

## 5 Organische Chemie

### 5.1 Allgemeines, Historisches

In der heutigen Zeit ist die **Organische Chemie** die Chemie des Elements **Kohlenstoff**, dessen Verbindungen eine enorme, unüberschaubare Vielfalt bilden. 14,9 Millionen der 15 Mio. bekannten chemischen Verbindungen sind organisch.

Kohlenstoffverbindungen spielen eine herausragende Rolle in vielen Bereichen des Lebens:

#### Wichtige Stoffgruppen:

- Verbindungen des tierischen + pflanzlichen Stoffwechsels (DNS, Proteine, Aminosäuren, Fette, Enzyme, Vitamine, Cellulose, Stärke ...)
- Rohstoffe + Produkte fossiler Bodenschätze (Kohle, Erdöl, Erdgas)
- Lösungsmittel
- Lebensmittel (Kohlenhydrate, Fette, Eiweiß, ...)
- **Medikamente**
- Kunststoffe, textile Fasern
- **Waschmittel**

Seite 1

## *Geschichte der Nutzung des "Organischen"*

Bereits in vorgeschichtlicher Zeit:

- Nutzung von Pflanzeninhaltsstoffen für
  - Heilzwecke (Schamanen ⇒ Volksmedizin ⇒ Paracelsus (1493-1543))
  - anregende Wirkung (z. B. Coffein)
- Verarbeitung von Pflanzenstoffen
  - alkoholische Gärung und
  - Weiterverarbeitung zu Speiseessig (Inder, Babylonier, Chinesen, Ägypter)



Kenntnisse durch Probieren: Was ist essbar, was ist giftig?

Seite 2

## Beispiel für Wirkung org. Verbindungen Das Mutterkorn

Was hatten Hexen im Mittelalter mit LSD-Junkies der 60er gemeinsam?  
Sie dachten, sie könnten fliegen!

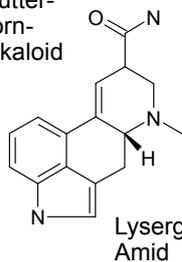
Der auf Roggen wachsende Mutterkornpilz enthält Alkaloide, die in geringen Mengen Halluzinationen erzeugen, in größeren giftig sind.

Eines dieser Alkaloide (Lysergsäureamid) ist dem als Droge bekannten Lysergsäure-diethylamid (LSD) in Struktur und Wirkung ähnlich.

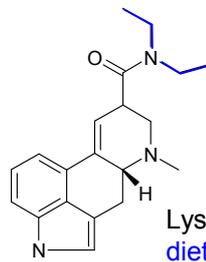


Mutterkorn-Pilz

Mutterkorn-Alkaloid



Lysergsäure-Amid



Lysergsäure-diethylamid (LSD)



Mutterkornvergiftung "Antoniusfeuer"

Seite 3

## Begriff "Organische Chemie" Vis vitalis

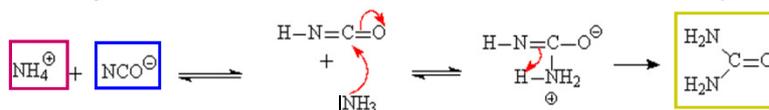
Begriff "**organische Chemie**" im 18. Jh. geprägt; Bezeichnung der **Chemie der belebten Welt** zu. Unterschiedliches chem. Verhalten Tier- und Pflanzenstoffen im Vergleich zu mineralischen Verbindungen. Durch Verbrennung organischer Verbindungen zu  $H_2O$  und  $CO_2$ :

**Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff = Bausteine des Lebens.**

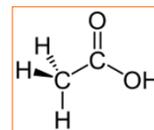
Noch nicht möglich, org. Verb. im Labor zu synthetisieren.

Damalige Vorstellung: **Synthese org. Verb.** nur durch "geheimnisvolle Lebenskraft" (**vis vitalis**) der Organismen.

1828 gelang Friedrich Köhler **Harnstoff**-Synthese (Bestandteil Urin) aus anorganischen Salzen **Ammoniumsulfat** und **Kaliumcyanat**.



1844 erzeugte Hermann Kolbe **Essigsäure** aus elementarem Kohlenstoff + anorganischen Substanzen

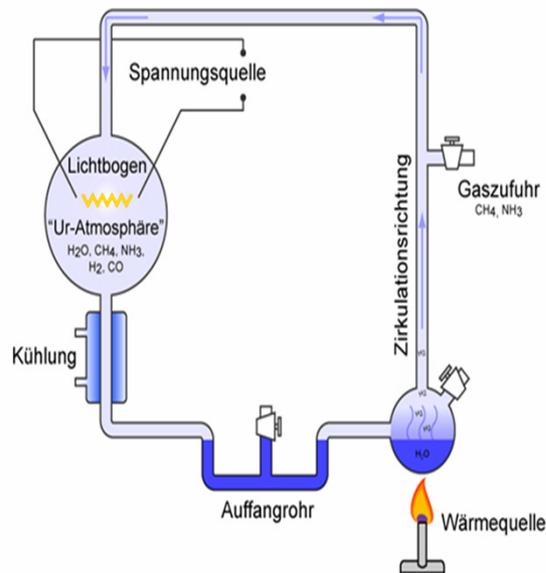


Seite 4

## "Ursuppen"-Experiment

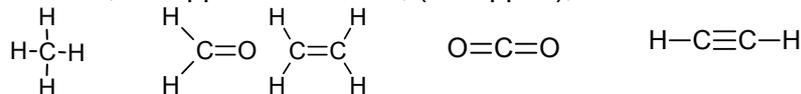
1953 simulierten Stanley Miller u. Harold Urey die Uratmosphäre der Erde:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  + Lichtblitze  $\rightarrow$  nach 1 Woche 18% organische Verb., u. a. Aminosäuren, (Bausteine des Lebens).

Teer	85%
Carbonsäuren	13,00%
Glycin	1,05%
Alanin	0,85%
Glutaminsäure	Spuren
Asparaginsäure	Spuren
Valin	Spuren
Leucin	Spuren
Serin	Spuren
Prolin	Spuren
Threonin	Spuren

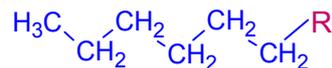


## Bauprinzipien und Klassifizierung organischer Verbindungen

- Kohlenstoff bildet in der Regel 4 Bindungen zu anderen Atomen aus 4 Einfach-; 1 Doppel- + 2 Einfach; (2 Doppel-); 1 Einfach- + 1 Dreifach-



- In org. Verb. können nahezu beliebig viele C-Atome verknüpft sein, von einem (s. o.) bis viele Tausend (DNS, Proteine, synth. Polymere)
- Organische Verbindungen bestehen aus **Kohlenstoff-Grundgerüst** (z.B. -Kette) und sog. **funktionellen Gruppen** (aus O, N, H, etc.)  
 $\Rightarrow$  chem. Verhalten



- Entsprechend der funktionellen Gruppen Zuordnung zu Stofffamilien (Alkohole, Carbonsäuren, Amine, ...)
- Die Stofffamilien lassen sich durch org.-chem. Reaktionen auseinander entwickeln, während das Grundgerüst oft gleich bleibt.
- Molekülreihen mit sukzessive steigender C-Anzahl im Grundgerüst, aber gleichen funkt. Gruppen ( $\Rightarrow$  chem. Verhalten) = Homologe Reihe.

## Homologe Reihe der Alkane

Alkane bestehen aus (geraden o. verzweigten) Ketten von  $sp^3$ -hybridisierten Kohlenstoffatomen, die mit Wasserstoffatomen abgesättigt sind. Zwischen den Atomen liegen nur Einfachbindungen ( $\sigma$ -Bindungen) vor.

Name	Summenformel *	Strukturformel	Halbstrukturformel	Kurzschreibweise **	* Alle Alkane haben die Summenformel: $C_nH_{2n+2}$ Mit jedem weiteren C-Atom kommt eine Methylengruppe $-CH_2-$ dazu.  ** Die Kurzschreibweise zeigt nur die C-C-Bindungen.
Methan	$CH_4$		$H_3C-CH_3$ Methyl-Gruppe		
Ethan	$C_2H_6$		$H_3C-CH_3$ Methylen-	/	
Propan	$C_3H_8$		$H_3C-CH_2-CH_3$		
Butan	$C_4H_{10}$		$H_3C-CH_2-CH_2-CH_3$		
Pentan	$C_5H_{12}$		$H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$		

Seite 7

## Isomerie Konstitutionsisomerie der Alkane

Kohlenwasserstoffe mit mehr als 3 C-Atomen können verzweigte Ketten bilden. Ab Butan mehrere Isomere gleicher Summenformel; unterschiedliche Konnektivität = Konstitutions-Isomerie. Chemisch und physikalisch unterschiedliches Verhalten. Mehr C-Atome  $\Rightarrow$  exponentiell mehr Isomere.

