

# Kapitel 9:

## Kohlenwasserstoffe

Ursprünglich bezeichnete man die Stoffe, die in Lebewesen (Organismen) gebildet werden, als organische Verbindungen. Organische Stoffe sind z.B. in Holz enthalten, im Fleisch, in lebenden Pflanzen und Bakterien, in Medikamenten, aber auch in Erdöl, Erdgas und Kunststoffen. Salze, wie Kochsalz oder das Calciumphosphat der Knochen, gehören nicht zu den organischen Verbindungen. Auch das Wasser, der Hauptbestandteil unseres Körpers, rechnet man zu den anorganischen (nicht organischen) Verbindungen. Da es bis anfangs des 19. Jhdts. nicht gelang, organische Verbindungen künstlich („in vitro“, d. h. „im Glas“, dem Laborwerkstoff) herzustellen, nahm man an, dass für die Bildung solcher Stoffe eine „Lebenskraft“ (vis vitalis) notwendig sei, die nur in Lebewesen wirke. Diese Hypothese (unbewiesene Annahme) wurde 1828 vom deutschen Chemiker WÖHLER widerlegt. Es gelang ihm, aus einem anorganischen Stoff „in vitro“ den damals bereits gut bekannten Harnstoff (ein weißer Feststoff, pH- und geruchsneutral, wird von höheren Tieren im Harn ausgeschieden) zu synthetisieren.

Obwohl die allgemeinen chemischen Gesetzmäßigkeiten für alle Stoffarten gültig sind, wurde trotz der Widerlegung der Hypothese von der „Lebenskraft“ die Trennung anorganisch/organisch aus praktischen Gründen beibehalten. Heute wird die organische Chemie als Chemie der Kohlenstoffverbindungen definiert. Weitere häufig darin vorkommende Elemente sind: Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel und Phosphor. Da elementarer Kohlenstoff, die Kohlenstoffoxide, die Kohlensäure und ihre Salze sowie die Carbide (enthalten  $C_2^{2-}$ -Ionen) die typischen Merkmale der anderen organischen Verbindungen nicht haben, werden diese kohlenstoffhaltigen Stoffe nicht zu den organischen Verbindungen gezählt.

Organische Verbindungen erkennt man experimentell an ihrer Hitzeempfindlichkeit. Oft zersetzen sie sich schon vor dem Schmelzpunkt (Beispiel: Karamellisieren des Zuckers). In Anwesenheit von Sauerstoff sind organische Verbindungen meist brennbar. Bei starkem Erhitzen unter Luftabschluss entweichen viele in organischen Verbindungen enthaltene Elemente als Gase, nicht aber der Kohlenstoff, der den größten Teil der Masse von organischen Verbindungen ausmacht (Verkohlung; Bsp. Herstellung von Holzkohle).

In den folgenden Kapiteln werden Moleküle zur Sprache kommen, deren Grundgerüst in der Regel aus Kohlenstoff gebildet wird. Besondere Reaktionseigenschaften erhalten sie durch weitere eingebaute Elemente, vor allem durch Sauerstoff. Den Anfang machen die Kohlenwasserstoffe, welche neben Kohlenstoff nur das Element Wasserstoff enthalten. Den Schluss bilden gegen Ende des Buches komplexe Moleküle wie die Proteine und die Desoxyribonukleinsäuren.



Abfalltrennung in Palma de Mallorca

- ⇒ Erdöl (Entstehung, Gewinnung, Raffinerie, Cracken), Klopfestigkeit von Motoren (Oktanzahl), der Sehvorgang (cis-trans-Isomerisierung von Retinal, Mesoformen, optische Aktivität)

# Geradkettige Alkane

## Kapitel 9: Kohlenwasserstoffe

Stoffe, deren Moleküle nur aus C- und H-Atomen bestehen, nennt man Kohlenwasserstoffe. Sie treten in großer Zahl in Erdöl und Erdgas auf, die nur kleine Mengen anderer Stoffe enthalten. Kohlenwasserstoffe sind heute die wichtigsten Energielieferanten und Rohstoff für die Synthese der organischen Verbindungen.

