

Grundlagen der Organischen Chemie
von Werner Schötschel

Inhaltsverzeichnis

| | <u>Seite</u> |
|----------|---|
| 1 | Der Begriff „Organische Chemie“ 1 |
| 1.1 | Der historische Begriff „Organische Chemie“ 1 |
| 1.2 | Der moderne Begriff „Organische Chemie“ 1 |
| | |
| 2 | Fossile Brennstoffe 2 |
| 2.1 | Die Entstehung fossiler Brennstoffe 2 |
| 2.2 | Die Förderung von fossilen Brennstoffen 2 |
| 2.3 | Die Verwendung fossiler Brennstoffe 2 |
| 2.4 | Weltenergievorräte 3 |
| | |
| 3 | Alkane 4 |
| 3.1 | Methan 4 |
| 3.2 | Weitere Kohlenwasserstoffe: Ethan, Propan, Butan 5 |
| 3.3 | Homologe Reihe der n-Alkane 6 |
| 3.4 | Isomerie 7 |
| 3.5 | Die wichtigsten Regeln zur Nomenklatur der Alkane 8 |
| 3.6 | Eigenschaften und Reaktionen der Alkane 9 |
| | |
| 4 | Alkene 11 |
| 4.1 | Ethen 11 |
| 4.2 | Weitere Alkene 12 |
| 4.3 | Eigenschaften der Alkene 13 |
| 4.4 | Ungesättigte Verbindungen in der Natur 13 |
| 4.5 | Vom Alken zum Makromolekül 14 |
| 4.6 | Kunststoffverbrauch - ein Müll-Problem 17 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5 | Alkohole | 17 |
| 5.1 | Alkoholische Gärung | 17 |
| 5.2 | Homologe Reihe der Alkanole | 17 |
| 5.3 | Einteilung der Alkanole | 18 |
| 5.4 | Eigenschaften der Alkanole | 18 |
| 5.5 | Herstellung und Verwendung der Alkanole | 19 |
| | | |
| 6 | Carbonylverbindungen | 20 |
| 6.1 | Aldehyde und Ketone | 20 |
| 6.2 | Carbonsäuren | 22 |
| 6.3 | Ester | 23 |
| | | |
| 7 | Fette (Lipide) | 24 |
| | | |
| 8 | Kohlenhydrate | 26 |
| 8.1 | Name und Einteilung der Kohlenhydrate | 26 |
| 8.2 | Glucose und Fructose | 26 |
| 8.3 | Saccharose | 28 |
| 8.4 | Stärke und Cellulose | 30 |
| | | |
| 9 | Aminosäuren und Eiweißstoffe | 31 |
| 9.1 | Vorkommen und Bedeutung der Aminosäuren | 31 |
| 9.2 | Allgemeiner Aufbau der Aminosäuren | 31 |
| 9.3 | Eiweißstoffe (Peptide) | 32 |

Anhang: Zuckerqualitäten und Zuckersorten

Grundlagen der Organischen Chemie

von Werner Schötschel

1 Der Begriff „Organische Chemie

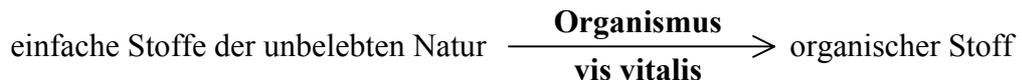
1.1 Der historische Begriff „Organische Chemie“

Während sich die Naturforscher bis zum Ende des Mittelalters fast ausschließlich mit der unbelebten Natur beschäftigten, wandte sich ihr Interesse im Laufe des 18. Jahrhunderts zunehmend den Stoffen der belebten Natur zu. Dabei gelang ihnen die Isolierung einer ganzen Reihe von Stoffen organischen Ursprungs, wie z.B.:

| | |
|-----------|------------|
| Alkohol | Essigsäure |
| Zucker | Milchsäure |
| Harnstoff | u.v.a. |

Versuche, diese Stoffe im Laboratorium zu synthetisieren, schlugen jedoch fehl. Diese Fehlschläge versuchte man mit Hilfe der „Vis-vitalis-Hypothese“ zu erklären. Danach sind nur lebende Organismen mit Hilfe der Lebenskraft (vis vitalis) imstande, diese Verbindungen zu synthetisieren.

Vis-vitalis-Hypothese:

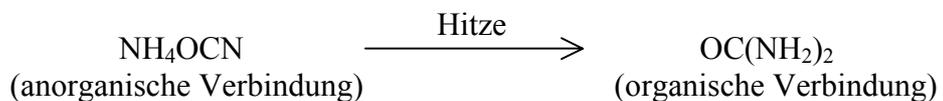


historischer Begriff „Organische Stoffe“:

Organische Stoffe können nur von Organismen gebildet werden. (Berzelius 1807)

1.2 Der moderne Begriff „Organische Chemie“

1828 gelang die „In-vitro“-Synthese (im Reagenzglas) eines organischen Stoffes durch Friedrich Wöhler (1800-1882): die Darstellung von Harnstoff aus Ammoniumcyanat.



Da dieses Experiment die historische Definition widerlegte, suchte man nach einer neuen Definition.

moderner Begriff „Organische Stoffe“:

Organische Stoffe sind Verbindungen des Kohlenstoffs.

Die Organische Chemie ist die Chemie der Kohlenstoffverbindungen.

Organische Verbindungen können außer Kohlenstoff folgende Elemente enthalten:

H, O, N, S, P, Halogene, ...

2 Fossile Brennstoffe

2.1 Die Entstehung fossiler Brennstoffe

Erdgas, Erdöl und Kohle sind sogenannte fossile Brennstoffe. Sie sind aus Organismen früherer Zeiten entstanden. Über die dabei abgelaufenen Vorgänge weiß man nur wenig.

Kohle

Stein- und Braunkohle haben sich vor 270 bis 350 Millionen Jahren im feuchtheißen Klima des Karbonzeitalters aus Sumpfwäldern gebildet. Sie enthielten große Farne, baumartige Schachtelhalme und Schuppenbäume. Zunächst entstand torfähnliches Material und dann durch Inkohlungsprozesse unter Druck Braunkohle. Erst durch größeren tektonischen Druck und höhere Temperatur bildete sich Steinkohle.

Erdöl und Erdgas

Auch Erdöl und Erdgas sind sehr wahrscheinlich biogenen Ursprungs. Man vermutet, dass aus dem Meeresplankton und dem daraus entstandenen Faulschlamm unter Mithilfe von anaeroben Bakterien Kohlenwasserstoffverbindungen gebildet wurden.

Unter dem Einfluss von hohem Druck und Erdwärme soll sich in Jahrillionen Erdöl gebildet haben. Erdöl und Erdgas wurden schließlich in höhere Schichten verdrängt, bis sie an undurchlässige Ton- oder Salzsichten stießen.

2.2 Die Förderung von fossilen Brennstoffen

Kohle, Erdöl und Erdgas werden mit unterschiedlichem Aufwand gefördert oder gewonnen:

- Konventionelles, leicht flüssiges Erdöl wird mit relativ geringem Aufwand gefördert.
- Die Förderung von Erdöl und Erdgas auf See erfordert hohe Investitionen für Förderung und Transport.
- Schwierige klimatische Bedingungen erschweren das Erbohren von Erdöl und Erdgas in Alaska und Sibirien.
- Die Verfahren zur Gewinnung von Öl aus Schweröl, Teersand und Ölschiefer sind sehr aufwändig (unkonventionelles Öl).
- Riesige Steinkohlelager in den USA, wie auch Braunkohle-Lagerstätten in Deutschland, sind leicht zugänglich und daher kostengünstig im Tagebau abbaubar.

2.3 Die Verwendung fossiler Brennstoffe

Fossile Brennstoffe sind auch heute noch die wichtigsten Energieträger. 1986 hatten sie einen Anteil von 87 % am Gesamtenergieaufkommen. Die bei der Verbrennung freiwerdende Energie nutzt man

- zur Gewinnung von elektrischer Energie,
- zum Antrieb von Verkehrsmitteln und Maschinen,
- zur Heizung von Wohn- und Arbeitsräumen,
- zur Herstellung von Prozesswärme.

Darüber hinaus enthalten die fossilen Brennstoffe wichtige Rohstoffe zur Herstellung unentbehrlicher Produkte. Etwa 7 % der Mineralölprodukte - das sind etwa 3 % der fossilen Brennstoffe - dienen der Herstellung von

- Dünge- und Pflanzenschutzmitteln,
- Kunststoffen,
- Farbstoffen,
- Arzneimitteln.

2.4 Weltenergievorräte

Man unterscheidet:

Reserven: Das sind jene Vorräte, die geologisch und geographisch eindeutig identifiziert sind und sich unter den derzeitigen oder in naher Zukunft zu erwartenden Bedingungen technisch und wirtschaftlich abbauen lassen.

Ressourcen: Das sind alle Reserven und alle darüber hinausreichenden, vermuteten und auf Grund geologischer Vergleiche erwarteten Vorräte, für die es nur zum Teil Nachweise gibt. Bei diesen Ressourcen gilt der Abbau zum Teil als extrem unwirtschaftlich und erscheint nur mit Hilfe neuer Techniken möglich.

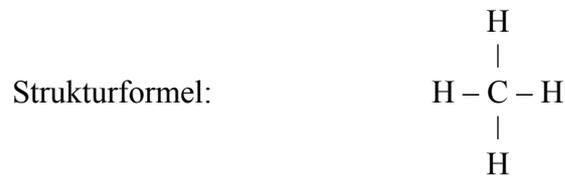
technisch gewinnbare Ressourcen: Das ist jener Teil der vermuteten und nachgewiesenen Vorräte, die unter hohen Kosten und in Erwartung neuer Techniken im Extremfall noch als technisch gewinnbar erscheinen. Nur dieser Teil der Ressourcen hat für eine langfristige Energieperspektive Bedeutung.