Das Auftreten unterschiedlicher Substanzen mit gleicher Summenformel wird als **Isomerie** bezeichnet, die Verbindungen selbst als **Isomere**

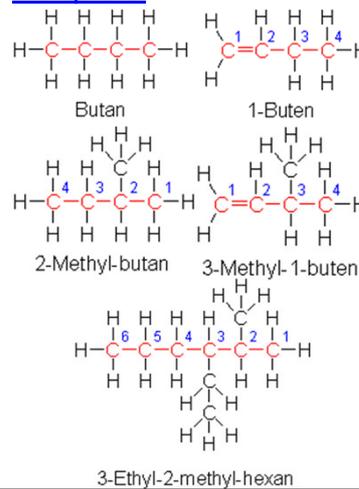
	n-Butan	iso-Butan 2-Methyl-propan	neo-Pentan 2,2-Dimethyl-propan
Summenformel	$C_4H_{10}$	$C_4H_{10}$	$C_5H_{12}$
Strukturformel			

## Nomenklatur der Kohlenwasserstoffe

Eindeutige Namensgebung chemischer Strukturen durch International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC):

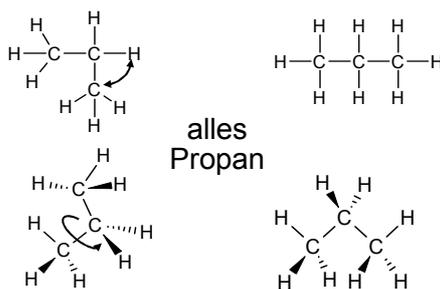
1. Basisname: längste unverzweigte C-Kette
2. Endung: - an : Alkan = nur Einfachbdg  
- en : Alken = auch C=C-Bndg  
- in : Alkin = auch C≡C-Bndg
3. Stellung der Mehrfachbindung:  
Nummerierung der C-Atome;  
Bindung möglichst kleine Zahl
4. Verzweigung = Substituent: Endung -yl  
vor Basisname
5. Stellung des Substituenten wie 3.
6. Zahl gleicher Substituenten: Vorsilbe:  
2(di-),3(tri-),4(tetra-),5(penta-),6(hexa-)
7. Verschiedene Subst.: alphabetisch  
butyl-, ethyl-, methyl-, ...

Beispiele:

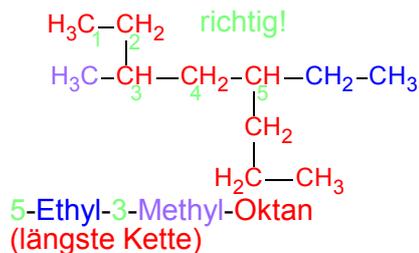
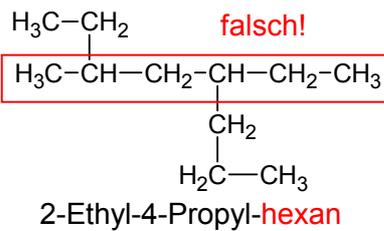


Prim., sekund., tert. C-Atom: 1,2,3 weitere C geb.

## Häufig gemachte Fehler



Freie Drehbarkeit um C-C-Einfachbindungen + tetraedrische räumliche Anordnung ⇒ Form der Darstellung der C-C-Kette in der Strukturformel bei Alkanen unspezifisch.



## Isomerie chemischer Verbindungen (Übersicht)

Summenformel chem. Verb.  $\Rightarrow$  wie viele Atome von welchem Element.  
Unterschiede in Verknüpfung miteinander + räumliche Anordnung.

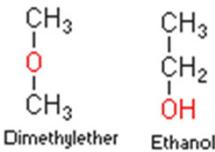
**Konstitutionsisomere**  
(unterschiedliche Konnektivität)

**Stereoisomere**  
(unterschiedliche räumliche Anordnung)

### Strukturisomere

(gleiche Summenformel  
aber **unterschiedliche  
funktionelle Gruppen**)

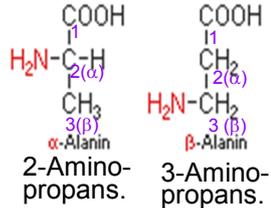
Bsp.:  $C_2H_6O$



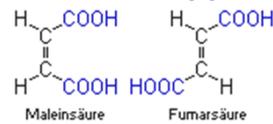
### Stellungsisomere

(gleiche fkt. Gruppen  
an unterschiedlicher Stelle)

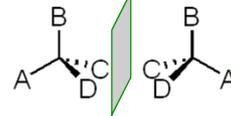
Bsp.: Aminopropansäure



### Zusammen-/Entgegen-Isomere



**Enantiomere (chiral)  
Spiegelbildisomere**

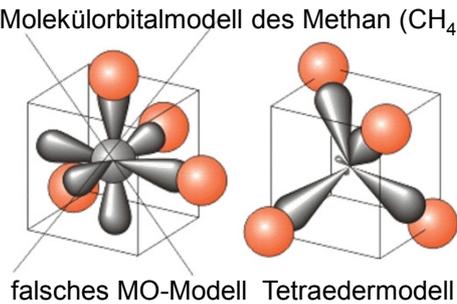


Seite 11

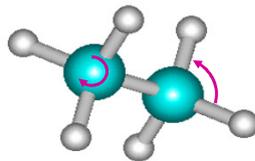
## 5.2 Aliphatische Kohlenwasserstoffe

### 5.2.1 Alkane: chemische Struktur

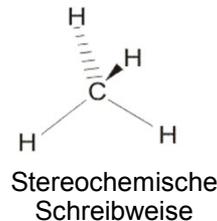
1858 Friedrich Kekulé: Vierbindigkeit des Kohlestoffs; bindet 4 einbindige Atome. Tetraedrische Ausrichtung ( $109^\circ$ -Winkel) 1874 von van't Hoff postuliert, später exp. bestätigt. Erklärung durch Hybridisierung: Das s, px, py, pz-Orbitale  $\rightarrow$  4 energiegleiche  $sp^3$ -Hybridorb.  $sp^3$ -hybridisierter Kohlenstoff kann 4 Einfach-( $\sigma$ -)Bindungen ausbilden.



Ethan:



$\sigma$ -Bindungen sind drehbar

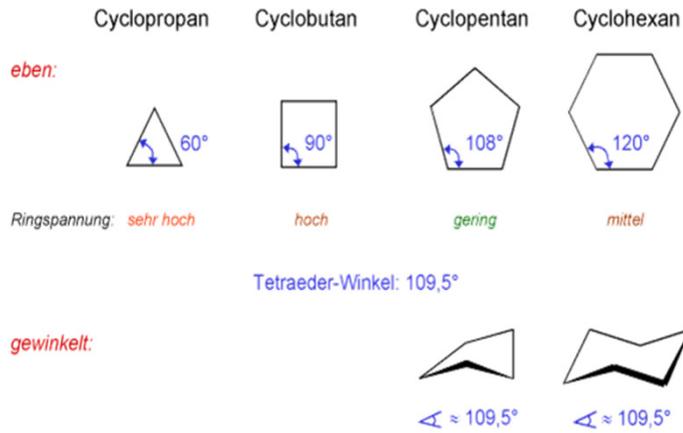


Seite 12

## Cycloalkane

Cycloalkane sind ringförmige Kohlenwasserstoffe der allgemeinen Summenformel  $C_nH_{2n}$ . Die sind den kettenförmigen Alkanen chemisch und physikalisch sehr ähnlich.

Ringspannung wird minimiert durch nicht-planaren Konformation.

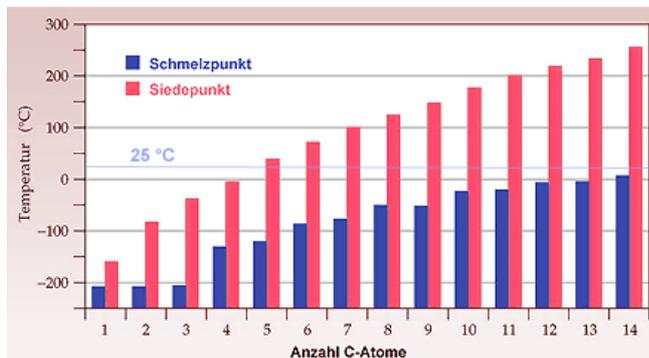


Seite 13

## Eigenschaften der Alkane (Schmelz-/Siedepunkte)

Bindungen in Kohlenwasserstoffen sind unpolar  $\Rightarrow$  keine Dipol-Ww. o. H-H-Brücken, nur van-der-Waals-Kräfte  $\Rightarrow$  niedrige Siedepunkte

	Methan	Ethan	Propan	Butan	zum Vergleich:	Ammoniak	Wasser
<b>Molare Masse</b>	16	30	44	58		17	18
<b>Siedepunkt</b>	-180°C	-88,6°C	-42,2°C	-0,5°C		-33,4°C	+100°C



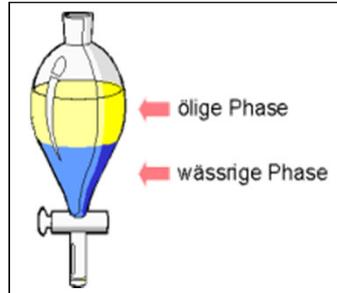
C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>: Brenngase  
 C<sub>5</sub>-C<sub>10</sub>: Lösemittel;  
 Benzin (Oktan !)  
 C<sub>11</sub>-C<sub>22</sub>: Kerosin;  
 Diesel, Heizöl  
 C<sub>25</sub>-C<sub>32</sub>: Wachse  
 >C<sub>1000</sub>: Polyethylen

Seite 14

## Eigenschaften der Alkane

### Lipophilie - Reaktionsträgheit

Alkane haben keine polaren Bindungen  $\Rightarrow$  sind Fett liebend = **lipophil**  
 $\Rightarrow$  nicht mit Wasser mischbar; leichter  $\Rightarrow$  schwimmen oben.