Alkane sind Kohlenwasserstoffe, die nur C-C und C-H Einfachbindungen enthalten. Die geradkettigen Alkane haben die allgemeine Gruppenformel  $\text{H}(\text{CH}_2)_n\text{H}$ , wobei  $n$  eine beliebig große natürliche Zahl sein kann. In solchen Molekülen sind Methylengruppen  $-\text{CH}_2-$  wie die Glieder einer Kette aneinandergelängt. Wichtig sind Namen und Formeln der Moleküle in der nebenstehenden Tabelle. Sie haben als Alkane alle die Endsilbe "an". Die voranstehenden Silben "Meth-", "Eth-", "Prop-" etc. bezeichnen die Anzahl der darin vorkommenden C-Atome.

Von  $\text{CH}_4$  bis  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  sind die geradkettigen Alkane gasförmig als Folge der geringen v.d. Waals-Kräfte. Erdgas (Heizgas) besteht um die 90% aus Methan und einigen % Ethan, sowie aus längeren Alkanen. Propan wird häufig in dickwandigen Stahlflaschen zum Heizen verkauft. Butan lässt sich mit geringem Druck verflüssigen und ist in leichte Metallbehälter abgefüllt als Camping-Gas bekannt. Von  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  bis  $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$  sind die geradkettigen Alkane bei Raumtemperatur flüssig, höhere Glieder hingegen fest; ein Gemisch solcher Molekülarten ist die weiche Vaseline, eine Bissubstanz für Salben und Kosmetika.

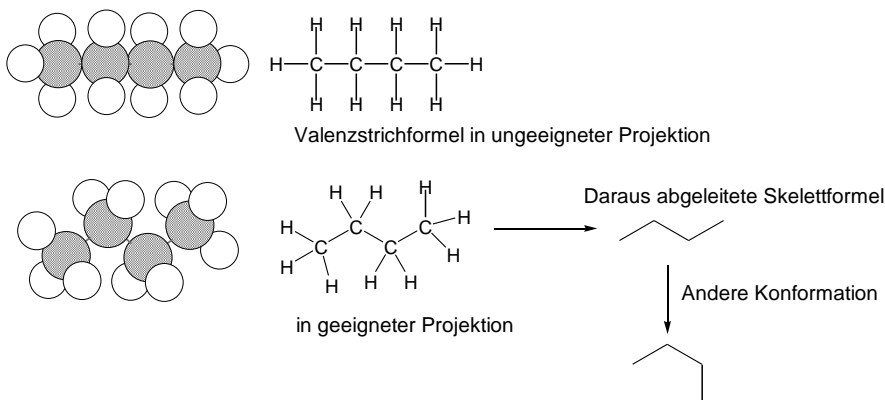
Organische Moleküle können sehr groß sein. Die Darstellung mit Valenzstrichformeln würde dadurch aufwändig und unübersichtlich werden. Eine einfachere Darstellungsmöglichkeit bietet die so genannte Skelettformel. Dabei werden bei Alkanen nur noch die Bindungen zwischen den C-Atomen gezeichnet. Die C-Atome selbst, die H-Atome und die Bindungen zu den H-Atomen werden weggelassen. Dazu ist es sinnvoll, das Molekül in einer geeigneten Projektion zu zeichnen. Wegen der freien Drehbarkeit um Einfachbindungen sind auch andere Konformationen (Gestalten) desselben Moleküls möglich. Da C-Atome immer vierbindig sind, ist es sehr einfach die Anzahl der nicht gezeichneten H-Atome aus der Skelettformel abzuleiten.

Name	Summenformel	Gruppenformel	Siedepunkt
Methan	$\text{CH}_4$	$\text{H}(\text{CH}_2)\text{H}$	$-164^\circ\text{C}$
Ethan	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{H}(\text{CH}_2)_2\text{H}$	$-89^\circ\text{C}$
Propan	$\text{C}_3\text{H}_8$	$\text{H}(\text{CH}_2)_3\text{H}$	$-42^\circ\text{C}$
Butan	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	$\text{H}(\text{CH}_2)_4\text{H}$	$-0,5^\circ\text{C}$
Pentan	$\text{C}_5\text{H}_{12}$	$\text{H}(\text{CH}_2)_5\text{H}$	$+36^\circ\text{C}$
Hexan	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	$\text{H}(\text{CH}_2)_6\text{H}$	$+69^\circ\text{C}$
Heptan	$\text{C}_7\text{H}_{16}$	$\text{H}(\text{CH}_2)_7\text{H}$	$+98^\circ\text{C}$
Octan	$\text{C}_8\text{H}_{18}$	$\text{H}(\text{CH}_2)_8\text{H}$	$+126^\circ\text{C}$
Nonan	$\text{C}_9\text{H}_{20}$	$\text{H}(\text{CH}_2)_9\text{H}$	$+151^\circ\text{C}$
Decan	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	$\text{H}(\text{CH}_2)_{10}\text{H}$	$+174^\circ\text{C}$