Die Schätze der Erde an fossilen Energieträgern sind stattlich; Jahr für Jahr werden neue Vorräte entdeckt. Dies gilt vor allem für Erdgas. Die Qualität der Vorräte ist aber unterschiedlich. Es wird sich daher bis etwa zum Jahr 2030 ein bemerkenswerter Übergang vollziehen: weg von den relativ billigen und sauberen, d.h. relativ umweltfreundlichen Gas- und Ölvorräten hin zu den „dirty fuels“, den schmutzigen Energieträgern, deren Gewinnung und Aufarbeitung teuer sind und die zunehmend große Umweltprobleme mit sich bringen.

3 Alkane

3.1 Methan

Summenformel: CH_4



Vorkommen:

Methan entsteht in der Natur bei der bakteriellen Zersetzung abgestorbener Pflanzenteile unter Luftabschluss. Es ist daher der Hauptbestandteil im Sumpfgas, im Klär- oder Faulgas, im Grubengas („schlagende Wetter“) und im Erdgas (z.B. 93 % Methan im russischen Erdgas).

Eigenschaften:

- farb- und geruchloses Gas
- brennbar ($\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$)
- schlecht löslich in Wasser
- gut löslich in Benzin und fettähnlichen Lösemitteln
- bildet mit Luft bzw. Sauerstoff hochexplosive Gemische („Schlagende Wetter“ - Grubengasexplosionen)

Verwendung:

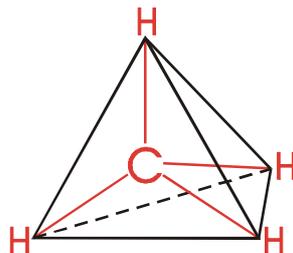
- Heizgas
- wichtiger Ausgangsstoff für chemische Synthesen

Struktur des Methanmoleküls:

Das Methanmolekül enthält nur Atombindungen. Alle C-H-Bindungen sind gleich lang und gleich stabil. Alle Bindungswinkel sind gleich. Sie entsprechen dem Tetraederwinkel von rund $109,5^\circ$.

Räumlicher Bau des Methanmoleküls:

Das Methanmolekül besitzt Tetraederstruktur: Die H-Atome sitzen an den Ecken, das C-Atom in der Mitte des Tetraeders.



3.2 Weitere Kohlenwasserstoffe: Ethan, Propan, Butan

Vorkommen:

Bestandteile des Erdgases

Eigenschaften:

- farb- und geruchlose Gase
- schlecht wasserlöslich
- gut löslich in Benzin und ähnlichen Lösemitteln
- brennbar

Wegen der ähnlichen Eigenschaften fasst man diese und weitere Kohlenwasserstoffe zu einer Verbindungsreihe zusammen: den Alkanen. Ordnet man die Alkane nach der Anzahl der Kohlenstoffatome in ihren Molekülen, so erhält man eine Reihe von Verbindungen, deren Formeln sich jeweils um eine CH_2 -Gruppe unterscheiden. Eine solche Reihe heißt homologe Reihe.

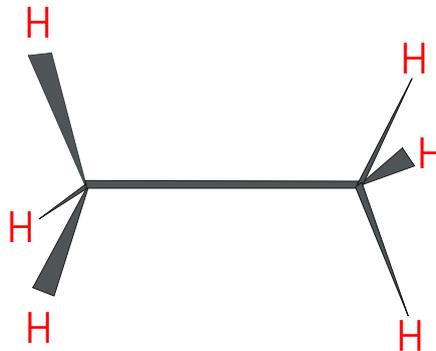
Umschreibung:

Unter einer homologen Reihe versteht man eine Gruppe ähnlicher Verbindungen, bei denen jedes Glied nur eine CH_2 -Gruppe mehr enthält als das vorhergehende.

Die allgemeine Formel der Alkane lautet: $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$

Die vier einfachsten Alkane haben Trivialnamen, die Namen der höheren Alkane leiten sich von lateinischen oder griechischen Zahlwörtern ab. Die Namen haben alle die Endung -an.

Bau des Ethanmoleküls:



Alle Bindungswinkel im Ethanmolekül sind gleich. Sie entsprechen dem Tetraederwinkel von $109,5^\circ$. Um die C-C-Bindung ist freie Rotation möglich. Die durch Drehung um eine Einfachbindung entstehenden verschiedenen räumlichen Anordnungen der Atome in einer Verbindung bezeichnet man als Konformationen.

Die Formelschreibweise organischer Verbindungen:

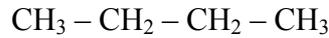
| | | |
|------------------------|--|---|
| <u>Beispiel Butan:</u> | Summenformel: | C_4H_{10} |
| | Halbstrukturformel: (rationelle Strukturformel) | $CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_3$ |
| | Strukturformel: (ausführlich) | $ \begin{array}{cccc} & H & H & H & H \\ & & & & \\ H & - C & - C & - C & - C - H \\ & & & & \\ & H & H & H & H \end{array} $ |
| | Strukturformel: (vereinfacht) | $ \begin{array}{cccc} & & & & \\ - & C & - C & - C & - C - \\ & & & & \end{array} $ |

3.3 Homologe Reihe der n-Alkane

| | Formel | Name | Smt. in °C | Sdt. in °C | Alkylrest |
|------------|----------------|--------|---------------|---------------|-----------|
| | CH_4 | Methan | -182,5 | -161,5 | Methyl- |
| | C_2H_6 | Ethan | -183,3 | -88,6 | Ethyl- |
| | C_3H_8 | Propan | -187,7 | -42,1 | Propyl- |
| | C_4H_{10} | Butan | -138,4 | -0,5 | Butyl- |
| | C_5H_{12} | Pentan | -129,7 | 36,1 | Pentyl- |
| | C_6H_{14} | Hexan | -95,3 | 68,7 | Hexyl- |
| | C_7H_{16} | Heptan | -90,6 | 98,4 | Heptyl- |
| | C_8H_{18} | Octan | -56,8 | 125,7 | Octyl- |
| | C_9H_{20} | Nonan | -53,5 | 150,8 | Nonyl- |
| | $C_{10}H_{22}$ | Decan | -29,7 | 174,1 | Decyl- |
| allgemein: | C_nH_{2n+2} | | | | |

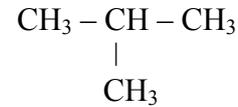
3.4 Isomerie

Isomere des Butans: C₄H₁₀



unverzweigte C-Kette
normal-Butan
n-Butan

Smt: -138 °C



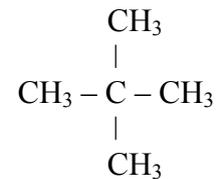
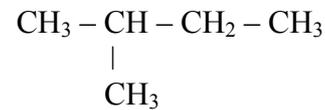
verzweigte C-Kette
isomeres Butan
iso-Butan

Smt: -160 °C

Isomere des Pentans: C₅H₁₂



n-Pentan



iso-Pentane

Umschreibung:

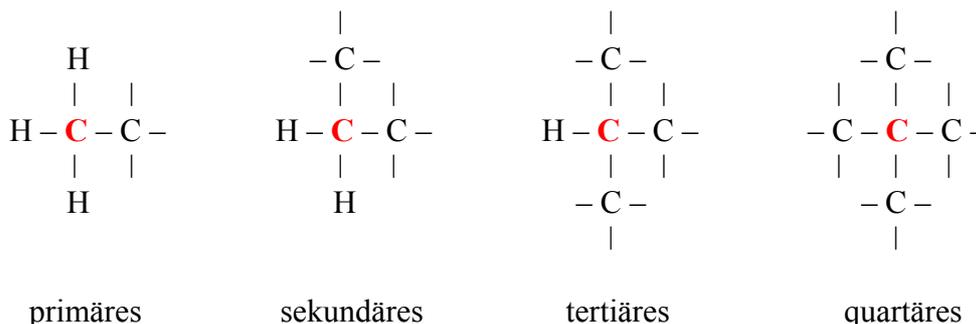
Isomere sind Verbindungen mit gleicher Summenformel und unterschiedlicher Strukturformel.

Isomere unterscheiden sich in ihren Eigenschaften.

Umschreibung:

Unter Isomerie versteht man die Erscheinung, dass Stoffe mit unterschiedlichen Strukturformeln und unterschiedlichen Eigenschaften die gleiche Summenformel besitzen.

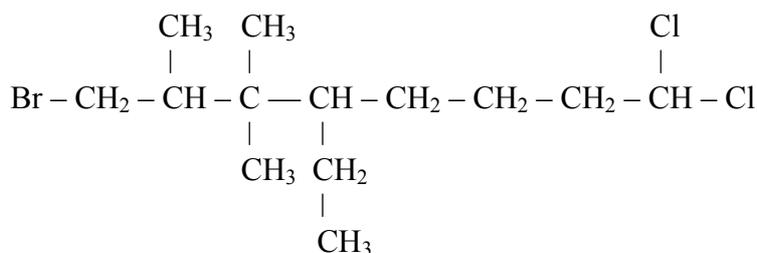
[Die van-der-Waals-Kräfte werden mit zunehmender Elektronenanzahl der Moleküle größer, nehmen also innerhalb der homologen Reihe zu. Obwohl isomere Moleküle dieselbe Elektronenanzahl besitzen, zeigen die Stoffe unterschiedliche Siedetemperaturen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass isomere Moleküle unterschiedliche Moleküloberflächen besitzen, die umso kleiner werden, je mehr sich ein Molekül durch zunehmende Verzweigung der Kugelform nähert. Mit abnehmender Moleküloberfläche nehmen die gegenseitigen Berührungs- und Polarisationsmöglichkeiten und damit die van-der-Waals-Kräfte ab.]



Kohlenstoffatom

Die Bezeichnungen geben an, mit wie viel weiteren Kohlenstoffatomen das betrachtete Kohlenstoffatom verbunden ist.

