

Inhalt:

- [9.1 - Petrochemie](#)
- [9.2 - Kohlenwasserstoffe](#)
- [9.3 - Chiralität](#)
- [9.4 - Organische Reaktionen](#)
- [9.5 - Funktionelle Gruppen](#)
- [9.6 - Lipide und Seifen](#)
- [9.7 - Kunststoffe](#)
- [9.8 - Kohlehydrate](#)
- [9.9 - Proteine](#)
- [9.10 - Übungsaufgaben](#)
- [9.11 - Lernkontrolle](#)
- [9.12 - Literatur](#)
- [9.13 - Web-Links](#)
- [9.14 - Die homologe Reihe der Alkane](#)

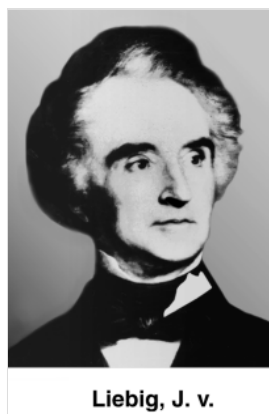
Lernziele:

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels sollten Sie



- wissen, wie Erdöl verarbeitet wird
- die Kohlenwasserstoffe kennen und sie nach den Regeln der IUPAC benennen können
- die Bedeutung der Chiralität kennen und anwenden können
- einige organische Reaktionen kennen und anwenden können
- wissen, was aromatische Kohlenwasserstoffe sind
- einige funktionelle Gruppen kennen
- die Begriffe "Fett", "Öl", "Seife" und "Phospholipid" kennen und damit umgehen können
- wissen, was eine Fettsäure ist
- Kunststoffe kennen und sie einteilen können
- wissen, wie Kunststoffe hergestellt werden
- einfache Kohlenhydrate und ihre Eigenschaften kennen und ihre Strukturformeln zeichnen können
- den Aufbau von Aminosäuren und ihre Eigenschaften kennen
- den Aufbau von Proteinen und wichtige Eigenschaften kennen

9.1 Petrochemie



Liebig, J. v.



Die **organische Chemie**  ist die **Chemie des Kohlenstoffatoms und seiner Verbindungen**. Die Fähigkeit, Einfach-, Doppel- oder Dreifachbindungen auszubilden, machen das Element Kohlenstoff einzigartig. Historisch hat sich die organische Chemie von der anorganischen Chemie abgekoppelt und sich eigenständig entwickelt. Kohlenstoffhaltige Verbindungen waren im 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts bekannt, doch die meisten von ihnen wurden in Lebewesen entdeckt. Es verbreitete sich daher der Glaube, es brauche eine Lebenskraft, die **vis vitalis**, um kohlenstoffhaltige Verbindungen herstellen zu können. Die Anhänger dieser These, die Vitalisten hielten es für unmöglich, organisches Material künstlich erschaffen zu können. Einer der **bekanntesten Vitalisten**  war **Freiherr Justus von Liebig**.

Bild 9.1: Justus von Liebig

Es war ein Schüler Liebig's Friedrich Wöhler, der die Wissenschaftler der damaligen Zeit eines Besseren belehrte. Wöhler erschuf 1828 im Reagenzglas aus Ammoniumcyanat (NH_4OCN) einen organischen Stoff, Harnstoff. Mit dieser Synthese öffnete Friedrich Wöhler neue Dimensionen in der Chemie. Man war nun ganz wild darauf, organische Stoffe zu untersuchen und künstlich herzustellen. Die Sonderstellung der "neuen Chemie" ist bis heute geblieben.

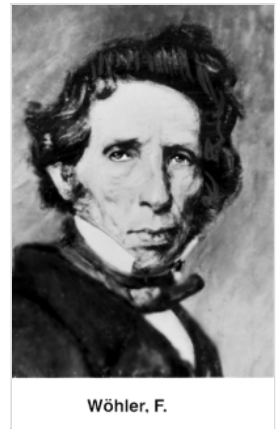


Bild 9.2: Friedrich Wöhler

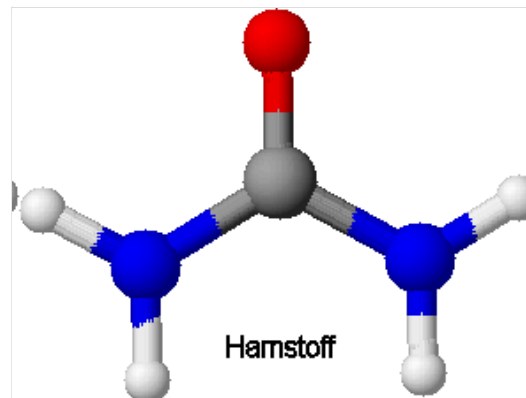


Bild 9.3: Harnstoff


Im Lauf der regen Forschungstätigkeit wurde die Nachfrage an Ausgangsmaterial zur Herstellung neuer organischer Substanzen immer grösser. Der beschwerliche Weg Kohle als Ausgangsmaterial zu verwenden, wurde dank dem Fund und der Ausbeutung von Erdölquellen bedeutend erleichtert. Erdöl  ist ein Stoffgemisch. Es ist im Lauf von Jahrtausenden unter bestimmten Bedingungen aus dem abgestorbenen Plankton der Urmeere entstanden. Es ist umgewandelte organische Materie, was seinen Reichtum an kohlenstoffhaltigen Verbindungen erklärt.



Bild 9.4: Eine Erdölpumpe

In der Antike wurde Erdöl bereits zu kriegerischen Zwecken verwendet. Es wurde eingesetzt in Fackeln und "Flammenwerfern" und konnte so manchem Feind einen Schrecken einjagen und Schaden zufügen. Zu anderem war das Erdöl in dieser Zeit nicht zu gebrauchen. Auch zu Beginn des 19. Jahrhunderts, als die ersten Erdölvorkommen in Amerika entdeckt wurden, kannte man den eigentlichen Wert des Bodenschatzes nicht. Es wurde verwendet als Salbe, Wundheilmittel und Wundermittel gegen alle möglichen Blessuren. Erst mit der Zeit gelang es aus dem Erdöl Stoffe wie das Petroleum zu gewinnen, die sich dazu eigneten die Wohnungen

zu beleuchten. Damit war ein Anfang gemacht. Das Erdöl wurde nun systematisch aufgearbeitet, raffiniert und erst so kam der eigentliche Wert des Bodenschatzes zum Vorschein. Es wurden sehr viele wertvolle Produkte zugänglich.

Das Raffinieren von Erdöl ist eine Destillation. Die verschiedenen Komponenten werden in riesigen Anlagen voneinander abgetrennt, wobei die unterschiedlichen Siedepunkte ausgenutzt werden. So lassen sich die

Primär raffinate einteilen in

- Gase
- Leichtbenzine
- Benzine
- leichte Öle
- Schweröle
- Paraffine und Bitumen

Paraffine sind feste, wachsartige Substanzen. Bitumen sind sehr hochsiedende, klebrige Rückstände.

Um die Ausbeute begehrter Stoffe wie z. B. Benzine zu erhöhen, werden die Primär raffinate anschliessend weiteren Prozessen unterworfen. Die drei wichtigsten sind:

- **Cracken** : Beim **Crackprozess** werden lange Kohlenstoffketten von hochsiedenden Molekülen gebrochen (engl. to crack = brechen). Es werden daraus kürzerkettige Moleküle mit tieferen Siedepunkten erzeugt. In dieser Weise wird vor allem Benzin (Crackbenzin) aus schweren Ölen hergestellt. Das hochsiedende Bitumen, welches mit Kies zu Teer verarbeitet wird, kann mit analogen Prozessen zu wertvolleren Produkten umgewandelt werden. Das Cracken verläuft oft unter sehr drastischen Bedingungen trotz des Einsatzes von Katalysatoren (Katcracking).

[Crackprozess](#) 

- **Reformieren**: Der Begriff **Reformieren** leitet sich ab vom englischen **reforming** (= umformen). Die Strukturen der Moleküle werden verändert. Es werden oft stark verzweigte oder aromatische Stoffe hergestellt, welche weniger reaktiv sind. Sie werden den Benzinen beigemischt, um die Zündfreudigkeit zu erniedrigen. Damit wird die Anzahl der Frühzündungen (Klopfen) in einem Motor reduziert, was sich vorteilhaft auf den Motor und den Fahrkomfort auswirkt.

[Reforming](#) 

- **Entschwefelung**: In der Leichtölfraction befinden sich gehäuft viele schwefelhaltige Verbindungen. Da bei deren Verbrennung Schwefeldioxid entsteht, stellen diese Stoffe eine **Belastung für die Umwelt** dar (**saurer Regen**). Die schwefelhaltigen Verbindungen müssen deshalb bevor sie zum Verbraucher gelangen weitmöglichst aus den Diesel- und Heizölen entfernt werden.


9.2 Kohlenwasserstoffe

Die einfachsten organischen Verbindungen sind Kohlenwasserstoffe. Es sind Verbindungen, die ausschliesslich aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen. Aufgrund verschiedener Bindungsarten lassen sie sich einteilen in Kohlenwasserstoffe mit Einfach-, Doppel-, oder Dreifachbindungen:

Die Alkane

Alkane , **gesättigte Kohlenwasserstoffe, weisen ausschliesslich Einfachbindungen auf.** Es lässt sich eine Reihe aufstellen, in der die Verbindungen nach aufsteigender Anzahl Kohlenstoffatome geordnet sind, die **homologe Reihe der Alkane** .

Die ersten vier Verbindungen in dieser Reihe sind bei Raumtemperatur gasförmig. Es sind Gase, die häufig zum Kochen, zur Beheizung von Häusern oder zum Betreiben eines Gasgrills verwendet werden. Die Verbindungen Pentan bis ca. Heptadecan sind bei Raumtemperatur flüssig. Im Alltag treffen wir sie an in Lösungsmitteln, Pinselreinigern, Benzin und Ölen. Feste Alkane, mit mehr als ca. 17 C-Atomen sind in Wachsen enthalten.

Allen **Alkanen**  ist die Endung **-an** gemeinsam. Die ersten Alkane besitzen Trivialnamen, ab Pentan werden systematische Namen verwendet: Der erste Teil des Namens wird durch die griechische Silbe für die Anzahl der enthaltenen Kohlenstoffatome gebildet, penta = fünf, hexa = sechs etc...

Die systematische Namensgebung, **Nomenklatur**, dieser Verbindungen ist ausserordentlich wichtig. So, wie es notwendig ist, Kohlenmonoxid von Kohlendioxid zu unterscheiden, müssen auch diese Verbindungen

unterschieden werden können. Das Problem stellt sich besonders dann, wenn man in Betracht zieht, dass bei Kohlenwasserstoffen [Isomerie](#) auftreten kann. Zeichnet man z. B. die verschiedenen Skelettformeln zur Summenformel C_4H_{10} , stellt man fest, dass zwei Isomere existieren. Um sie zu benennen, geht man wie folgt vor: **Man sucht zuerst die längste zusammenhängende Kette von C-Atomen.** Diese Kette ist der **Stamm** und wird mit dem entsprechenden Namen aus der homologen Reihe der Alkane versehen. Kohlenstoffatome, die von dieser Stammkette abzweigen, bilden **Seitenketten**. Sie werden ebenfalls mit dem Namen aus der homologen Reihe der Alkane versehen, ihre Endung **-an** wird dabei allerdings durch **-yl** ersetzt. Dies zeigt an, dass es sich um Seitenketten handelt. Die Seitenketten werden in alphabetischer Reihenfolge dem Stamm vorangestellt. Damit ergeben sich die Namen der beiden Isomere von C_4H_{10} auf eindeutige und unverwechselbare Weise:

[Butan](#) und [Methylpropan](#)

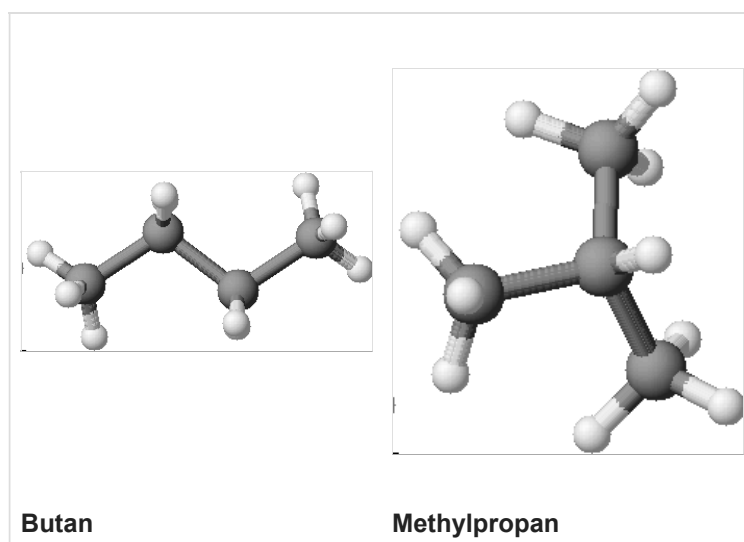
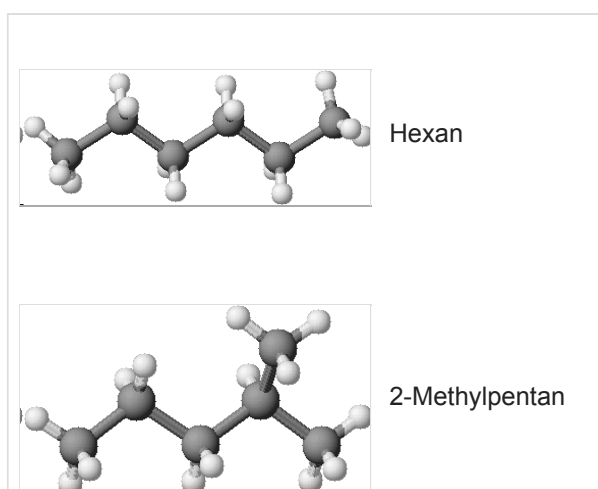
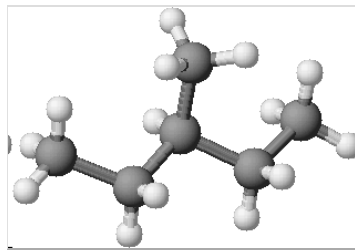


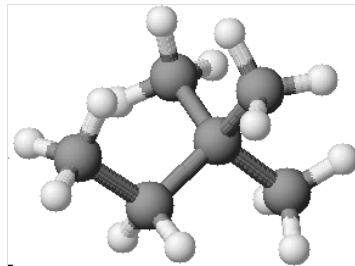
Tabelle 9.1: Die beiden Isomere von C_4H_{10}

Ein weiteres Problem ergibt sich, wenn mehr als eine Seitenkette vorliegt. **In diesem Fall müssen die C-Atome des Stammes, beginnend auf einer Seite, durchnummeriert werden. Es soll so nummeriert werden, dass die Kombinationen der Zahlen der C-Atome des Stammes, an welchen Seitenketten angebracht sind, möglichst kleine Ziffern erhalten.** Identische Seitenketten werden mit griechischen Zahlsilben zusammengefasst : Zwei identische Seitenketten bekommen die Vorsilbe di-, drei tri- etc.. Damit lassen sich die Namen der fünf Isomere von C_6H_{14} eindeutig bestimmen: [Hexan](#), [2-Methylpentan](#), [3-Methylpentan](#), [2,2-Dimethylbutan](#) und [2,3-Dimethylbutan](#)

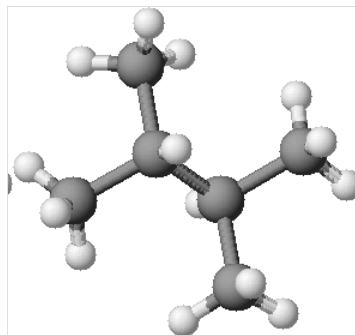




3-Methylpentan



2,2-Dimethylbutan



2,3-Dimethylbutan

Tabelle 9.2: Die fünf Isomere von C₆H₁₄

Alkane können auch ringförmige, geschlossene Strukturen einnehmen. In diesem Fall wird zur Benennung dem Namen die Vorsilbe **Cyclo-** angefügt. Damit lässt sich sofort die Struktur von z. B. Cyclopropan, Cyclobutan oder Cyclopentan erahnen.

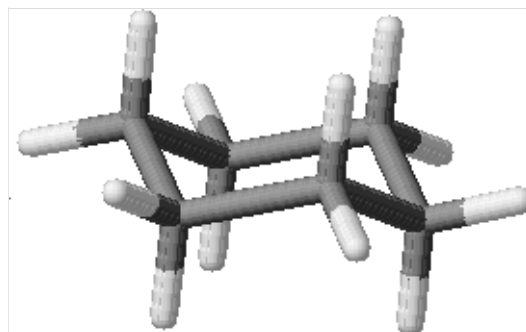




Bild 9.14: Cyclohexan

Die Struktur von [Cyclohexan](#) ist besonders wichtig. Die Skelettformel lässt den falschen Schluss zu, das Molekül sei vollkommen flach. Aus geometrischen Gründen ist es aber unmöglich, sechs durch

Einfachbindungen verknüpfte C-Atome in eine Ebene zu bringen. Der [Cyclohexanring](#)  weist eine **Chair-Konformation** ('chair': engl. Stuhl) auf: Zwei gegenüberliegende Ecken des Sechsecks liegen ausserhalb der Ebene, **eines darunter, eines darüber**. Die H-Atome in dieser Verbindung können ebenfalls in zwei Kategorien eingeteilt werden: Der eine Teil steht parallel, der andere nahezu senkrecht zu einer fiktiven Achse mitten durch den Ring. **Parallel stehende Wasserstoffatome heissen axiale, senkrecht dazu stehende äquatoriale H-Atome.**

Die Alkene

[Alkene](#) , [ungesättigte](#) Kohlenwasserstoffe, weisen mindestens eine Doppelbindung auf. Die Namen der [Alkene](#)  leiten sich ab von den Namen der Alkane:

[Ethen](#) , [Propen](#) :

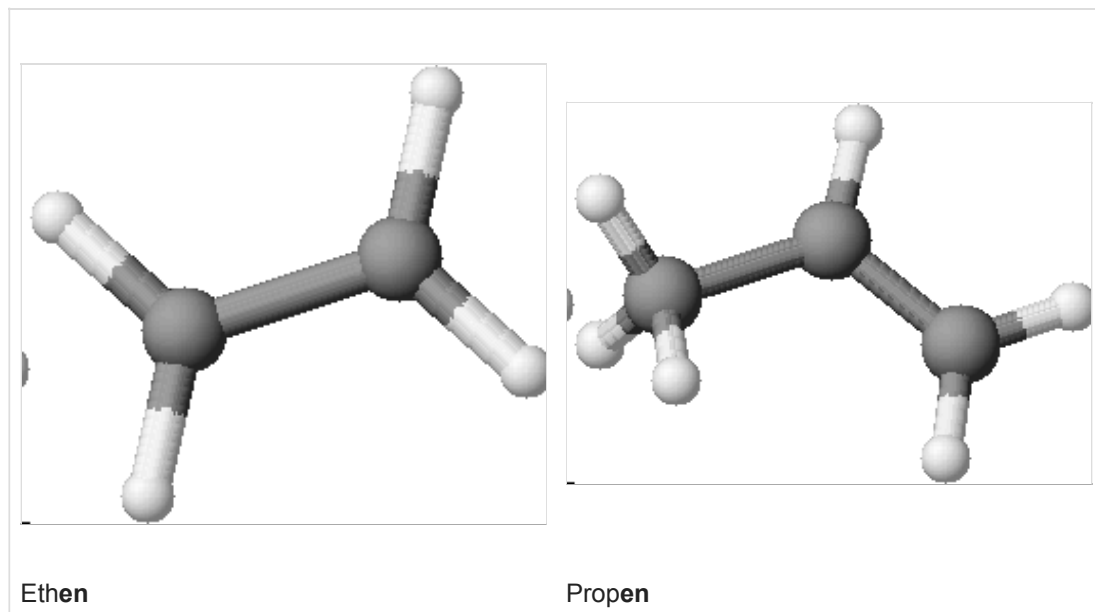


Tabelle 9.3: Ethen und Propen

Die Summenformel C_4H_8 lässt zwei Isomere zu. Es sind Butene, die sich durch die Lage der Doppelbindung unterscheiden. Die Nomenklaturregel lautet so, dass der Stamm die längste zusammenhängende Kette ist. Es werden nun aber nicht die Kohlenstoffatome, sondern die Bindungen nummeriert. Es soll mit der Nummerierung so begonnen werden, dass die Doppelbindungen möglichst kleine Ziffern erhalten. Man unterscheidet zwischen