# L 62

### Fragen zu L 62

1. Inwiefern sind gewisse Projektionen für die Darstellung der Skelettformel ungeeignet?
2. Zeichnen Sie die Skelettformel von Heptan. Wie viele H-Atome besitzt Heptan?
3. Sind von Propan in der Skelettformel verschiedene Konformationen darstellbar? Wie steht es bei der Valenzstrichformel?



# Verzweigt-kettige Alkane und Halogenalkane

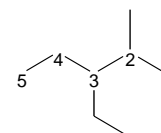
## Kapitel 9: Kohlenwasserstoffe

Treten in Alkanmolekülen C-Atome auf, die Bindungen zu mehr als zwei C-Atomen aufweisen, so liegen verzweigt-kettige Alkane vor. Das einfachste verzweigt-kettige Alkan ist das nebenstehende 2-Methylpropan mit der Gruppenformel  $\text{CH}(\text{CH}_3)_3$ . Dieses Molekül kann als Abkömmling des Propan  $\text{C}_3\text{H}_8$  aufgefasst werden, bei dem am C2 ein H-Atom durch einen sog. Methylrest  $-\text{CH}_3$  ersetzt (substituiert) ist.

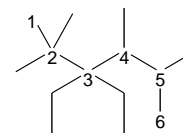
Durch Abspaltung eines H-Atoms von einem Kohlenwasserstoffmolekül erhält man Substituenten, die mit der Endsilbe -yl bezeichnet werden. Wird von einem Alkan ein H-Atom abgespalten erhält man einen Alkylrest. Besonders wichtige Alkylreste sind der Methylrest  $-\text{CH}_3$  (stammend vom Methan  $\text{CH}_4$ ) und der Ethylrest  $-\text{C}_2\text{H}_5$  (stammend vom Ethan  $\text{C}_2\text{H}_6$ ). Verzweigt-kettige Alkane werden folgendermaßen benannt:

- Die C-Atome der längsten fortlaufenden Kohlenstoffkette werden nummeriert und bilden den Molekülstamm, welcher den entsprechenden Alkannamen erhält. Bsp: Hexan für die C-Atome 1 bis 6. Man nummeriert so, dass die zukünftigen Stellungsbezeichnungen der Alkylreste möglichst tiefe Zahlen tragen.
- Dem Stammnamen vorangestellt werden die Namen der Alkylreste und zwar in alphabetischer Reihenfolge, also Ethyl- vor Methyl- etc. Die den Alkylresten vorangehenden Zahlworte di (für 2), tri (3), tetra (4) usw. geben die Gesamtzahl der jeweiligen Alkylgruppen im Molekül an, werden aber für die alphabetische Reihenfolge nicht berücksichtigt. Bsp: Tetraethyl- vor Dimethyl-.
- Die Stellungen der Alkylsubstituenten werden entsprechend der Nummerierung mit Zahlen angegeben, wobei die Stellung jedes einzelnen Alkylrestes angegeben werden muss. Bsp: 2,2,4,5-tetramethyl-.

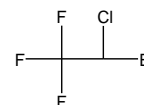
Die Substituenten können auch Elemente der 7. Hauptgruppe des PSE sein. Man spricht dann von Halogenalkanen. Einer der bekannten Vertreter ist Chloroform (sog. Trivialname)  $\text{CHCl}_3$ , mit dem systematischen Namen Trichlormethan. Dichlor-difluormethan ist bei Raumtemperatur gasförmig und wurde als Kühlmittel in Kühlschränken verwendet. Die Verbindung ist besser bekannt unter ihrem Trivialnamen Frigen und stammt aus der Stoffklasse der FCKW (Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe). Die Nomenklatur (Namensgebung) wird ähnlich gehandhabt wie bei den verzweigt-kettigen Alkanen. Anstelle der Alkylgruppe wird einfach das entsprechende Halogen genannt (ohne -yl). Rechts ist als Beispiel das Narkosemittel Halothan dargestellt, welches verschiedene Halogen-Substituenten in unterschiedlicher Zahl trägt.