#### Reaktionsträgheit:

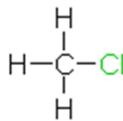
Alkane besitzen nur C-C- und C-H-Einfachbindungen, (kein O, N ...);  
 chemisch sehr stabil und unpolar. Erst bei höheren Temperaturen  
 oder energiereicher Strahlung Reaktion mit st. Oxidationsmitteln:  
 Verbrennung mit Sauerstoff, Reaktion mit Halogenen.  
 Bei Raumtemperatur stabil gegen konz. Säuren und Oxidationsmittel.  
 Lat.: *parum affinis*, "wenig verwandt, geneigt = wenig reaktionsfähig")

Seite 15

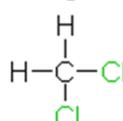
## Halogenalkane

### (Alkylhalogenide)

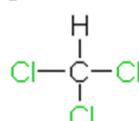
Bei KW können H-Atome durch Halogenatome (Fluor, Chlor, Brom, Jod)  
 ersetzt sein  $\Rightarrow$  Alkylhalogenide = Halogenalkane.



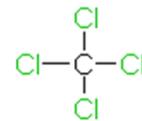
Methylchlorid  
Chlormethan



Methylenchlorid  
Dichlormethan



Chloroform  
Trichlormethan



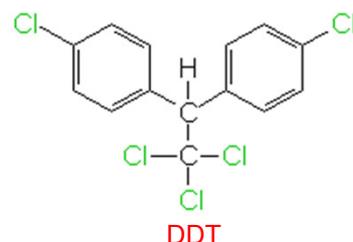
Tetrachlorkohlenstoff  
Tetrachlormethan

Mehrfach halogenierte KW reaktionsträge:

Lösemittel, Löschmittel, Treibmittel,  
 Kühlfähigkeit, Schädigen Ozonschicht.



Pflanzenschutz-  
mittel enthalten  
Chlor. z.B. **DDT**

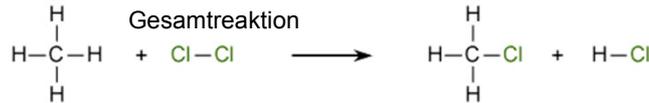


Dichlor-*d*iphenyl-*t*richlor-ethan

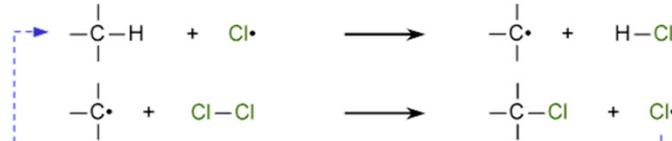
Seite 16

### Reaktionen der Alkane Halogenierung; Radikalische Substitution

Homolytische Spaltung des Halogenmoleküls in Radikale durch **energiereiche Strahlung (UV)** (photo-chem.). Radikal greift Alkan an, spaltet H-Atom ab, Halogenwasser entsteht als Nebenprod. Alkyl-Radikal spaltet Halogenmolekül, Halogenalkan entsteht.  
**Mechanismus: Radikalische Substitution (S<sub>R</sub>)**



Kettenreaktion

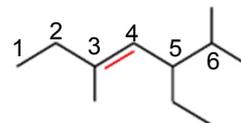
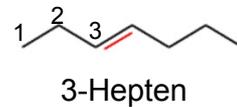
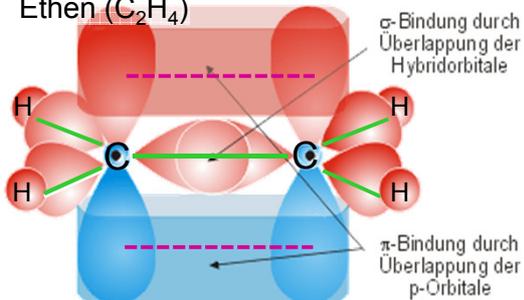


Seite 17

### 5.2.2 Alkene chemische Struktur - Nomenklatur

Alkene – auch Olefine genannt – besitzen C=C-Doppelbindungen. Die C-Atome sind sp<sup>2</sup>-hybridisiert ⇒ **3 σ-Bindungen trigonal-planar** übrige p-Elektronen senkrecht zur Ebene **π-Bindung** (reaktiv). Alkene haben Endung –en. Summenformel C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>.

Ethen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)



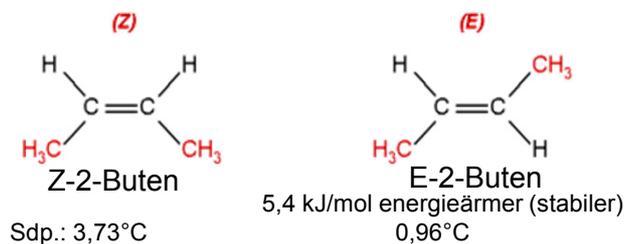
Nomenklatur: Mehrfachbindung geht vor Substituenten

5-Ethyl-3,6-dimethyl-3-hepten

Seite 18

## *cis/trans-Isomerie bei Alkenen*

Um die **C=C-Doppelbindung** ist **keine freie Drehbarkeit** gegeben!  
 Die Substituenten an den beiden C-Atomen können zwei verschiedene relative Anordnungen zueinander annehmen: es gibt **Isomere**.  
 Diese Isomere unterscheiden sich zwar nicht in der Position der Substituenten in der Kohlenstoffkette, sondern nur in der relativen Lage der Substituenten zueinander (**Konfiguration**).  
 Man bezeichnet solche Moleküle auch als **geometrische Isomere**  
 Unterscheidung durch (Z) für **zusammen** bzw. (E) **entgegen** stehend.

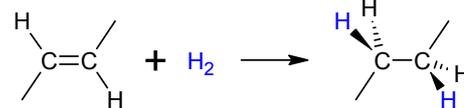


Seite 19

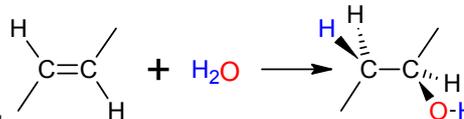
## *Reaktionen der Alkene*

### *Additionsreaktion*

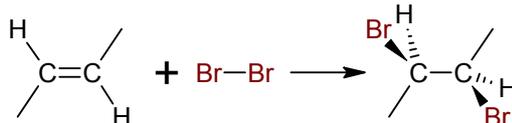
Die Umkehrung der Dehydrierung, also die Addition von Wasserstoff heißt **Hydrierung**. Der Kohlenwasserstoff wird reduziert (OxZ: -I → -II)



Bei der **Hydratisierung** wird Wasser an eine Doppelbindung addiert. Keine Redoxreaktion



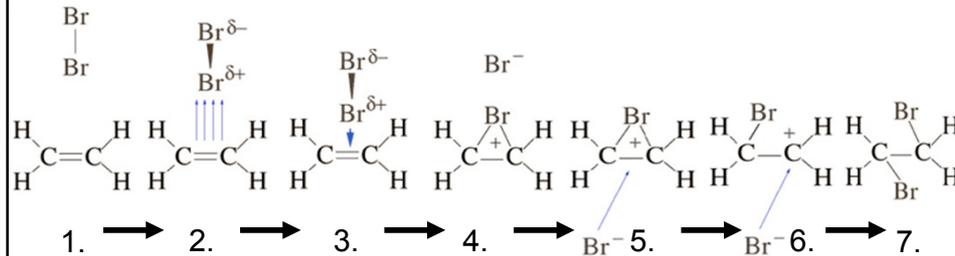
Die Addition von Halogenen nennt man Halogenierung (hier Bromierung). Der KW wird oxidiert, da elektro-negativeres Br an C-Atom gebunden.



Da Alkylhalogenide farblos sind, können Alkene Brom entfärben; Alkane nicht.