[1-Buten](#) und [2-Buten](#) :

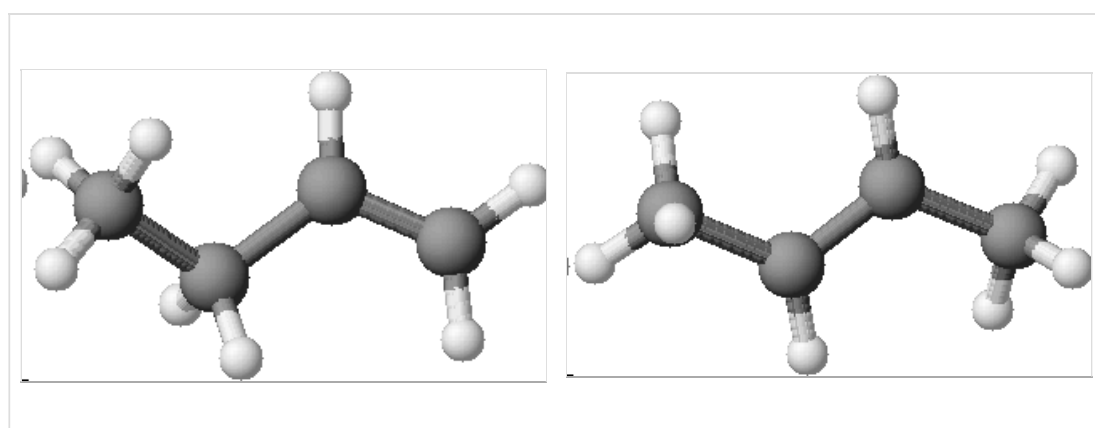


Tabelle 9.4: 1-Buten und 2-Buten

Untersucht man 2-Buten weiter, findet man **zwei mögliche Anordnungen des Moleküls**: Beim der einen Verbindung sind die beiden endständigen C-Atome (C1 und C4) in der selben Halbebene, bei der anderen nicht. Da keine freie Bewegung um eine Doppelbindung möglich ist, handelt es sich hier um zwei verschiedene Stoffe, die konsequenterweise auch verschiedene Namen haben müssen. Die Orientierung an einer Doppelbindung wird so festgelegt, dass die beiden schwereren Substituenten an den C-Atomen, die die Doppelbindung bilden, entscheiden: Liegen sie in der selben Halbebene, so ist es ein **Z-Isomer**, liegen sie nicht in der selben Halbebene, ist es ein **E-Isomer**. E und Z stammen von entgegen, resp. zusammen.

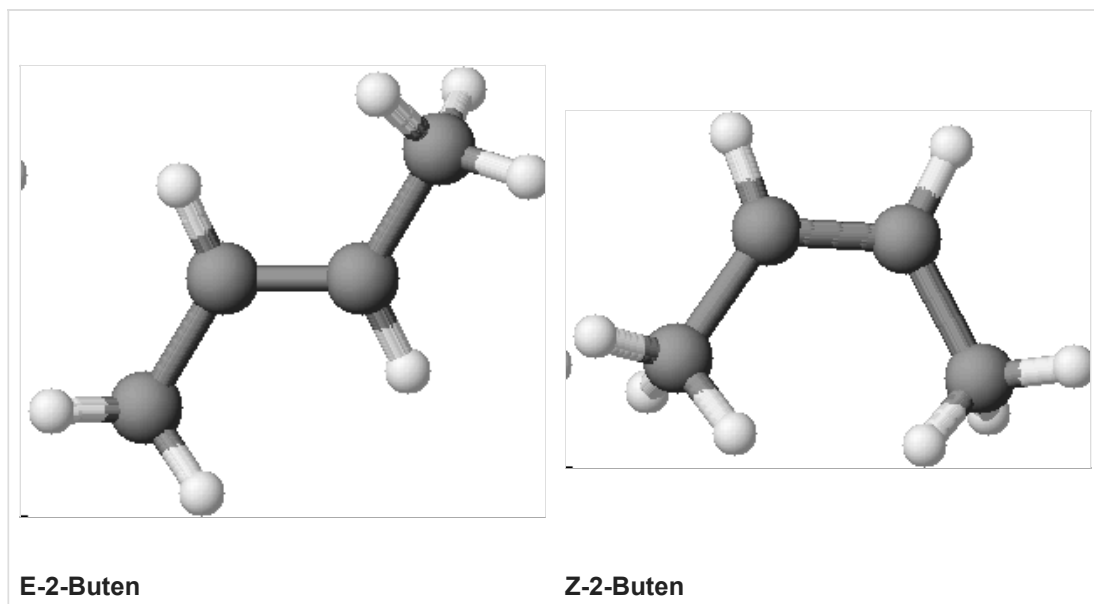


Tabelle 9.5: E-2-Buten und Z-2-Buten

Lässt man in einer Verbindung mehrere Doppelbindungen zu, wird die Nomenklatur systematisch weitergeführt. Dies kann am einfachen Beispiel Buten gezeigt werden: Wenn die erste und die letzte C-C-Bindung im Molekül eine Doppelbindung ist, lautet sein Name **1,3-Butadien**:

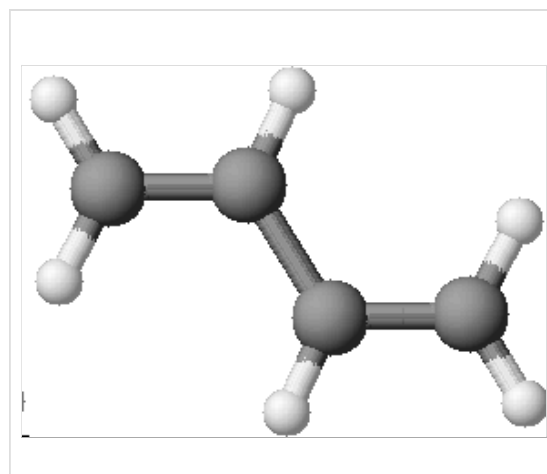
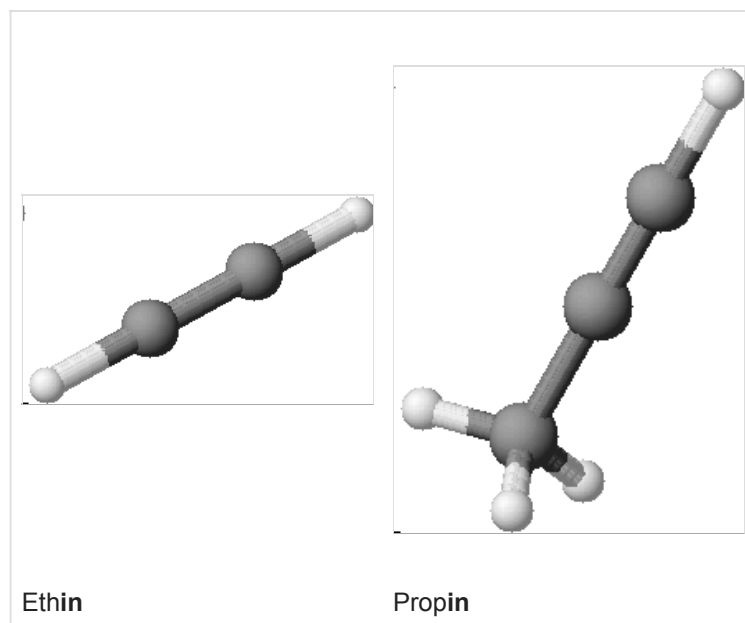


Tabelle 9.6: 1,3-Butadien

Die Vorsilbe **di-** gibt an, dass im Molekül **zwei** Doppelbindungen vorhanden sind.

Die Alkine

Alkine , ungesättigte Kohlenwasserstoffe, weisen **mindestens eine Dreifachbindung** auf. Die Namen der Alkine leiten sich ab von den Namen der Alkane: Ethin, Propin:

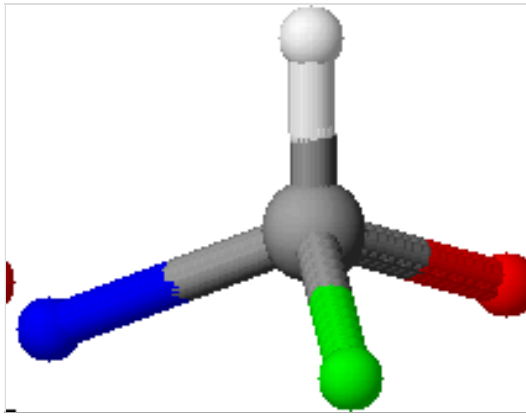
Tabelle 9.7: Ethin und Propin

Alkine können grundsätzlich mehr als eine Dreifachbindung pro Molekül enthalten. Die Nomenklaturregeln gelten analog zu denjenigen der Alkene. In Alkinen sind keine verschiedenen geometrischen Anordnungen der Moleküle möglich.

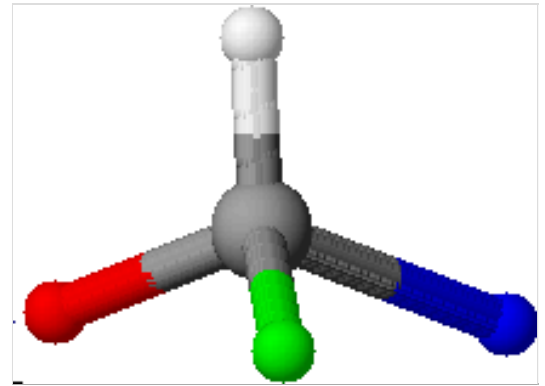
Unterbrechen Sie hier Ihre Lektüre. Lösen Sie die Aufgabe 1 der Übungsaufgaben.

9.3 Chiralität

Die organische Chemie steckt voller Überraschungen. Eine einfache Verbindung mit der Summenformel CHFCIBr , ein Molekül, das aus insgesamt fünf Atomen besteht, birgt Ungeahntes: **Wird das Molekül räumlich betrachtet, lassen sich zwei unterschiedliche Anordnungen der Atome erkennen.** Es handelt sich dabei um Isomere, allerdings um Isomere, die erst durch die dreidimensionale Betrachtung voneinander



unterschieden werden können. Die beiden Moleküle verhalten sich zueinander wie **ein Bild und sein Spiegelbild**. Es sind



Spiegelbildisomere oder Enantiomere. Der Fachbegriff für ein derartiges Verhalten heisst Chiralität. Er leitet sich ab vom griechischen Wort "chiros" (=Hand), denn auch unsere beiden Hände sind spiegelbildlich zueinander.

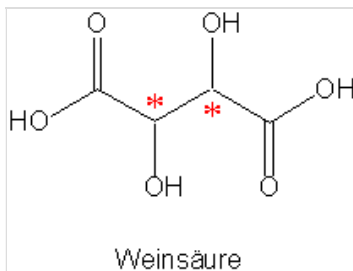
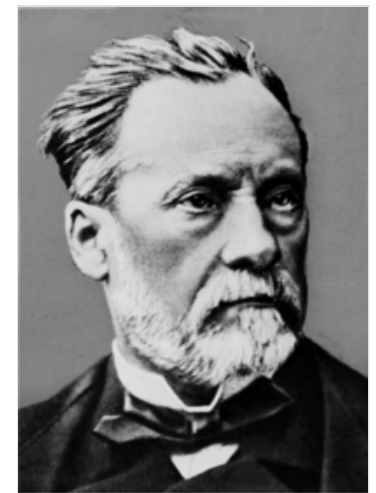


Bild 9.27: Weinsäure

Die Chiralität wurde 1848 von **Louis Pasteur** am Molekül Weinsäure, entdeckt. Auf den ersten Blick scheint es bedeutungslos zu sein, dass Weinsäure in zwei verschiedenen Arten existiert. Für die belebte Natur ist die Chiralität jedoch äusserst wichtig: Enzyme sind in der Lage, enantiomere Moleküle voneinander zu unterscheiden. Unsere Nase kann z. B. die Enantiomere von Limonen oder Menthol auseinanderhalten.



Pasteur, L.

Bild 9.28: Louis Pasteur

Enzyme im Organismus, welche lebensnotwendige Aufgaben erfüllen, unterscheiden Enantiomere voneinander. Nur jeweils ein Enantiomer passt in die enzymatische Nische, wodurch eine Selektion stattfindet. Dies ist sicherlich ein Schutz davor, dass unnatürliche oder unerwünschte Stoffe im Metabolismus umgesetzt werden. Auch bekannte Substanzen wie Limonen oder Menthol sind chiral.

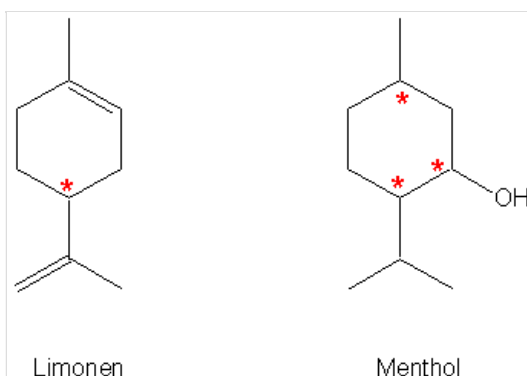


Bild 9.30: Limonen

Das Ganze ist vergleichbar mit dem Schlüssel - Schlüsseloch - Prinzip: Nicht jeder Schlüssel passt zu einem Schlüsseloch, auch wenn die Marke des Herstellers dieselbe ist. Jeder Schlüssel unterscheidet sich von einem anderen durch die Anordnung der angebrachten Bohrungen.

Chiralität tritt nicht bei allen organischen Stoffen auf. Eine notwendige Bedingung ist das Vorhandensein eines chiralen Zentrums, **eines Kohlenstoffatoms mit vier verschiedenen Substituenten**. In natürlichen Stoffen wie Aminosäuren oder Sacchariden ist diese Bedingung häufig erfüllt, d. h. Aminosäuren wie auch Saccharide sind chirale Stoffe. Von jeder

Verbindung existieren grundsätzlich zwei Moleküle, ein Bild und sein Spiegelbild. Die Natur produziert allerdings in den meisten Fällen nur eines davon.

Wie wichtig es allerdings ist, welches Enantiomere vorliegt, wird an den nachfolgenden Substanzen Asparagin, Contergan und Propanolol gezeigt. Es sind Substanzen die in unserem Alltag z. T. leider unerfreuliche Berühmtheit erlangt haben, wie z. B. das Contergan. Wurde Contergan während der Schwangerschaft eingenommen, kam es beim Nachkommen zu schwersten Missbildungen, Arme und Beine wurden nicht ausgebildet.

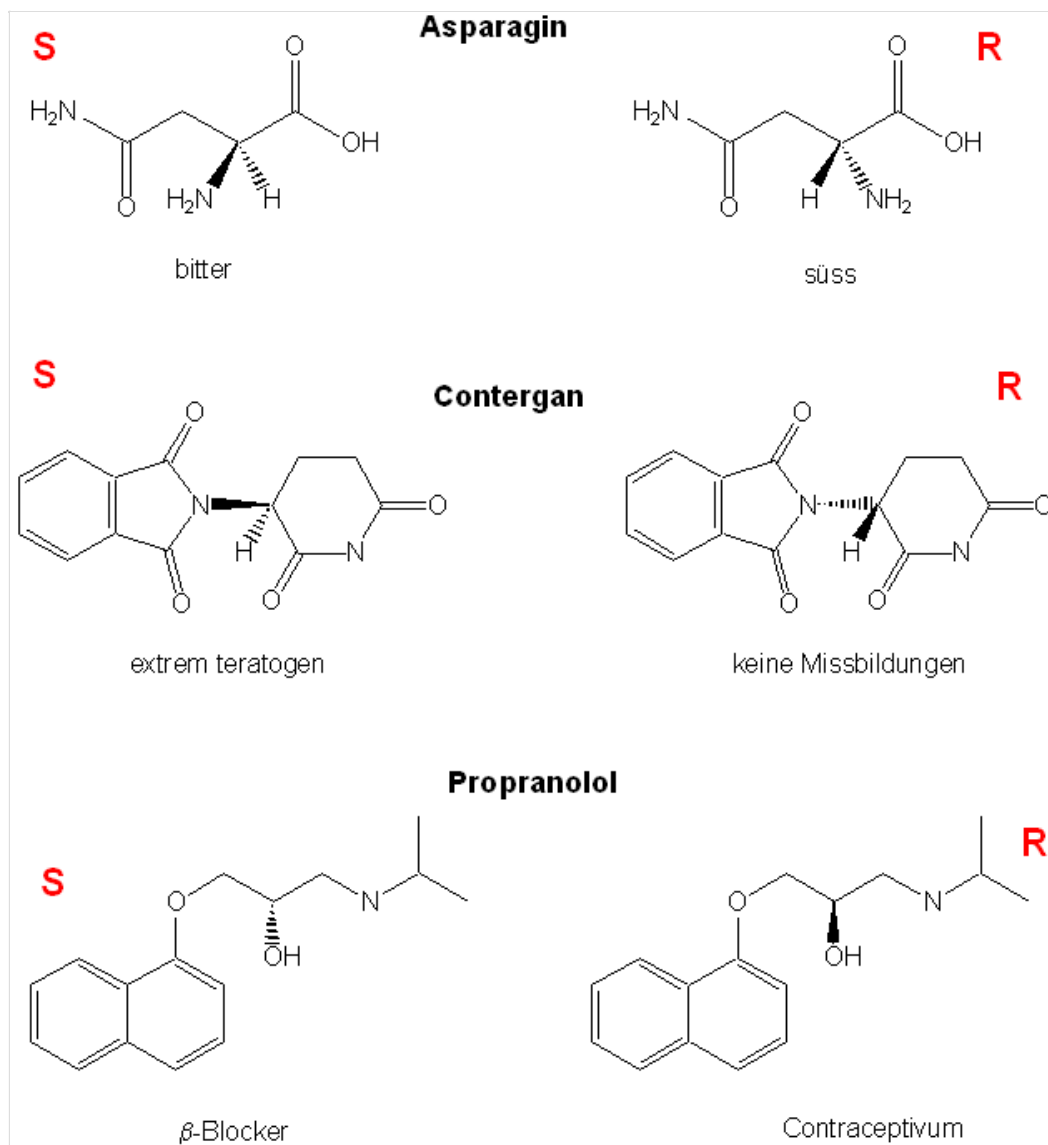


Bild 9.31: Chirale Substanzen

Die Trennung von Enantiomeren ist sehr schwierig. Enantiomere besitzen dieselbe Masse und weisen identische Bindungsverhältnisse auf. Chromatographische Verfahren sind häufig erfolgreich. Sie können allerdings nur dann eingesetzt werden, wenn die stationäre Phase ebenfalls chiral ist.

