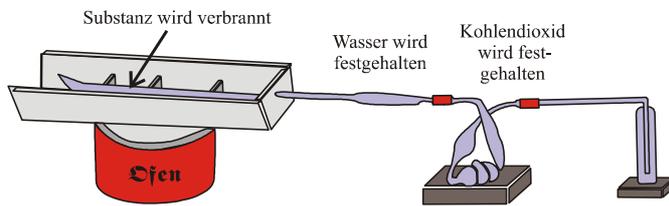


## (14) EINFÜHRUNG IN DIE ORGANISCHE CHEMIE UND ISOMERIE.

»... und muß Ihnen sagen, daß ich Harnstoff machen kann, ohne dazu Nieren oder überhaupt ein Thier, sey es Mensch oder Hund, nötig zu haben.«  
(22.2.1828, Wöhler in einem Brief an seinen Lehrer Jöns Jacob Berzelius).

### Wie kommt man zur Formel?

Die folgende Abbildung zeigt Liebig's Apparatur für die ELEMENTARANALYSE: Darunter versteht man das Verbrennen einer genau abgewogenen Menge organischer Substanz, wobei man die Verbrennungsprodukte  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  getrennt auffängt und wiegt.



Liebig's Apparatur für die Elementaranalyse

Aus der ursprünglichen Menge Substanz und den erhaltenen Produktmengen lässt sich die prozentuale Zusammensetzung eines Moleküls aus seinen Elementen errechnen: unten die Rechnung: Ein Gramm einer unbekanntes Verbindung zum Beispiel, welche nur aus C- und H-Atomen besteht (ein sogenannter KOHLENWASSERSTOFF) ergibt bei der Verbrennung 2,75g  $\text{CO}_2$  und 2,25g  $\text{H}_2\text{O}$ . Daraus errechnet sich das Massenverhältnis C:H : es ist 0,75 zu 0,25. Das bedeutet: 75% der Stoffmasse kommt von den Kohlenstoffatomen, 25% von den Wasserstoffatomen.

$$\frac{0,75}{12} = 0,0625$$

$$\frac{0,25}{1} = 0,25$$

In der Formel ist aber die ATOMZAHL gefragt. Um von den Massen auf die Atomzahlen zu kommen, muss man durch die jeweilige Atommasse dividieren (links): Die Atomzahlen verhalten sich also wie C:H=0,0625:0,25. Bekanntlich gibt es keine Viertelatome, also schauen wir, dass wir durch Erweitern zu ganzen Zahlen kommen: C:H=0,0625:0,25=1:4. Das Molekül enthält also 4mal so viele H-Atome wie C-Atome. Die Formel könnte daher sein:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_8$ ,  $\text{C}_3\text{H}_{12}$ , oder ... als man gelernt hatte, die MOLEKÜLMASSE zu bestimmen (hier 16u), konnte man die richtige Formel finden (hier  $\text{CH}_4$ ).

$$m_C : m_{\text{CO}_2} = 12:44 \quad m_H : \frac{1}{2} m_{\text{H}_2\text{O}} = 1:9$$

$$m_C : 2,75 = 0,273 \quad m_H : 2,25 = 0,111$$

$$m_C = 0,75 \quad m_H = 0,25$$

### Summenformeln und Strukturformeln.

Das wichtigste Ergebnis dieser Untersuchungen ist also die SUMMENFORMEL, also die Information, wie viele C-Atome und H-Atome (bei anderen Molekülen auch noch weitere Atome wie O und N) in einem Molekül stecken. Wir sahen, dass die Summenformel des (oben untersuchten) Stoffes Methan  $\text{CH}_4$  ist. Der nächste Schritt war klarerweise, dass man wissen wollte, wie die Atome verbunden sind, also wie die Moleküle aussehen, besonders schwierig bei komplizierten Formeln. Es geht hier also um die Molekülstruktur, die wir z.B. als STRUKTURFORMEL darstellen.

Auch in der Anorganischen Chemie war es nicht so leicht, die bekannten Atome zu einer räumlichen Struktur zusammenzusetzen. Es hat z. B. lang gedauert, bis man herausfand, dass das Wassermolekül gewinkelt ist. Die Organische Chemie macht es uns in einem Punkt leichter, weil es hier nur um einige wenige Atomsorten geht:

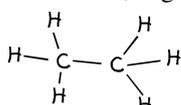
### Moleküle bauen:

Am besten verstehst Du das beim Bauen mit einem Molekülbaukasten oder mit einem Molekülzeichenprogramm (es gibt gute als „freeware“, <http://www.brg19.at/~eid/chemielinks.html>):

Drei Tipps für die Verwendung von Baukästen:

- ☞ Die Zahl der Bindungsmöglichkeiten (banal: Löcher) der „Atombausteine“ kann unterschiedlich sein: H hat ein Verbindungsloch (ebenso Chlor), Sauerstoff zwei, Kohlenstoff vier.
- ☞ Bei Kugelstabbaukästen gibt es manchmal kürzere Verbindungsstäbe für Einfachbindungen und längere, flexible für Mehrfachbindungen.
- ☞ Der Farbcode bedeutet: H ist weiß, O rot, Cl grün und C wird meist schwarz oder dunkelgrau dargestellt. Der Code stammt von Corey, Pauling, Koltun, daher CPK genannt. In modernen Computergrafiken ist der Hintergrund meist schwarz, daher werden die C-Atome öfter türkis oder violett dargestellt.