3.5 Die wichtigsten Regeln zur Nomenklatur der Alkane



- 1.) Die längste Kohlenstoffatomkette gibt dem Molekül den Namen.
- 2.) Die Substituenten (d.h. die Atome oder Atomgruppen, die anstelle von Wasserstoffatomen an der Kette stehen) werden in alphabetischer Reihenfolge genannt, wobei die Nummer desjenigen Kohlenstoffatoms, das den Substituenten trägt, vorangestellt wird (vergl. Regel 3!). Die Vorsilben di-, tri- usw. geben die Anzahl gleicher Substituenten an.
- 3.) Die C-Atome werden derart nummeriert, dass möglichst niedrige Nummern auftreten. (Die niedrigste Nummer erkennt man durch einen Vergleich der verschiedenen möglichen Nummerierungen: Man vergleicht die verschiedenen möglichen Nummerierungen unabhängig von der Art der Substituenten Zahl für Zahl und sieht diejenige Nummerierung als die niedrigste an, bei der die erste unterschiedliche Zahl kleiner ist.)

| | | | |
|---|----|---------------|---------------------------------------|
| → | a) | 1 2 3 3 4 8 8 | höhere Nummer, obwohl kleinere Summe! |
| ← | b) | 1 1 5 6 6 7 8 | <u>niedrigere Nummer!</u> |

also: 8-Brom-1,1-dichlor-5-ethyl-6,6,7-trimethyloctan
(nicht: 1-Brom-8,8-dichlor-4-ethyl-2,3,3-trimethyloctan)

3.6 Eigenschaften und Reaktionen der Alkane

Aggregatzustand (bei Zimmertemperatur) und Geruch:

| | |
|------------------------------------|---|
| C ₁ bis C ₄ | gasförmig; geruchlos |
| C ₅ bis C ₁₆ | flüssig; bei kleiner Molekülmasse benzinartiger Geruch, bei größerer Molekülmasse geruchlos |
| C ₁₇ bis ... | fest; geruchlos |

Löslichkeit:

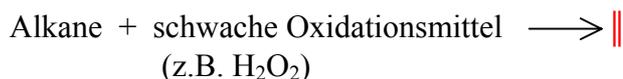
Versuch 1: Pentan und Kerzenwachs (Paraffin) in Wasser

Versuch 2: Pentan und Kerzenwachs in Benzin

Beobachtung: Die Alkane sind in Wasser unlöslich, sie lösen sich aber in Benzin (und benzinähnlichen Lösemitteln).

Alkane sind hydrophob („wassermeidend“) = lipophil („fettliebend“). [Gegenbegriffe sind hydrophil = lipophob.]

Reaktionen:



Alkane sind sehr reaktionsträge. Nur durch sehr starke Oxidationsmittel, z.B. heiße Chromschwefelsäure (Kaliumdichromat = K₂Cr₂O₇ gelöst in konzentrierter Schwefelsäure), werden sie oxidiert. Mit Sauerstoff verbrennen Alkane zu Wasser und Kohlenstoffdioxid (bzw. bei ungenügender Sauerstoffzufuhr zu Wasser und Kohlenstoffmonooxid).

Reaktionen mit Halogenen (Cl₂, Br₂):

Versuch: Reaktion von Brom (gelöst in Tetrachlormethan) mit Cyclohexan

(Anmerkung: Die ringförmigen Cycloalkane (allgemeine Formel C_nH_{2n}) zeigen das gleiche chemische Verhalten wie die kettenförmigen („aliphatischen“) Alkane. In unserem Versuch wird Cyclohexan statt Hexan wegen der höheren Reinheit des Cyclohexans verwendet.)

Beobachtungen:

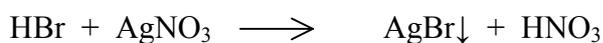
- im Licht allmähliche Entfärbung unter Bildung von Dämpfen
- durch die Dämpfe Rötung von feuchtem blauem Lackmuspapier
- Bildung eines gelbweißen Niederschlags bei Kontakt der Dämpfe mit Silbernitratlösung

Deutung: Es bildet sich Bromwasserstoff; Wasserstoffatome des Cyclohexans werden durch Brom ersetzt (substituiert).

Reaktionsgleichung:

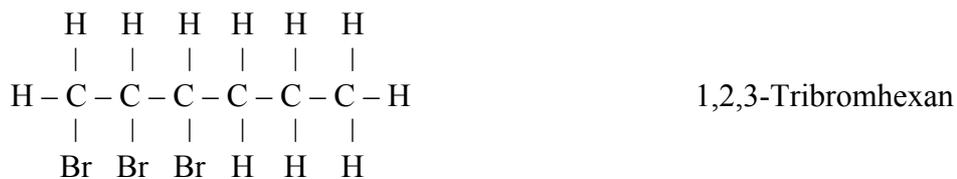
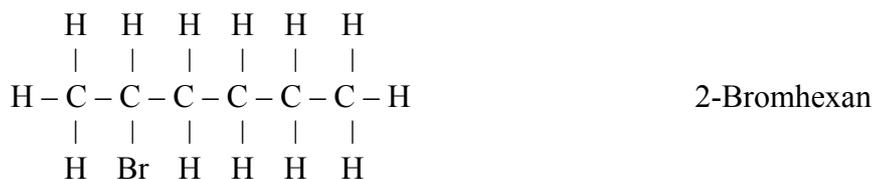
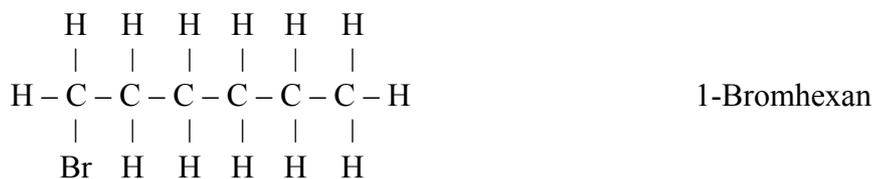


Nachweisreaktion für HBr:



Auch bei anderen Cycloalkanen bzw. aliphatischen Alkanen können Wasserstoffatome durch Halogenatome substituiert werden.

Einige mögliche Substitutionsprodukte des Hexans:



Steht genügend Brom zur Verfügung, werden schließlich alle Wasserstoffatome substituiert.

Merke:

Alkane reagieren bei Aufwendung der erforderlichen Aktivierungsenergie (Licht, Wärme) mit Halogenen. Diese Reaktion ist eine Substitutionsreaktion: Wasserstoffatome werden durch Halogenatome ersetzt (substituiert).

Wichtige Halogenderivate der Alkane:

CHCl_3 = Trichlormethan = Chloroform; früher als Narkosemittel verwandt

CCl_4 = Tetrachlormethan = Tetrachlorkohlenstoff; findet in der Technik als nicht feuergefährliches Lösemittel Verwendung

CCl_3F , CCl_2F_2 , CClF_3 , CHCl_2F , $\text{C}_2\text{Br}_2\text{F}_4$ und andere: Sammelbezeichnung Frigen oder Freon; Sicherheitskältemittel und Treibgas für Spraydosens

CBrClF_2 = Bromchlordifluormethan = Halon; Löschgas für Flugzeugtriebwerke, Computeranlagen, Schalträume usw. (hinterlässt keine Rückstände!)

$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ = Chlorethan; sehr leicht flüchtige Flüssigkeit, zur örtlichen Betäubung („Vereisung“)

4 Alkene

4.1 Ethen

Beim Erhitzen von Bromethan entsteht Bromwasserstoff und eine Verbindung der Formel C_2H_4 , das Ethen:

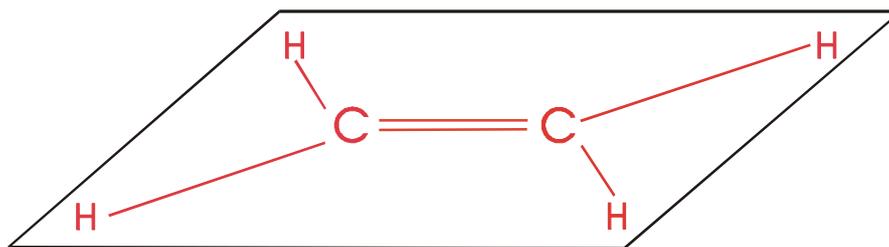


Die Bindungsverhältnisse im Ethenmolekül:

Im Ethenmolekül sind nicht alle Bindungen der beiden Kohlenstoffatome mit Wasserstoffatomen „gesättigt“; das Ethen ist der einfachste Vertreter der ungesättigten Kohlenwasserstoffe. Je Kohlenstoffatom steht im Ethenmolekül - verglichen mit dem Ethanmolekül - noch ein Elektron für eine weitere Bindung zur Verfügung. Diese beiden Elektronen bilden eine zweite Atombindung zwischen den Kohlenstoffatomen.

Gibt es zwischen zwei Atomen zwei Atombindungen, so spricht man von einer Zweifachbindung oder Doppelbindung. Kohlenstoffatome mit einer Zweifachbindung sind durch eine planare Anordnung der Bindungen gekennzeichnet. Der Winkel zwischen den Bindungen beträgt 120° .

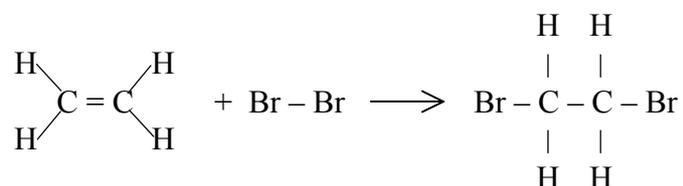
Modell des Ethenmoleküls:



4.3 Eigenschaften der Alkene

Löslichkeiten und Aggregatzustände der Alkene sind ähnlich denen der Alkane. Unterschiede gibt es jedoch im Reaktionsverhalten.

Leitet man Ethen in Bromwasser, so wird das Bromwasser entfärbt:



Die Bromatome werden an die Doppelbindung angelagert: Addition.

Die Entfärbung von Bromwasser ist eine Nachweisreaktion für ungesättigte Kohlenwasserstoffe.

Unterscheide:

Substitution: Ersatz von Wasserstoffatomen durch andere Atome oder Atomgruppen

Addition: Aufspalten und Absättigen von Doppelbindungen
(Sonderfall: Addition von Wasserstoff: Hydrierung)

Die charakteristischen Eigenschaften der Alkene werden durch die C=C-Gruppe bestimmt. Ein Molekülteil mit charakteristischer Reaktionsfähigkeit, wie beispielsweise die C=C-Gruppe, wird in der organischen Chemie als funktionelle Gruppe bezeichnet.