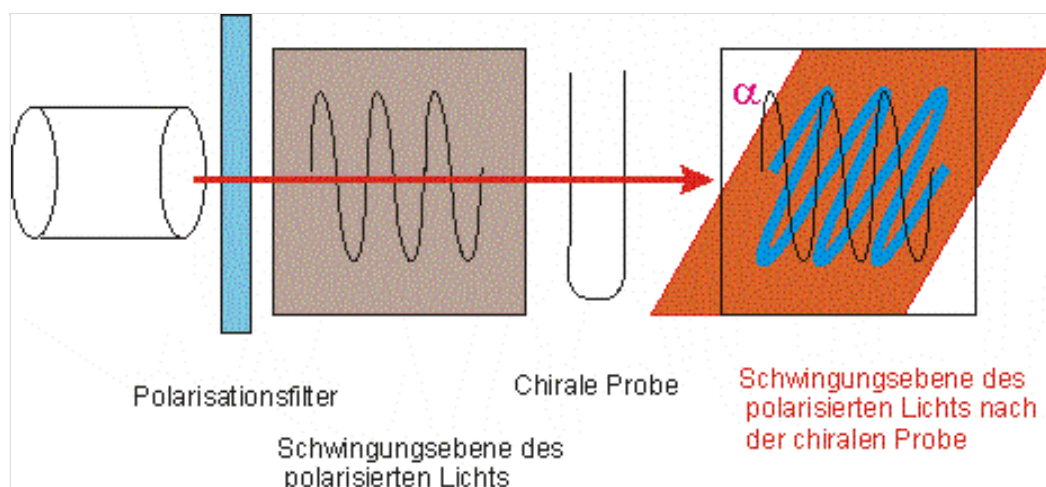


Bild 9.32: Der optische Winkel

Die Unterscheidung von Enantiomeren ist dagegen relativ einfach. Schickt man einen linear polarisierten Lichtstrahl durch eine chirale Probe, wird die Schwingungsebene des polarisierten Lichtes um einen Winkel α gedreht. Der Winkel α ist der optische Winkel. Es ist ein Stoffparameter,

an dem jedes Enantiomer einwandfrei identifiziert werden kann. Es ergeben sich lediglich Probleme, wenn eine Substanz mehrere chirale Zentren enthält und sich dadurch die einzelnen optischen Winkel addieren. Während ein Enantiomer die Schwingungsebene des polarisierten Lichtes in die (+) - Richtung dreht, dreht es das andere in die (-) - Richtung. Liegt in der untersuchten Substanz ein Gemisch zweier Enantiomere vor, so wird ein optischer Winkel gemessen, der der Zusammensetzung des Gemisches entspricht. In [racemischen Gemischen](#), in welchen die beiden Enantiomere im Verhältnis 1:1 enthalten sind, wird keine Auslenkung der Schwingungsebene des polarisierten Lichtes beobachtet.

Unterbrechen Sie hier Ihre Lektüre. Lösen Sie die Aufgabe 2 der [Übungsaufgaben](#).

Die absolute Konfiguration

Mit der absoluten Konfiguration wird die Orientierung eines Chiralitätszentrums eindeutig beschrieben. Damit können Enantiomere auch auf Grund eines simplen Zusatzes zum Namen - R oder S - sicher voneinander unterschieden werden. Die Vorgehensweise wie die absolute Konfiguration bestimmt werden kann, ist einfach. Sie wird anhand des Beispiels der Milchsäure erläutert:

Milchsäure ist ein chirales Molekül von dem die beiden Enantiomere (A) und (B) existieren.

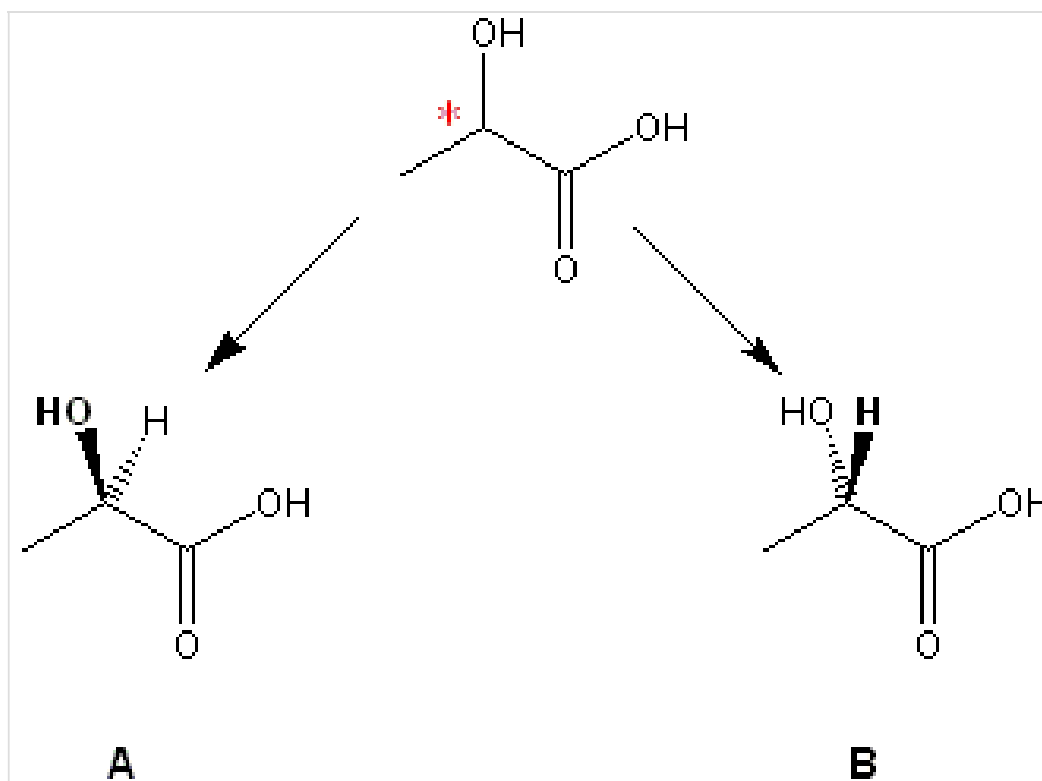


Bild 9.33: Milchsäure

Es ist wichtig vor Beginn der Bestimmung die Enantiomere richtig zu orientieren. Der **leichteste Substituent am Chiralitätszentrum soll dem Betrachter abgeneigt (nach hinten) orientiert** sein. Im vorliegenden Fall ist es das Wasserstoffatom, d. h. das Enantiomer B muss um 180° gedreht werden.

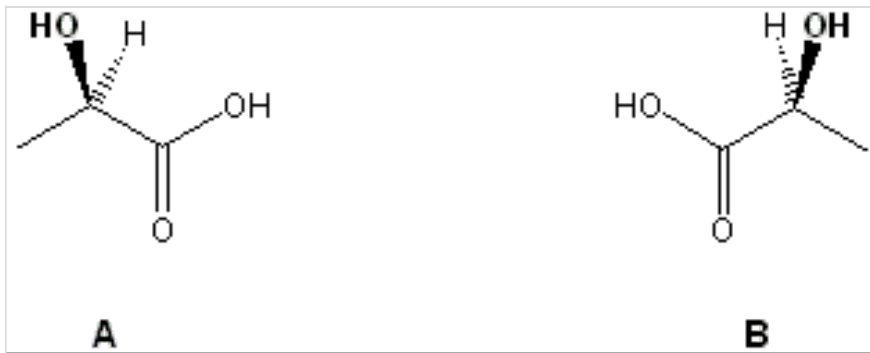


Bild 9.34: Milchsäure

Die drei verbleibenden, also die drei schwereren Substituenten am Chiralitätszentrum werden nun nach Priorität geordnet. Der Substituent mit der höchsten Priorität erhält dabei die Ziffer 1, der nächste die Ziffer 2 und schliesslich der letzte Substituent dieser verbleibenden drei die Ziffer 3.

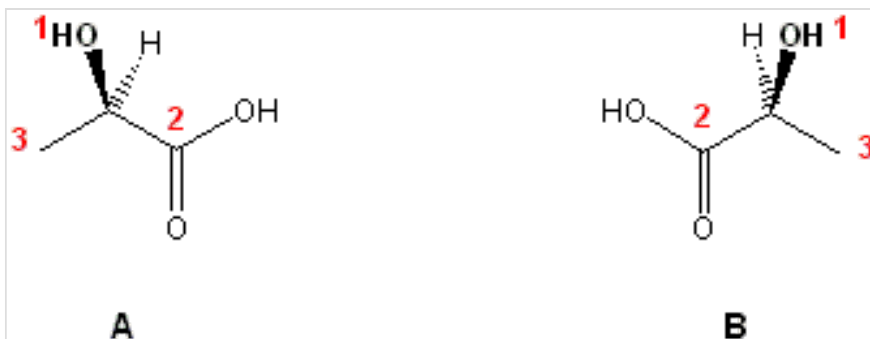


Bild 9.35: Milchsäure

Um die Reihenfolge der Priorität richtig fest zu legen wird oft wie folgt verfahren: Man stellt das Chiralitätszentrum in den Mittelpunkt eines Kreises. Die direkt an das Chiralitätszentrum gebundenen Atome werden gemäss der vorhandenen Geometrie des Enantiomers auf den Kreis übertragen. Der nach hinten gerichtete, leichteste Substituent wird weg gelassen.

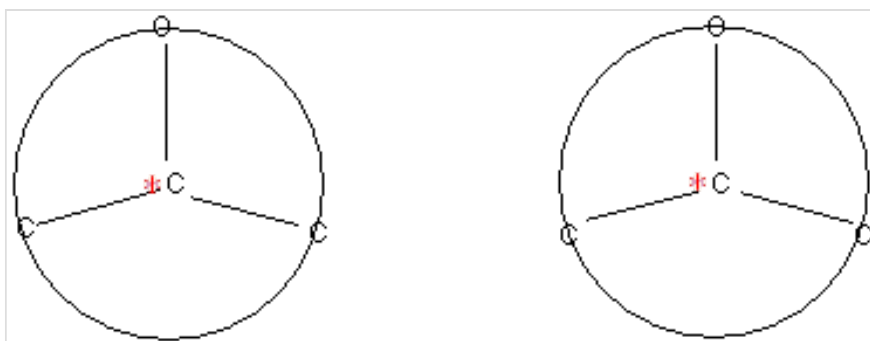


Bild 9.36: Milchsäure

Die Priorität der Substituenten wird nun nach deren Masse festgelegt. Das Sauerstoffatom mit einer Masse von 16 u hat die grössere Masse als die Kohlenstoffatome mit einer Masse von 12 u und erhält daher die

Ziffer 1. Da sich die Massen der Kohlenstoffatome nicht unterscheiden, müssen ihre weiteren Bindungspartner auf einem nächsten Kreis (Sphäre) betrachtet werden.

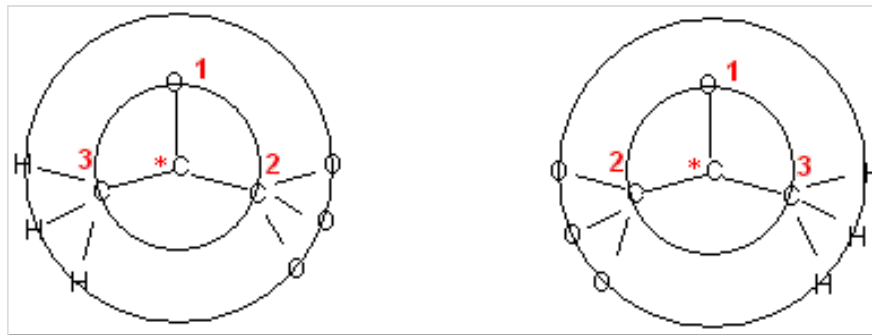


Bild 9.37: Milchsäure

Auch hier wird eine Reihenfolge der Priorität auf Grund der vorliegenden Massen vorgenommen, wobei ausschliesslich die Massen der Substituenten in jeweils einer Späre miteinander verglichen werden dürfen. Liegt wie im gezeigten Fall eine Doppelbindung vor, so wird sie in der sphärischen Abbildung dargestellt als zwei einfache Bindungen zu ein und demselben Atom. Für unser Beispiel ist die Zuordnung der Ziffern 2 und 3 nun eindeutig. Falls auch in der zweiten Späre keine Unterscheidung der Massen möglich wäre müsste eine dritte, vierte Sphäre gezeichnet werden, bis ein Unterschied ersichtlich ist. Falls sich kein Unterschied ergibt, ist ein Fehler unterlaufen, oder das vermeintliche Chiralitätszentrum ist gar kein Chiralitätszentrum.

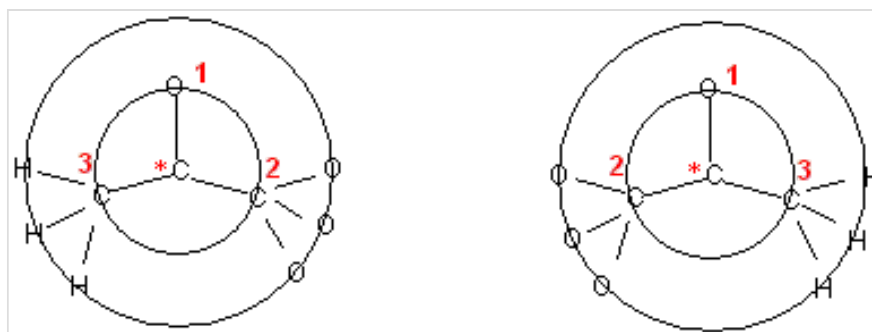


Bild 9.38: Milchsäure

Damit kann man zurückgehen zur ursprünglichen Darstellung und die Ziffern übernehmen.

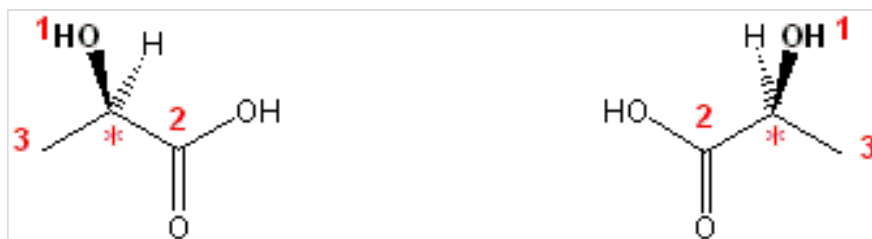


Bild 9.39: Milchsäure

Der letzte Schritt in der Bestimmung der absoluten Konfiguration ist nun die Bestimmung der Drehrichtung. Folgt man den Ziffern von 1 nach 2 nach 3 führen sie entweder im Uhrzeiger- oder im Gegenuhrzeigersinn um das Chiralitätszentrum herum. **Eine Drehung im Uhrzeigersinn erhält den Buchstaben R (rectus, rechts), eine Drehung im Gegenuhrzeigersinn den Buchstaben S (sinister, links).**

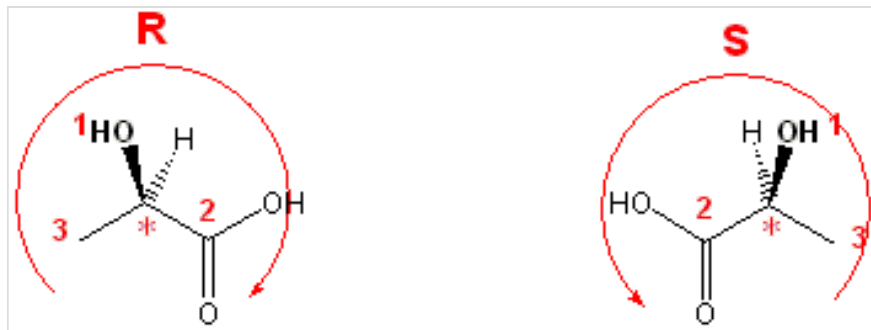


Bild 9.40: Milchsäure

Damit ist die absolute Bezeichnung der Enantiomere abgeschlossen. Die Bezeichnung der absoluten Konfiguration wird in den systematischen Namen des Moleküls eingefügt, womit auch Enantiomere in der Nomenklatur unterschieden werden können. Falls mehrere Chiralitätszentren vorliegen, muss die Prozedur für jedes einzelne durchgespielt werden. Das ergibt für die beiden vorliegenden Moleküle A und B die Namen

A: (R)-Milchsäure oder (2R)-2-Hydroxypropionsäure

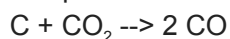
B: (S)-Milchsäure oder (2S)-2-Hydroxypropionsäure

Überprüfen Sie Ihr Wissen. Lösen Sie die Aufgabe 3 der [Übungsaufgaben](#).

9.4 Organische Reaktionen

1. Verbrennungsreaktionen

Alle Kohlenwasserstoffe sind brennbar. Bei einer vollständigen [Verbrennung](#) reagieren sie zu Kohlendioxid und Wasser. Aus dem Alltag ist allerdings bekannt, dass bei unvollständiger Verbrennung häufig auch Russ entstehen kann, vor allem bei der Verbrennung von längerkettigen Kohlenwasserstoffen, z. B. bei der Verbrennung von Kerzenwachs. Bei hohen Verbrennungstemperaturen entsteht neben Kohlendioxid auch Kohlenmonoxid. Zwischen den beiden Stoffen besteht ein dynamisches Gleichgewicht, das sich bei hohen Temperaturen auf die Seite des Kohlenmonoxid verschiebt:



2. Die Reaktionen mit Brom

Die [Reaktion](#) von Alkanen mit Brom verläuft recht langsam. Hexan oder andere flüssige Alkane verfärben sich durch die Zugabe von Brom erst orange und nach einiger Zeit gelblich. Schliesslich werden die Lösungen farblos und klar. Im Gasraum über dem Reaktionsgemisch können Stoffe nachgewiesen werden, die saure Lösungen erzeugen. Verhindert man den Zutritt von Sonnenlicht zur Reaktion, tritt keine Reaktion ein. Das Sonnenlicht wird benötigt, um die Brommoleküle zu **Bromradikalen** zu spalten. Die Bromradikale greifen das Alkan an, wobei eine Kohlenstoff-Brom-Bindung geknüpft und eine Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindung gebrochen wird. Die Reaktionsprodukte sind bromierte Alkane und Bromwasserstoff, welcher als Gas

entweicht. Da Bromradikale sehr reaktionsfreudige Stoffe sind, sind die Bromatome im Reaktionsprodukt willkürlich verteilt. Mehrfachbromierungen am selben Alkan sind möglich. Da ein Wasserstoffatom durch ein Bromatom ersetzt wird, nennt man diese Reaktion Substitutionsreaktion. Substitutionsreaktionen, es sind eigentlich Redoxreaktionen, sind typisch für Alkane.

Bromierung

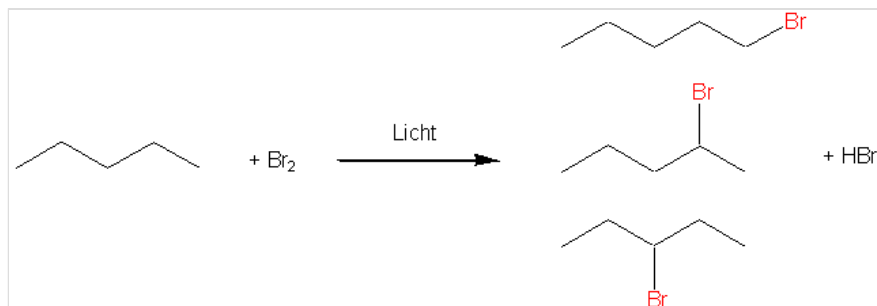


Bild 9.41: Die Bromierung eines Alkans

Die Reaktion von Alkenen mit Brom verläuft recht heftig. Ein Tropfen Brom, der in ein flüssiges Alken fällt, erzeugt ein deutlich hörbares Geräusch, wobei die braunrote Farbe sofort verschwindet. **Die reaktiven Stellen der Alkene sind die Doppelbindungen.** Sie werden häufig zu Einfachbindungen

reduziert. Bei der Reaktion mit Brom bilden beide Kohlenstoffatome der Doppelbindung je eine Bindung zu einem der beiden Bromatome aus. Aus der Doppelbindung wird eine Einfachbindung. Das Reaktionsprodukt ist ein doppelt bromiertes Alkan. Da Brom vom Alken vollständig aufgenommen wird, ohne Nebenprodukte zu bilden, nennt man diese Reaktion **Additionsreaktion**.

Additionsreaktionen, es sind eigentlich Redoxreaktionen, sind typisch für Alkene.