Seite 20

## Elektrophile Addition ( $A_E$ ) Mechanismus

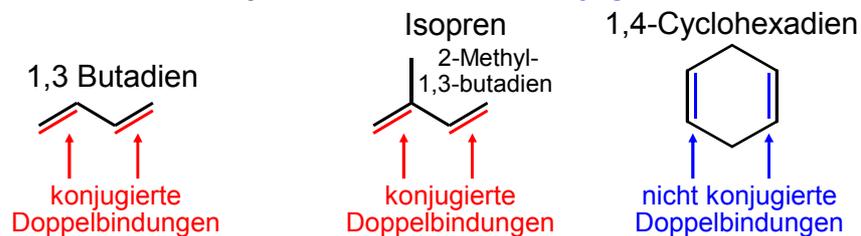


1. Brommolekül nähert sich Alken hier Ethen
2. Doppelbindung induziert temporären Dipol im  $Br_2$ .
3. Positiviertes (elektrophiles) Bromatom lagert sich an Doppelbindung  $\Rightarrow$   $\pi$ -Komplex stärkere Polarisierung des  $Br_2$ .
4. Heterolytische Spaltung des  $Br_2$ . Bromid-Abspaltung; Bromonium geb. in  $\sigma$ -Komplex (Zwischenprod.) Stabilisierung durch Delokalisierung
5. Nucleophiler Angriff des Bromid von Rückseite  $\Rightarrow$  Anti-Addition
6. 1,2-Dibrom-ethan

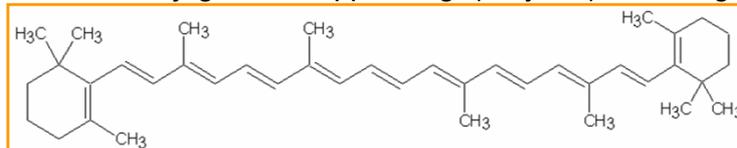
Seite 21

## Diene, Polyene konjugierte/isolierte Doppelbindungen

**Mehrere Doppelbindungen** im Molekül möglich. Zwei Doppelbndg. durch nur eine Einfachbindung getrennt  $\Rightarrow$  **konjugiert** z.B. 1,3-Butadien. Mit je einem  $e^-$  besetzten p-Orbitale  $\Rightarrow$  gemeinsames delokal.  $\pi$ -System. Liegen mehrere Einfachbndg. ( $sp^3$ -hybr.) zwischen den Doppelbndg., sind die Doppelbindungen isoliert und **nicht konjugiert**.



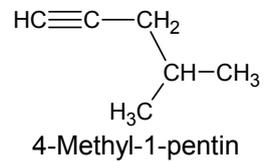
Moleküle mit mehreren konjugierten Doppelbndg. (Polyene) oft farbig:  
z.B.  $\beta$ -Carotin orange-roter Farbstoff in Möhren



Seite 22

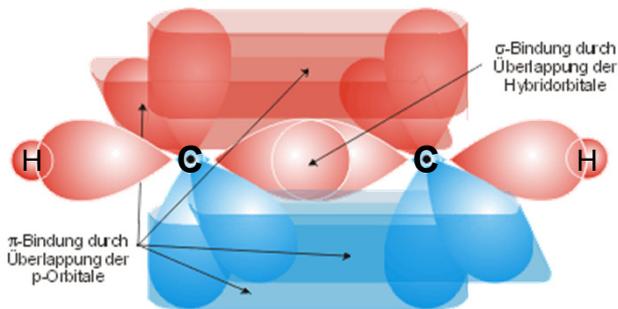
### 5.2.3 Alkine chemische Struktur - Nomenklatur

Alkine: KW mit einer oder mehreren Dreifachb.  
Basisname wie Alkan, Endung -in. **Beispiel:**



C-Atome sp-hybridisiert  $\Rightarrow$  2  $\sigma$ -Bindungen ( $180^\circ$ )  
Übrige 2 e<sup>-</sup> in p-Orb. senkrecht dazu  $\Rightarrow$  2  $\pi$ -Bndg.

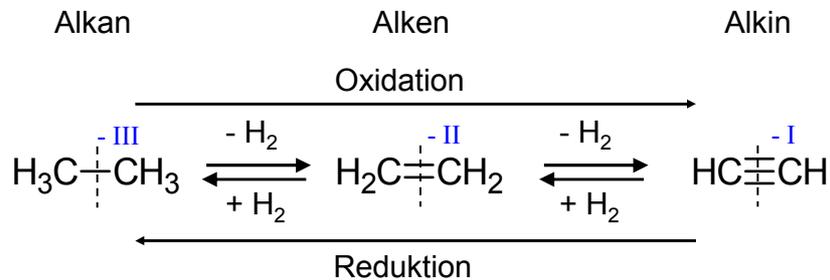
Bindungsverhältnisse im Ethin  $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$



Seite 23

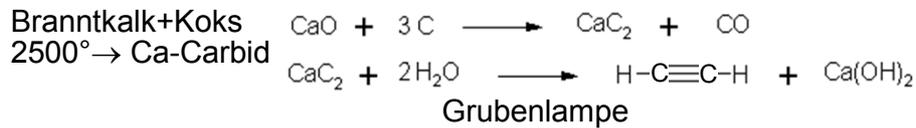
### Mehrfachbindungen durch Dehydrierung/Oxidation

Die Entstehung von Mehrfachbindungen durch Dehydrierung beinhaltet formal eine Oxidation. Die **Oxidationszahlen** des Kohlenstoff werden positiver. Umgekehrt wird der Kohlenstoff bei der Hydrierung reduziert.

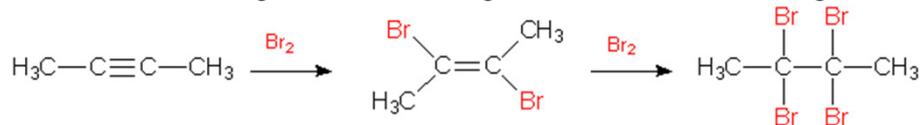


Seite 24

### *Alkine/Ethin: Herstellung; Reaktionen; technische Bedeutung*



Alkine addieren Halogene: Erst Dihalogenalkan, dann Tetrahalogenalkan



Wie heißen sie Verbindungen?

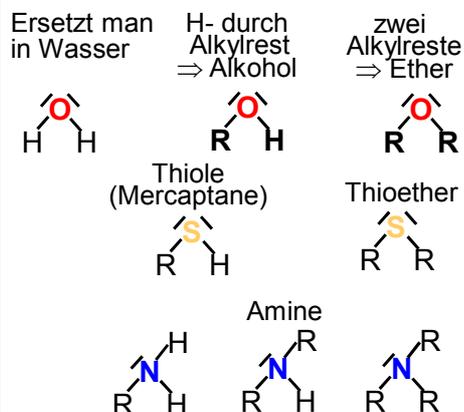
Technische Bedeutung hat hauptsächlich Ethin (veraltet: Acetylen):  
Schweißen: Sehr hoher Brennwert, mit reinem Sauerstoff > 3000°C

Seite 25

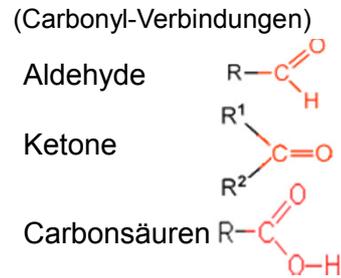
### *Funktionelle Gruppen - Übersicht -*

Bindungen in KW unpolar. Sind Heteroatome (O, N, S,...) gebunden  
 $\Rightarrow$  polare Bindungen  $\Rightarrow$  reaktive, **funktionelle Gruppen**  
 Vielzahl org. Verb. mit unterschiedlichen Eigenschaften+Reaktionen

#### Funktionelle Gruppen mit Einfachbindungen



#### Funktionelle Gruppen mit C=O-Doppelbindung



Funktionelle Gruppen bestimmen  
phys. Eigenschaften: (Schmelz-,  
Siedepunkt, Löslichkeit) und die  
chem. Eigensch. (Reaktionen)

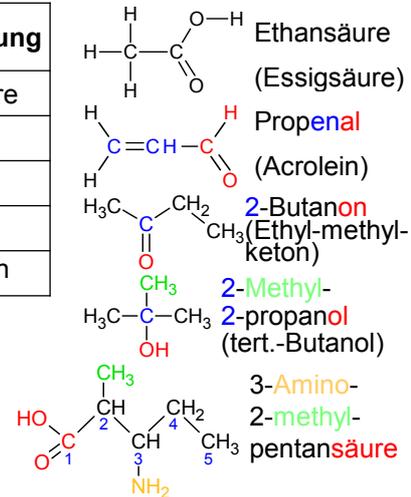
Seite 26

## Nomenklatur der org. Verb. mit funktionellen Gruppen

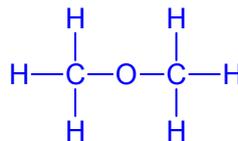
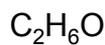
Enthält eine Verb. eine funkt. Gruppe best. diese die Namensendung.  
Bei mehreren funkt. Gruppen  $\Rightarrow$  Rangfolge aus Tabelle. **Beispiele:**

funktionelle Gruppe	Bezeichnung Substituent	Endung
Carbonsäure	-COOH	Carboxyl- -säure
Aldehyd	-CHO	-al
Keton	-CO-	-on
Alkohol	-OH	Hydroxyl- -ol
Amin	-NH <sub>2</sub>	Amino- -amin

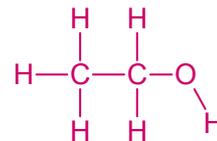
Nummerierung der C-Kette so,  
dass ranghöchster Substituent  
kleinste Stellungsnummer hat  
( $\Rightarrow$  Säuregruppe immer C<sub>1</sub>).  
Substituenten alphabetisch.