Nun ans Werk, Jugend:



☞ Baue nacheinander Modelle zu den Summenformeln:  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$  und  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  und skizziere das Gebaute wie in der Abbildung links. Schreib den Namen unter Deine Skizze. Du kannst das Methan in Ethan und das in Propan umbauen, das spart Zeit.

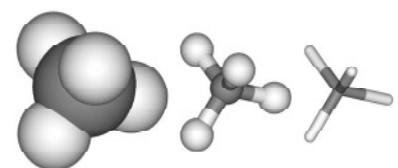
☞ Danach versuchst Du, aus dem Modell für Butan ein anderes Molekül zu machen, wobei

Du *alle* Bausteine des Butans verwenden musst!

Beim Bauen bitte immer bedenken, dass die Moleküle nicht wirklich so „mager“ sind. Es gibt nur zwei populäre Arten von MOLEKÜLBAUKÄSTEN, aber drei häufig verwendete Abbildungsarten am Computer: die Abbildung (rechts) zeigt Bilder am Beispiel Methan  $\text{CH}_4$ .

KUGELSTABMODELLE (engl. balls and sticks) zeigen eher ein Molekülskelett während KALOTTENMODELLE eine Moleküloberfläche zeigen (Kalotte = Kugelabschnitt, von einer Kugel wird ein Teil durch eine Ebene abgeschnitten).

KALOTTENMODELLE zeigen das Molekül, wie es aussähe (von der Farbe abgesehen). Ob sich zwei Moleküle „ähnlich schauen“ oder ob sie „gut zusammenpassen“ – das lässt sich besser mit ihnen machen...



Kalotten-, Kugelstab- und Stäbchenmodell von Methan.

(14) EINFÜHRUNG IN DIE ORGANISCHE CHEMIE UND ISOMERIE.

STÄBCHEN- ODER DRAHTMODELLE vereinfachen den Bildaufbau im Computer bei sehr großen Molekülen. Wie die Atome zusammenhängen ist die Domäne der KUGELSTAB- oder der STÄBCHENMODELLE (besonders bei größeren Molekülen). Man „blickt durch“.

Statt Struktur kann man besser den Begriff KONSTITUTION verwenden: Die Konstitution gibt an, welche Atome an welchen hängen, aber nicht die jeweils ganz exakte Position eines jeden Atoms.

**Die Namen der einfachen Kohlenwasserstoffe:**

Die Namen *Cehavier* oder *Cedreih*a-acht sind nicht schön, oder?

☞ Die Namen der einfachsten Kohlenwasserstoffe musst Du wissen, da sich von ihnen die Namen der anderen Kohlenstoffverbindungen ableiten lassen. Du sollst zum Namen die Formel und zur Formel den Namen wissen. Die Formeln kann man sich aber mit der C-Zahl ausrechnen ... Tabelle nächste Seite:

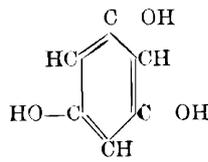
SUMMENFORMEL	NAME
CH <sub>4</sub>	Methan
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Ethan
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Propan
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Butan
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Pentan
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Hexan
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	Heptan
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	Octan
C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	Nonan
C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	Decan
Allgemein:	
C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>	ALKAN

Man hat die auf das Butan folgenden Moleküle nach griechischen Zahlwörtern benannt:

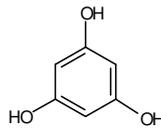
ενα, δυο, τρια, τεσσερα, πεντε, εξι, εφτα, οχτω, εννια, δεκα (ena, dio, tria, tessera, pende, exi, epta, ochto, enja, deka).

Wir sehen damit wohl zum ersten Mal, dass man sich Namen ausrechnen kann: ενδεκα (endeka) heißt elf, also ist Undecan C<sub>11</sub>H<sub>24</sub>, δωδεκα (dodeka) heißt zwölf, also ist Dodecan C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>. Generell heißt die Summe aller Namen (lat. nomen) einer Wissenschaft NOMENKLATUR.