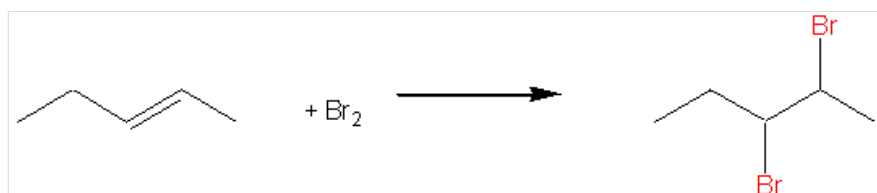


Bild 9.42: Die Bromierung eines Alkens

Die Reaktion von Benzol mit Brom läuft ohne weiteres Zutun gar nicht ab. Die braunrote Farbe des Brom

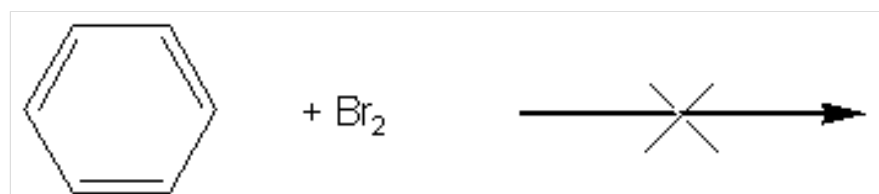
bleibt über Tage bestehen. Benzol gehört in eine besondere Klasse der Kohlenwasserstoffe. Das Molekül mit der Summenformel C_6H_6 hat eine ringförmige Struktur und ist völlig planar.

Alle Bindungslängen sind identisch, sie liegen mit 139 pm zwischen den Bindungslängen für Doppelbindungen (135 pm) und Einfachbindungen (154 pm). Die sechs Elektronen, die die drei Doppelbindungen bilden, sind delokalisiert d. h. es bildet sich über das ganze Molekül ein Elektronensee. Diese spezielle elektronische Anordnung ergibt insgesamt einen energiearmen Zustand, der dazu führt dass Benzol, wie auch andere analog aufgebaute Verbindungen sehr reaktionsträge sind. Ringförmige Moleküle, welche über eine ungerade Anzahl alternierender Doppelbindungen verfügen, heißen Aromaten oder **aromatische Verbindungen**. Sie sind planar und müssen unter drastischeren Bedingungen, meist mit Hilfe von Katalysatoren zur Reaktion gebracht werden. Die bekanntesten aromatischen Verbindungen sind neben




Kékulé v. S., F. A.

Bild 9.43: August Kekulé von Stradonitz



Benzol, Naphthalin (Mottenkugeln), oder substituierte Benzole wie Anilin oder Benzoessäure. Die mesomere Struktur von Benzol wurde von August Kekulé von Stradonitz

Kekulé  in einem Traum sechs Affen erschienen, die sich "benzolartig" anordneten, was ihm verhalf die Struktur zu ersinnen.

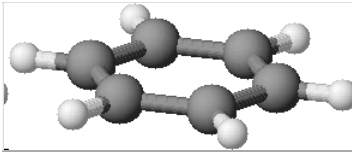


Bild 9.45: Benzol

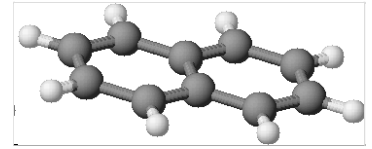


Bild 9.46: Naphthalin

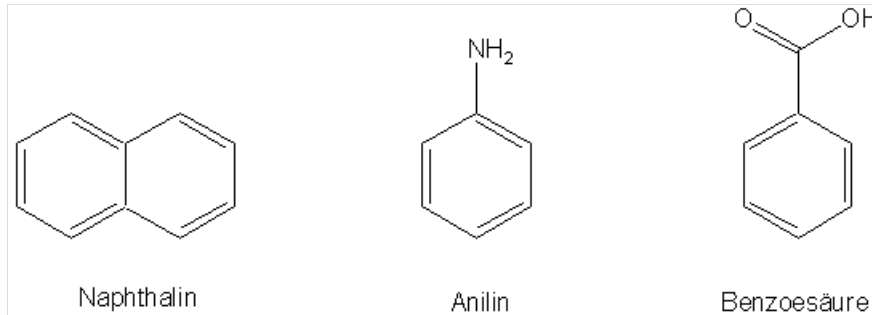


Bild 9.47: Aromatische Kohlenwasserstoffe

3. Die Reaktionen mit HCl

Versetzt man ein Alken mit HCl, findet eine Additionsreaktion statt. Die Doppelbindung wird reduziert zu einer Einfachbindung und die beiden an der Doppelbindung beteiligten Kohlenstoffatome bilden eine Bindung zum Wasserstoff- resp. Chloratom aus. Ist das Alken, welches die Reaktion eingeht asymmetrisch aufgebaut, können mehrere Isomere als Produkte entstehen. Als Beispiel sei die Reaktion von 2-Methyl-2-buten mit HCl aufgeführt:

Grundsätzlich sind beide möglichen Isomere, 2-Chlor-2-methylbutan und 2-Chlor-3-methylbutan als Produkte denkbar. In der Praxis ist das eine Produkt allerdings weitaus häufiger im Produktgemisch enthalten als das andere. In einer Reihe von Versuchen konnte der russische Chemiker [Vladimir Vasilevic Markownikoff](#) zeigen, dass die beobachtete Produktverteilung eine Systematik aufweist. Die daraus abgeleitete Regel wird heute noch nach ihm benannt:

Regel von Markownikoff: Addiert ein asymmetrisch gebautes Alken HCl, so findet sich im Produkt das addierte Wasserstoffatom an demjenigen Kohlenstoffatom, welches vor der Reaktion durch mehr Wasserstoffatome substituiert war.

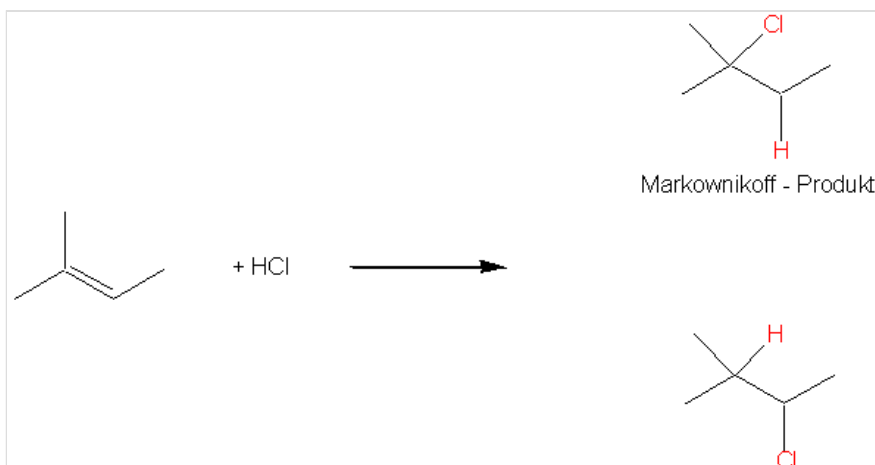


Bild 9.48: Regel von Markownikoff

Diese Regel konnte durch spätere Versuche und Berechnungen bestätigt werden. Sie kann bei den meisten Alkenen angewendet werden, deren Kohlenstoffatome, die die Doppelbindung bilden nicht gleich viele Wasserstoffatome als Substituenten besitzen. Die Kenntnis dieser Regel kann für die Planung einer Synthese von grossem Nutzen sein: Man kann gezielt auf ein gewünschtes Produkt

hinarbeiten. Bei Veränderungen der Reaktionsbedingungen können auch Antimarkownikoff-Produkte (umgekehrtes Isomerenverhältnis) gezielt hergestellt werden.

4. Die Oxidation mit Permanganat

Unterschichtet man ein Alken mit einer leicht basischen Lösung von Kaliumpermanganat, zeigt sich an der Berührungsfläche der beiden Lösungen eine Verfärbung der intensiv violetten Permanganatlösung zu einem gelbbraun. Die Verfärbung deutet auf das Verschwinden der Permanganationen (MnO_4^-) und das Entstehen von Braunstein (MnO_2) hin. Es lässt sich daraus ableiten, dass das Alken eine Reaktion eingegangen ist. Die Reaktion von Alkenen mit Permanganat erzeugt Produkte, bei denen auf beide Kohlenstoffatome, die die Doppelbindung bilden je eine OH-Gruppe übertragen wird. Die Reaktion ist eine Additionsreaktion jedoch genauso eine Redoxreaktion. Das Element Mangan wird dabei reduziert, die beiden Kohlenstoffatome auf die die OH-Gruppen übertragen werden, oxidiert.

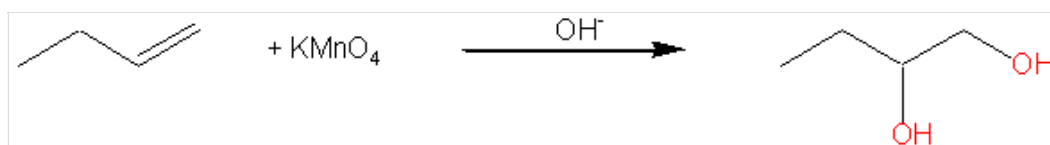


Bild 9.49: Die Oxidation mit Permanganat

5. Veresterungen

Veresterungen sind organische Reaktionen, die auch in der Natur häufig eintreten. Ein Alkohol reagiert mit einer Carbonsäure, wobei sich ein Ester bildet und Wasser als Nebenprodukt entsteht. Ester sind wassersunlösliche, meist intensiv riechende Substanzen. Die Estersynthese ist Säure katalysiert und umkehrbar, d. h. es ist eine Gleichgewichtsreaktion. Die Umkehrung, die Reaktion, die aus einem Ester Carbonsäure und Alkohol produziert, heisst Verseifung.

In der Natur werden Ester als Lockstoffe für Insekten oder Aromastoffe in Früchten produziert. Die chemische Industrie produziert einen Teil der Ester als Zusatzstoffe für Lebensmittel oder als Riechstoffe für Haushaltchemikalien.



Bild 9.50: Die Veresterungsreaktion

6. Die Hydrierung

Die Hydrierung ist auf dem Papier ganz einfach darzustellen. Es ist die Reaktion von ungesättigten Verbindungen mit Wasserstoff. In der Regel resultieren daraus gesättigte Kohlenwasserstoffe, Alkane. Die Bedingungen unter denen diese Reaktionen durchgeführt werden müssen, sind allerdings enorm. Für die Hydrierung eines Alkens werden meist mehrere Atmosphären Druck und hohe Temperaturen benötigt.



Bild 9.51: Die Hydrierung

Unterbrechen Sie hier Ihre Lektüre. Lösen Sie die Aufgabe 4 der Übungsaufgaben.

9.5 Funktionelle Gruppen

Die Vielfalt organischer Substanzen ist enorm. Aus diesem Grund ist es notwendig, sie systematisch zu benennen. Es ist aber auch sinnvoll, die organischen Stoffe zu klassifizieren. In welche organische Stoffklasse eine Verbindung eingeteilt wird, hängt davon ab, welche Bindungsverhältnisse vorliegen und ob sich Fremdatome in der Verbindung befinden. Entsprechend werden, um den funktionellen Gruppen Rechnung zu tragen **Gruppenformeln** geschrieben, um die Besonderheiten der Verbindungen hervorzuheben:

1. Kohlenwasserstoffe

Kohlenwasserstoffe enthalten ausschliesslich die Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff. Man unterscheidet zwischen

- Alkanen
- Alkenen
- Alkinen
- Aromaten

auf Grund der Bindungsverhältnisse.

2. Halogenierte Kohlenwasserstoffe

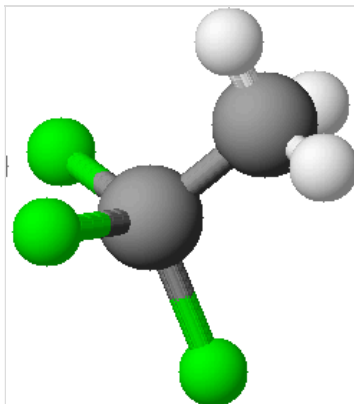


Bild 9.52: 1,1,1-Trichlorethan

Halogenierte Kohlenwasserstoffe enthalten mindestens ein Halogenatom (Fluor, Chlor, Brom, Iod). Sie können leicht aus Kohlenwasserstoffen in der Reaktion mit Halogenen hergestellt werden. Halogenierte Kohlenwasserstoffe sind sehr häufig Lösungsmittel, z. T. Narkotika, Brandlöscher oder Kühlmittel.

3. Alkohole

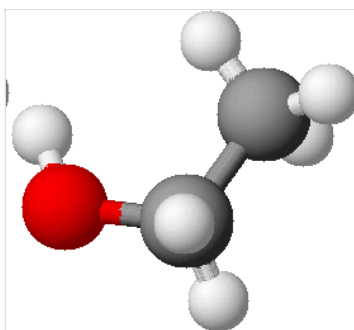


Bild 9.53: Ethanol

Alkohole zeichnen sich aus durch eine **OH**-Gruppe. Häufig verwendet man die abgekürzte Schreibweise R-OH. Für die Benennung der Alkohole kann auf die Namen der Alkane zurückgegriffen werden:

- CH_3OH
Methanol
- $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
Ethanol
- $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$
Propanol

Alkohole mit relativ kleiner Kohlenstoffzahl sind mit Wasser mischbar. Ethanol, Trinkalkohol, lässt sich z. B. in fast jedem beliebigen Verhältnis mit Wasser mischen.

4. Amine

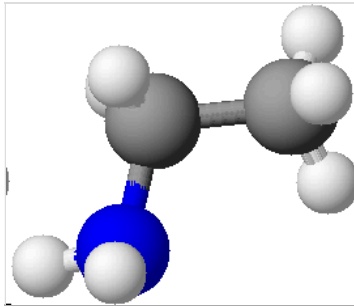


Bild 9.54: Ein Amin

Amine zeichnen sich aus durch eine **NH₂**-Gruppe. Analog findet man häufig die abgekürzte Schreibweise R-NH₂. Für die Benennung der Amine kann auf die Namen der Alkane zurückgegriffen werden:

- CH₃NH₂
Methylamin
- C₂H₅NH₂
Ethylamin
- C₆H₅NH₂
Anilin, Phenylamin

Amine besitzen meistens einen starken, unangenehmen Geruch. Es sind häufig reaktionsfähige Substanzen, die als solche im Alltag kaum anzutreffen sind.

5. Carbonsäuren

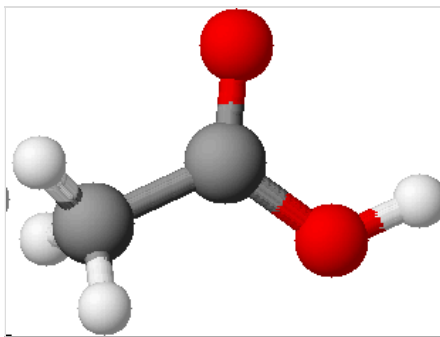


Bild 9.55: Essigsäure

Carbonsäuren zeichnen sich aus durch eine **COOH**-Gruppe. Häufig verwendet man die abgekürzte Schreibweise R-COOH. Für die Benennung der Carbonsäuren kann auf die Namen der Alkane zurückgegriffen werden:

- HCOOH
Methansäure oder Ameisensäure
- CH₃COOH
Ethansäure oder Essigsäure
- C₂H₅COOH
Propansäure oder Propionsäure
- C₆H₅COOH

Benzoessäure

Carbonsäuren mit einer geringen Anzahl Kohlenstoffatome sind wasserlöslich. Im Alltag treffen wir sie z. T. an: Essigsäure ist ein Bestandteil des Speiseessigs, Benzoessäure wird als Konservierungsmittel einigen Nahrungsmitteln zugegeben (E210).

Carbonsäuren sind Brönsted-Säuren. Sie können das Wasserstoffatom der COOH-Gruppe als Proton abspalten. Es sind allerdings in der Regel keine sehr starken Säuren.

6. Ester

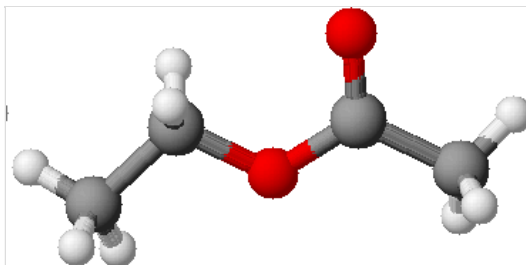


Bild 9.56: Ein Ester

Ester, auch **Carbonsäureester**, zeichnen sich aus durch eine **COOR**-Gruppe, wobei R kein Wasserstoff-Atom sein darf. Häufig verwendet man die abgekürzte Schreibweise R1-COO-R2. Für die Benennung der Ester kann auf die Namen der Carbonsäuren resp. der Alkohole zurückgegriffen werden:

- CH₃COOCH₃
Essigsäuremethylester
- CH₃COOC₂H₅
Essigsäureethylester

Ester sind **wasserunlösliche Verbindungen**. Sie werden als Duft- oder Zusatzstoffe in alltäglichen Produkten verwendet. Essigsäureethylester ist in Pinselreinigern enthalten, der Wirkstoff **Aspirin** selbst ist ein

Ester.

Die aufgeführten Klassen organischer Verbindungen stellen nur einen ausgewählten Teil dar, der allerdings für die weiteren Betrachtungen notwendig ist. Die Regeln der organischen Nomenklatur können auch für diese Stoffe angewendet werden.

9.6 Lipide und Seifen

Glyceride

Der Begriff "[Lipid](#)" ist ein Überbegriff über Stoffe, die im Alltag als [Fette](#) (Bratfett) oder Öle (Olivenöl, Rapsöl) bezeichnet werden. Fette und Öle sind, aus chemischer Sicht betrachtet, identische Stoffe. Eine Unterscheidung bietet lediglich ihr Aggregatzustand bei Zimmertemperatur: Fette sind Festkörper, Öle sind Flüssigkeiten. So gesehen sind Fette feste Öle, resp. Öle flüssige Fette.

[Lipide](#) sind hydrophobe, wasserabweisende Stoffe. Jeder kennt die Fettaugen, die eine ölige Bouillon oder ein spritzer Olivenöl im Wasser erzeugt. Erst durch die Zugabe von Hilfsstoffen (Emulgatoren) können für eine begrenzte Zeit heterogene Gemische (Emulsionen) produziert werden.

Der Begriff "Öl" wird auch in der Petrochemie verwendet. Heiz-, Diesel- und Schmieröle sind Gemische langkettiger Kohlenwasserstoffe, sie haben ausser dem Namen nichts Gemeinsames mit Lipiden.

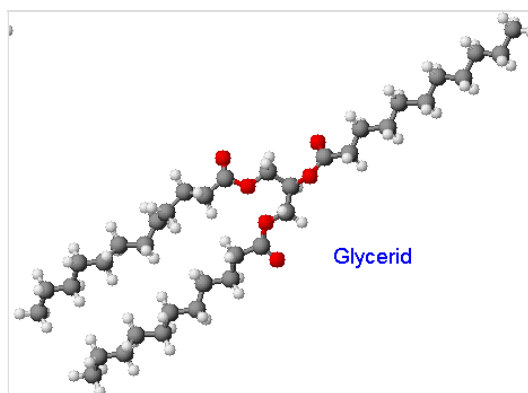


Bild 9.57: Ein Glycerid

Lipide sind **Ester**.
Es sind allerdings
keine willkürlich

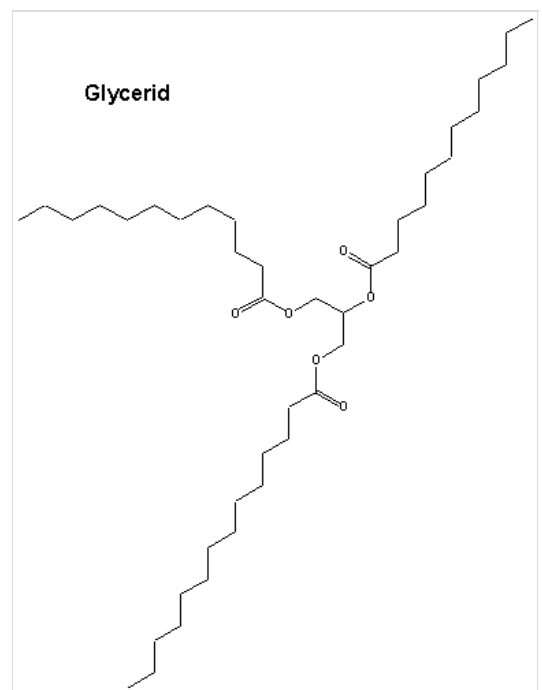


Bild 9.58: Die Skelettformel eines Glycerids

zusammengesetzten Ester, sondern sowohl die Carbonsäuren wie auch der Alkohol, aus denen die Lipide hervorgehen sind in natürlichen Lipiden immer die selben. Die veresterten Carbonsäuren sind [Fettsäuren](#), d.h. sie besitzen eine gerade Anzahl und mehr als zehn Kohlenstoffatome und sind unverzweigt. Einige Fettsäuren sind ungesättigt, d. h. sie weisen einige wenige Doppelbindungen auf, welche in natürlichen Fettsäuren stets **Z**-orientiert sind. Der Alkohol, mit welchem die Fettsäuren verestert sind, ist Glycerin. Glycerin ist ein kleines Molekül, 1,2,3-Propantriol, welches drei [Alkoholfunktionen](#) aufweist. Lipide werden somit z. T. auch als [Glyceride](#) bezeichnet. [Glyceride](#) sind die **Tri-Ester von Glycerin** mit [Fettsäuren](#).