## Konstitutionsisomerie: Strukturisomerie



**Dimethylether**



**Ethanol**

<b>Stoffklasse:</b>	Ether	Alkohol
<b>Schmelzpunkt:</b>	- 138°C	- 114°C
<b>Siedepunkt:</b>	- 23°C	78,5°C
<b>Aggregatzustand (StB):</b>	gasförmig	flüssig
<b>Flammpunkt:</b>	- 42°C	12,2°C
<b>Löslichkeit in Wasser:</b>	4,5 g / 100 ml	unbegrenzt
<b>Molekulargewicht:</b>	46,07 g/mol	46,07 g/mol

Beide Substanzen gleiches Molekulargewicht, aber erhebliche  
Unterschiede in ihrem chemischen Verhalten und  
ihren physikalischen Eigenschaften:

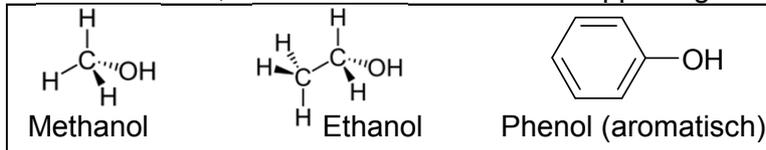
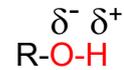
Seite 28



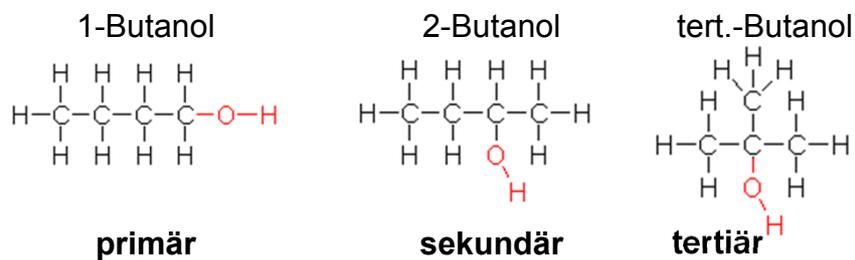
## 5.3.1

**Alkohole: Chemische Struktur**

**Alkohole** haben mind. eine **Hydroxyl-Gruppe** (-OH), an einem C-Atom, das keine weitere funkt. Gruppe trägt.



Abhängig davon, wie viele weitere C-Atome gebunden sind, unterscheidet man primäre, sekundäre und tertiäre Alkohole:



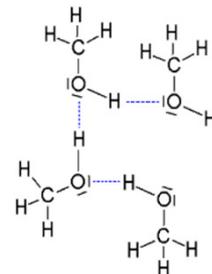
e 31

### Alkohole Eigenschaften

Alkohole können Wasserstoff-  
Brückenbindungen ausbilden.

⇒ Höhere Siedepunkte als  
vergleichbare Alkane.

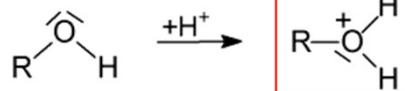
	Methanol	Ethan
	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
Molmasse	32	30
Siedep.	65°C	-89°C



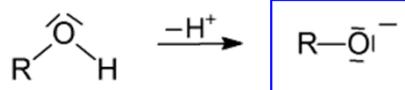
Je nach Länge des Alkylrests sind Alkohole  
hydrophil (z.B. Methanol) oder lipophil (z.B. Decanol).  
Ethanol: amphiphil ⇒ gutes Lösungsmittel

Alkohole sind Ampholyte:

- Protonierung zum **Oxonium-Ion**



- Depronierung zum **Alkoholat-Ion**



Seite 32

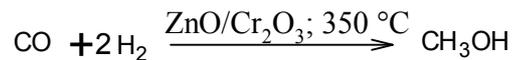
## Alkohole

### Synthese von Methanol, Ethanol

#### Methanol (Methyl-Alkohol)

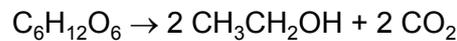
Methanol kann als Nebenprodukt der alkoholischen Gärung entstehen. Selbst nicht giftig, aber mit Alkoholdehydrogenase  $\Rightarrow$  Formaldehyd (= Methanal; schädigt Sehnerv  $\Rightarrow$  Erblindung)  Ethanolgabe gegen Methanolvergiftung ("medizinischer Vollrausch")

**Technische Methanol-Synthese** aus Kohlenmonoxid + Wasserstoff

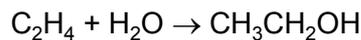


#### Ethanol (Ethyl-Alkohol)

durch alkoholische Gärung: Zucker (Glucose) mit Hefe zu EtOH + CO<sub>2</sub>



geht auch mit Biomasse (Gemisch pflanzl.+tierischer Verbindungen) oder durch Hydratisierung von Ethen:



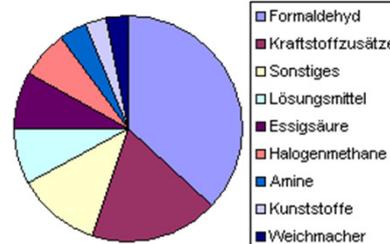
Seite 33

## Alkohole

### Verwendung von Alkoholen

Alkohole: wichtige Produkte und Zwischenprod. der chem. Industrie: Weiterverarbeitung zu: Schmierölen, Fetten, Weichmachern, etc. Nutzung als: Lösungsmittel, Konservierungsmittel, Frostschutzmittel, in der Medizin und Kosmetikbranche.

Methanol: Wichtigster industr. Alkohol (>30 Mio. t/a); Energieträger: Treibstoffzusatz; auch als Methyl-tert.-Butyl-Ether (MTBE).  
Syntheserohstoff:  $\Rightarrow$  Formaldehyd



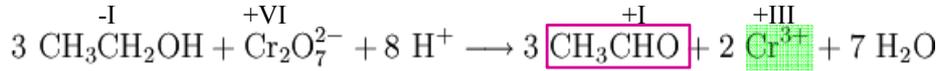
Verwendung von Methanol

Ethanol: (~ 3 Mio. t/a): Lösungsmittel für Fette, Öle, Harze; Synthese von Ethylacetat, Essigsäure. Brennspritus vergällt mit Pyridin o. der Ethylmethylketon.

Seite 34

## Nachweis von Alkohol im Teströhrchen

Früher wurde bei Verkehrskontrollen Alkohol nachgewiesen durch Grünfärbung im Pusteröhrchen:



Redoxreaktion: Ethanol wird oxidiert zum Acetaldehyd  
Das gelb-orange Dichromat wird zum **grünen Chrom (III)** reduziert.

Der Alkohol wird oxidiert nicht durch Sauerstoffaufnahme (Oxygenierung), sondern durch Entzug von 2 Wasserstoffatomen (Dehydrogenierung).

Das Produkt ist ein **Aldehyd** (*Alcoholus dehydrogenatus*)

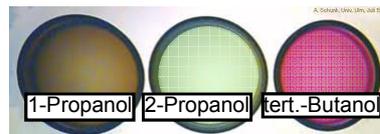
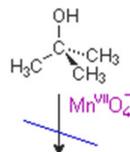
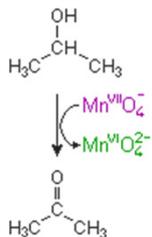
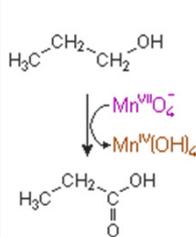
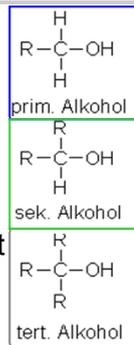
Seite 35

## Oxidierbarkeit von Alkoholen

**Primäre Alkohole** lassen über das Aldehyd weiter bis zur Carbonsäure oxidieren;

**Sekundäre** nur bis zum Keton;

**Tertiäre Alkohole** können nicht oxidiert werden, weil der Wasserstoff für die Dehydrierung fehlt.



Seite 36

## Mehrfach-Alkohole

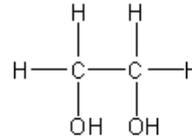
Organische Verbindungen können mehrere Hydroxyl-Gruppen enthalten: allgemein: Mehrfach-Alkohole; 2 = Diole, 3 = Triole, ..., Polyole.