**Bilder von Molekülen**



drucken war früher echt schwierig und aufwendig (Abb. links ca. 1930, dem Schriftsetzer standen nur —, l, und / zur Verfügung). die Buchseite zweidimensional. zwischen H, C und H in einem 110°. Mein Beispiel dazu: 1,3,5-Phloroglucin; rechts mit einem



Außerdem: Moleküle sind dreidimensional. Außerdem ist der Winkel Alkan ziemlich genau Trihydroxybenzen oder modernen Formeleditor



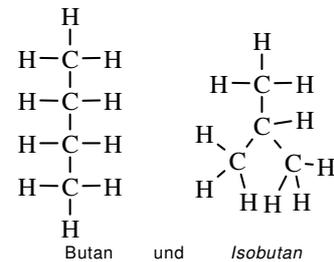
erzeugt. Ein Formeleditor ist ein Molekülzeichenprogramm.

Die Dreidimensionalität kann man heute mit Programmen erzielen, welche Bilder von Molekülmodellen erzeugen (engl. molecular modeling) Rechts ein Kugelstabmodell von Phloroglucin:

**Isomere**

☞ Du hast schon (vorige Übung) zwei verschiedene Moleküle aus den selben Bausteinen gebaut. Zeichne nun Pentan und versuche, jeweils aus den Atomen dieses Moleküls eine oder mehrere andere Strukturen zu konstruieren. Zeichne jede Struktur auf! (Vielleicht noch Hexan, Heptan, ... Wie viele Strukturen gibt es für C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> und C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>?)

Isomere sind Moleküle mit verschiedener Gestalt (=verschiedener räumlicher Anordnung der Atome), die aus den gleichen Atomen bestehen (gleich viele je Sorte).

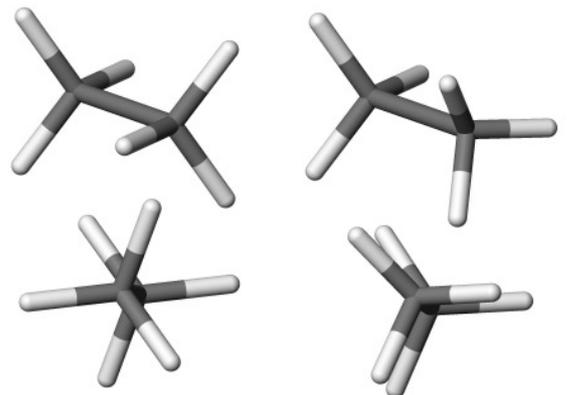


Zum „normalen“ Butan gibt es also noch ein Isomeres (Abb. links), total also zwei: Beide haben dieselbe Summenformel, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>.

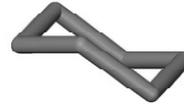
Beim Bauen von Modellen isomerer Moleküle tritt nun ein Problem auf: Betrachte die Abb. Links unten: Sind die beiden Strukturen links im Bild verschieden, daher isomer zu den beiden rechts? Früher hätte man diese Frage klar mit „Nein!“ beantwortet, doch heute nennen wir diese Art von Isomerie KONFORMATIONISOMERIE, die Isomere: Konformationsisomere, kürzer: KONFORMERE.

Grundsätzlich ist es festgelegt, wie die Atome z.B. eines Ethanmoleküls miteinander verbunden sind: Zwei

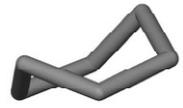
Kohlenstoffatome sind untereinander verbunden, an jedem C-Atom hängen drei Wasserstoffatome (KONSTITUTION). Weil aber um C-C-Bindungen eine Rotation stattfinden kann – was i.a. nicht viel Energie erfordert – kann man sich so viele Konformere vorstellen, wie man will. Typisch für Konformere ist auf jeden Fall (außer bei tiefen Temperaturen), dass sie sich leicht ineinander umwandeln. Daher kann man sie auch nicht trennen. Gestaffeltes Ethan (links zweimal im Bild) ist etwas energieärmer als verdecktes, weil die Wasserstoffatome sich gegenseitig weniger behindern (sie sind im gestaffelten Ethan weitest möglich voneinander entfernt, da-



her die geringst mögliche Abstoßung). Bei Raumtemperatur liegen Ethanmoleküle überwiegend gestaffelt vor. Die gestaffelte und die verdeckte Form sind natürlich nur die beiden energetischen Extremfälle. In jedem Konformer sind die Atomabstände exakt festgelegt.