Gesättigte Fettsäuren

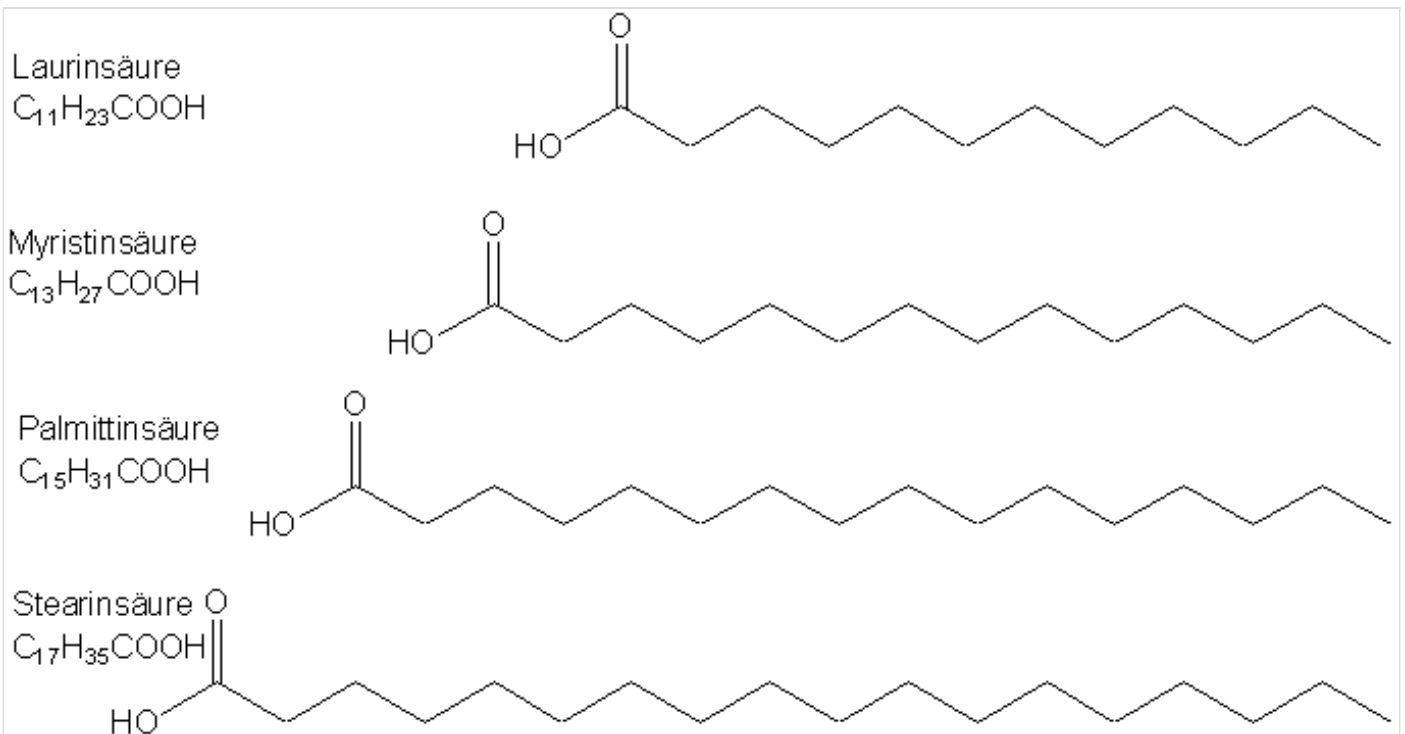


Bild 9.60: Gesättigte Fettsäuren

[Laurinsäure](#) $C_{11}H_{23}COOH$

[Myristinsäure](#) $C_{13}H_{27}COOH$

[Palmitinsäure](#) $C_{15}H_{31}COOH$

[Stearinsäure](#) $C_{17}H_{35}COOH$

Tabelle 9.8: Gesättigte Fettsäuren

Ungesättigte Fettsäuren

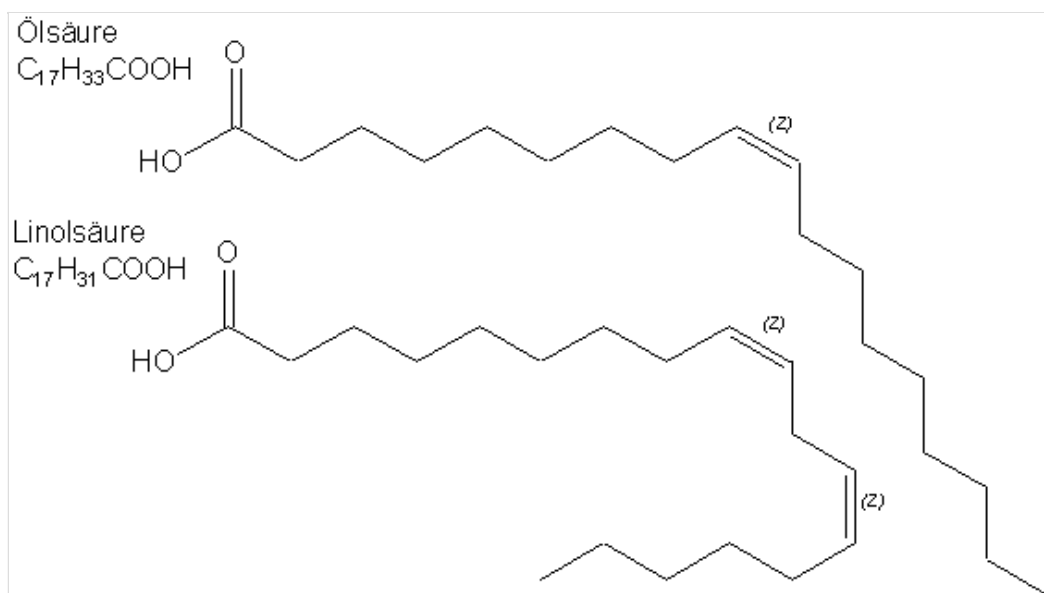


Bild 9.65: Ungesättigte Fettsäuren

[Ölsäure](#) $C_{17}H_{33}COOH$

[Linolsäure](#) $C_{17}H_{31}COOH$

Tabelle 9.9: Ungesättigte Fettsäuren

Fette werden sowohl von Pflanzen, wie auch von Tieren produziert. Sie dienen als Energiespeicher, Isolatoren und als „Knautschzone“ gegen mechanische Beanspruchung. Das grösste zusammenhängende Fettpolster in einem menschlichen Körper befindet sich in der Nierengegend. Es schützt die Nieren und die umliegenden Organe vor Kälte. Die dünne Fettschicht unter der Haut lässt sich leicht mit zwei Fingern greifen. Sie isoliert unseren Körper und schützt vor einem grossen Wärmeverlust.

Natürliche Fette sind Stoffgemische, keine reinen Stoffe. Es sind Gemische verschiedener [Glyceride](#). Rein statistisch kann jede Alkoholfunktion des Glycerins mit einer beliebigen Fettsäure [verestert](#) werden, woraus sich die verschiedenen Stoffe ergeben. Da Fette keine reinen Stoffe sind, besitzen sie auch keinen exakten Schmelz- oder Siedepunkt. Fette schmelzen über einen Temperaturbereich, dem Schmelzbereich.

In Ernährungsschriften wird häufig auf Fette mit ungesättigten Fettsäuren aufmerksam gemacht. Sie sollen gesünder und lebensnotwendig sein. Tatsächlich lässt sich generell aussagen, dass die Fette pflanzlichen Ursprungs meistens mehr Glyceride aufweisen, deren Fettsäuren ungesättigt sind. Diese Glyceride sind ohne Frage essentiell, allerdings können gesundheitliche Folgen bei deren Fehlen nur sehr schwer abgeschätzt oder gar wissenschaftlich bestätigt werden. Bei verschiedenen Krankheiten, z. B. Multiple Sklerose, wird auf die heilsame Kraft von pflanzlichen Fetten hingewiesen und entsprechende Diäten verordnet.

Um herauszufinden, wie viele ungesättigte Fettsäuren in einem Glycerid vorhanden sind, verwendet man eine einfache Reaktion. Analog zur [Bromierung von Alkenen](#) nützt man die Reaktionsfähigkeit der Doppelbindungen aus: Man versetzt eine definierte Menge des Glycerids mit einer Iodlösung bekannter Konzentration. Iod wird an die Doppelbindungen addiert, was zu einer Entfärbung führt. Je mehr Iodlösung vom Glycerid entfärbt wird, desto mehr Doppelbindungen enthält es. Die so ermittelte „Qualität“ des Fettes ist die [Iodzahl](#). Glyceride mit hohen Iodzahlen enthalten mehr ungesättigte Fettsäuren als Glyceride mit niedriger Iodzahl.

Beispiele von Iodzahlen:

Kokosfett	8 - 10
Butter	30 - 40
Schweineschmalz	50 - 60
Olivenöl	80 - 90
Rapsöl	90 - 100
Lebertran	120 - 190

Tabelle 9.10: Iodzahlen

Einige Fette werden gehärtet. Die Fetthärtung ist ein Prozess, bei dem ungesättigte Fettsäuren mit Wasserstoff zur Reaktion gebracht werden und gesättigte Fette entstehen. Gehärtete Fette sind in der Regel streichfähiger als ungehärtete (ungesättigte) Fette.

Phospholipide

[Phospholipide](#)

sind Glyceriden sehr ähnlich, werden aber von Organismen für andere Zwecke verwendet. [Phospholipide](#) sind nur **Di-ester** von Fettsäuren mit Glycerin. Die dritte Alkoholfunktion des Glycerin ist über eine **Phosphatgruppe** mit einem **Cholinrest** verbunden. Diese dritte Gruppierung führt dazu, dass der eine Teil des Moleküls **hydrophil**, wasserliebend, der andere **lipophil**, fettliebend, wird. Phospholipide sind demzufolge [Emulgatoren](#) und werden von Organismen auch so verwendet. Sie bilden **Doppelmembranen**, **Zellwände**.


Zellwände sind so aufgebaut, dass die polaren Teile der [Phospholipide](#) ins Zellinnere weisen, die apolaren Teile eine dünne Fettschicht zwischen den wässrigen Systemen bilden. So werden Zellen voneinander getrennt und ein Stoffaustausch ist nur bedingt möglich. Stark polare Teilchen, wie z. B. geladene Ionen, müssen mit speziellen Molekülen, [Carriern](#), durch die Membran geschleust werden. Ionenkanäle erlauben

ebenfalls einen Stoffaustausch zwischen den [Zellen](#) .

Seifen



Bild 9.71: Seifen


[Seifen](#) sind Stoffe, die wir tagtäglich benutzen. Sie dienen uns dazu den Schmutz abzuwaschen, sei es auf der Haut, auf der Wäsche oder dem Geschirr. Die Rolle der Seife ist die, Schmutzpartikel, vor allem fettige Schmutzpartikel, wasserlöslich zu machen und sie auszuwaschen. [Seifen](#)  sind Emulgatoren, also Moleküle, die einen hydrophilen und einen lipophilen Teil besitzen.

Erste Seifen wurden bereits lange Zeit vor unserer Zeitrechnung hergestellt. Aufzeichnungen und Überlieferungen gehen auf ca. 3000 v. Chr. zurück. Die Etrusker haben reinigende Substanzen gewonnen, indem sie tierische Fette mit Asche ausgekocht haben. Auch zu späterer Zeit wurde auf dieses Verfahren zurückgegriffen und die



Bild 9.72: Seifen

Seifensiederei erlebte im späten Mittelalter seine Blüte.

Seifen sind mit Fetten chemisch eng verwandt. **Es sind die Alkalisalze von Fettsäuren, resp. Fettsäureresten.** Das Kochen von Fetten in basischen Lösungen (Asche) verseift die Glyceride, wodurch Fettsäuren und Glycerin entstehen. In der basischen Lösung werden die Fettsäuren deprotoniert und schliesslich mit Alkalisalzen ausgesalzt. Die Produkte dieses Vorgangs sind die Alkalisalze der Fettsäurereste, [Seifen](#) .

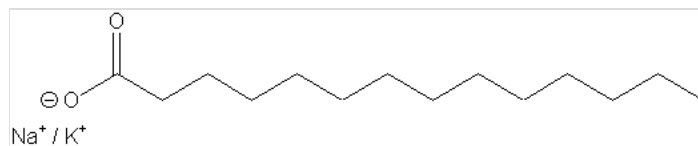


Bild 9.74: Die Skelettformel eines Seifenmoleküls

Seifen erniedrigen die Oberflächenspannung des Wassers und ermöglichen so das Vordringen der Moleküle bis tief in die Fasern. Dort emulgieren sie die Schmutzpartikel und machen sie dadurch besser wasserlöslich.

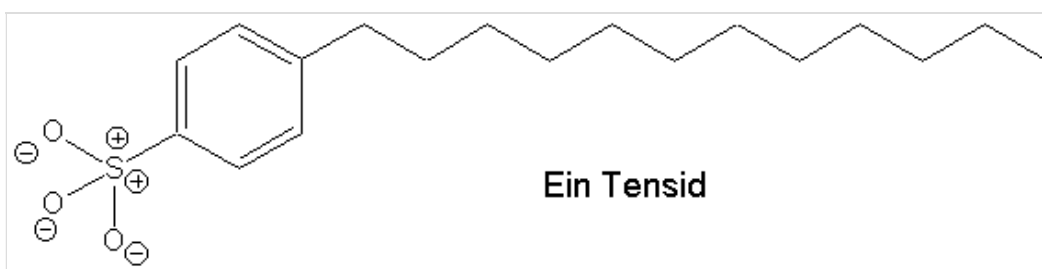


Bild 9.75: Ein Tensid

Die natürlichen Seifen wurden mit der Zeit durch künstliche Produkte, [Tenside](#), ersetzt oder ergänzt. Diese werden vor allem beim Waschen von Textilien verwendet. [Tenside](#) haben meist den

Vorteil einer höheren Waschaktivität, aber den Nachteil, dass sie weniger umweltverträglich sind. Sie können zum Teil nicht, oder nur schlecht natürlich abgebaut werden.

Seifen weisen gegenüber den meisten Tensiden einen wichtigen Nachteil auf: Sie bilden [Kalkseifen](#). Kalkseifen sind **schwerlösliche Salze der Fettsäurereste mit Calciumionen**. Wenn sich Kalkseifen bilden, ist die Waschaktivität der Seifen stark reduziert. Aus diesem Grund werden den heutigen Waschmitteln Wasserenthärter beigegeben. Frühere Wasserenthärter, Phosphate, führten zu einer enormen Gewässerbelastung, was sich in

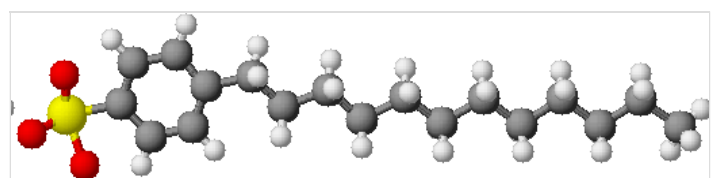


Bild 9.76: Ein Tensid

einem übermässigen Algenwachstum zeigte. Heutige Wasserenthärter sind oft Chelatliganden, nta, EDTA, die keine solchen Probleme verursachen.

Moderne Waschmittel und Seifen sind ohnehin schon Hightechprodukte. Sie enthalten Farbstoffe, Geruchsstoffe, Konsistenzgeber, optische Aufheller, Enzyme und viele andere Stoffe, die sie für den Konsumenten attraktiv machen.

9.7 Kunststoffe



Bild 9.77: Kunststoffartikel

Kunststoffe sind, wie es aus dem Namen leicht abzuleiten ist, Stoffe die künstlich hergestellt werden. Es sind die Stoffe, die im Alltag als "Plastik" bezeichnet werden.

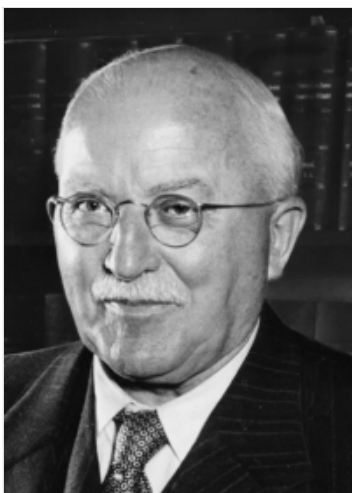
Kunststoffe, oder auch künstliche Polymere, sind seit fast 60 Jahren bekannt und werden in immer grösseren Mengen hergestellt. Kaum ein Alltagsgegenstand ist heute frei von Plastik. Dies ist auf die vielen günstigen Eigenschaften zurückzuführen: Künstliche Polymere lassen sich recht kostengünstig und energiesparend herstellen. Sie sind einfach zu bearbeiten, können die unterschiedlichsten Formen, Farben und physikalischen Eigenschaften annehmen. Seit wenigen Jahren besteht gar die Möglichkeit, elektrisch leitende Kunststoffe herzustellen

(Nobelpreis für Chemie 2000: Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid, Hideki Shirakawa) 

Kunststoffe besitzen allerdings den Nachteil, dass sie biologisch nicht abbaubar sind. Sie verrotten nicht von selbst und bei ihrer Beseitigung entstehen zum Teil umweltschädigende Stoffe. Der Umweltfaktor wird heute berücksichtigt und man versucht künstliche Polymere herzustellen, die die Umwelt weder bei der Herstellung noch bei der Entsorgung belasten.



Bild 9.78: Kunststoffartikel



Staudinger, H.

Bild 9.79: Hermann Staudinger

Der Aufbau aller Kunststoffe ist sehr ähnlich. Dies wurde vom deutschen Chemiker **Hermann Staudinger**

Hermann Staudinger (Nobelpreis 1953) erkannt, wodurch die gezielte Synthese ermöglicht wurde. Kunststoffe bestehen aus sehr vielen kleinen Molekülen, die zu sehr langen Molekülketten aneinandergefügt werden. Es entstehen dadurch sehr grosse Moleküle, **Makromoleküle**, deren Molmassen durchaus bis zu einigen Kilogramm pro mol betragen. Die Längen der entstehenden Ketten können zum Teil durch die Reaktionsbedingungen gesteuert werden.

In einem Kunststoff sind allerdings keineswegs alle Moleküle identisch, weshalb sie keine definierten Siede- und Schmelzpunkte aufweisen. Die Kunststoffe besitzen Siede- und Schmelzbereiche genau wie die Lipide. Die

Art, wie die einzelnen Ketten miteinander verbunden, vernetzt, sind, ergibt schliesslich die physikalischen Eigenschaften des Kunststoffes.