3-Ethyl-2-methylpentan



3,3-Diethyl-2,2,4,5-tetramethylhexan

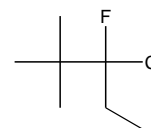


2-Brom-2-chlor-1,1,1-trifluorethan  
(Halothan)

## L 63

### Fragen zu L 63

1. Welche Summenformeln hat 2-Methylpropan? Braucht es die Angabe der Stellung der Methylgruppe überhaupt?
2. Wie viele Moleküle mit der Summenformel  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  gibt es? Zeichnen und benennen Sie die Moleküle.
3. Wie heißt das untenstehende Molekül?



# Cycloalkane

## Kapitel 9: Kohlenwasserstoffe

Die bisher besprochenen gerad- und verzweigt-kettigen Alkane haben die allgemeine Summenformel  $C_nH_{2n+2}$ ; man bezeichnet sie als offenkettige Alkane.

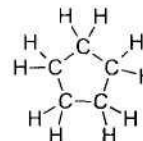
Nun gibt es aber auch Alkane, die weniger H-Atome haben als die offenkettigen. Das ist dann der Fall, wenn Ringe (Cyclen) vorliegen.

Beim Cyclopentanmolekül bilden fünf Methylengruppen  $-CH_2-$  einen fünfgliedrigen Ring. Nebenstehend sind die Valenzstrichformel, die Skelettfomel und die Haworthformel angegeben. Die Haworthformel gibt die relative Lage der Substituenten bezüglich des Ringes gut wieder, nicht aber die Bindungswinkel.

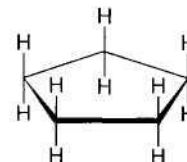
Beim viergliedrigen Ring des Cyclobutans  $C_4H_8$  und beim dreigliedrigen Ring des Cyclopropan  $C_3H_6$  (beide bei Raumtemperatur gasförmig) sind die Tetraederwinkel von  $109,5^\circ$  auf  $90^\circ$  bzw.  $60^\circ$  deformiert. Dadurch kommen sich die Bindungorbitale zu nahe (Abstoßung). Solche Ringe sind „gespannt“ (brechen leicht auf). Beim Cyclopentan ist praktisch keine Ringspannung vorhanden, da die Innenwinkel eines regulären Fünfecks mit  $108^\circ$  praktisch gleich dem Tetraederwinkel von  $109,5^\circ$  sind.

Beim Cyclohexan  $C_6H_{12}$  liegt ein sechsgliedriger Ring vor. Wegen der Tetraederwinkel können die C-Atome nicht mehr in einer Ebene liegen. Es existieren zwei „Extremkonformationen“ und unendlich viele Übergangszustände dazwischen (bei Rotationen um C-C werden alle Bindungen im Ring gedreht), sog. Twist-Konformationen:

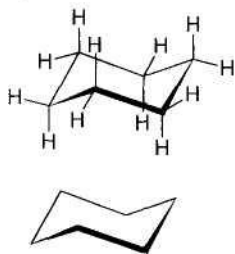
Valenzstrichformel      Skelettfomel



Haworthformel



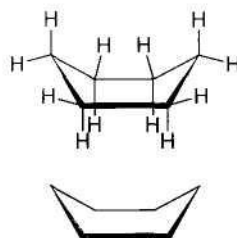
Sessel-Konformation  
(chair conformation)



Twist-Konformation



Wannen-Konformation  
(boat conformation)



# L 64

## Fragen zu L 64

1. Zeichnen Sie die Skelettfomeln der vier in diesem Lernschritt erwähnten Cycloalkane?
2. Welche allgemeine Summenformel haben diese Cycloalkane?
3. Gibt es Alkanmoleküle, die noch weniger Wasserstoffatome enthalten, als es der Summenformel von Frage 2 entspricht?