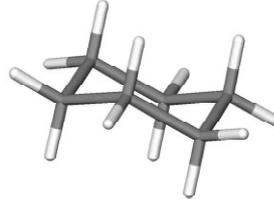


Sessel/chair



und

Boot/ship



### Alkane nach Struktur eingeteilt: Ketten und Ringe.

Wir kennen inzwischen zwei von drei einfachen Arten von Alkanen: die GERADKETTIGEN (= unverzweigt kettenförmigen) heißen auch n-Alkane ( $n = \text{normal}$ ). Die VERZWEIGTEN sind genau das, was der Name sagt, man könnte auch sagen: „Hier gibt es Kohlenstoffatome, die mit drei oder vier anderen Kohlenstoffatomen verbunden sind“. Eine weitere Art

von Alkanen sind die RINGFÖRMIGEN Alkane (CYCLOALKANE). Ein Ring ist in der Chemie, was in der Mathematik ein Polygon (Vieleck) heißt: es gibt Dreiecke, Vierecke, Fünfecke, Sechsecke, usw. Die „chemischen Ringe“ sind aber zum Unterschied von den mathematischen meist nicht eben. Grund: Energetisch günstigster Fall ist wieder ein Winkel von  $110^\circ$ . Auch in der Chemie werden sie aber häufig eben gezeichnet (Abb. vorige Seite).

Sehen wir uns ein Beispiel (rechts) an: Cyclohexan. Seine Formel ist  $C_6H_{12}$ . Hier bewundern wir wieder zwei herausragende Konformere:

### Konformation und Konstitution:

für diesen Überblick nehmen wir irgendein Molekül her: Seine Gestalt genau zu dem Zeitpunkt, an dem ich es anschau, nenne ich seine

**KONFORMATION:** Die Atome eines Moleküls sind auf eine ganz bestimmte Art verbunden und jedes Atom hat einen ganz bestimmten Abstand zu den anderen.

Jedes Atom des Moleküls kann durch die Lage seines Mittelpunkts im 3D dargestellt werden. Tatsächlich speichern Computerprogramme zur Moleküldarstellung diese Mittelpunkte.

**KONSTITUTION:** gibt an, welches Atom an welchen anderen hängt (Weniger präzise nennt man das oft „Struktur“).

### Verschiedene Arten von Isomerie:

Es gibt zwei grundlegend verschiedene Arten von Isomerie: KONSTITUTIONSISOMERIE und STEREOISOMERIE. Auch hier kann man den Molekülbaukasten benutzen. Es ist günstig, dann die sichtbaren Unterschieden eigenständig zu formulieren und aufzuschreiben! Große Unterschiede zwischen Isomeren finden wir bei der *einen* Art, bei der

#### Konstitutionsisomerie:

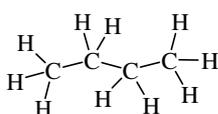
Als erstes Beispiel je ein Stäbchen-, Kugelstab- und Kalottenmodell vom schon gut bekannten Butan und darunter das *Isobutan*, ein Konstitutionsisomeres des Butans, als Stäbchen ohne H-Atome, Stäbchen mit H-Atomen und in Kalottendarstellung:

Hier ist offensichtlich die Konstitution verschieden, einmal gibt es vier Kohlenstoffatome in einer Kette, einmal nur drei, dafür am „mittleren“ ein weiteres Kohlenstoffatom: also eine VERZWEIGUNG.

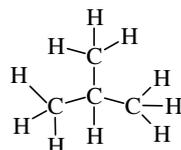
**VERZWEIGUNG:** An einem C-Atom hängen *mehr als zwei* andere C-Atome.

**KONSTITUTIONSISOMERE** unterscheiden sich in der **KONSTITUTION**.

Die folgenden Beispiele sind alle in Strukturformeln dargestellt. Beschreibe jeweils den Unterschied zwischen den Isomeren in Worten: ...



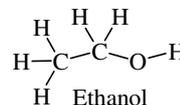
Butan



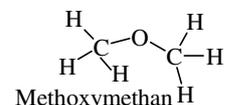
Isobutan

Die ersten beiden sind wieder Butan und Isobutan:

Ethanol (umgangssprachlich *Alkohol* oder *Schnaps*) ist isomer zu Methoxymethan (*Dimethylether*), einer gasförmigen, ebenfalls narkotischen Verbindung, die als Treib-



Ethanol

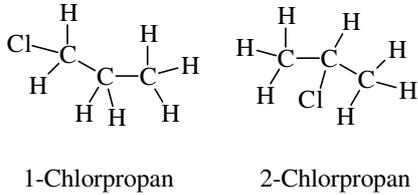
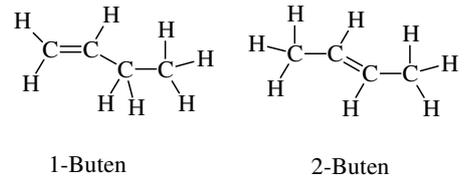


Methoxymethan

gas in Spraydosen verwendet wird:



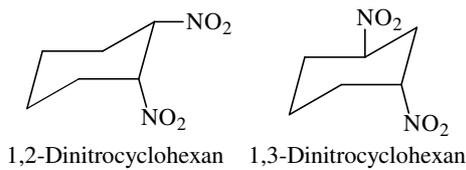
Bei 1-Buten und 2-Buten haben wir es mit Verbindungen zu tun, die eine **DOPPELBINDUNG** zwischen zwei Kohlenstoffatomen aufweisen.