Auf Grund des Vernetzungsgrades und der physikalischen Eigenschaften lassen sich drei Arten von **Kunststoffen** unterscheiden:

- **Thermoplaste**

Thermoplaste sind meist weiche Stoffe, die sich erwärmen lassen und in der Wärme bleibend verformt werden können. Werden zwei thermoplastische Teile geschmolzen, können sie in der Schmelze aneinandergefügt, zusammengeschweisst, werden. Thermoplaste sind schwach vernetzte Kunststoffe.

- **Duroplaste**

Duroplaste sind meist hart und spröde. Beim Erwärmen beginnen sie sich zu zersetzen und sind dann irreversibel zerstört. Ein Aneinanderfügen zweier Teile in der Schmelze ist unmöglich. Duroplaste sind stark vernetzte Kunststoffe.

- **Elaste**

(auch Elastomere oder Elastoplaste)

Elaste sind weich und gummiartig. Sie lassen sich leicht dehnen, nehmen aber wieder die ursprüngliche Form an. Beim Erwärmen beginnen sie sich zu zersetzen und sind dann irreversibel zerstört. Ein Aneinanderfügen zweier Teile in der Schmelze ist unmöglich. Elaste sind schwach vernetzte Kunststoffe.

Aus chemischer Sicht lassen sich Kunststoffe ebenfalls in drei Kategorien einteilen. Das Kriterium hierbei ist die **Methode der Herstellung**. Die oben genannten Kategorien sind **nicht** mit den drei chemischen Kategorien vergleichbar!

Die drei chemischen Verfahren, die zur Herstellung von Kunststoffen eingesetzt werden, sind die folgenden:

1. Die Polymerisation

Bei der **Polymerisation** werden Alkene mit Radikalen zur Reaktion gebracht. Die Doppelbindungen werden zu Einfachbindungen reduziert und die Fragmente zu einem grossen Molekül zusammengefügt. Während der Reaktion erzeugen die Radikale stets neue Radikalstellen an den Kohlenwasserstoffen, was das Wachstum einer Kette bewirkt.

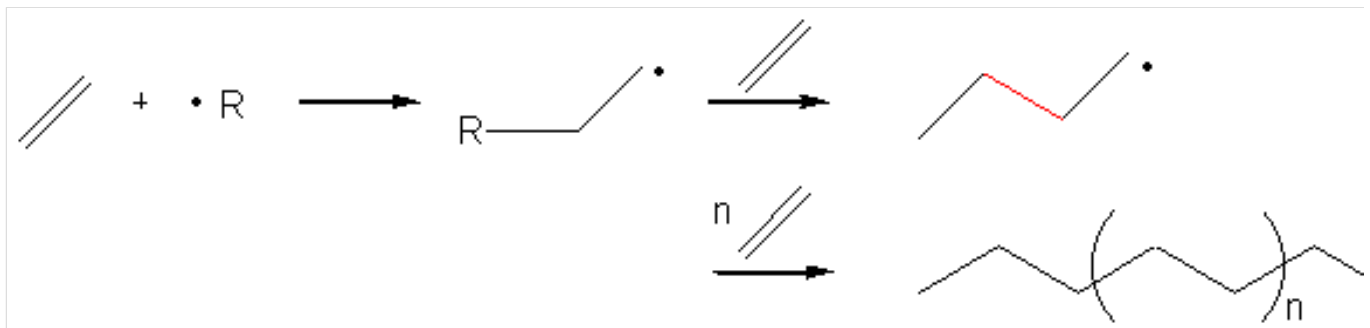


Bild 9.80: Die Polymerisation

Einige Beispiele:

PE	Bild	Polyethylen aus Ethen
PP	Bild	Polypropylen aus Propen
PVC	Bild	Polyvinylchlorid aus Vinylchlorid (Chlorethen)
PS	Bild	Polystyrol aus Styrol (Vinylbenzol)
PTFE	Bild	Polytetrafluorethylen (Teflon) aus Tetrafluorethylen
Kautschuk	Bild	Kautschuk aus Isopren (2-Methyl-1,3-butadien)

Tabelle 9.11: Einige Polymerisate

1. Die Polykondensation

Um eine **Polykondensation** durchzuführen, werden Verbindungen mit speziellen **funktionellen Gruppen** benötigt: Lässt man Dialkohole (Diole) mit Dicarbonsäuren reagieren, entstehen Polyester. Zwischen den einzelnen Molekülen findet jeweils eine Veresterungsreaktion statt.

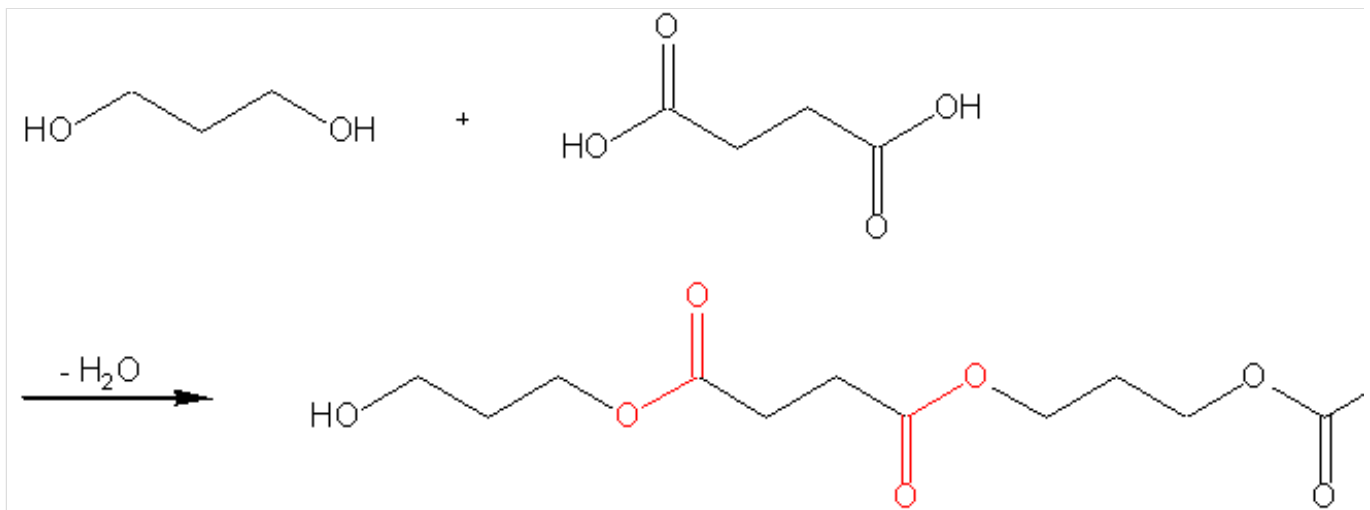


Bild 9.87: Die Polykondensation

Ein Beispiel:

PET [Bild](#) [Polyethylenterephthalat](#) aus 1,2-Ethandiol und Terephthalsäure

Tabelle 9.12: PET

Wird bei einer Polykondensationsreaktion **an Stelle eines Diols ein Diamin** eingesetzt, entsteht als Reaktionsprodukt ein **Amid**. **Amide** sind ähnlich aufgebaut wie Ester, allerdings ist im Molekül ein Stickstoffatom an Stelle eines Sauerstoffatoms vorhanden.

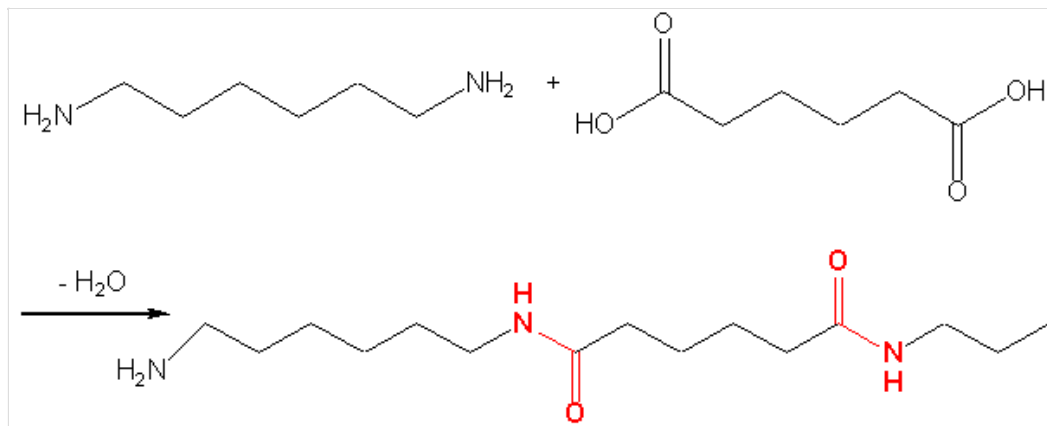


Bild 9.89: Die Amidbildung

Ein Beispiel:


Nylon 6,6  [Nylon 6,6](#) aus 1,6-Hexandiamin und 1,6-Hexandicarbonsäure

Tabelle 9.13: Nylon 6,6

Eine Polykondensation kann auch nur mit einer einzigen Verbindung durchgeführt werden. Dieser Stoff muss dann allerdings sowohl eine Alkohol- wie auch eine Carbonsäure- oder Aminfunktion besitzen.

3. Die Polyaddition

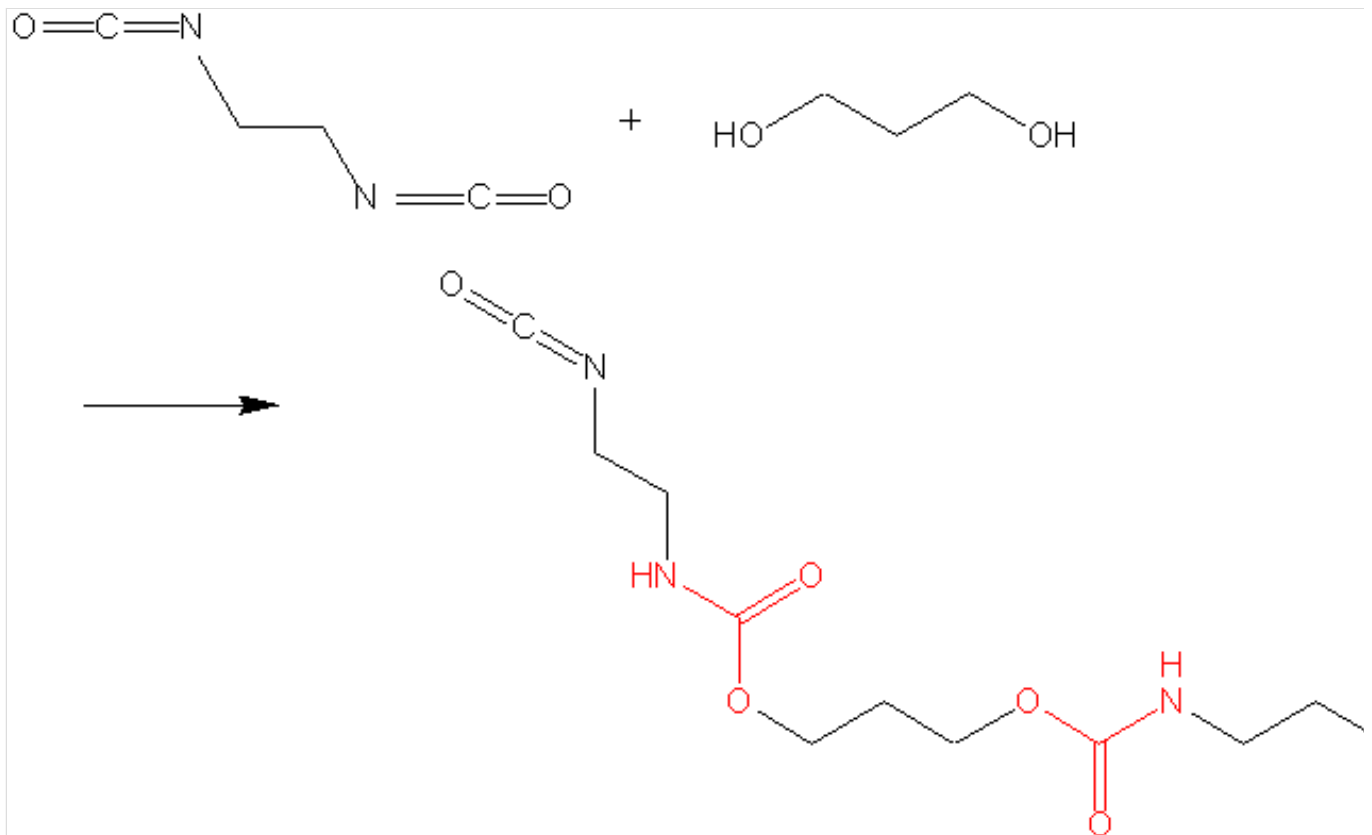



Bild 9.91: Die Polyaddition

Um eine [Polyaddition](#) durchzuführen werden Verbindungen mit speziellen [funktionellen Gruppen](#) benötigt. Lässt man Diole mit Diisocyanaten reagieren, entstehen **Urethane**. Bei der Reaktion findet innerhalb der Isocyanatfunktion eine Umlagerung statt. Es wird eine Bindung vom Isocyanat zum Alkohol ausgebildet und damit die beiden Moleküle miteinander verknüpft. Urethane sind aus dem Alltag bekannt als Urethanschaum für Bauzwecke (PU-Schaum), als Zweikomponentenklebstoff (Araldit) oder als Harz für Hartanstriche.

[Weitere Informationen](#) 


9.8 Kohlehydrate

Der Begriff "[Kohlehydrat](#)" leitet sich ab aus den Begriffen "Kohlenstoff" und "Wasser" ("Hydrat"). Ein historischer Irrglaube liess vermuten, [Kohlehydrate](#)  Verbindungen aus Kohlenstoff und Wasser. Die Elementaranalyse einfacher Kohlehydrate ergab nämlich ein Verhältnis der Elemente C : H : O von 1 : 2 : 1. Die daraus abgeleiteten Summenformeln wurden zum Teil zusammengefasst zu $C_n(H_2O)_n$, was zwar mathematisch korrekt ist, aber zu falschen Schlüssen führte.

Unbestritten und auch naturwissenschaftlich korrekt ist hingegen die Aussage "Kohlehydrate sind Zucker". Oft werden sie auch als **Saccharide** bezeichnet.

Die [Saccharide](#) lassen sich nach ihrem Aufbau einteilen in **Mono-, Di- und Polysaccharide**:

Monosaccharide (Einfachzucker)

[Monosaccharide](#)  sind Moleküle, die aus einer einzigen Zuckereinheit bestehen. Das bekannteste [Monosaccharid](#) ist die

[Glucose](#) 

, der [Traubenzucker](#).

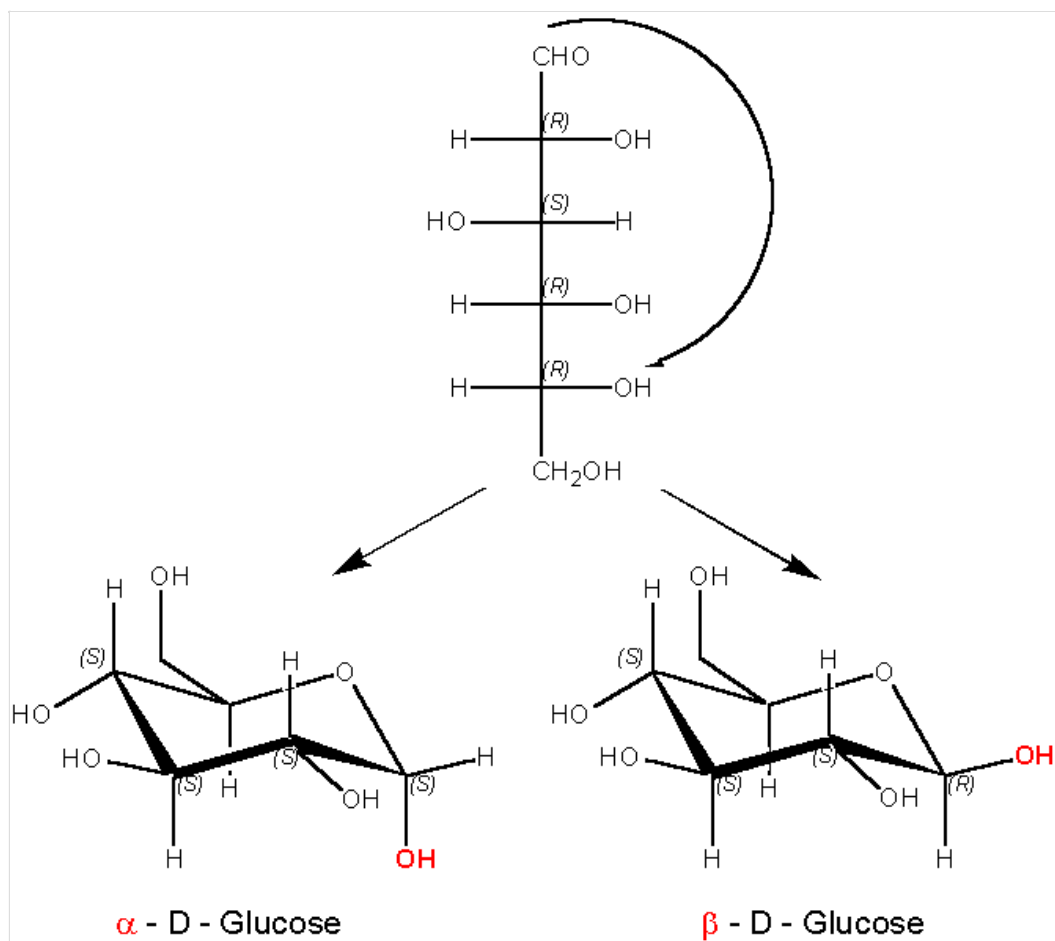


Bild 9.93: Die Glucose

Glucose hat die Summenformel $C_6H_{12}O_6$ und ist ein chirales Molekül mit mehreren Chiralitätszentren. Das Molekül ist so aufgebaut, dass es in der **offenen Form** sechs Kohlenstoffatome in einer Kette aufweist. Ein endständiges Kohlenstoffatom trägt eine Aldehydfunktion (CHO), die anderen jeweils eine Alkoholfunktion (OH).

In einer **intramolekularen Reaktion**, einer Reaktion die das Molekül mit sich selbst durchführt, bildet sich die **geschlossene Form**, ein **Sechsring**. Dieser Ring ist **nicht planar**, sondern seine Struktur lässt sich vergleichen mit der eines **Cyclohexanringes**. Es liegt die **chair-Konformation** vor. Die beiden Formen der Glucose stehen miteinander in einem dynamischen Gleichgewicht.

In der geschlossenen Form existieren zwei natürliche **Enantiomere** (Anomere), die α -D-Glucose und die β -D-Glucose. Sie unterscheiden sich einzig in der **Stellung einer OH-Funktion** am Ring. Diese entscheidet bei der Benennung über α - resp. β -Glucose. Die Bezeichnung α (D)- resp. β (D)-Glucose weist auf den Drehsinn des polarisierten Lichtes der chiralen Probe hin.

Neben diesen beiden Enantiomeren sind noch weitere denkbar, da ja mehrere Chiralitätszentren im Molekül vorhanden sind. Aus historischen Gründen werden die anderen Enantiomere der Glucose allerdings noch heute mit Trivialnamen bezeichnet.

Für einen Organismus ist die Glucose das wichtigste Monosaccharid. Sie wird durch die Nahrung aufgenommen und dient dem Organismus als Energiequelle. Im Blut eines gesunden, erwachsenen Menschen zirkuliert stets ca. 1 g Glucose pro Liter Blut. Diese sich im Blut befindende Glucose wird als Blutzucker bezeichnet. Der Blutzucker dient der kurzfristigen Energieversorgung der Zellen.