4.4 Ungesättigte Verbindungen in der Natur

Ethen gilt als Pflanzenhormon. Es bewirkt u.a. die Reifung von Früchten. So werden beispielsweise Bananen - aber auch Ananas, Paprika und Tomaten - in nicht ganz reifem Zustand geerntet und nach dem Transport in geschlossenen Lagerräumen mit Ethen begast. Dabei reifen die Früchte nach.

Versuch: **Nachweis von C=C-Doppelbindungen in Molekülen von Speiseöl**

In einem Reagenzglas wird etwas Speiseöl (z.B. Olivenöl) mit Bromwasser versetzt.

Beobachtung: Es tritt Entfärbung des Bromwassers auf.

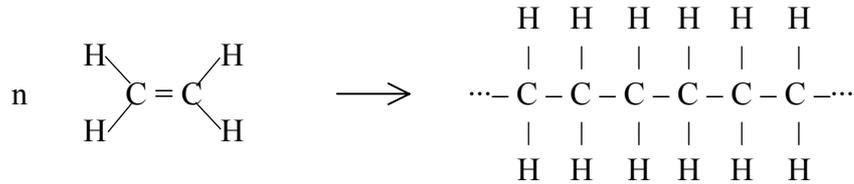
Deutung: Moleküle von Speiseöl enthalten C=C-Doppelbindungen.

Dies erklärt die Angabe auf manchen Sorten von Speiseöl, z.B. „enthält 50 % ungesättigte Fettsäuren“. Fettsäuren sind Bestandteile der Fette und Öle. Öle mit einem hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren sind wahrscheinlich gesünder als solche, die nur gesättigte Fettsäuren enthalten.

Im Gegensatz zu tierischen Fetten enthalten pflanzliche Fette und Öle einen hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren. Bei der Herstellung von Margarine aus pflanzlichen Ölen, wie beispielsweise Sonnenblumenöl, wird an die Moleküle ungesättigter Fettsäuren Wasserstoff addiert. Diese als Fett-härtung bezeichnete Hydrierung erfolgt in Gegenwart von Nickel als Katalysator.

4.5 Vom Alken zum Makromolekül

Unter der Einwirkung von geeigneten Katalysatoren können sich Tausende von Ethenmolekülen zu dem festen Polyethen (= Polyethylen) zusammenlagern. Das Polyethen ist ein Kunststoff, der zur Herstellung von durchsichtigen Folien, plastischem Geschirr usw. Verwendung findet (durchsichtig, sehr widerstandsfähig gegen Chemikalien).



Die bei der Reaktion entstehenden riesigen Moleküle (Molekülmasse bis zu mehreren Millionen u) heißen Makromoleküle.

Eine Reaktion, bei der Makromoleküle durch Aufspalten von C=C-Doppelbindungen entstehen, heißt Polymerisation. Die Ausgangsmoleküle einer Polymerisation heißen Monomere, die makromolekularen Produkte heißen Polymere.

Die Polymerisation ist ein wichtiges Verfahren zur Herstellung von Kunststoffen. Bedeutende Monomere und die daraus gewonnenen Polymere für die Kunststoffherstellung sind:

| Monomer | Polymer |
|---------------------------|---------------------------|
| Ethen (Ethylen) | Polyethen (Polyethylen) |
| Propen (Propylen) | Polypropen (Polypropylen) |
| Chlorethen (Vinylchlorid) | Polyvinylchlorid |
| Tetrafluorethen | Polytetrafluorethen |
| Styrol | Polystyrol |
| Acrylnitril | Polyacrylnitril |

Polymerisationsprodukte: Kunststoffe

| Monomer | Polymer | Kunststoff |
|--|--|-------------------------------|
| $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \diagdown \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$ | $\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & \\ -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}- \\ & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$ | Polyethen (PE) |
| $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \diagdown \\ \text{H} & & \text{CH}_3 \end{array}$ | $\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & \\ -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}- \\ & & & \\ \text{H} & \text{CH}_3 & \text{H} & \text{CH}_3 \end{array}$ | Polypropen (PP) |
| $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \diagdown \\ \text{H} & & \text{Cl} \end{array}$ | $\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & \\ -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}- \\ & & & \\ \text{H} & \text{Cl} & \text{H} & \text{Cl} \end{array}$ | Polyvinylchlorid (PVC) |
| $\begin{array}{c} \text{F} & & \text{F} \\ & \diagdown & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \diagdown \\ \text{F} & & \text{F} \end{array}$ | $\begin{array}{cccc} \text{F} & \text{F} & \text{F} & \text{F} \\ & & & \\ -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}- \\ & & & \\ \text{F} & \text{F} & \text{F} & \text{F} \end{array}$ | Polytetrafluorethen (PTFE) |
| $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \diagdown \\ \text{H} & & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ | $\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & \\ -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}- \\ & & & \\ \text{H} & \text{C}_6\text{H}_5 & \text{H} & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ | Polystyrol (PS) |
| $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \diagdown \\ \text{H} & & \text{CN} \end{array}$ | $\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & \\ -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}- \\ & & & \\ \text{H} & \text{CN} & \text{H} & \text{CN} \end{array}$ | Polyacrylnitril (PAN) |

Verwendung von Polymerisationsprodukten:

| Kunststoff | Verwendung | Handelsnamen |
|-------------------------------|--|---|
| Polyethen (PE) | Folien, Tragetaschen, Flaschenkästen, Eimer, Mülltonnen, Körbe, Kabelisolierungen | Hostalen [®] Lupolen [®] Baylon [®] |
| Polypropen (PP) | Gehäuse für elektrische Haushaltsgeräte, KFZ-Teile, Folien (Jeder ICE-Triebkopf be- sitzt 108 Kondensatoren, zu deren Herstellung 70.000 m ² PP-Folien be- nötigt werden.) | Hostalen PP [®] Novolen [®] Trespaphan [®] (von der Firma Hoechst in Wellesweiler) |
| Polyvinylchlorid (PVC) | Fußbodenbeläge, Kunstleder, Schallplatten, Abwasserrohre, Folien | Hostalit [®] Vinoflex [®] Vinidur [®] Vestolit [®] |
| Polytetrafluorethen (PTFE) | Beschichtung von Brat- pfannen, wartungsfreie Lager | Hostaflon [®] Teflon [®] |
| Polystyrol (PS) | Verpackungen für Le- bensmittel, Material zur Wärme- dämmung | Hostyren [®] Luran [®] Styropor [®] |
| Polyacrylnitril (PAN) | Synthesefasern (Ersatz für Wolle: Socken, Pullo- ver usw.) | Dralon [®] |

[®] bedeutet: geschütztes Warenzeichen (registered trade mark)

4.6 Kunststoffverbrauch - ein Müll-Problem

Nach Angaben des Verbands Kunststoffherstellende Industrie betrug im Jahre 1999 die Kunststoffproduktion in Deutschland 14,1 Millionen t (einbezogen Klebstoffe, Lacke und Harze), davon 2,3 Millionen t Polyethen, 1,6 Millionen t PVC und 1,4 Millionen t Polypropen. Im gleichen Jahr betrug der Verbrauch an Kunststoffen (Bau, Verpackung, Auto, Elektro usw.) in Deutschland 10,2 Millionen t. Das entspricht einem Pro-Kopf-Verbrauch von 124,1 kg.

Weil die Kunststoffe relativ verrottungsfest sind, belasten sie die immer kleiner werdenden Depo- nierräume in zunehmendem Maße. Das Verbrennen von Kunststoffmüll ist nur scheinbar eine Lö- sung, weil dabei giftige Gase entstehen, die die Umwelt in erheblichem Maße belasten können.

Die größten Schwierigkeiten beim Kunststoffrecycling bereitet das Sortenproblem. Im Hausmüll befinden sich Kunststoffe der unterschiedlichsten Art und Zusammensetzung. Ein Recycling in ei- nem einzigen Prozess ist nicht möglich.

Kunststoffmüll kann auf Grund der unterschiedlichen Dichte in verschiedene Fraktionen getrennt werden:

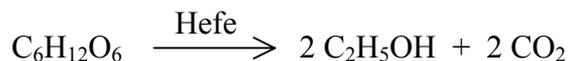
| | |
|------------|--|
| Polyethen | (0,91 g·cm ⁻³ bis 0,95 g·cm ⁻³) |
| Polystyrol | (1,03 g·cm ⁻³) |
| PVC | (1,23 g·cm ⁻³ bis 1,38 g·cm ⁻³) |

Die Trennung erfolgt in Salzwasser durch Ausnutzung der unterschiedlichen Sinkgeschwindigkeit.

5 Alkohole

5.1 Alkoholische Gärung

Bei der Herstellung von Wein wird der in dem Obst enthaltene Traubenzucker durch Hefe zu Alko- hol umgesetzt. Außerdem entsteht dabei Kohlenstoffdioxid:



Bei der Gärung kann ein Alkoholgehalt von etwa 16 % nicht überschritten werden, da ein zu hoher Alkoholgehalt die Hefe schädigt. Alkoholische Getränke mit einem höheren Alkoholgehalt können daher nur durch Destillation hergestellt werden.

5.2 Homologe Reihe der Alkanole

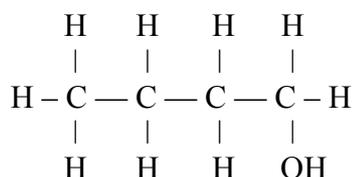
| | |
|-------------------------------------|----------|
| CH ₃ OH | Methanol |
| C ₂ H ₅ OH | Ethanol |
| C ₃ H ₇ OH | Propanol |
| C ₄ H ₉ OH | Butanol |
| C _n H _{2n+1} OH | Alkanole |

funktionelle Gruppe der Alkanole:

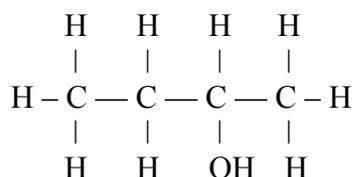


5.3 Einteilung der Alkanole

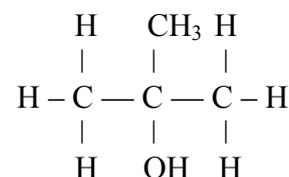
Je nach Stellung der OH-Gruppe im Alkoholmolekül unterscheidet man zwischen primären, sekundären und tertiären Alkoholen.