Diese beiden weisen je ein „neues“ Atom auf, ein Chloratom:



Ein Ring aus sechs C heißt Cyclohexan. Hier hängen an zwei Ringpositionen Nitrogruppen (-NO<sub>2</sub>):



Typische **KONSTITUTIONISOMERE** unterscheiden sich also entweder:  
 → durch ein anderes Kohlenstoffgerüst,  
 → durch die andere Lage von Doppelbindungen oder  
 → durch eine andere Stellung von Fremdatomen bzw. Atomgruppen.

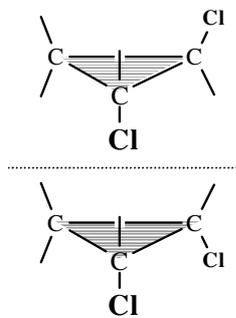
### Stereoisomerie

ist die zweite große Gruppe von Isomerien. Stereo-Isomere haben die gleiche Konstitution, ihre Atome liegen nur anders im Raum. (Wie gesagt, Isomere bestehen aus den gleichen Atomen!). Das bedeutet ihr griechischer Name auf deutsch: Raum:  $\sigma\tau\epsilon\rho\epsilon\omicron\varsigma$  (stereos). Wir unterscheiden drei Arten von Stereoisomerie, eine kennen wir bereits:

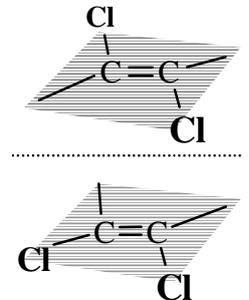
- (1) die Konformationsisomerie (schon behandelt: siehe Seite 48),
- (2) die geometrische Isomerie,
- (3) die Spiegelbildisomerie.

Beispiele zur **KONFORMATIONISOMERIE** hatten wir schon genug, daher gleich die

#### Geometrische Isomerie:



Voraussetzung für sie ist, dass im Molekül eine feste Ebene existiert, das heißt, dass zwei oder mehrere C-Atome gegeneinander nicht beweglich sind (in den Abbildungen schraffiert). Dies kann entweder durch eine **RINGSTRUKTUR** (links) oder durch eine **DOPPELBINDUNG** (rechts) realisiert werden: in beiden Fällen ist durch diese Struktur eine Rotation unmöglich gemacht, so dass zwei oder mehr Atome in ihrer Stellung zueinander fixiert sind. In der Abb. links oben sind die Cl-Atome auf verschiedenen Seiten der Ebene (1 oben, 1 unten), Bezeichnung trans (lat. jenseits), unten dagegen auf derselben Seite (beide unten), Bezeichnung cis (lat. diesseits). Ähnlich bei einem Molekül mit einer Doppelbindung (Abb.



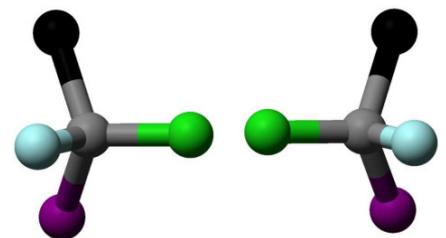
rechts): Oben -1,2-Dichlorethen, darunter -1,2-Dichlorethen.

Zwischen geometrischen Isomeren gibt es einerseits Unterschiede in der Stabilität (trans-Isomere sind meist stabiler als cis-Isomere), andererseits in den Stoffeigenschaften, wie Schmelz- und Siedepunkten. Der wissenschaftliche Name für geometrische Isomere lautet übrigens: **DIASTEREOMERE**. Etwas schwieriger ist die

#### Spiegelbildisomerie:

Am besten hilft ein einfaches Modell:

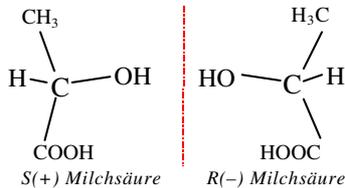
Jede Kugel repräsentiert ein bestimmtes Atom (oder eine Atomgruppe). Am zentralen C-Atom vier verschiedene Atome oder Atomgruppen (im Modell versinnbildlicht durch verschiedenfarbige Kugeln). Mit gebauten Modellen wirst Du schnell feststellen, dass beliebiges Drehen nichts nützt: die beiden spiegelbildlichen Modelle lassen sich nicht zur Deckung bringen – ebenso wenig wie Deine Hände! Aus diesem Grund nennen wir solche Moleküle **CHIRAL** (griechisch „händig“). Viele wichtige chemische und biochemischen Moleküle sind chiral, beispielsweise Fruchtsäuren, Zucker und Proteine.