Der Blutzuckerspiegel eines Menschen schwankt stetig. Er steigt stark an nach der geballten Aufnahme von Süßigkeiten, fällt aber relativ schnell wieder auf den normalen Wert ab. Bei Zuckerkrankheit ist der Blutzuckerspiegel stets enorm erhöht, was zu hohem Blutdruck und schliesslich Herzinsuffizienz führen kann. Meist ist diese Krankheit, die Zuckerkrankheit, (Diabetes mellitus) verknüpft mit einer mangelhaften Produktion von Insulin.

Ein weiteres in der Nahrung häufig auftretendes Monosaccharid, die [Fructose](#), ist ein Isomer der Glucose ($C_6H_{12}O_6$). Die [Fructose](#) wird oft als Fruchtzucker bezeichnet, findet man sie doch vor allem in Beeren und Honig.

Die Fructose zeigt chemisch ein gleiches Verhalten wie die Glucose. Sie führt eine intramolekulare Reaktion durch, bei der die offene und die geschlossene Form in einem dynamischen Gleichgewicht stehen. In der geschlossenen Form kann ein **Fünf- oder ein Sechsring** ausgebildet werden.

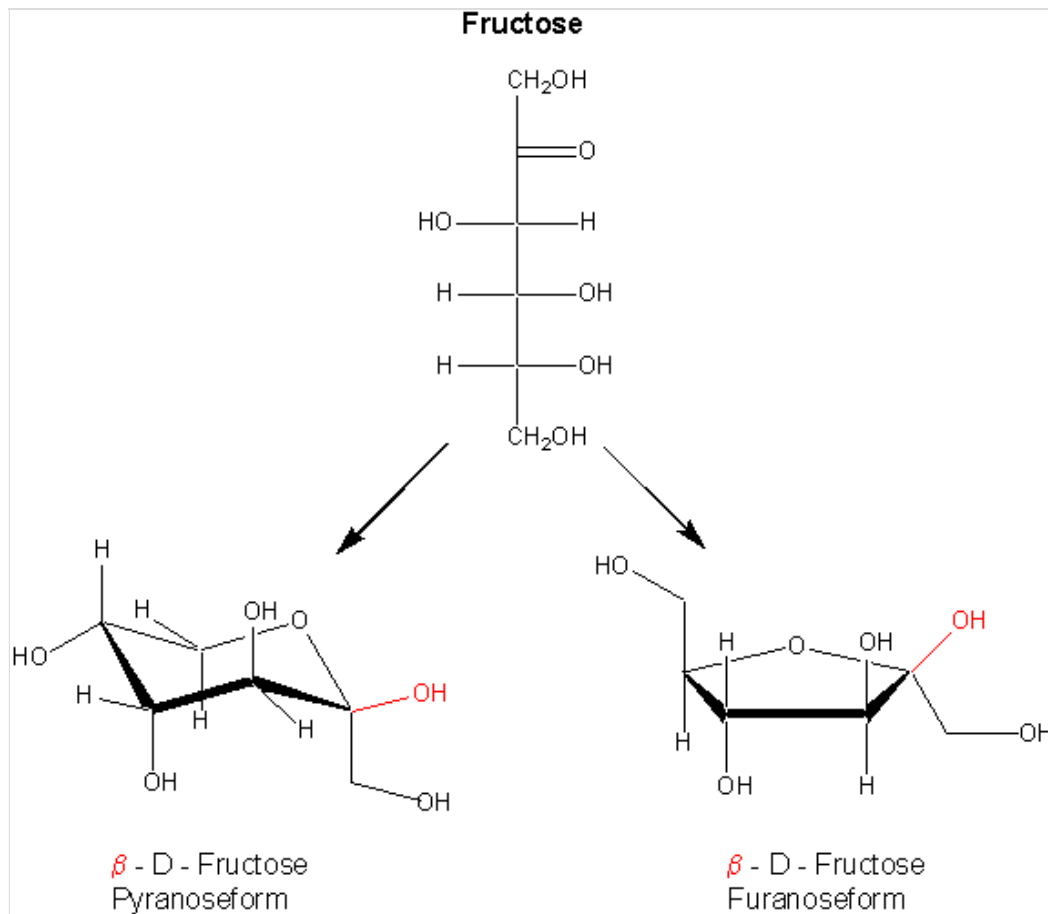


Bild 9.95: Die Fructose

Die Fructose besitzt eine bedeutend geringere Süßkraft als die Glucose und wird, da sie nicht zu Blutzucker umgewandelt wird, in diabetischen Nahrungsmitteln als Zuckerersatzstoff eingesetzt.

Disaccharide (Zweifachzucker)

[Disaccharide](#) sind [Verbindungen](#), bei welchen zwei Monosaccharide durch eine **Kondensationsreaktion** zu einem einzigen Molekül reagieren. Bei der Kondensationsreaktion wird Wasser abgespalten, weshalb ein [Disaccharid](#) bestehend aus zwei $C_6H_{12}O_6$ -Einheiten die Summenformel $C_{12}H_{22}O_{11}$ besitzt. Das aus dem Alltag bekannteste Disaccharid ist der Rüben- oder Rohrzucker, die [Saccharose](#). Es ist der Zucker, den wir in den Kaffee oder Tee geben, um das Getränk zu süßen. Die [Saccharose](#) entsteht aus je einem Molekül Glucose und Fructose.

Im pflanzlichen Stoffwechsel werden sowohl Glucose, wie auch Fructose durch die Photosynthese gebildet. Sie werden in den Nutzpflanzen anschliessend enzymatisch zur Saccharose verknüpft und gespeichert. Die Gewinnung der Saccharose ist technisch recht aufwändig. Der letzte Schritt der Zuckerproduktion ist oft die

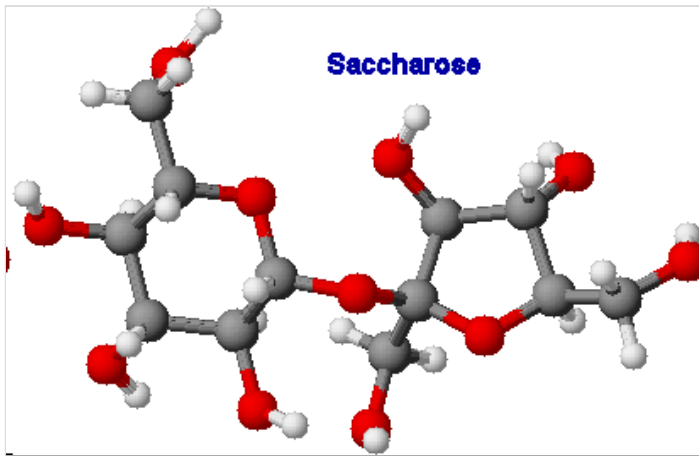


Bild 9.96: Die Saccharose

Raffination. Der Zucker wird dabei getrennt von teilweise farbigen Verunreinigungen. So kommt der Tafelzucker blendend weiss auf den Tisch. Bei der Verdauung spaltet ein Organismus die Saccharose sofort auf in Glucose und Fructose. Andere Disaccharide sind weit weniger bekannt. Viele sind aber in Lebens- und Genussmitteln enthalten.

Maltose

α -D-Glucose- α -D-Glucose

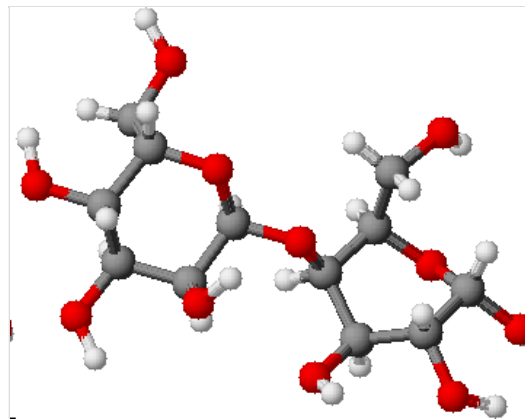


Bild 9.97: Maltose

Lactose

β -D-Galactose- β -D-Glucose

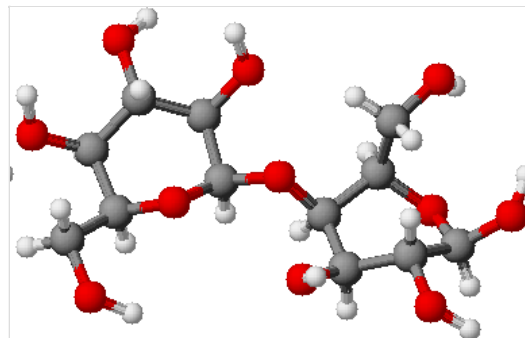


Bild 9.98: Lactose

Cellobiose

β -D-Glucose- β -D-Glucose

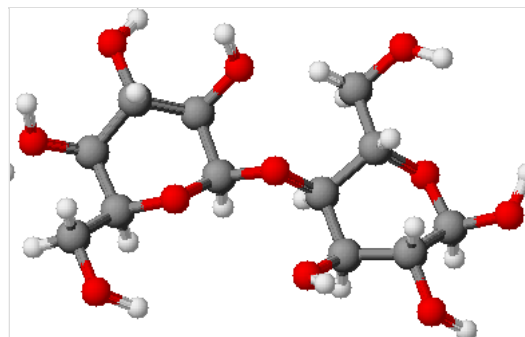


Bild 9.99: Cellobiose

Tabelle 9.14: Disaccharide

Polysaccharide (Mehrfachzucker)

So wie sich zwei Monosaccharide verknüpfen lassen, können auch viele Monosaccharide zu grossen Molekülen verknüpft werden. Die Produkte sind Makromoleküle, natürliche Polymere. Die [Polysaccharide](#) lassen sich auf Grund ihres Aufbaus und damit auch ihrer biologischen Funktion in zwei verschiedene Kategorien einteilen:

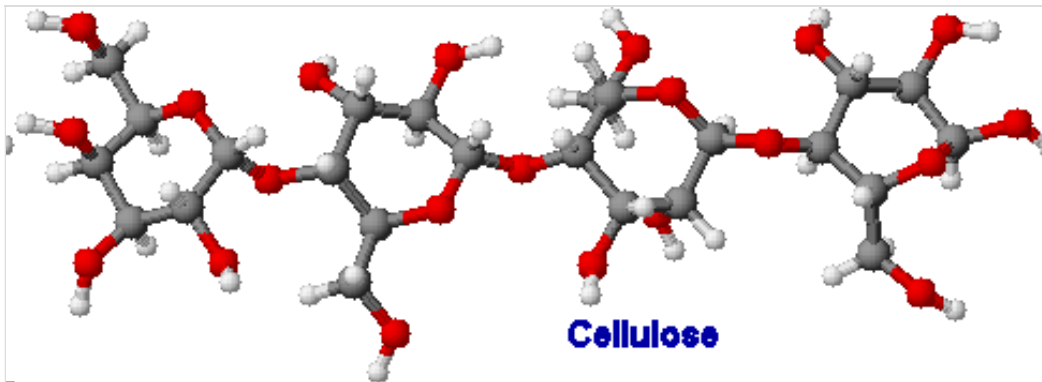


Bild 9.100: Cellulose

- **Cellulose**
Die [Cellulose](#) dient einer Pflanze als Baustoff. Es ist ein stark vernetztes, wasserunlösliches Polysaccharid. Menschen sind nicht in der Lage [Cellulose](#)

- **Stärke**
Die [Stärke](#) dient einer Pflanze als Zuckerspeicher. Es ist

ein weniger stark vernetztes, mässig wasserlösliches Polysaccharid. Die Stärke ist keine einheitliche Substanz, sie setzt sich zusammen aus zwei Komponenten, der **Amylose** und dem **Amylopektin**. Tiere und Menschen speichern Zucker in einer ähnlichen Form, dem **Glykogen**.

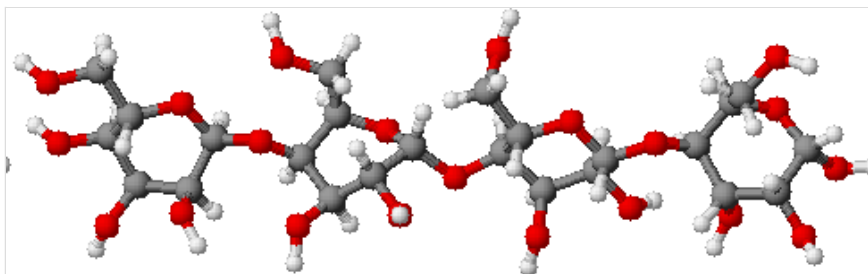


Bild 9.101: Die Amylose

Cellulose und Stärke bestehen aus denselben Bausteinen, Glucose-Einheiten. Sie weisen allerdings unterschiedliche Bindungsverhältnisse auf, was zu verschiedenen physikalischen und chemischen Eigenschaften führt. Stärkemoleküle haben die Form von Spiralen (alte

Telefonhörererkabel), während Cellulose eine lineare Struktur besitzt.

Stärke kann mit einem einfachen Test nachgewiesen werden. Die zu prüfende Substanz wird mit einigen Tropfen einer Iod/Iodkali-Lösung versetzt. Eine stärkehaltige Substanz reagiert mit einer intensiven Violettfärbung. Dies kann bei Brot oder Kartoffeln einfach und schnell durchgeführt werden. Die Färbung hängt mit der Struktur der Amylose zusammen: Die Iodidionen der Iod/Iodkali-Lösung besetzen die Hohlräume der Spiralen der Amylose und erzeugen so die Farbe.

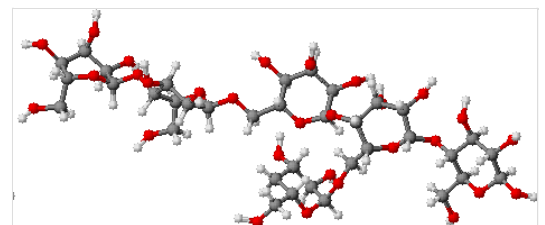


Bild 9.102: Amylopektin



Bild 9.103: Stärke und Iod

9.9 Proteine

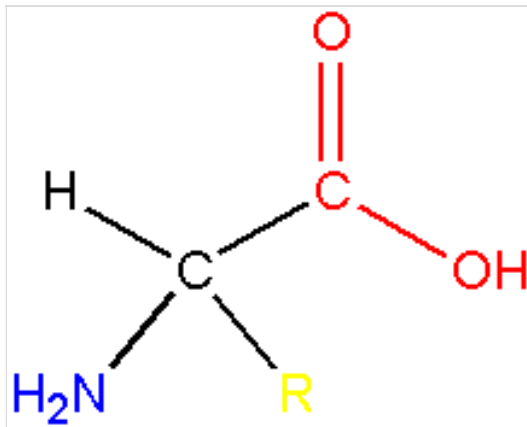


Bild 9.104: Eine Aminosäure

Proteine, Eiweiße, sind genau wie die Polysaccharide natürliche Polymere. Sie bestehen aus **Aminosäuren**. **Aminosäuren** sind natürliche Stoffe, die nach einem ganz bestimmten Muster aufgebaut sind: Ein zentrales Kohlenstoffatom ist substituiert mit einer **Amin-** und einer **Carbonsäure** funktion sowie einem Wasserstoffatom. Der vierte Substituent des Kohlenstoffatoms ist von Aminosäure zu Aminosäure verschieden und wird oft mit **R** für Rest abgekürzt. Es existieren insgesamt etwa **20 verschiedene, natürliche Aminosäuren**, wovon **alle bis auf eine chiral** sind. Von den möglichen Enantiomeren wird meist nur das eine gebildet, es gehört zur L-Reihe der Aminosäuren. Einige Aminosäuren können von einem menschlichen Organismus direkt produziert werden, die

anderen, **essentiellen** Aminosäuren, müssen dem Organismus durch die Nahrung zugeführt werden.

Aus chemischer Sicht sind Aminosäuren etwas Aussergewöhnliches: In einem einzigen Molekül sind gleich zwei funktionelle Gruppen enthalten, die Protolysereaktionen **Säure-Base-Reaktionen** eingehen können: **Die Carbonsäurefunktion und die Aminfunktion**. In Bedingungen unter welchen Protolysereaktionen eintreten können, ist es denkbar die **Aminfunktion** (Base) zu protonieren oder die **Carbonsäurefunktion** (Säure) zu deprotonieren. Demzufolge ist es möglich eine Aminosäure in drei verschiedenen Formen vorliegen zu haben, nämlich in der deprotonierten Form (negativ geladen), der neutralen Form (elektrisch neutral) oder der protonierten Form (positiv geladen).

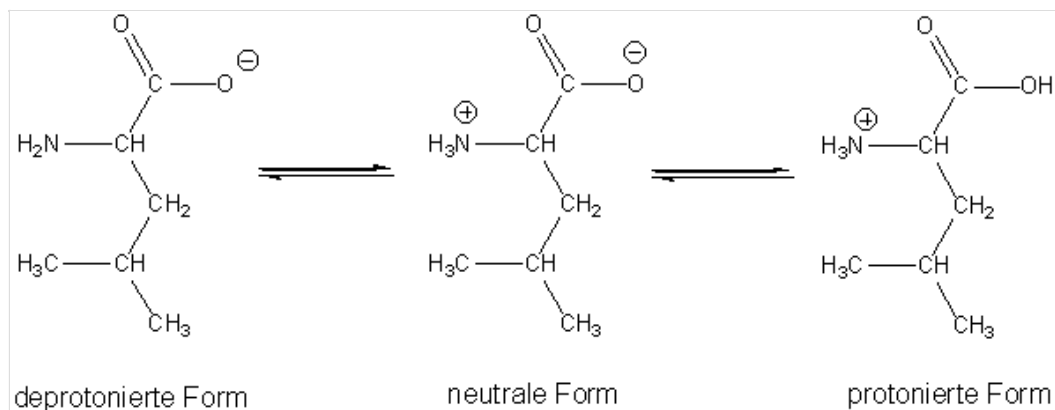


Bild 9.107: Die Gleichgewichte bei Aminosäuren

Es ist von grossem Wert die Säurekonstanten (pK_s -Werte) der beiden Funktionen zu kennen. Mit einer gewissen Ungenauigkeit lassen sich die Säurekonstanten der Carbonsäurefunktionen auf Werte zwischen 3 und 6, die der Aminfunktionen auf Werte zwischen 7 und 10 eingrenzen. Wenn man dies richtig ausnützt, können die Aminosäuren in Wasser gelöst werden und allein durch die Wahl des pH-Wertes kann eine der drei Formen erzeugt werden. Wenn nun zusätzlich ein elektrisches Feld einer Gleichspannungsquelle angelegt wird, wandern die Aminosäuren zum einen, andere zum anderen Pol und einige bewegen sich gar nicht. In dieser Weise können in Gemischen Aminosäuren voneinander abgetrennt werden, was vor allem in jüngerer Zeit für Genforscher aber auch für die Kriminalpolizei enorm von Bedeutung wurde. Der pH-Wert

des Wassers, der einzustellen ist, damit eine Aminosäure vor allem in der neutralen Form vorliegt, entspricht dem Mittel der beiden Säurekonstanten. Dieser Wert wird **IEP** bezeichnet, [isoelektrischer Punkt](#). Ist der pH-Wert des Wassers über dem IEP liegt eine Aminosäure bevorzugt in der deprotonierten (negativ geladenen) Form vor, ist er unterhalb des IEP, liegt eine Aminosäure bevorzugt in der protonierten (positiv geladenen) Form vor.

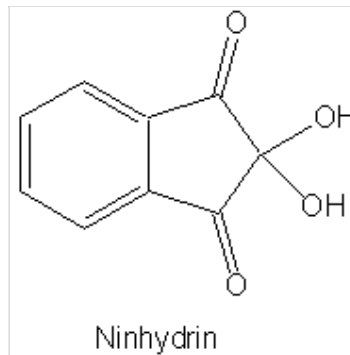


Bild 9.108: [Ninhydrin](#)

Werden Aminosäuren auf diese Weise voneinander getrennt, müssen sie, da es farblose Substanzen sind, nachträglich sichtbar gemacht werden. Dies geschieht mittels einer speziellen Verbindung, [Ninhydrin](#), die selektiv mit Aminosäuren reagiert und einen violetten Farbstoff erzeugt. Diese [Nachweisreaktion](#) hat in der Kriminalistik und der Forensik schon wertvolle Erkenntnisse geliefert.