### Beispiele:

Einfachster zweiwertiger Alkohol (Diol):

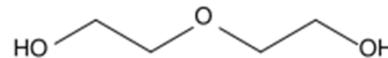
1,2 Ethandiol = **(Ethylen-)Glykol**

Verwendung: Korrosionsschutzmittel in Kühlflüssigkeiten.



Aus Glykol + Ethylenoxid →

**Diethylenglykol** (Frostschutzmittel, Brems-, Hydraulikflüssigkeit Weinskandal !)



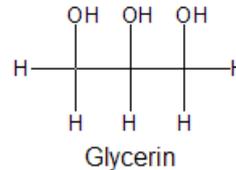
Einfachster dreiwertiger Alkohol (Triol):

1,2,3 Propantriol = **Glycerin**

[Kosmetika (Feuchtigkeitsspender, da hygroskopisch), Schmierstoff, Frostschutz, Weichmacher].

Nitrierung → Nitroglycerin (Sprengstoff)

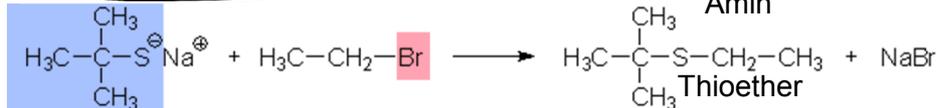
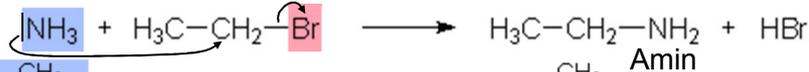
Veresterung mit Fettsäuren → Fette



Seite 37

## 5.3.2 Nucleophile Substitution

Substitutionsreaktion: An das C-Gerüst gebundene Heteroatome werden ausgetauscht. Bei **subst.** Alkanen Angriff durch ein **Nucleophil** (Anion o. neutr. Molekül mit freiem Elektr.-Paar). ⇒ **nucleophile Substitution** ( $S_N$ )



Geladene Nucleophile:  $\text{OH}^-$ ,  $\text{RO}^-$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{J}^-$

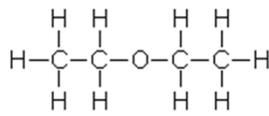
Ungeladene Nucleophile:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ROH}$ ,  $\text{RSH}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{RNH}_2$ ,  $\text{R}_2\text{NH}$

Seite 38

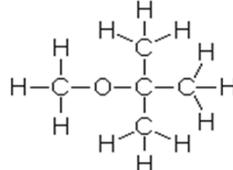
### 5.3.3 Ether

Sind an ein Sauerstoff-Atom zwei Kohlenstoff-Atome gebunden, (ohne weitere Heteroatome) handelt es sich um einen **Ether**:  $R-O-R$

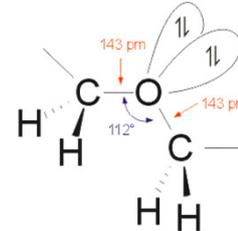
symmetrischer Ether    unsymmetrischer Ether



Diethylether



Methyl-*tert.*-butyl-ether



Cyclische Ether:  
(Heterocyclen)



Oxiran  
(Epoxid)



Tetrahydro-  
furan (THF)



Dioxan

Ether Eigenschaften :

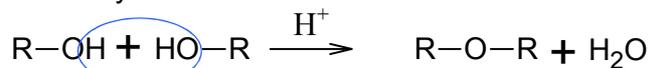
- keine H-Brücken  $\Rightarrow$
- wenig hydrophil/ $H_2O$  mischbar je nach Dipolmoment
- niedrige Siedepunkte (ähnlich Alkane)
- reaktionsträge  $\Rightarrow$  Lösungsmittel
- Ether/Luft-Gemische explosiv!
- Diethylether früher als Narkotikum

Seite 39

### Ether-Synthese

Ether können auf verschiedenen Wegen synthetisiert werden:

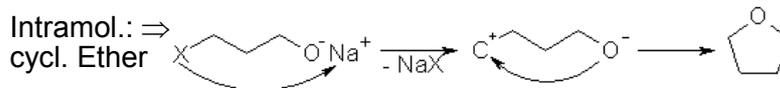
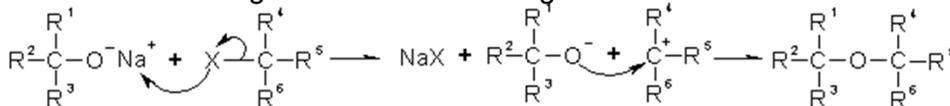
- Säurekatalysierte Kondensation von Alkoholen:



mit einer Alkoholart  $\Rightarrow$  symm. Ether; mit zwei Alkoholen  $\Rightarrow$  Gemisch

- Williamson Ethersynthese: ( $S_N$ )  $\Rightarrow$  asymm. Ether

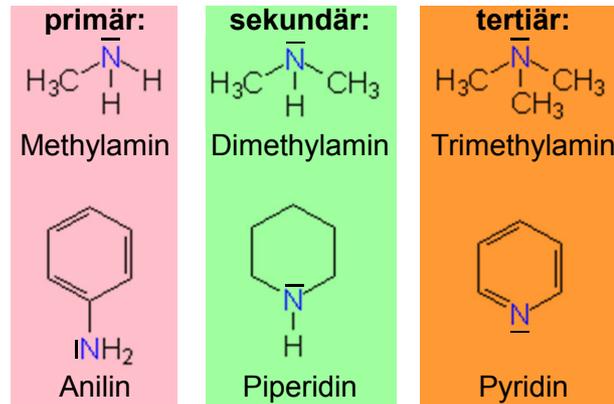
Alkoholat + Halogenalkan  $\rightarrow$  Alkalihalogenid + Ether



Seite 40

### 5.3.4 Amine

Amine enthalten **Stickstoffatome**. Nach Zahl der Bindungen des Stickstoffs zu C-Atomen unterscheidet man **primäre**, **sekundäre** und **tertiäre** Amine:



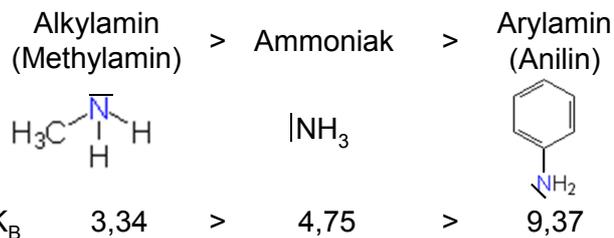
Amine riechen häufig unangenehm!

Seite 41

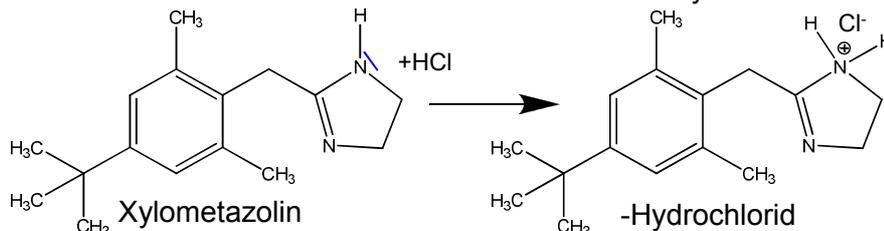
### Basizität von Aminen

Amine können leicht zum Ammonium-Ion protoniert werden, sie reagieren daher basisch:  $\text{R}-\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{R}-\text{NH}_3^+ + \text{OH}^-$

Alkylamine sind basischer als  $\text{NH}_3$ , wegen +I-Effekts der Alkylgruppe; Anilin weniger basisch wegen -M-Effekt d. Arom.



Amine als Arzneimittel oft als wasserlöslich Hydrochloride

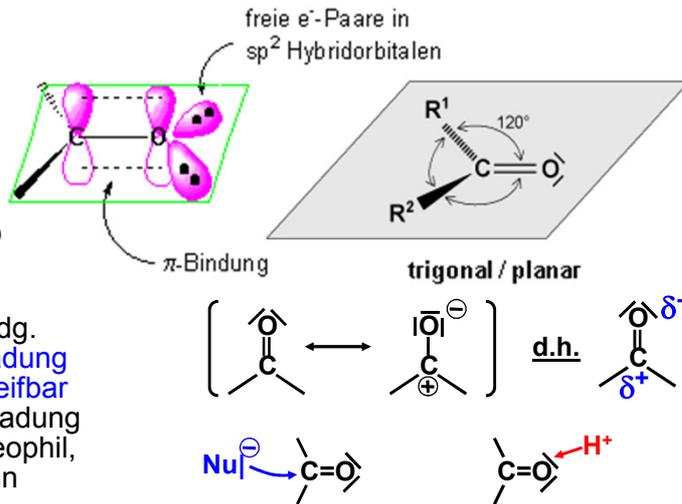


Seite 42

### 5.4.1 Die Carbonylgruppe

Verbindungen mit C=O Doppelbindung als Baugruppe (Carbonyl-Gr.) werden Carbonyl-Verb. genannt. Wichtige, reaktive Gruppe.