# Alkene und Alkine

## Kapitel 9: Kohlenwasserstoffe

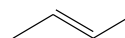
Treten in Kohlenwasserstoffmolekülen C=C-Doppelbindungen auf, so gehören sie zur Stoffklasse der Alkene (engl. singular alkene, plural alkenes.) Benannt werden Alkenmoleküle so, dass an den Wortstamm der geradkettigen Alkanmoleküle (Meth-, Eth-, Prop- etc.) die Endsilbe -en mit vorangehender Stellungsangabe gehängt wird. Bei der modernen Nomenklatur werden die Stellungsangaben direkt vor die betroffene Bezeichnung gestellt, in diesem Fall stehen sie also mitten im Molekülnamen vor der Bezeichnung -en, wie in den Beispielen rechts dargelegt wird. Die Molekülkette wird so nummeriert, dass die Summe der Zahlen, welche Stellungen angeben, möglichst tief gehalten werden kann.

Liegen in Kohlenwasserstoffmolekülen C≡C-Dreifachbindungen vor, so gehören sie zur Stoffklasse der Alkine (engl: sing. alkyne, plur. alkynes). Die Benennung erfolgt mit der Endsilbe -in und den Stellungsangaben wie bei den Alkenen (Beispiele rechts dargestellt.) Kommen in einem Molekül sowohl Doppel- wie Dreifachbindung vor, so enden die Molekülnamen sowohl auf -en wie auch auf -in, und zwar in der alphabetischen Reihenfolge -en vor -in.

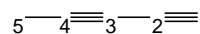
Alkene und Alkine sind wichtige Ausgangssubstanzen für die Produktion von komplizierter aufgebauten Molekülen. Man fasst Alkene und Alkine, welche beide Mehrfachbindungen enthalten, im Begriff ungesättigte Verbindungen zusammen. Ungesättigte Verbindungen können aus Alkanen in größeren Mengen in dem für die Erdölaufbereitung bedeutenden Verfahren des Crackens (von engl. to crack = knacken, zerreißen) gewonnen werden. Dazu werden Gemische von Alkanen mit Wasserdampf gemischt durch Röhren geleitet, die von außen mit Brennern stark erhitzt werden, was den Inhalt kurzfristig auf über 850°C erhitzt. Wird dieser anschließend mit Kühlwasser rasch auf 400°C abgekühlt, so bleibt ein Gemisch ungesättigter Verbindungen erhalten, das anschließend aufgetrennt werden kann:



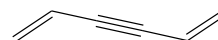
Ethen



But-2-en



Pent(a)-1,3-dien



Hexa-1,5-dien-3-in

# L 65

## Fragen zu L 65

1. Zeichnen Sie die Skelettformel von Propen, Buta-1,3-dien und Hexa-1,2,5-trien. Warum steht im Namen Propen keine Stellungsangabe?
2. Welche Gestalt haben die Moleküle Propin, But-1-in, But-2-in und Butadiin?
3. Zeichnen Sie die Skelettformel von 2,3,3-Trimethylpent-1-en-4-in.

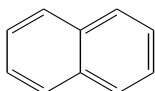
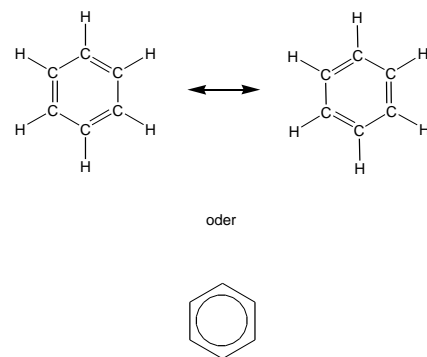
# Aromaten

## Kapitel 9: Kohlenwasserstoffe

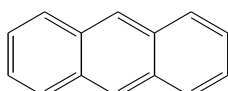
Der Grundkörper der aromatischen Verbindungen ist das Benzol  $C_6H_6$ . Experimente weisen darauf hin, dass es sich beim Benzol um ein cyclisches Molekül mit einem Sechsring handeln muss. Wird die Edelgasregel angewandt, müsste jede zweite Bindung im Ring eine Doppelbindung sein.