[Proteine](#) sind natürliche Polymere, die aus Aminosäuren bestehen. Bei der Reaktion zweier Aminosäuren **verbindet sich die Carbonsäurefunktion der einen, mit der Aminfunktion der nächsten Aminosäure** (Kondensationsreaktion). Unter Abspaltung von Wasser entsteht ein

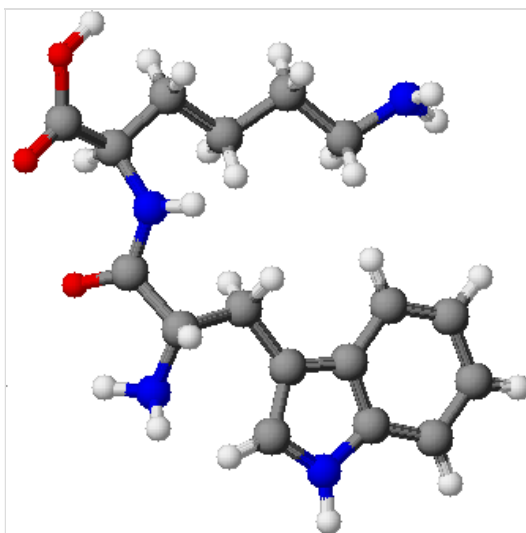


Bild 9.110: [Ein Dipeptid](#)

[Dipeptid](#). Durch die Reaktion mit weiteren Aminosäuren können so lange Ketten, Peptide, gebildet werden. Die Verbindung zweier Aminosäuren ist die **Peptidbindung**, eine **Amidfunktion**. Die Amidfunktion weist eine planare Geometrie auf, da sie durch mesomere Grenzstrukturen stabilisiert wird.

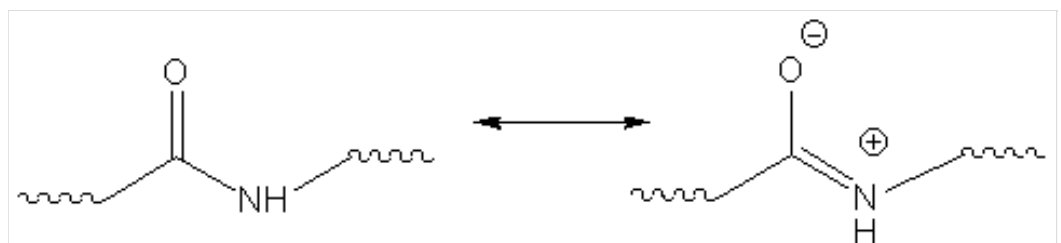


Bild 9.111: [Die Peptidbindung](#)

In natürlichen Prozessen spielt es eine wichtige Rolle, wie das Peptid zusammengesetzt ist, d. h. welche Abfolge die Aminosäuren in einem [Peptid](#) aufweisen. Eine einzige Aminosäure, welche falsch platziert ist, kann zur Folge haben, dass das Protein seine Funktion verliert. Um die genaue Abfolge, die Sequenz, der

Aminosäuren zu erforschen, wurde ein Verfahren entwickelt, das an einem Ende des Proteins Aminosäure um Aminosäure einzeln abtrennt. Nach der Identifizierung kann dann der genaue Bauplan des Proteins ermittelt werden. Dieser Vorgang, die [Sequenzierung](#) eines Proteins, ist benannt nach seinem Entwickler, Edman. Eine Sequenz birgt die Information der Abfolge der Aminosäuren in einem Protein. Diese Abfolge bezeichnet man als [Primärstruktur](#) eines Proteins. Nachfolgend ist die Primärstruktur menschlichen [Insulins](#) wiedergegeben. Die einzelnen Aminosäuren werden abgekürzt durch Codes, es sind jeweils drei Buchstaben, meist die ersten drei des Namens.

Die Primärstruktur von menschlichem Insulin:

H-Gly-Ile-Val-Glu-Glu-Cys-Cys-Ala-Ser-Val-Cys-Ser-Leu-Tyr-Glu-Leu-Glu-Asp-Tyr-Cys-Asp-OH

H-Phe-Val-Asp-Glu-His-Leu-Cys-Gly-Ser-His-Leu-Val-Glu-Ala-Leu-Tyr-Leu-Val-Cys-Gly-Glu-Arg-Arg-Gly-Phe-Thr-Pro-Lys-Ala-HO

Mit der Primärstruktur allein ist die Struktur oder auch Funktion eines Proteins nicht beschrieben. Um dies besser zu verstehen, ist es notwendig zu wissen, wie ein Protein räumlich aufgebaut ist. Die räumliche Struktur eines Proteins wird beschrieben mit der [Sekundärstruktur](#). Unter der Sekundärstruktur versteht man eine Anordnung des Proteins in einem β -Faltblatt. Der Name stammt daher, weil die Proteinfäden sich nebeneinander so anordnen, wie wenn sie auf den Flächen eines gefalteten Papierblattes liegen würden. Die Anordnung in dieser Weise ist fixiert durch Wasserstoffbrücken und Van-der-Waals-Kräfte.

Die wirkliche dreidimensionale Struktur eines Proteins wird wiedergegeben durch seine **Tertiärstruktur**. Diese kann durchaus verwirrend aussehen, man spricht von einem "random Coil" oder aber sehr geordnete Bereiche wie die einer α -Helix enthalten. Hier wird von einem "helicalen Bereich" gesprochen. In beiden Anordnungen wird die Struktur durch starke Wechselwirkungen, meist [Wasserstoffbrücken](#), fixiert.

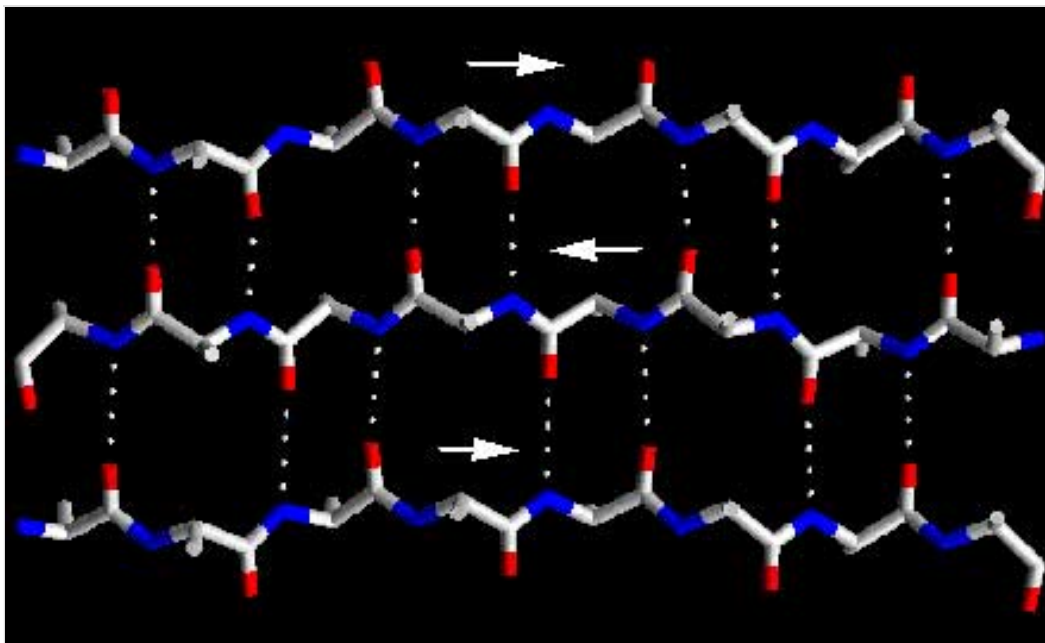




Bild 9.112: Die Sekundärstruktur

Die [Tertiärstruktur](#), die eigentliche dreidimensionale Struktur eines Proteins, gibt die räumlichen Verhältnisse wieder. Oft wird bei der Tertiärstruktur auf Details verzichtet und das Protein wird als "Wurst" abgebildet. Nachfolgend ist die Tertiärstruktur von menschlichem [Insulin](#)  Insulin abgebildet. Einzig strukturgebende Wechselwirkungen, wie z. B. Disulfidbrücken werden speziell gekennzeichnet.

Es kann durchaus eintreten, dass ein Protein nicht die für es vorgesehene, natürliche Struktur einnimmt. In diesem Falle ist das Protein entweder wertlos, da es von Rezeptoren nicht erkannt werden kann, oder es kann gefährliche Auswirkungen haben, wie dies jüngst in Zusammenhang mit BSE ([Prion-Protein](#))  zu

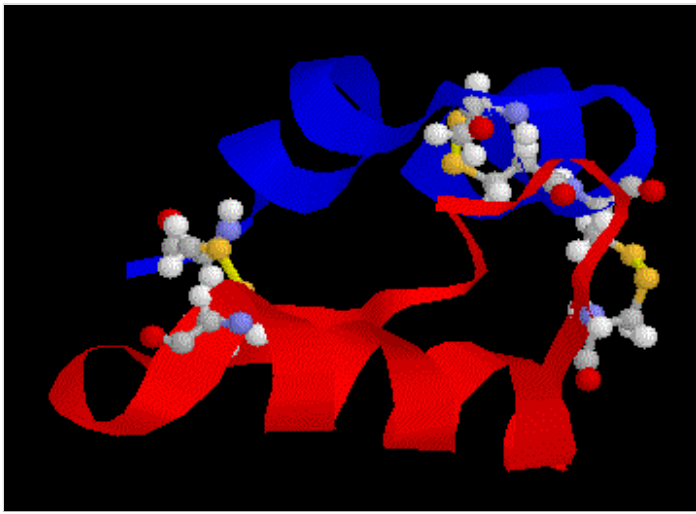


Bild 9.114: Die Tertiärstruktur von Insulin

erkennen war. Die Funktion eines Proteins ist wirklich nur dann gewährleistet, wenn die Sequenz der Aminosäuren genau richtig ist und auch die räumliche Anordnung korrekt ist. In Proteinen wird die räumliche Anordnung oft durch zwischenpartikuläre Kräfte fixiert. Häufig sind es ionische Wechselwirkungen oder Wasserstoffbrücken. In einigen Fällen können aber auch echte kovalente Bindungen ausgebildet werden und es entstehen Disulfidbrücken. Die Aminosäure **Cystein** weist im Rest ein Schwefelatom auf, welches fähig ist eine -S-S- - Bindung mit einem Schwefelatom einer anderen Aminosäure einzugehen. Disulfidbrücken sind in Proteinen oft anzutreffen

und sind enorm wichtig für die Fixierung der dreidimensionalen Struktur des Moleküls. Es sind auch Disulfidbrücken, die beim Anlegen von Dauerwellen beim Coiffeur erst gebrochen und dann neu geknüpft werden müssen, um dem Haar eine neue, krause Struktur zu verleihen.



Bild 9.115: Menschliches Insulin

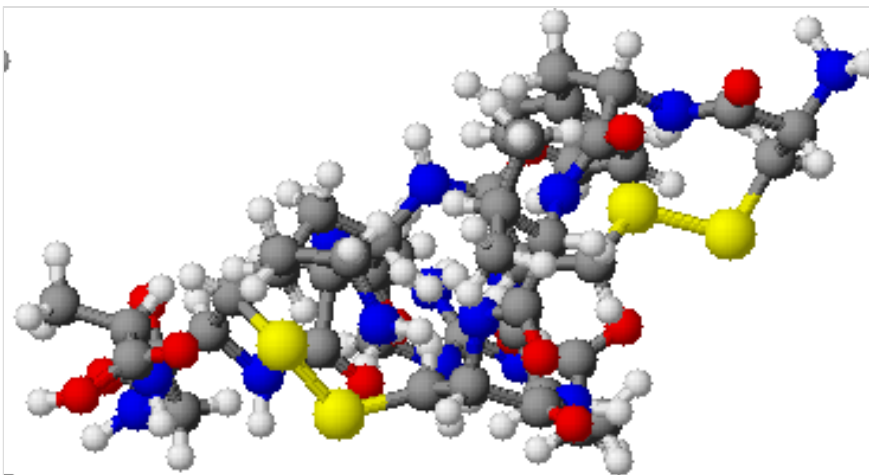


Bild 9.117: Disulfidbrücken

Proteine lassen sich in zwei Kategorien einteilen:

- **Skleroproteine** Die Skleroproteine sind wasserunlösliche, strukturbildende Proteine. Sie bilden Haare, Sehnen, Muskelfasern und Horn.
- **Globuläre Proteine** Die globulären Proteine sind schwach wasserlösliche Proteine. Sie führen meist eine Funktion aus, wie z. B. Insulin.

Möchten Sie sich gerne ein paar Bilder von Proteinen ansehen? Installieren Sie Rasmol auf Ihrem Computer und holen Sie sich Bilder aus der Brookhaven Datenbank [🔗](#) oder dem beigefügten Verzeichnis "Proteine" auf

der CD.

Unterbrechen Sie hier Ihre Lektüre. Lösen Sie die Aufgabe 5 der [Übungsaufgaben](#).


9.10 Übungsaufgaben

1. Benennen Sie die nachfolgenden [Verbindungen](#) ,




2. Zeichnen Sie in den nachfolgenden Verbindungen die [Chiralitätszentren](#) , ein



3. Zeichnen Sie in den nachfolgenden Verbindungen die [Chiralitätszentren](#) , ein, zeichnen Sie beide Enantiomere und bestimmen Sie jeweils die absolute Konfiguration (R, S)



4. Vervollständigen Sie die nachfolgenden [Reaktionen](#) ,



5. Zeichnen Sie die Strukturformel



a) einer natürlichen Fettsäure



b) eines Glycerids



c) einer Aminosäure



d) eines Dipeptids

9.11 Lernkontrolle

1. Beim Crackprozess

- a) ☐ werden Alkane erzeugt
- b) ☐ wird Heizöl entschwefelt
- c) ☐ werden lange Kohlenstoffketten gebrochen

2. Alkane sind

- a) ☐ gesättigte Kohlenwasserstoffe
- b) ☐ Kohlenwasserstoffe, die eine Doppelbindung besitzen
- c) ☐ Alkohole

3. Aromaten sind

- a) ☐ reaktionsträge
- b) ☐ Kohlenwasserstoffe, die eine Doppelbindung besitzen
- c) ☐ gesättigte Kohlenwasserstoffe

4. Die Strukturformel von Benzen (Benzol) wurde erstmals postuliert von

- a) ☐ Justus von Liebig
- b) ☐ Friederich Wöhler
- c) ☐ August Kekulé von Stradonitz

5. Die Reaktion von Brom mit Alkanen

- a) ☐ ist eine radikalische Substitution
- b) ☐ ist eine Additionsreaktion
- c) ☐ verläuft ausgesprochen schnell und heftig

6. 1- Buten und 2- Buten sind zwei

- a) ☐ Enantiomere
- b) ☐ Mesomere
- c) ☐ Isomere

7. Ein Chiralitätszentrum

- a) ☐ besitzt mindestens zwei verschiedene Substituenten
- b) ☐ besitzt vier verschiedene Substituenten
- c) ☐ erzeugt vier Enantiomere

8. Zwei Enantiomere

- a) ☐ unterscheiden sich in ihren Massen
- b) ☐ verhalten sich wie Bild und Spiegelbild
- c) ☐ sind absolut identisch

9. Die funktionelle Gruppe -COOH kennzeichnet

- a) ☐ einen Ester
- b) ☐ einen Alkohol
- c) ☐ eine Carbonsäure

10. Eine natürliche Fettsäure

- a) ☐ enthält niemals Doppelbindungen
- b) ☐ kann Z - orientierte Doppelbinungen enthalten
- c) ☐ kann Dreifachbindungen enthalten

11. Ein Glycerid ist ein Ester aus

- a) ☐ Fettsäuren und Ethanol
- b) ☐ Fettsäuren und Glycerin
- c) ☐ Fettsäuren und Glykol

12. Phospholipide werden von biologischen Systemen eingesetzt als

- a) ☐ Eiweisse
- b) ☐ Energiespeicher
- c) ☐ Zellmembranen

13. Die Monomeren bei einer Polymerisation

- a) ☐ müssen Alkohole sein
- b) ☐ müssen verestert werden können
- c) ☐ müssen Doppelbindungen enthalten

14. Die Umkehrreaktion einer Veresterung heisst

- a) ☐ Addition
- b) ☐ Härtung
- c) ☐ Verseifung

15. Stark vernetzte, harte, spröde Kunststoffe heissen

- a) ☐ Duroplaste
- b) ☐ Thermoplaste
- c) ☐ Polymere

16. Das Produkt einer Polykondensation ist

- a) ☐ ein Polyester oder ein Polyamid
- b) ☐ Kautschuk
- c) ☐ ein Thermoplast

17. Rübenzucker ist

- a) ☐ Glucose
- b) ☐ $C_6H_{12}O_6$
- c) ☐ ein Disaccharid

18. Polysaccharide sind

- a) ☐ Glucose und Fructose
- b) ☐ Stärke und Eiweisse
- c) ☐ Zellulose und Stärke

19. Aminosäuren sind

- a) ☐ ohne Ausnahme chiral
- b) ☐ Bausteine für Proteine
- c) ☐ Proteine

20. Skleroproteine sind

- a) ☐ faserbildende Eiweisse
- b) ☐ Haare und Insulin
- c) ☐ wasserlöslich

[korrigieren](#)

9.12 Literatur

W. Christen

Grundlagen der organischen Chemie

Diesterweg/Salle, Sauerländer, 1982

Div. Autoren

Lexikon der Naturwissenschaftler

Spektrum, 1996

Div. Autoren

Chemie heute, Sekundarbereich II

Schroedel, 1998

W. Melber, P. Böhm

Einführung in die Nomenklatur organisch-chemischer Verbindungen

Springer, 1987

R. E. Dickerson, I. Geis

Chemie

Verlag Chemie, 1981

P. W. Atkins

Physical Chemistry 2nd Edition

Oxford University Press, 1982

P. W. Atkins, J. A. Beran

Chemie einfach alles

VCH, 1992

H. P. Latscha, H. A. Klein

Organische Chemie

Springer, 1990

W. Schneider

Praktikum in allgemeiner Chemie ETH

ETH 1982

9.13 Web-Links

Allgemein

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

Justus von Liebig

www.woodrow.org/teachers/ci/1992/Liebig.html 

Friederich Wöhler

[Biographie](#) 

Erdöl

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

Alkane

[Theorie](#) 

Alkene

[Theorie](#) 

Alkine

[Theorie](#) 

Chiralität

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

Kekulé

[Biographie](#) 

[Biographie](#) 

Funktionelle Gruppen

[Theorie](#) 

Lipide

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

Seifen

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

Kunststoffe

[Theorie](#) 

[Theorie/](#) 

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

Kohlehydrate

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

Proteine

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

[Theorie](#) 

Rasmol

[Rasmol](#) 

[Rasmol](#) 

[Rastop](#) 

Proteindatenbanken

[Proteindatenbank](#) 

[Proteindatenbank](#) 

[Biologische Moleküle, Jena](#) 

9.14 Die homologe Reihe der Alkane

Name	Summenformel	Schmelzpunkt Â°C	Siedepunkt Â°C
Methan	CH ₄	- 184	- 164
Ethan	C ₂ H ₆	- 172	- 89
Propan	C ₃ H ₈	- 190	- 42
Butan	C ₄ H ₁₀	- 135	- 0.5
Pentan	C ₅ H ₁₂	- 129	36
Hexan	C ₆ H ₁₄	- 94	69
Heptan	C ₇ H ₁₆	- 90	98
Octan	C ₈ H ₁₈	- 59	126
Nonan	C ₉ H ₂₀	- 54	151
Decan	C ₁₀ H ₂₂	-30	174
Undecan	C ₁₁ H ₂₄	- 26	196
Dodecan	C ₁₂ H ₂₆	- 10	216
Heptadecan	C ₁₇ H ₃₆	22	303

Tabelle 9.15: Die homologe Reihe der Alkane