1-Butanol
primärer Alkohol

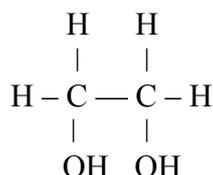


2-Butanol
sekundärer Alkohol

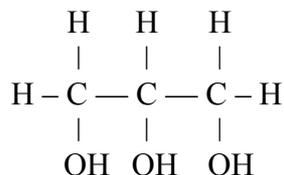


2-Methyl-2-propanol
tertiärer Alkohol

Es gibt auch Alkohole mit mehr als einer OH-Gruppe. Alkohole mit zwei OH-Gruppen heißen zweiwertige Alkohole. Der einfachste Vertreter dieser Stoffgruppe ist das Glykol (Ethandiol):



Dreiwertige Alkohole besitzen drei OH-Gruppen im Molekül. Der einfachste dreiwertige Alkohol ist das Glycerin (Propantriol):



In den Molekülen mehrwertiger Alkohole kann in der Regel jedes Kohlenstoffatom nur eine OH-Gruppe tragen (Erlenmeyer-Regel).

5.4 Eigenschaften der Alkanole

Im Gegensatz zu den wässrigen Lösungen von Hydroxiden (z.B. Natronlauge) zeigen Alkanole keine alkalische Reaktion und keine elektrische Leitfähigkeit. Während die Hydroxide Ionenverbindungen sind, wird die Bindung zwischen der Hydroxylgruppe und dem Kohlenstoffatom durch ein gemeinsames Elektronenpaar bewirkt (Atombindung).

Löslichkeit:

Methanol, Ethanol und Propanol sind in jedem Verhältnis mit Wasser mischbar. Die höheren Alkanole sind schlechter in Wasser löslich. Während sich in 100 g Wasser 8 g 1-Butanol lösen, sind es beim 1-Pentanol nur 2 g. 1-Hexanol ist in Wasser praktisch unlöslich.

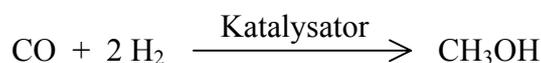
Da Alkane und Alkene in Wasser unlöslich sind, kann man annehmen, dass bei den Alkanolen die OH-Gruppe für die Löslichkeit dieser Stoffe verantwortlich ist. In der homologen Reihe der Alkanole wird die Abnahme der Löslichkeit durch den immer länger werdenden Alkylrest verursacht. (Für die Löslichkeit von Stoffen gilt häufig: *Similia similibus solvuntur*: „Gleiches“ löst sich in „Gleichem“.)

Schmelz- und Siedetemperaturen:

Im Vergleich mit den Kohlenwasserstoffen gleicher Kettenlänge oder gleicher molarer Masse besitzen die Alkanole relativ hohe Schmelz- und Siedetemperaturen.

5.5 Herstellung und Verwendung der Alkanole

Methanol lässt sich aus Synthesegas (Gemisch aus Kohlenstoffmonooxid und Wasserstoff) herstellen:



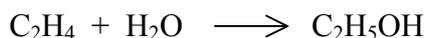
Reaktionsbedingungen: 400 °C; 200 bar; ZnO/Cr₂O₃ als Katalysator
oder: 270 °C; 50 bar; aktivierter Kupferoxid-Katalysator

Methanol findet u.a. Verwendung als Treibstoffzusatz, als Lösemittel, zur Herstellung von Farbstoffen und in der Kunststoffproduktion.

Methanol hat eine berauschende Wirkung, aber schon der Genuss geringer Mengen kann zu Verdauungsstörungen, Erblindung oder zu einem qualvollen Tod führen.

MAK-Wert (maximale Arbeitsplatzkonzentration für 8 Stunden am Tag): 260 mg·m⁻³
Letaldosis: 30 ml oral

Ethanol kann durch Vergärung von Kohlenhydraten gewonnen werden (vergl. S.17!). Eine weitere Methode zur Gewinnung von Ethanol ist die Addition von Wasser an Ethen:



Ein beträchtlicher Anteil des Ethanols wird in der Getränkeindustrie umgesetzt. Ferner findet Ethanol Verwendung als Lösemittel, als Motorentreibstoff (meist als Beimischung zum Benzin) und als Ausgangsstoff für viele organische Verbindungen.

(Merke: Brennspiritus ist Ethanol, das aus Steuergründen mit einem „Vergällungsmittel“ - z.B. Pyridin - versetzt worden ist.)

Ethandiol (Glykol) wird z.B. unter der Warenbezeichnung Glysantin[®] als Frostschutzmittel für Motorenkühler und als Enteisungsmittel für Flugzeuge verwendet.

Propantriol (Glycerin) ist eine süß schmeckende, sirupartige, hygroskopische Flüssigkeit. Propantriol dient zur Herstellung von Stempelfarbe, Frostschutzmitteln (z.B. in Gasuhren), Hautpflegemitteln sowie zur Herstellung von Dynamit.

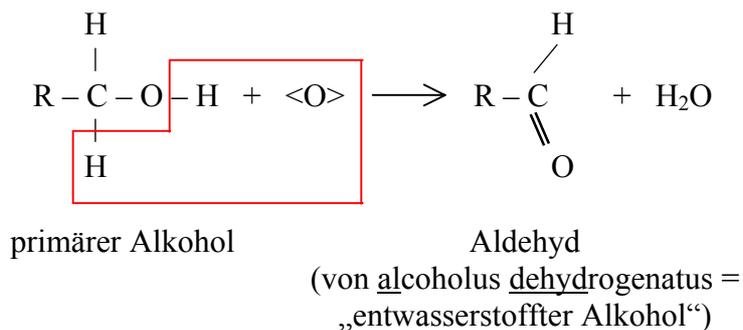
Hexanhexaol (Sorbit) findet als Zuckerersatz für Diabetiker Verwendung.

6 Carbonylverbindungen

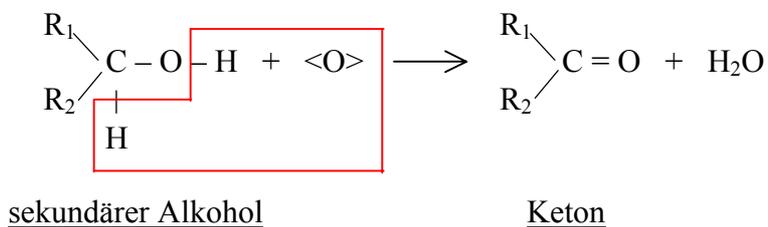
6.1 Aldehyde und Ketone

Versuch: Taucht man ein erhitztes Kupferdrahtnetz (schwarzes CuO!) in Methanol, so entsteht blankes Kupfer und ein stechend riechendes Gas.

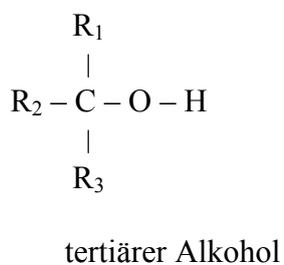
Einwirkung von „milden“ Oxidationsmitteln auf Alkohole:



Durch die milde Oxidation von Methanol und von primären Alkoholen entstehen die Aldehyde = Alkanale, z.B. **Methanal** (= **Formaldehyd**) und **Ethanal** (= **Acetaldehyd**).

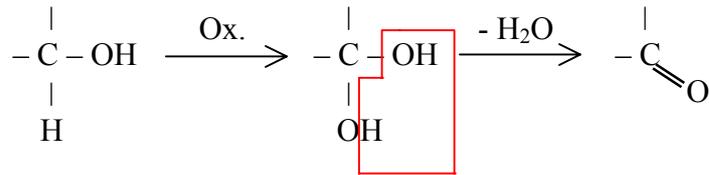


Durch die milde Oxidation von sekundären Alkoholen entstehen die Ketone = Alkanone, z.B. **Propanon** (= **Aceton**).

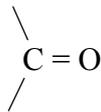


auch gegen mittelstarke Oxidationsmittel beständig
(Bei Oxidation mit starken Oxidationsmitteln erfolgt eine Spaltung der Kohlenstoffatomkette!)

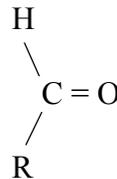
Formal kann man davon ausgehen, dass bei der Oxidation von primären und sekundären Alkanolen zuerst Dirole entstehen, die sich dann durch Abspaltung von Wasser stabilisieren (Erlenmeyer-Regel!):



Aldehyde und Ketone besitzen in ihren Molekülen die funktionelle Gruppe C=O, die Carbonylgruppe:

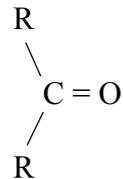


Carbonylgruppe



Aldehyd

(Sonderfall: R = H beim Methanal)



Keton

Nomenklatur der Aldehyde und Ketone

Aldehyde benennt man durch Anhängen der Silbe -al an den Namen des entsprechenden Kohlenwasserstoffs.

Ketone benennt man durch Anhängen der Silbe -on an den Namen des entsprechenden Kohlenwasserstoffs.

Eigenschaften von Aldehyden und Ketonen

Außer Methanal, das bei Zimmertemperatur gasförmig ist, sind die niederen Aldehyde und Ketone farblose Flüssigkeiten mit intensivem Geruch.

Aldehyde und Ketone sind in Wasser gut löslich. Die wässrige Lösung von Methanal kommt unter der Bezeichnung **Formalin** oder **Formol** in den Handel.

Alle Aldehyde sind sehr reaktionsfähig. Sie lassen sich leicht oxidieren und reduzieren.

Verwendung von Aldehyden und Ketonen:

Methanal (Formaldehyd) ist ein wichtiger Grundstoff zur Herstellung von Kunststoffen, Lacken und Leimen. Formalin dient zur Aufbewahrung medizinischer Präparate, zur Desinfektion von Wohnräumen und zur Konservierung, z.B. von Kosmetika.

Propanon (Aceton) ist mit Wasser, Benzin und Alkohol in jedem Verhältnis mischbar und findet deshalb als Lösemittel Verwendung.