Dies würde bedeuten, dass im Ring zwei unterschiedlich lange Bindungen (C-C und C=C) vorliegen sollten, was den experimentellen Befunden widerspricht: Alle Bindungen sind gleich lang und zwar liegt die Bindungslänge zwischen der kürzeren C=C-Doppelbindung und der längeren der C-C-Einfachbindung. Dieser Zwischenzustand, auch Mesomerie (griech. meso = Mitte, mer = Teil) genannt, lässt sich nicht mit nur einer Valenzstrichformel darstellen. Stattdessen schreibt man die beiden sog. Grenzformeln (rechts oben) und deutet mit dem Doppelpfeil an, dass sich der "wahre" Zustand dazwischen befindet. Man erreicht auf diese Art und Weise eine Art Gleichwertigkeit für die Bindungen, ohne dabei die üblichen Regeln zum Zeichnen von Valenzstrichformeln zu verletzen. Messungen zeigen, dass sich die sechs Bindungselektronen der jeweils zweiten Bindung im Ring über den ganzen Ring verteilen. Sie lassen sich nicht einer Bindung zuordnen, was man mit Delokalisation bezeichnet. Deshalb werden die delokalisierten Elektronen in Büchern oft auch mit einem eingeschriebenen Kreis dargestellt (rechts unten).

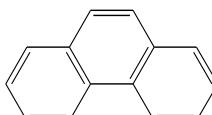
Ist der Molekülteil  $-C_6H_5$  (Benzol minus ein H) an ein weiteres Molekül gebunden, so spricht man nicht vom Benzylrest, sondern vom Phenylrest; merken sie sich den Namen und die Formel dieses Restes. Nachstehend sind noch einige weitere aromatische Kohlenwasserstoffe angegeben, die relativ häufig vorkommen. Auch sie tragen wie Benzol nichtsystematische Namen:



Naphtalin



Anthracen



Phenantren

## L 66

### Fragen zu L 66

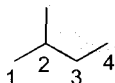
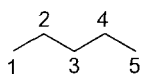
1. Welche Summenformeln haben die drei letzterwähnten aromatischen Kohlenwasserstoffe und wie sind die H-Atome bezüglich der Ringe räumlich angeordnet?
2. Zeichnen Sie die Skelettfomel von 3-Phenylpropen.
3. Auch das Carbonat-Ion  $CO_3^{2-}$  kann man als mesomeres System betrachten. Wie sehen die drei Grenzformeln dieses mehratomigen Ions aus? Lassen sich auch vom Acetat-Ion  $CH_3COO^-$  Grenzformeln schreiben?

# Konstitutionsisomerie

## Kapitel 9: Kohlenwasserstoffe

Unter dem Begriff Isomerie versteht man die Tatsache, dass verschiedene Stoffteilchen (Moleküle) gleicher Summenformel existieren. Bisher haben wir nur die sog. Konstitutionsisomerie (ohne diesen Namen zu erwähnen) kennen gelernt. Unter der Konstitution eines Stoffteilchens versteht man die Aufeinanderfolge der Bindungen zwischen den Atomen. Konstitutionsisomere sind demzufolge durch ihre Gruppenformeln unterscheidbar! Als Beispiel dazu dienen die drei Konstitutionsisomere der Summenformel  $C_5H_{12}$ :

Pentan  $H(CH_2)_5H$     2-Methylbutan  $CH_3CH(CH_3)C_2H_5$     2,2-Dimethylpropan  
 $C(CH_3)_4$

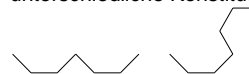


Der Begriff der Konstitution ist nicht zu verwechseln mit dem Begriff der Konformation: ein und dasselbe Molekül (also die Konstitution festgelegt!) kann wegen der Drehbarkeit von Einfachbindungen seine Gestalt oder Konformation ändern. Solange die Reihenfolge der Verknüpfungen der Atomgruppen dieselbe ist, so handelt es sich nach wie vor um dasselbe Molekül. So gibt es vom Pentan drei Molekülkonformationen, bei denen die C-Atome in einer Ebene liegen (daneben natürlich unendlich viel andere). - Vom 2-Methylbutan gibt es keine ebene Konformation der C-Atome, weil das sog. tertiäre C2-Atom (bindet 3 weitere C-Atome) seine Bindungspartner nach den Ecken eines Tetraeders fixiert. Beim 2,2-Dimethylpropan kann das C-Skelett seine Konformation nicht verändern, aber die 4 Methylgruppen können rotieren, so dass unendlich viele Konformationen bezüglich der Positionen der H-Atome existieren.