Zwei Moleküle, die sich zueinander wie Bild und Spiegelbild verhalten, nennt man **ENANTIOMERE**, wenn sie sich nicht

zur Deckung bringen lassen. Ursache ist mindestens ein CHIRALITÄTENZENTRUM, d.h. ein Kohlenstoffatom mit vier verschiedenen Atomen oder Atomgruppen daran.

Am einfachsten lässt sich ein ENANTIOMER vorstellen, wenn man sich an folgende Vorschrift hält: Nimm ein tetraedrisches Kohlenstoffzentrum (d.h. es hat 4 symmetrisch gebohrte Löcher mit etwa 110° dazwischen: Baukasten), und hänge vier Gruppen oder Atome daran. Ein einfaches Beispiel dafür ist:



Milchsäure heißt modern 2-Hydroxy-propansäure.

Die beiden Enantiomeren unterscheiden sich nur durch zwei Eigenschaften:

- ☞ durch ihre Struktur (Bild-Spiegelbild, Bez. R und S, siehe Abb.) und
- ☞ durch das Verhalten gegen polarisiertes Licht.

Was bedeutet RECHTSDREHEND? Enantiomere haben, bedingt durch die Asymmetrie ihrer Struktur, die Eigenschaft, die Schwingungsebene von darauffallendem Licht zu drehen (das können auch einige Minerale, beispielsweise Quarz oder Turmalin). Im Alltag fällt uns diese Eigenschaft allerdings kaum auf, da natürliches Licht ein Gemisch von Wellenzügen ist, in dem alle Schwingungsebenen vorkommen: genau so ist es nach dem Durchgang durch eine „optisch aktive“ Substanz. Anders schaut aber die Welt z.B. durch eine POLAROID®-Sonnenbrille aus. Ursache ist ein simpler Polarisationsfilter. Mit einem solchen Polfilter kann man andererseits aus gewöhnlichem Licht polarisiertes machen: dieses linear polarisierte Licht (Licht, das nur in einer Ebene schwingt) kann man nun auf eine Lösung eines Enantiomeren fallen lassen (schematische Abb. rechts).

Blickt man in der Abb. in Richtung des Lichtstrahls, so wurde das Licht gedreht, z.B. durch RECHTSDREHENDE MILCHSÄURE: in der Formel wird das durch (+) ausgedrückt. (+)- findet sich in Deinem Körper in den Muskeln (*Muskelmilchsäure*, nach Louis Pasteur).

LINKSDREHENDE MILCHSÄURE macht, na was wohl? Sie wird daher mit (-) bezeichnet, ist also die (-)-Milchsäure. Vor einigen Jahren glaubte man noch, dass diese schwerer verdaulich sei als die rechtsdrehende. Man argumentierte so, dass Muskelmilchsäure (also die „rechte“) durch Enzyme ( $\equiv$  biologische Katalysatoren) abgebaut werde, weil der Körper darauf eingestellt sei, und dass daher die (-)-Milchsäure bei der Verdauung Probleme machen könne. Seit damals gibt es Produkte mit überwiegend Rechtsmilchsäure am Markt, was von den sauer machenden Bakterien kommt, sie machen die Milchsäure aus Milchzucker.

Generell spielt Milchsäure eine große, eigentlich ziemlich unbeachtete Rolle in unserer Umwelt:

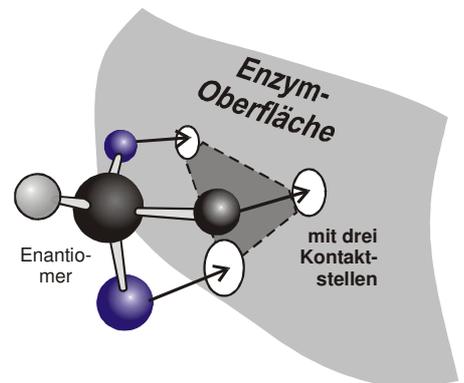
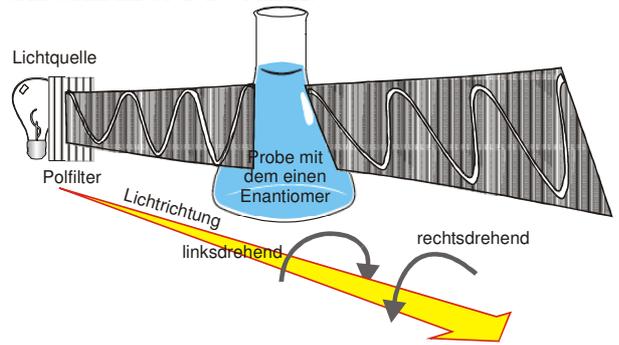
- (1) Sie konserviert natürlich speziell Milchprodukte wie Sauermilchkäse, Sauerrahm, Sauermilch, Yoghurt, Kefir, ...
- (2) Als Konservierungsmittel macht sie haltbar: Sauerkraut, Oliven, Heringe, Salami, Salzgemüse (z.B. Salzgurken), Schwarzbrot („Sauerteig“) aber auch Viehfutter („Silofutter“).
- (3) Kosmetisch verwendet man diese Säure als Keratinlöser – sie soll dicke Haut dünner machen und Warzen auflösen („Warzentinktur“).