Nachweis von Aldehyden:

Aldehyde werden durch die Fehling-Probe nachgewiesen.

Versuch:

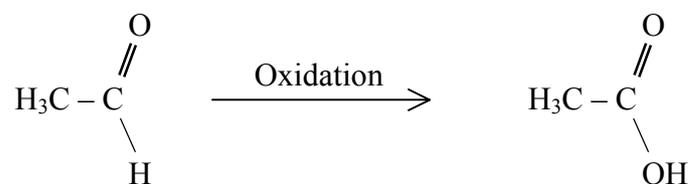
Fehling A: Lösung von CuSO₄

Fehling B: Lösung von NaOH + „Seignettesalz“ (K-Na-Salz der Weinsäure; benannt nach seinem Entdecker, dem französischen Apotheker Jehan Seignette, 1660-1719)

Beim Zusammengeben der beiden Lösungen entsteht eine tiefblaue Verbindung, die beim Kochen mit einigen Tropfen eines Aldehyds einen ziegelroten Niederschlag von Kupfer(I)-oxid Cu₂O liefert. (Mit Ketonen erfolgt keine Reaktion!)

6.2 Carbonsäuren

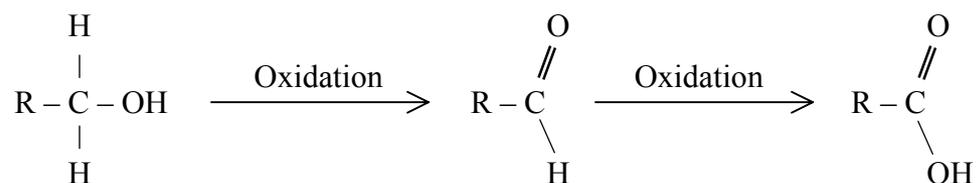
Aldehyde werden von mittelstarken Oxidationsmitteln (z.B. Kaliumdichromat K₂Cr₂O₇) zu Carbonsäuren oxidiert:



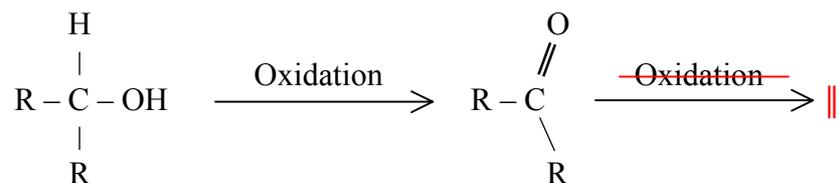
Ketone werden von mittelstarken Oxidationsmitteln nicht oxidiert.

Zusammenfassung

Die Oxidation von primären Alkanolen führt über die **Aldehyde** zu den **Carbonsäuren**:



Die Oxidation von sekundären Alkanolen führt zu den **Ketonen**:



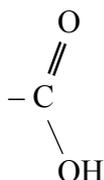
Tertiäre Alkanole lassen sich nicht oxidieren. (Bei Verwendung starker Oxidationsmittel erfolgt eine Spaltung der Kohlenstoffatomkette.)

Formeln, Nomenklatur und Eigenschaften der Carbonsäuren

Carbonsäuren werden durch Anhängen der Endung -säure an den Namen des entsprechenden Kohlenwasserstoffs benannt.

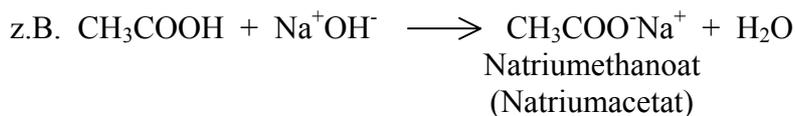
| | | |
|--|-------------|----------------|
| HCOOH | Methansäure | (Ameisensäure) |
| CH ₃ COOH | Ethansäure | (Essigsäure) |
| CH ₃ CH ₂ COOH | Propansäure | (Propionsäure) |
| CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH | Butansäure | (Buttersäure) |
| CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH | Pentansäure | |

Die funktionelle Gruppe der Carbonsäuren ist die Carboxylgruppe:



Kurzschreibweise: -COOH

Die Carbonsäuren sind schwache Säuren. Die ersten Glieder sind Flüssigkeiten und mit Wasser in jedem Verhältnis mischbar. Sie reagieren mit Laugen durch Neutralisation unter Bildung von Salzen:



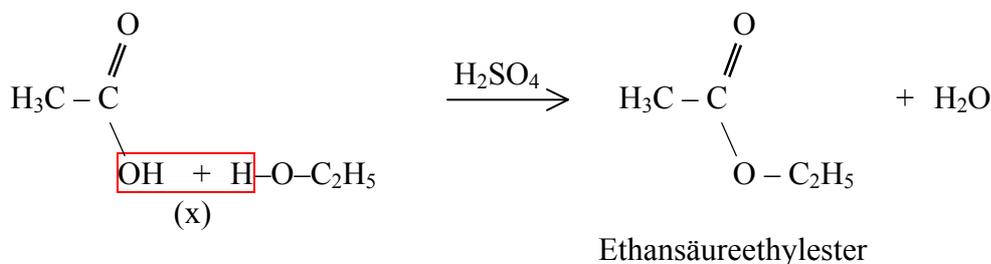
Vorkommen der Carbonsäuren

Methansäure (Ameisensäure) findet man u.a. im Gift der Ameisen und in den Brennhaaren der Brennesseln.

Haushaltessig oder Speiseessig ist eine 5 %ige wässrige Lösung von Essigsäure. Essigessenz ist meist eine 30 %ige Lösung von Essigsäure, eine gefährliche Haushaltschemikalie. Sie führte schon häufig bei Kindern, die davon trinken wollten, zu lebensbedrohlichen Verätzungen. Im Stoffwechsel aller Lebewesen spielt Essigsäure eine wichtige Rolle.

Einige Carbonsäuren mit längerer Kohlenstoffatom-Kette sind Bestandteile der Fette.

6.3 Ester



(x) = nachgewiesen durch Markierung mit ¹⁸O

Versuch: Etwas Speiseöl wird mit Brom versetzt und geschüttelt. Ebenso wird mit Mineralöl (z.B. flüssigem Paraffin) verfahren.

Beobachtung: Beim Schütteln des Speiseöls mit Brom verschwindet die braune Farbe des Broms, beim Schütteln des Mineralöls mit Brom bleibt die braune Farbe des Broms erhalten.

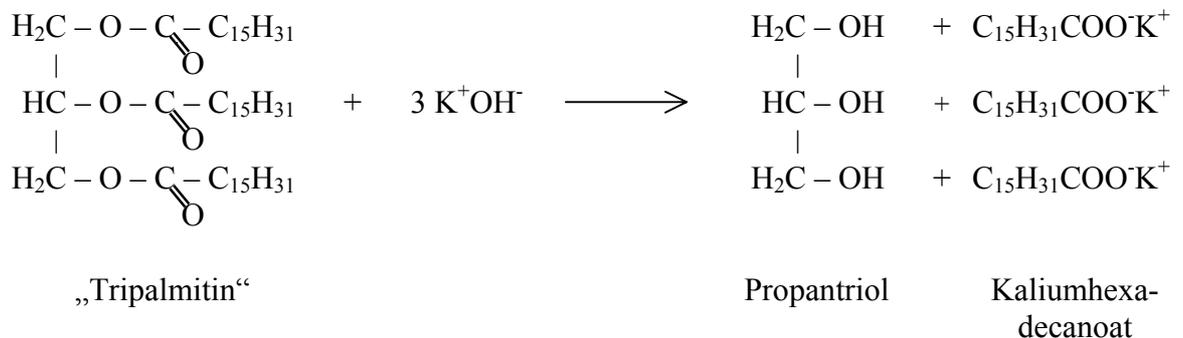
Erklärung: Öle pflanzlicher oder tierischer Herkunft enthalten immer ungesättigte Fettsäuren. - Mineralöle sind dagegen keine Ester, sondern Alkane oder Gemische von Alkanen, d.h. sie enthalten keine ungesättigten Verbindungen.

Alle Lebewesen enthalten als körpereigene Stoffe Fette und Öle. Viele Organismen speichern Fette wegen ihres hohen Energiegehaltes als Reservestoffe.

Fette bzw. Öle gewinnt man aus den Samen bzw. Früchten verschiedener Pflanzen (z.B. Kokos- und Ölpalme, Olive, Erdnuss, Sojabohne, Raps, Sonnenblume, Baumwolle) und aus dem Depotfett von Schlachttieren.

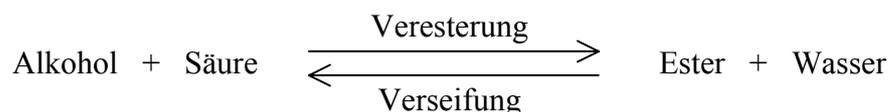
Fette können durch Wasser wieder in Propantriol und Fettsäuren gespalten werden. Kocht man Fette mit Kalilauge oder Natronlauge, so erhält man die Kalium- oder Natriumsalze der Fettsäuren, die als Seifen bezeichnet werden.

Kaliumsalze der Fettsäuren: **Schmierseifen**
Natriumsalze der Fettsäuren: **Kernseifen**



In der Chemie bezeichnet man jede Esterspaltung als Verseifung.

allgemeines Reaktionsschema für Veresterung und Verseifung:



Hinweis: Zu den Fetten (Lipiden) gehören auch fettähnliche Verbindungen, die als Lipoide bezeichnet werden. Wichtige Vertreter der Lipoide sind z.B. das vor allem im Nervengewebe enthaltene Lecithin, die Carotinoide (z.B. β -Carotin = Provitamin A), das Vitamin D, das Nebennierenrindenhormon Cortison und die Sexualhormone (z.B. Testosteron, Follikelhormone = Östrogene und Gelbkörperhormone = Gestagene).