## L 67

### Fragen zu L 67

1. Handelt es sich bei den untenstehend skizzierten beiden Molekülen um unterschiedliche Konstitutionen?



2. Gibt es von verzweigt-kettigen Alkanen Konformationen, bei denen alle C-Atome in der gleichen Ebene liegen?
3. Zeichnen Sie alle Konstitutionsisomere von Dimethylbenzol.

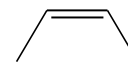
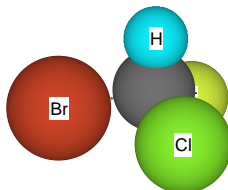
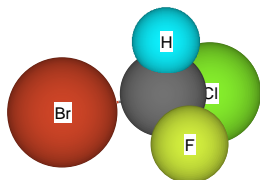
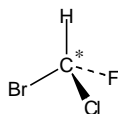
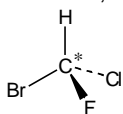
# Stereoisomerie (Raumisomerie)

## Kapitel 9: Kohlenwasserstoffe

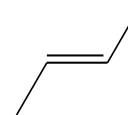
Es gibt Fälle, wo Moleküle trotz identischer Gruppenformel (und natürlich auch Summenformel) nicht identisch sind. Liegt der Unterschied zwischen zwei Molekülen einzig in der räumlichen Anordnung der Substituenten, so nennt man sie Stereoisomere. Stereoisomerie oder Raumisomerie tritt in zwei Varianten auf.

Als Beispiel für die erste Variante betrachten wir die Moleküle mit der Gruppenformel  $\text{CH}_3\text{CHCHCH}_3$ . Zwei mögliche Skelettformeln sind nebenstehend dargestellt. Es handelt sich hierbei nicht um unterschiedliche Konformationen (Gestalten) desselben Moleküls, da die Doppelbindung im Gegensatz zur Einfachbindung nicht drehbar ist, wodurch die Gruppen in ihren räumlichen Positionen fixiert sind. Diese Art von Isomerie wird auch cis/trans-Isomerie genannt, in Anlehnung an die Namensgebung. Die neueren Bezeichnungen (E) und (Z) sind leichter zu merken: (E) steht für „entgegengesetzt“ und (Z) für „zusammen“. Gemeint sind natürlich die Stellungen der beiden Substituenten (nebenstehend z.B. Methylgruppen) bezüglich der dazwischen liegenden Doppelbindung.

Als Beispiel für die zweite Variante von Stereoisomerie steht das Molekül Bromchlorfluormethan  $\text{CHBrClF}$ . Die beiden möglichen Isomere sind unten dargestellt. Sie sind Spiegelbilder, welche sich genauso wenig zur Deckung bringen lassen, wie unsere spiegelbildlichen Hände. Man spricht deshalb von chiralen (chir griech. = Hand), also händigen Molekülen. In den untenstehenden Formeln bedeuten Keile, dass die daran hängenden Substituenten gegen den Betrachter aus der Bildebene ragen, gestrichelte Linien hingegen, dass sie hinter die Bildebene ragen. Der Stern markiert das chirale C-Atom. Seine vier verschiedenen Substituenten - diese können auch ganze Atomgruppen sein - sind die Voraussetzung dafür, dass Bild und Spiegelbild nicht identisch sind. Man spricht von Spiegelbild-Isomerie. Bild und Spiegelbild chiraler Moleküle bilden ein sog. Enantiomerenpaar. Vertauscht man zwei beliebige Substituenten an einem  $\text{C}^*$  eines Enantiomers, so entsteht dadurch das andere Enantiomer.



cis-But-2-en oder (Z)-But-2-en  
(Smp.  $-139^\circ\text{C}$ , Sdp.  $+4^\circ\text{C}$ )

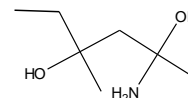


trans-But-2-en oder (E)-But-2-en  
(Smp.  $-106^\circ\text{C}$ , Sdp.  $+1^\circ\text{C}$ )

## L 68

### Fragen zu L 68

1. Gibt es vom Molekül 2-Methylbut-2-en cis/trans-Isomere?
2. Zeichnen Sie die Skelettformel von 2-trans-4-cis-hepta-2,4-dien.
3. Wie viele chirale C-Atome hat es im folgenden Molekül und wie viele Stereoisomere gibt es total, wenn pro chirales C-Atom jeweils zwei Anordnungsmöglichkeiten für die Substituenten bestehen?