Exkurs Enzyme und Enantiomere: ENZYME kann man sich als große, rundliche Protein-(„Eiweiß“-)-moleküle vorstellen, die an ihrer Oberfläche, meist in einer Vertiefung, eine oder mehrere Kontaktstellen tragen für das Andocken eines Substrats (= Molekül, das reagieren soll). Man mache sich klar, dass das nur mit dem einen Enantiomer geht (Abb.).

ZUSAMMENFASSUNG: Enantiomere enthalten mindestens ein Chiralitätszentrum, das ist ein Kohlenstoffatom mit vier verschiedenen Resten daran. Enantiomere unterscheiden sich nur in einer Eigenschaft, nämlich der Drehrichtung von eingestrahltm Licht (ausgedrückt durch ein davor gestelltes Vorzeichen, + oder - in Klammern). Die Bezeichnung R oder S vor dem Namen gibt (dem Eingeweihten) Auskunft über die Struktur.

### Eigenschaften der Kohlenwasserstoffe:

Sie werden, wie üblich, in PHYSIKALISCHE und CHEMISCHE Eigenschaften eingeteilt. Du kennst natürlich einige Kohlenwasserstoffgemische wie Benzin, Diesel,



### Physikalische Eigenschaften der n-Alkane:

Name	$t_b$ in °C	$t_m$ in °C	Dichte, g/ml
Methan	-161,5	-182,5	—
Ethan	-88,6	-183,3	—
Propan	-42,1	-187,7	(0,493)
Butan	-0,5	-138,4	(0,573)
Pentan	36,1	-129,7	0,621
Hexan	68,7	-95,3	0,655
Heptan	98,4	-90,6	0,680
Octan	125,7	-56,8	0,698
Nonan	150,8	-53,5	0,714
Decan	174,0	-29,7	0,726
Undecan	195,9	-25,6	0,737
Dodecan	216,3	-9,6	0,745
Tridecan	235,4	-5,5	0,7564
Tetradecan	253,7	5,9	0,7685
Pentadecan	270,6	10	0,7685
Eicosan	343,8	36,4	0,7886
Triacontan	449,7	65,8	0,8097
Polyethen	—	—	0,965

Zahlen zumeist aus Aylward/Findlay, Datensammlung Chemie... 2.Aufl.

(14) EINFÜHRUNG IN DIE ORGANISCHE CHEMIE UND ISOMERIE.

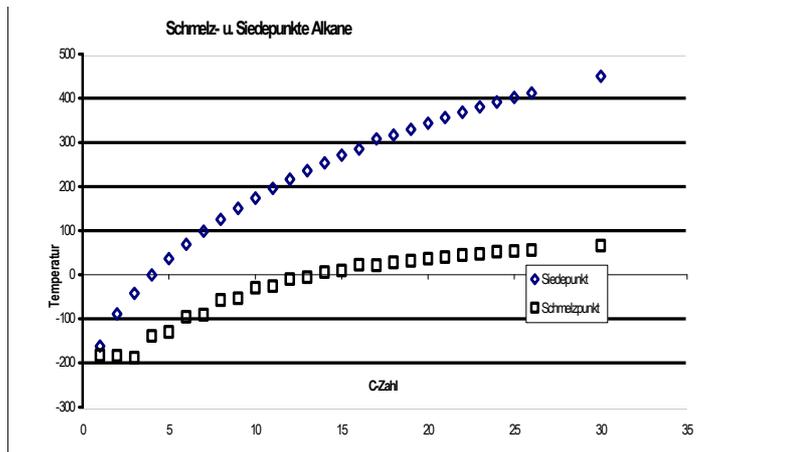
Kerzen (die billige, tropfende Sorte ist aus Paraffin) ... Die Eigenschaften sind für alle Kohlenwasserstoffe ganz gut vorhersagbar, im Boulevard-Stil: KW sind fettig und flüchtig: Unter FETTIG verstehe ich: wenig bis unlöslich in Wasser und wasserabstoßend, diese Stoffe greifen sich wie Öl oder Wachs an. Beispiele: Paraffinöl und Paraffin. Unter FLÜCHTIG verstehe ich, dass man die Moleküle solcher Stoffe leicht verdampfen kann (vgl. „flüchtige Stoffe“). Beispiele: Erdgas, Feuerzeuggas („Flüssiggas“) und Leichtbenzin. Anspruchsvoller ausgedrückt:

KW-Moleküle werden nur durch Van-der-Waals-Kräfte zusammengehalten, sie sind daher flüchtiger als polare Stoffe. Wegen der geringen Polarität mischen sie sich kaum mit polaren Stoffen (besonders nicht mit Wasser).