8 Kohlenhydrate

8.1 Name und Einteilung der Kohlenhydrate

Kohlenhydrate sind von tierischen oder pflanzlichen Organismen gebildete Zucker bzw. zuckerartige Verbindungen. Bereits im 19. Jahrhundert ergaben Analysen für einige dieser Verbindungen die allgemeine Summenformel $C_m(H_2O)_n$. Auf Grund dieser Summenformel hielt man diese Verbindungen für Hydrate des Kohlenstoffs und bezeichnete sie als Kohlenhydrate. Wir wissen allerdings heute, dass diese Annahme nicht zutrifft. Dennoch wurde der Name „Kohlenhydrate“ für diese Verbindungsklasse beibehalten.

Manche Kohlenhydrate sind Makromoleküle, die aus einer großen Anzahl von Monomeren aufgebaut sind. Die Monomeren sind Einfachzucker = Monosaccharide (saccharys, gr. = süß). Bestehen zusammengesetzte Zucker aus 2 bis 8 Monosaccharidmolekülen, so spricht man von Oligosacchariden. Ein Spezialfall der Oligosaccharide sind die aus 2 Monosaccharidmolekülen aufgebauten Disaccharide. Alle Zucker, deren Moleküle aus mehr als 8 Monomeren gebildet werden, nennt man Polysaccharide.

Beispiele:

| | |
|------------------------|--|
| <u>Monosaccharide:</u> | Glucose (Traubenzucker) Fructose (Fruchtzucker) |
| <u>Disaccharide:</u> | Saccharose (Rohrzucker = Rübenzucker) |
| <u>Polysaccharide:</u> | Stärke Cellulose |

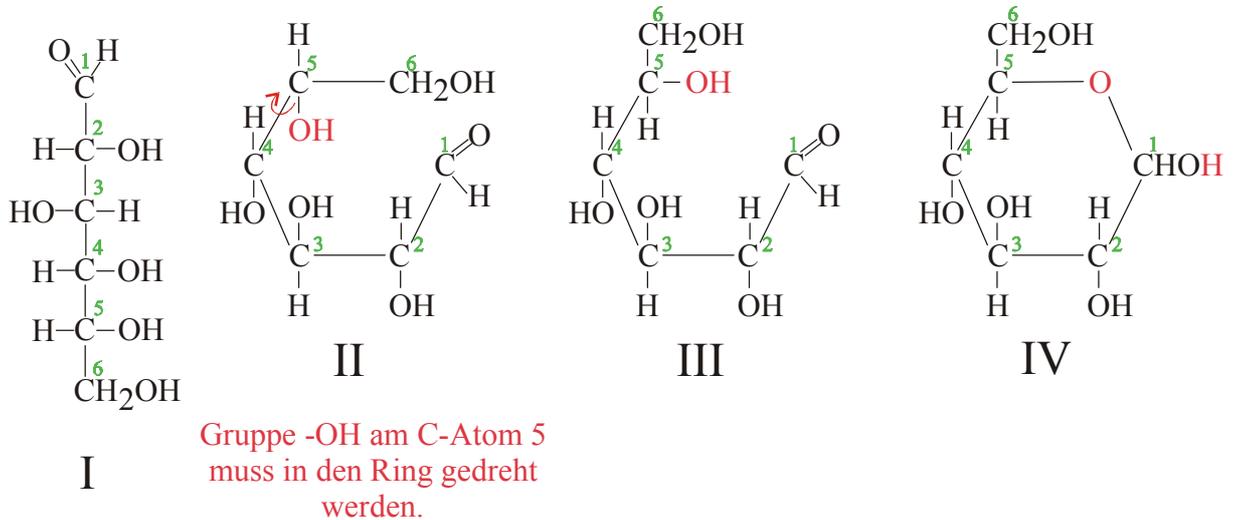
8.2 Glucose und Fructose

Glucose (gleukos, gr. = Most, süßer Wein) findet sich vor allem in süßen Früchten, im Honig und in geringer Menge im Blut der Wirbeltiere (Mensch: ca. 100 mg Glucose in 100 ml Blutplasma).

Glucose hat die Summenformel $C_6H_{12}O_6$. Die Verbindung löst sich gut in Wasser, aber nicht in Benzin. Glucose ist ein weißer Feststoff mit relativ hoher Schmelztemperatur (etwa 150 °C). Durch Reduktion entsteht aus Glucose n-Hexan, d.h. im Glucosemolekül bilden 6 Kohlenstoffatome eine unverzweigte Kette. Die gute Wasserlöslichkeit und der süße Geschmack erinnern an die Eigenschaften von Glycerin. Diese Eigenschaften lassen auf das Vorhandensein von mehreren OH-Gruppen schließen. Glucose reduziert Fehling-Lösung, ist also ein Aldehyd.

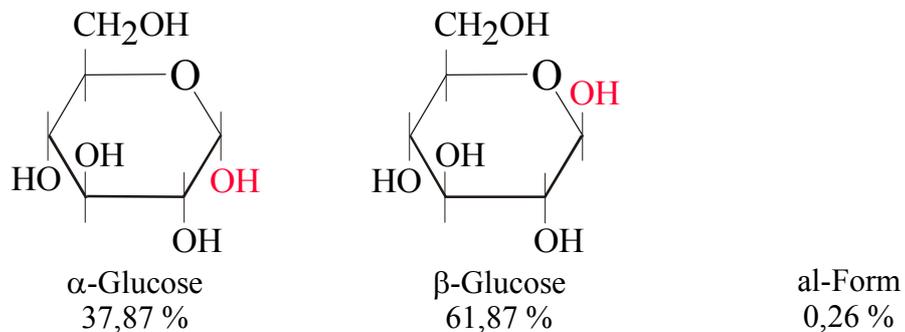
Glucose zeigt allerdings nicht alle für Aldehyde typischen Reaktionen, d.h. die Carbonylgruppe ist in ihrer Reaktionsfähigkeit blockiert. Die Ursache hierfür ist die innermolekulare Reaktion der Hydroxylgruppe des C-Atoms 5 mit der Carbonylgruppe, wobei eine Sauerstoffbrücke entsteht.

Überführung der offenkettigen Formel in die Ringformel („Haworth-Formel“):



Steht die Hydroxylgruppe am C-Atom 1 der Haworth-Formel nach unten, so spricht man von α -Glucose, steht sie nach oben, von β -Glucose.

vereinfachte Haworth-Formeln der Glucose:



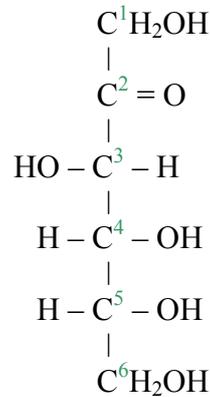
Nachweisreaktion auf Glucose:

Der Nachweis der Glucose erfolgt mit Glucose-Teststäbchen.

(Die Fehling-Probe ist für Glucose nicht spezifisch, da diese Probe nur ein allgemeiner Nachweis für Aldehyde ist. Der Nachweis mit Glucose-Teststäbchen hingegen ist ein spezifischer, biochemischer Nachweis.)

Fructose besitzt die gleiche Summenformel wie Glucose, ist aber keine „Aldose“, sondern eine „Ketose“. Sie kommt in vielen Früchten und im Honig vor und ist Bestandteil des Disaccharids Saccharose. Fructose schmeckt süßer als Glucose und Saccharose. Sie wird daher oft zum Süßen von Lebensmitteln und Arzneistoffen verwandt.

offenkettige Formel der Fructose:

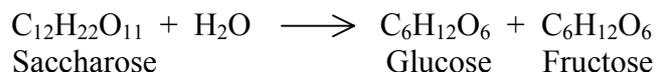


Die Fructose kann ebenso wie die Glucose nicht nur in der offenkettigen Form, sondern auch in Ringform auftreten.

Hinweis: Glucose-Teststäbchen zeigen in Fructoselösung keine Farbänderung. Sie sind ein spezifisches Reagenz auf Glucose!

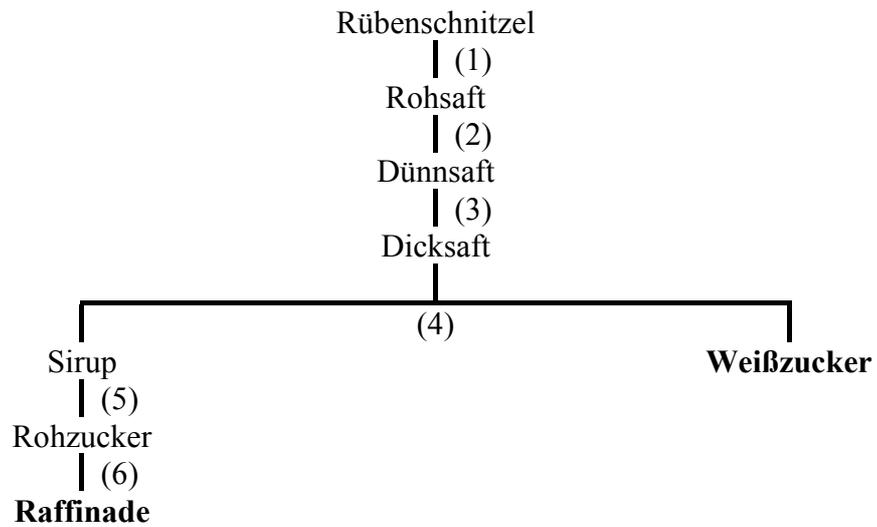
8.3 Saccharose

Saccharose ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) findet sich vor allem im Zuckerrohr, in der Zuckerrübe und in vielen Früchten. Durch Kochen mit verdünnten Säuren lässt sich Saccharose in Glucose und Fructose spalten (Hydrolyse!).



Hinweis: Unter Hydrolyse versteht man in der organischen Chemie die Spaltung einer Atombindung unter Aufnahme von Wasser (genauer: der Bestandteile des Wassers H- und -OH). Jährlich werden weltweit etwa 80 Millionen Tonnen Saccharose produziert. Zurzeit stammen 60 % der Weltzuckererzeugung aus dem Zuckerrohr (Zuckergehalt 10 bis 14 %) und 40 % aus der Zuckerrübe (Zuckergehalt im Durchschnitt etwa 16 %, Spitzenwerte über 20 %).