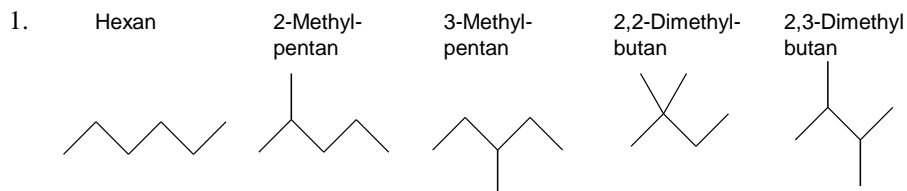




## Erfolgskontrolle zu Kapitel 9

1. Zeichnen und benennen Sie alle Isomere mit der Summenformel  $C_6H_{14}$ .
2. Von zwei weißen Pulvern ist das eine organische Verbindung, das andere ein anorganisches Salz. Auf welche Weise lässt sich rasch entscheiden, welches die organische Verbindung ist?
3. Woran erkennt man die Gitterstabilität eines Kristalls (Beispielsweise eines Alkans im festen Zustand) und von welchen Faktoren hängt sie ab? Wie wäre demzufolge die Höhe des Schmelzpunktes eines verzweigt-kettigen Alkans einzustufen im Vergleich mit dem Schmelzpunkt eines geradkettigen Isomers.
4. Zeichnen Sie die Skelettformeln von 3-Phenylpentan und 3-Cyklohexylpentan und geben sie die Summenformel der beiden Molekülararten an.
5. Welche Skelettformeln haben die folgenden Moleküle:  
4,4-Diethylhex-2-in und 3-Cis-5-trans-4-methylhepta-1,3,5-trien.
6. Was lässt sich über die Kohlenwasserstoffmoleküle der allgemeinen Summenformel  $C_nH_{2n-4}$  aussagen?
7. Wie viele Moleküle mit dem Namen Trichlorbenzol existieren?
8. Haben die verschiedenen Trichlorbenzole unterschiedliche Konformation oder unterschiedliche Konstitution?
9. Welche Isomere lassen sich mit Hilfe der Gruppenformel unterscheiden?
10. Welche Art von Isomerie liegt bei But-1-in und But-2-in vor?
11. Wie viele Chiralitätszentren besitzt das Molekül  $CH_3CHFCHClCH_3$ ?
12. Wie viele Stereoisomere gibt es von diesem Molekül?

## Antworten Erfolgskontrolle Kapitel 9



2. Durch Erhitzen. In Anwesenheit von Luft brennen organische Stoffe häufig. Unter Luftabschluss tritt eine Verkohlung ein.

3. An der Höhe des Schmelzpunktes; Je höher dieser ist, umso größer ist die Gitterstabilität, die einerseits abhängt von der Größe der Kräfte, aber auch in hohem Masse davon, wie regelmäßig diese in allen Raumrichtungen wirken. Der Schmelzpunkt eines verzweigten Isomers müsste tiefer liegen, da sperrige Verzweigungen meist die Ausbildung von gleichmäßigen Kräften in allen Raumrichtungen behindern.



6. Diese Moleküle haben 6 H-Atome weniger als möglich wären. Sie besitzen daher entweder drei Doppelbindungen oder eine Doppelbindung und eine Dreifachbindung. Möglich wäre auch, dass sie drei ringförmige C-Ketten besitzen, und zwar drei, oder eine Kombination von Ringen und Mehrfachbindungen.

7. 1,2,3-Trichlorbenzol     1,2,4-Trichlorbenzol     1,3,5-Trichlorbenzol.  
Alle anderen Varianten sind mit einer der obigen identisch.

8. Unterschiedliche Konstitution, d.h. die Reihenfolge der Atome ist eine andere.

9. Nur die Konstitutionsisomere.

10. Die Bindungsfolge ist eine andere, also ist es die Konstitutionsisomerie.

11. Die Chiralitätszentren befinden sich an Atomen mit vier verschiedenen Substituenten. Es hat ein solches Zentrum an C-2 (Substituenten CH<sub>3</sub>-, H-, F- und -CH(CH<sub>3</sub>)Cl) und eines an C-3 (CH<sub>3</sub>CHF-, H-, Cl-, und -CH<sub>3</sub>).

12. Vier. An jedem Chiralitätszentrum gibt es zwei Möglichkeiten, also 2x2=4.