- C:  $sp^2$ -hybrid.
- 2  $\sigma$ -Bindg.  $\rightarrow R_1, R_2$
- 1  $\sigma$ -Bindg.  $\rightarrow O$
- trigonal-planar.
- O:  $sp^2$ -hybrid.
- 2 freie  $e^-$ -Paare
- 1  $\sigma$ -Bindg.  $\rightarrow C$
- je 1  $p-e^-$  von C, O  
 $\Rightarrow \pi$ -Bindung
- O elektronegativer  
 $\Rightarrow$  polare C=O-Bndg.
- $\Rightarrow$  C positive Teilladung  
 nucleophil angreifbar
- $\Rightarrow$  O negative Teilladung  
 ist selbst ein Nucleophil,  
 leicht basisch, kann  
 protoniert werden.



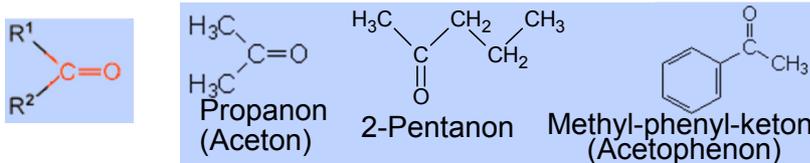
### Beispiele für Carbonylverbindungen

Es werden drei Typen von Carbonylverbindungen unterschieden: **Aldehyde**, **Ketone**, **Carbonsäuren** und deren Derivate.

**Aldehyde** tragen am Carbonyl-C-Atom mindestens ein H-Atom. In der systematischen Nomenklatur: Endung **-al**. Oft aber Trivialnamen:



**Ketone**: Zwei Aryl- oder Alkylreste; Endung **-on**; Trivialnamen.



**Carbonsäuren**: später

## Physikalische Eigenschaften von Carbonylverbindungen

**Kurzkettige Aldehyde** und **Ketone** sind **gut wasserlöslich**, denn das Carbonyl-O-Atom kann Wasserstoffbrücken mit Wasser bilden. Untereinander können sie aber keine Wasserstoffbrücken bilden. Deshalb liegt auch der Siedepunkt deutlich tiefer als bei Alkoholen.

	Butan	Propanal	Propanon	1-Propanol
	$\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\   &   &   &   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   &   &   &   \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$
Molare Masse	58	58	58	60
Wasserlöslichk. [mol/l]	0,001	1,3	beinahe vollständig mischbar	vollständig mischbar
Siedep.[°C]	-1	49	56	97

Carbonylverbindungen mit längeren Kohlenwasserstoffresten ähneln in ihren Eigenschaften den Alkanen.

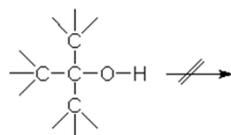
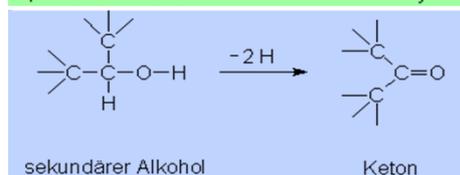
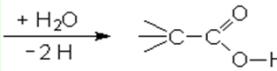
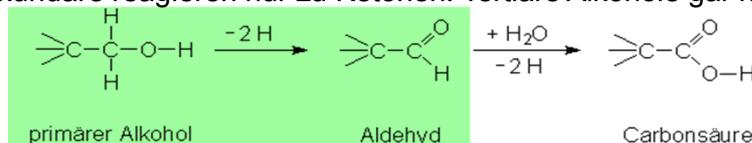
Seite 45

## 5.4.2 Aldehyde + Ketone Herstellung durch Oxidation von Alkoholen

**Aldehyde** und **Ketone** durch **milde Oxidation von Alkoholen**.

Primäre Alkohole  $\Rightarrow$  Aldehyden ( $\Rightarrow$  Carbonsäuren).

Sekundäre reagieren nur zu Ketonen. Tertiäre Alkohole gar nicht.



außer Verbrennung  
zu  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

tertiärer Alkohol

Seite 46



## Nomenklatur der Carbonsäuren

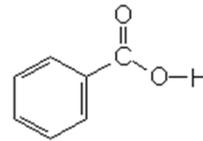
Name	Anion	Formel	Kettenlänge
Ameisenäure	Formiat	H-COOH	C <sub>1</sub>
Essigsäure	Acetat	H <sub>3</sub> C-COOH	C <sub>2</sub>
Propionsäure	Propionat	H <sub>3</sub> C-CH <sub>2</sub> -COOH	C <sub>3</sub>
Buttersäure	Butyrat	H <sub>3</sub> C-(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -COOH	C <sub>4</sub>
Palmitinsäure	Palmitat	H <sub>3</sub> C-(CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> -COOH	C <sub>16</sub>
Stearinsäure	Stearat	H <sub>3</sub> C-(CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> -COOH	C <sub>18</sub>
Oxalsäure	Oxalat	HOOC-COOH	C <sub>2</sub>
Malonsäure	Malonat	HOOC-CH <sub>2</sub> -COOH	C <sub>3</sub>
Bernsteinsäure	Succinat	HOOC-CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -COOH	C <sub>4</sub>

Je nach Anzahl der Carboxygruppen:  
Mono-, Di-, Tricarbonsäuren.

IUPAC Name: KW + Endung -säure;  
Carboxy-C-Atom mitzählen.

Bsp: Bernsteinsäure = Butandisäure.

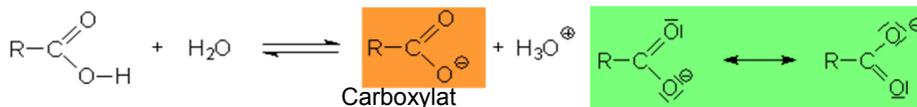
Einfachste  
aromatische  
Carbonsäure:  
Benzoesäure



Seite 49

## Eigenschaften der Carbonsäuren

Niedere Carbonsäuren (bis ~C<sub>4</sub>) flüssig, mit H<sub>2</sub>O mischbar. Carbons. = Protonendonatoren. Carboxylat-Ion durch Mesomerie stabilisiert.



Substituenten mit **-I Effekt** (-Hal, -Nitro, etc.) erhöhen die Acidität der Carbonsäure; Subst. mit **+I Effekt** (Alkyl-, Amino-) verringern sie.

Struktur	pK <sub>s</sub>	Name	Struktur	pK <sub>s</sub>	Name
$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{H} \end{array}$	4,8	Essigsäure	HCOOH	3,7	Ameisensäure
$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{Cl} \end{array}$	2,9	Chloressigsäure	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{H} \end{array}$	4,8	Essigsäure
$\begin{array}{c} \text{Cl} \\   \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{Cl} \end{array}$	0,7	Trichloressigsäure	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{H} \end{array}$	4,9	Propionsäure

Seite 50

### Carbonsäurederivate

Substitution der OH-Gruppe durch polaren Rest am Carbonyl-C  $\Rightarrow$  **Carbonsäurederivate**. Hydrolyse der Derivate  $\Rightarrow$  Carbonsäure.

(Carbonsäure-) Chlorid  $\rightarrow$  (Carbonsäure-) Anhydrid  $\rightarrow$  Thio-Ester  $\rightarrow$  (Carbonsäure-) Ester  $\rightarrow$  (Carbonsäure-) Amid

Abnahme der Reaktivität

Nucleophile können Carbonyl-C-Atom der Carbonsäurederiv. angreifen und Rest substituieren. Die Reaktivität sinkt mit positiverem I/M-Effekt.

Seite 51

### 5.4.4 Ester (allgemein)

Ester sind organische Verbindungen, die formal oder tatsächlich durch Reaktion einer Säure mit Alkohol entstehen. Vielseitige Verwendung!

aus anorganischen Säuren:                      aus org. (Carbon-)Säuren:

$$\text{R}-\text{O}-\text{P}(=\text{O})(\text{OH})_2$$

Phosphorsäure-  
z. B.: Nucleinsäuren  
(Baustein der DNS)  
= Ester der Phosphorsäure und OH-Gruppe aus Zuckern Ribose bzw. Desoxyribose

$$\text{R}-\text{O}-\text{S}(=\text{O})_2\text{OH}$$

Schwefelsäure-  
(Alkylsulfate)  
z. B.: anionische Tenside  
(Emulgatoren in Kosmetika)

$$\text{R}-\text{O}-\text{N}(\text{O})_2$$

Salpetersäureester  
z.B. Nitroglycerin  
(Sprengstoff)

$$\text{R}-\text{C}(=\text{O})\text{OR}'$$

Carbonsäureester

**Insektizid E605**

$$\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{NO}_2 \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{NO}_2 \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{NO}_2 \\ | \\ \text{H} \end{array}$$

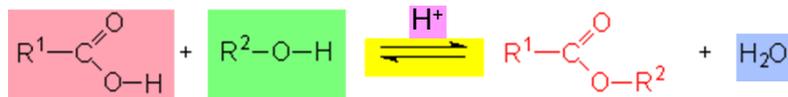
$$\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$$

Säure-Teil    Alkohol-Teil  
systematischer Name:  
Alk.-Rest + Säure-Basisname + Endung -oat  
**Ethylethanoat**  
Essigsäureethylester  
(hist.: Ethylacetat);

Seite 52

## Carbonsäureester Veresterung - Esterspaltung

**Carbonsäureester** lassen sich aus reaktiveren Carbonsäurechloriden und Alkohol herstellen, oder durch **Katalyse starker Säuren** direkt aus **Carbonsäure** und **Alkohol**:



Die Reaktion führt zu einem **Gleichgewicht**. Will man möglichst viel Ester ausbeuten, müssen kontinuierlich Produkte entfernt werden z. B. durch Abdestillieren von **Wasser**.