Gewinnung von Zucker aus Zuckerrüben:



- (1) Extraktion mit heißem Wasser
- (2) Reinigung mit Kalkmilch; überschüssiges $\text{Ca}(\text{OH})_2$ durch Einleiten von CO_2 ausgefällt; Filtration
- (3) Eindampfen
- (4) Kristallisation bei 65 bis 80 °C und vermindertem Druck; Abzentrifugieren der Kristalle; Waschen der Zuckerkörner mit heißem Wasser oder Dampf
- (5) Eindampfen
- (6) Auflösen des Rohzuckers (evtl. zusammen mit Weißzucker); Filtration; Entfärbung; Kristallisation

8.4 Stärke und Cellulose

In den Polysacchariden sind zahlreiche Monosaccharidmoleküle unter Austritt von Wassermolekülen zu einem Makromolekül verbunden:



| | Vorkommen und biolog. Bedeutung | Anzahl der Monomeren und räumliche Struktur | |
|------------------------|--|---|---|
| Stärke (Amylum) | wichtigster Reservestoff der grünen Pflanzen; abgelagert in den Leukoplasten der Zelle | Amylose (Inneres der Stärkekörner) (n = 250 - 500) | Spiralen |
| | | Amylopektin (Hüllschicht der Stärkekörner) (n > 2.000) | verzweigte Spiralen |
| Cellulose | wichtigster Gerüstbaustoff pflanzlicher Zellwände und Hauptbestandteil des Holzes | (n > 10.000) | unverzweigte, nicht spiralisierte Fäden |

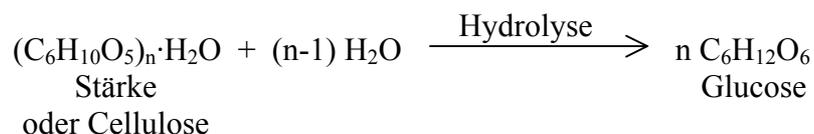
Da Polysaccharide in kaltem Wasser unlöslich sind, bewirkt die in pflanzlichen Zellen gespeicherte Stärke keine Erhöhung des osmotischen Druckes in den Zellen.

Für die menschliche Ernährung ist vor allem die in den Kartoffeln und in den Getreidearten enthaltene Stärke von großer Bedeutung.

Cellulose kann von den meisten Organismen nicht direkt als Nahrung verwertet werden, da ihnen die cellulosespaltenden Enzyme fehlen. Solche Enzyme finden sich lediglich bei einigen Arten von Mikroorganismen und holzerstörenden Pilzen. Wiederkäuer leben in Symbiose mit Mikroorganismen, die im Pansen der Wiederkäuer Cellulose abbauen können.

Während in der Stärke α -Glucosemoleküle miteinander verknüpft sind, ist die Cellulose aus β -Glucose-Molekülen aufgebaut.

Durch Kochen mit einer Säure lässt sich sowohl die Stärke als auch die Cellulose in Glucose spalten:



Nachweis von Stärke: Blaufärbung durch „Iod-Kaliumiodid-Lösung“ (I₂ gelöst in KI-Lösung)
(Lugolsche Lösung: 1 g I₂ + 2 g KI + 97 g Wasser)

9 Aminosäuren und Eiweißstoffe

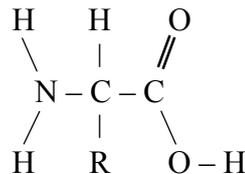
9.1 Vorkommen und Bedeutung der Aminosäuren

Freie Aminosäuren sind in allen tierischen und pflanzlichen Geweben und Körpersäften zu finden. In erster Linie dienen sie als Bausteine für die Eiweißbiosynthese. Da die Aminosäuren im Stoffwechsel in vielfacher Weise verändert werden können, stellen sie wichtige Stufen für die Synthese anderer körpereigener Stoffe dar.

Die meisten Aminosäuren sind gut wasserlöslich. Von den über 100 aus Organismen isolierten Aminosäuren kommen nur 20 regelmäßig als Eiweißbestandteile vor. Diese sind ohne Ausnahme 2-Aminoalkansäuren (alte Bezeichnung: α -Aminosäuren).

Der menschliche Organismus ist in der Lage, 12 der zur Eiweißsynthese benötigten Aminosäuren selbst aufzubauen. Die restlichen 8 Aminosäuren müssen mit der Nahrung aufgenommen werden. Man bezeichnet sie als essentielle Aminosäuren.

9.2 Allgemeiner Aufbau der Aminosäuren



Aminogruppe

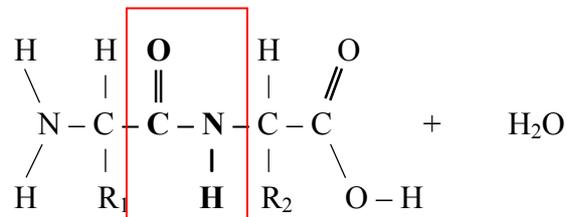
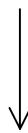
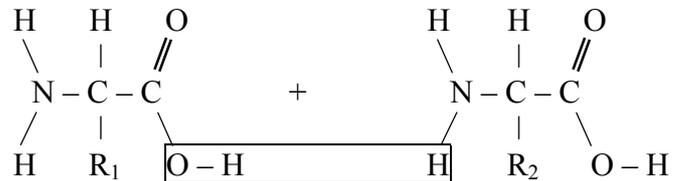
Carboxylgruppe

Beispiele für biologisch wichtige Aminosäuren:

| Name | Kurzzeichen | Formel |
|---------------------------------------|-------------|---|
| Glycin (Aminoethansäure) | Gly | $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_2\text{N} - \text{C} - \text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$ |
| Alanin (2-Aminopropansäure) | Ala | $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_2\text{N} - \text{C} - \text{COOH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ |

9.3 Eiweißstoffe (Peptide)

Die Carboxylgruppe einer Aminosäure kann mit der Aminogruppe einer zweiten Aminosäure verknüpft werden. Die so entstehende Verbindung bezeichnet man als Dipeptid und die geknüpfte Bindung als Peptidbindung.



**Peptidgruppe
mit
Peptidbindung**

Verknüpfungsprodukte:

2 bis 9 Aminosäuren: **Oligopeptide**

10 bis 100 Aminosäuren: **Polypeptide**

über 100 Aminosäuren: **Makropeptide = Proteine**

Eiweißstoffe (Peptide) sind die wichtigsten Baustoffe des pflanzlichen, tierischen und menschlichen Körpers. Der Zellinhalt aller Lebewesen besteht zu einem großen Teil aus Eiweißen oder eiweißartigen Substanzen. Nur Pflanzen können Eiweißstoffe aus anorganischen Verbindungen herstellen; für Tier und Mensch sind sie ein wesentlicher Bestandteil der Nahrung. Besonders eiweißreich ist die Muskulatur.

Da viele Eiweißstoffe im physikalischen und chemischen Verhalten dem „Eiklar“ des Hühnereies gleichen, hat diese Substanz der Stoffklasse den Namen gegeben.

Nachweisreaktion für Eiweißstoffe:

Bringt man Eiweißstoffe (z.B. weiße Vogelfedern, hart gekochtes Eiklar, weiße Wolle, Fingernägel) mit konzentrierter Salpetersäure in Berührung, so tritt eine Gelbfärbung auf: Xanthoproteinreaktion.

Alle Eiweißstoffe sind kettenförmige Moleküle mit Molekülmassen bis etwa 500.000 u. Sie unterscheiden sich lediglich durch die Kettenlänge und durch die Art der miteinander verknüpften Aminosäuren. Die Reihenfolge der Aminosäuren in einer Peptidkette bezeichnet man als Aminosäuresequenz oder Primärstruktur eines Peptids bzw. Proteins.

Die verschiedenen Atomgruppen der Eiweißmoleküle können miteinander mehr oder weniger feste Bindungen eingehen. Durch solche Verknüpfungen erhalten die Moleküle jeweils eine charakteristische räumliche Gestalt und damit bestimmte Eigenschaften. Ändert sich die räumliche Struktur eines Proteins, so verliert es seine biologische Wirkung. Man spricht dann von einer Denaturierung. Beispielsweise wird bei Enzymen der räumliche Bau des Proteinanteils durch Erwärmen auf 60 bis 80 °C sowie durch viele Schwermetallionen (aber auch durch andere Ionen, wie z.B. das Cyanidion CN⁻) verändert, wodurch die Enzyme unwirksam werden (irreversible Denaturierung).

Zuckerqualitäten und Zuckersorten

Zuckerqualitäten:

Nach in allen Ländern der EG einheitlichen Richtlinien werden Zucker nach der Farbe und nach dem Restgehalt an Mineralstoffen (Aschegehalt) bewertet.

Weißzucker: einfachere Sorte, weniger gute Farbe und relativ hoher Aschegehalt

Raffinade: höchste Reinheit und beste Qualität

Zuckersorten:

Puderzucker: staubfein gemahlene Raffinade

Würfelzucker und Zuckerhüte: aus angefeuchteter Raffinade gepresst und dann wieder getrocknet

Hagelzucker: hagelkornähnlicher Zucker aus granulierter Raffinade

Einmachzucker: grobkörnige Raffinade, die sich nur langsam auflöst und daher nicht schäumt (hergestellt durch nochmaliges Aufkochen und Auskristallisieren)

Gelierzucker: Mischung aus Raffinade, natürlichem Apfelpektin und reiner Citronensäure

Vanillezucker: Mischung aus Raffinade mit gemahlener echter Vanille oder natürlichem Vanillearoma

Vanillinzucker: Mischung aus Raffinade und dem künstlich hergestellten Aromastoff Vanillin

Kandiszucker: entsteht durch langsame Kristallisation aus hochwertigen, reinen Zuckerlösungen (Einzelkristalle oder gemahlen)

Brauner Kandiszucker erhält seine Farbe und sein Aroma durch Karamellisationsprodukte, die sich dadurch bilden, dass Raffinade vor dem Auflösen erhitzt wird. Aus dem karamellhaltigen Sirup, der bei der Kristallisation des braunen Kandiszuckers anfällt, wird brauner Zucker gewonnen. Es gibt im Handel aber auch braunen Zucker, bei dem es sich um einen aus dem Zuckerrohr gewonnenen Rohzucker handelt, bei dem also die Zuckerkristalle noch eine Sirupumhüllung haben.