Es gibt einen fließenden Übergang zu den hitzezersetzbaren Stoffen: größere Moleküle neigen schon eher dazu, sich beim Erwärmen zu zersetzen. Beispiele: Zucker, Proteine, verschiedene Kunststoffe. Hier rechts findest Du die bekannten Werte für Schmelz- und Siedepunkte tabellarisch, unten siehst Du diese Werte grafisch dargestellt.

**Physikalische Eigenschaften** ändern sich gesetzmäßig. Grundlage für diese Eigenschaften sind die Kräfte zwischen den Molekülen: Da die Moleküle (mehr oder weniger) unpolar sind, gibt es zwischen ihnen nur VAN-DER-WAALS-KRÄFTE. Diese Kräfte aber nehmen mit zunehmender Molekülgröße immer mehr zu. Bei sehr großen Molekülen überwiegen dann die vielen schwachen Kräfte zusammen die Stärke einer Atombindung, so dass eher diese nachgibt und bricht: Es kommt zur Zersetzung. Bei der Flüchtigkeit spielt aber auch die Form des Moleküls eine Rolle: Vergleiche die Siedepunkte der isomeren KW:

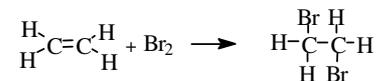
Butan	-0,5°C	Je rundlicher (= kugelhähnlicher) das Molekül, desto flüchtiger ist es offenbar. Außerdem ist die Dichte aller KW geringer als die von Wasser, daher schwimmen sie darauf.	
Isobutan	-11,7°C		
Pentan	36,1°C		
Isopentan	27,9°C		
Neopentan	9,5°C		



**Chemische Eigenschaften:** Hier beginnen die größeren Unterschiede: Zuerst die zwischen GESÄTTIGTEN und UNGESÄTTIGTEN Kohlenwasserstoffen: die n-Alkane waren alle gesättigte KW, das heißt, sie wollten nicht mehr mit Wasserstoff (oder einem anderen reaktionsfähigen Partner) reagieren, weil sie „satt“ sind. Ursache ist, dass alle C-C-Bindungen Einfachbindungen sind.

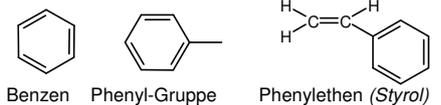
Gesättigte KW enthalten nur C-C-Einfachbindungen.

Ungesättigte KW sind dagegen noch „hungrig“ nach H- (oder anderen) Atomen.

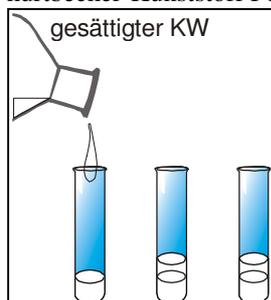


Ungesättigte KW enthalten Doppel- oder Dreifachbindungen.

Beispiel dafür, wie ein ungesättigter KW zum gesättigten wird: Ethen (ungesättigt) reagiert mit Wasserstoff zu Ethan (gesättigt). Einfacher als mit Wasserstoff geht die Reaktion mit Brom. Ungesättigte KW sind meist so scharf auf einen Reaktionspartner, dass sie sich sogar in ein eigentlich abstoßendes Medium wagen – ins Wasser! Wir können daher als Nachweismittel für ungesättigte KW eine Lösung von BROM IN WASSER nehmen: **Bromwasser**.



Im Versuch verwende ich ein größeres Molekül als das Gas Ethen: ich nehme hier Styren (Phenylethen, technisch *Styrol*), aus dem der bekannte Yoghurtbecher-Kunststoff Polystyren (technisch: *Polystyrol*) gemacht wird:



Offenbar hängt hier am Grundkörper des Ethens noch ein sechseckiger Ring mit drei Doppelbindungen. Wenn sie wo dranhängt, dann heißt diese Gruppe Phenylgruppe. Der KW ist Benzen.

☞ Ergänze die Grafiken.

☞ Gesättigter KW wird mit Bromwasser vermischt: ...

☞ Ungesättigter KW (Phenylethen) wird mit Bromwasser vermischt: ...

