um die Moleküle eindeutig zu beschreiben. Verzweigte Alkane werden folgendermassen benannt:
 1. Man ermittelt die längstmögliche Kohlenstoff-Kette und benennt sie entsprechend (z.B. «hexan» bei sechs Kohlenstoff-Atomen).
 2. Nun ermittelt man die Seitenketten. Diese werden analog zu den Alkanen benannt. Die Endung «an» wird jedoch durch «yl» ersetzt (z.B. Methyl für CH_3 , Ethyl für C_2H_5 , Propyl für C_3H_7). Die Seitenketten werden alphabetisch geordnet notiert und dem Alkan-Namen vorangestellt (z.B. «Ethyl-methylhexan»). Nur die erste Seitenkette wird gross geschrieben.
 3. Die Seitenketten müssen gezählt werden. Hat man beispielsweise zwei Methyl-Seitenketten, fügt man die Vorsilbe «di» hinzu (2: di, 3: tri, 4: tetra, 5: penta, 6: hexa, 7: hepta, 8: octa usw.). Mit einem Ethyl- und zwei Methyl-Seitenketten heisst es also «Ethyl-dimethylhexan».
 4. Am Schluss müssen noch die Platznummern der Seitenketten angegeben werden. Man nummeriert die Kohlenstoff-Atome und beginnt dabei an jenem Ende, bei dem die erste Seitenkette am nächsten ist. Sind beispielsweise am zweiten und dritten Kohlenstoff-Atom Methyl- und ist am Vierten Kohlenstoff-Atom eine Ethyl-Seitenkette, so schreibt man «4-Ethyl-2,3-dimethylhexan».
 - Alkane mit mehr als drei Kohlenstoff-Atomen können auf verschiedene Arten zu Molekülen verbunden werden. Man nennt diese Verbindungen *isomere Verbindungen* oder *Isomere*. Unterscheiden sich mehrere Moleküle mit der gleichen Summenformel in ihrem Bau, bezeichnet man sie als *Konstitutionsisomere*. Durch den unterschiedlichen Bau haben Konstitutionsisomere unterschiedliche Eigenschaften.

- Die Schmelz- und die Siedetemperatur eines Stoffes (und damit sein Aggregatzustand bei Raumtemperatur) sind von der Stärke der zwischenmolekularen Kräfte abhängig. Die Zwischemolekularen Kräfte wurden bereits in Heft 103, Kapitel 4 behandelt.
- Bei den Alkan-Molekülen gibt es weder Wasserstoffbrücken, noch sind es Dipole. Es wirken somit nur die Van-der-Waals-Kräfte. Die Schmelz- und Siedetemperatur nimmt mit steigender Anzahl der Kohlenstoff-Atome zu. Unverzweigte Alkan-Moleküle haben die grösste Moleküloberfläche, wodurch die Van-der-Waals-Kräfte am stärksten sind. «Kugelige» Moleküle haben eine geringere Schmelz- und Siedetemperatur als unverzweigte.
- Alkane sind in Wasser unlöslich (*hydrophob*). Sie lösen sich in anderen Alkanen und anderen unpolaren Lösungsmitteln. Mit Alkanen kann man lipophile Stoffe lösen.
- Bei der Verbrennung reagieren Alkane zu CO_2 und H_2O . Die Verbrennung läuft meistens nicht vollständig ab, wobei auch CO , Kohlenwasserstoffe und Russ entstehen. Gasförmige Alkane bilden mit der Luft explosive Gemische und sind leicht entzündbar.
- Die *Substitution* ist eine Reaktion, bei der Atome oder Atomgruppen durch andere Atome oder Atomgruppen ersetzt werden. Es entstehen dabei *Derivate*. Bei der *Halogenierung* reagiert ein Alkan mit einem Halogen, wobei ein *Halogenalkan* und ein *Wasserstoffhalogenid* entstehen. Diese Reaktion wird durch Licht oder Wärme ausgelöst. Dabei können schrittweise alle Wasserstoff-Atome durch Halogen-Atome ersetzt werden.
- Halogenalkane haben technisch interessante Eigenschaften und werden (oder wurden) als unbrennbare, lipophile und reaktionsträge (*inerte*) Löse-, Lösch- und Kühlmittel und Treibgase eingesetzt. Halogenalkane können eine gesundheitsschädigende Wirkung entfalten und sind darum für manche Anwendungen verboten.
- Bei Fluorchlorkohlenwasserstoff-Molekülen (FCKW) sind alle Wasserstoff-Atome durch Halogen-Atome ersetzt. FCKW wurden als Treibgase (für Spraydosen), Kälte- und Löse-mittel eingesetzt, sind aber heutzutage aufgrund ihrer schädlichen Wirkung (Treibhausgas, «Ozon-Killer») teilweise verboten.

3 Cycloalkane

- *Cycloalkane* sind Alkane, die zu einem Ring zusammengeschlossen sind. Sie haben ähnliche Eigenschaften wie Alkane. Da bei den Cycloalkanen die zwei Kohlenstoffenden zusammengeschlossen sind, verfügen sie über zwei Wasserstoff-Atome weniger als entsprechende Alkane. Ihre allgemeine Formel lautet darum C_nH_{2n} . In einem Ring mit weniger als fünf Kohlenstoff-Atomen kann der übliche tetraedrische Bindungswinkel von 109.5° nicht eingenommen werden. Darum haben Cycloalkane eine sog. *Ringspannung*. Cycloalkane werden nach den gleichen Regeln wie die Alkane benannt, nur dass man jeweils die Silbe «Cyclo» voranstellt. Beim Cyclohexan-Molekül (C_6H_{12}) entsprechen die Bindungswinkel beinahe der tetraedrischen Anordnung (109.5°). Bei diesem Cycloalkan ist die sog. «Sessel-Konformation» (eine Z-ähnliche Form) die stabilste.