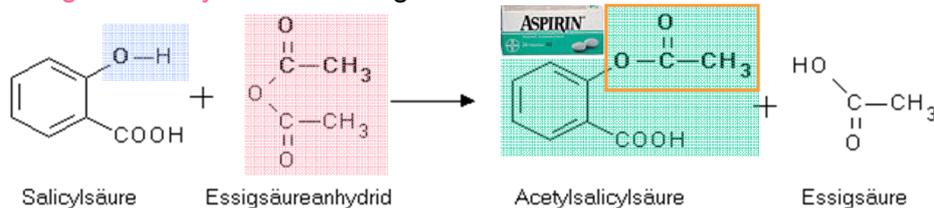
Die Reaktion ist **reversibel**: Mit Überschuss an Wasser lassen sich Ester leicht wieder zu Carbonsäure und Alkohol spalten (Ester-Hydrolyse).

Unter alkalischen Bedingungen (z. B. NaOH) wird der Ester **irreversibel** gespalten. Es entsteht der Alkohol und das Anion der Carbonsäure (Carboxylat), das wegen seiner negativen Ladung nicht mehr nucleophil angegriffen werden kann.

Seite 53

## Acetylierung

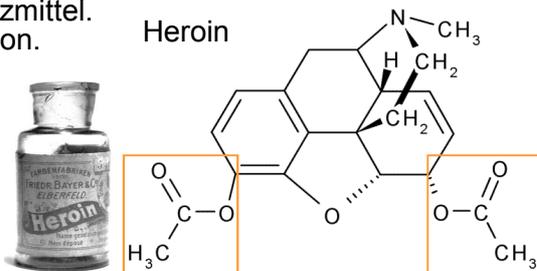
Oft werden **Hydroxylgruppen** mit Essigsäure verestert  $\Rightarrow$  **Acetylgruppe**.  
**Essigsäureanhydrid** statt Essigsäure  $\Rightarrow$  kein Wasser.



Bereits Kelten nutzten Extrakt der Weiden (*Salicæa*) als Schmerzmittel. Seit 1874 Salicylsäureproduktion. bitter, nicht magenverträglich.

1897 Eichengrün/Hoffmann (Bayer): **Acetylsalicylsäure**

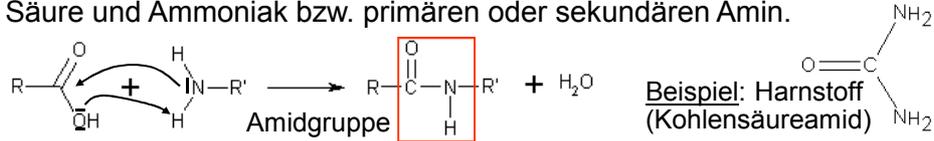
1873 Wright/1897 Hoffmann **Di-Acetylierung** Morphinium  $\Rightarrow$  Heroin, bis 1912 frei verk.



Seite 54

### 5.4.5 (Carbonsäure-)Amide Herstellung

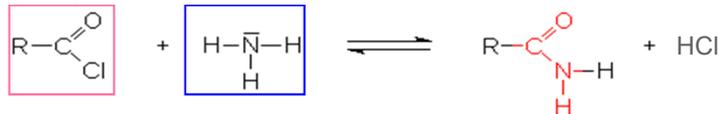
**Amide** entstehen formal aus einer anorganischen oder organischen Säure und Ammoniak bzw. primären oder sekundären Amin.



Bei der Reaktion von **Carbonsäuren** mit **Ammoniak** bildet sich das Ammoniumsalz. Das **Carboxylation** kann nicht nucleophil angegriffen werden; es entsteht kein Amid. Analog bei prim./sek. Aminen



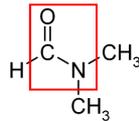
Das reaktivere **Carbonsäurechlorid** dagegen reagiert mit Ammoniak oder prim./sek. Aminen zu (Carbonsäure-) **Amiden**



Seite 55

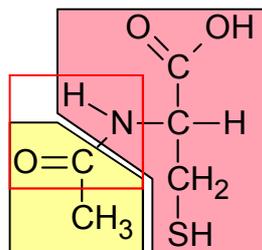
### (Carbonsäure-)Amide Beispiele

Beispiel: Dimethylformamid  
(DMF)  
Lösungsmittel

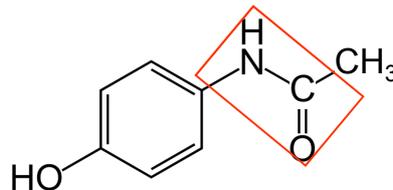


Carbonsäureamide als Medikamente:

Acetylcystein (ACC), Hustenlöser  
durch **Acetylierung** der  
Aminosäure **Cystein**



Paracetamol, Schmerzmittel  
**para-N-Acetyl-aminophenol**  
durch Acetylierung von  
p-Aminophenol



Seite 56

### Zusammenfassung: Stoffgruppen, Funktionelle Gruppen und Strukturelemente

Gruppe	Formel	Endung	Beispiel	Name
Halogen	R-Hal		CH <sub>3</sub> -Br	Brommethan
Alkohol	R-OH	-ol	CH <sub>3</sub> -OH	Methanol
Thiol	R-SH	-thiol	CH <sub>3</sub> -SH	Methanthiol
Ether	R <sub>1</sub> -O-R <sub>2</sub>	-ether	CH <sub>3</sub> -O-CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	Ethyl-Methyl-Ether
Amin (prim.)	R-NH <sub>2</sub>	-amin	CH <sub>3</sub> -NH <sub>2</sub>	Methylamin
Amin (sek.)*	R <sub>1</sub> -NH-R <sub>2</sub>	-amin	CH <sub>3</sub> -NH-CH <sub>3</sub>	Dimethylamin
Aldehyd	R-CHO	-al	H-CHO	Methanal
Keton	R <sub>1</sub> -CO-R <sub>2</sub>	-on	CH <sub>3</sub> -CO-CH <sub>3</sub>	Propanon
Carbonsäure	R-COOH	-säure	CH <sub>3</sub> -COOH	Ethansäure
Ester	R <sub>1</sub> -COO-R <sub>2</sub>	-oat	CH <sub>3</sub> -COO-CH <sub>3</sub>	Methylethanoat
Amide	R <sub>1</sub> -CONH-R <sub>2</sub>	-amid	CH <sub>3</sub> -CONH-CH <sub>3</sub>	Essigsäuremethyramid

Reste R können aliphatisch (alkyl-) oder aromatisch\* (-aryl) sein.  
\* nächstes Kapitel

Seite 57

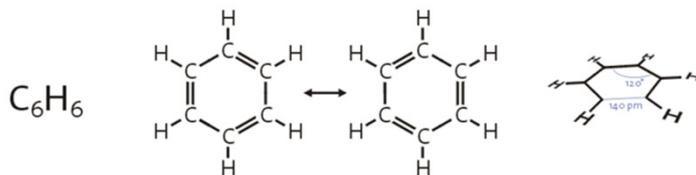
### 5.5.1 Aromatische KW: Benzen

Benzen (veraltet: Benzol) C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, ringförmig (1861/65) Loschmidt/Kekule

Obwohl ungesättigt, **addiert**  
Benzen Brom **nicht!** ⇒ keine  
Doppelbindung.

Mesomerie-  
Stabilisierung:  
cyclisches  
delokalisiertes  
π-Elektronen-  
system.

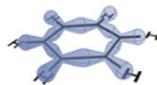
Alle 6 C-C-  
Bindungen  
gleich lang  
+ gleiche  
Energie.



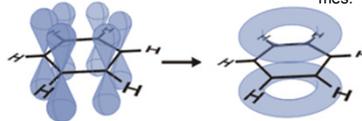
Benzen  
Summenformel

Benzen  
Kekulé-  
Strukturformel  
Mesometrie

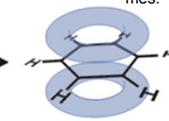
Benzen  
planares Hexagon  
140 pm Bndg.,  
120°  
E<sub>mes.</sub> = -151 kJ/mol



Benzen  
σ-Bindungen  
sp<sup>2</sup>-Hybridorbitale



Benzen  
6 p<sub>z</sub>-Orbitale



Benzen  
delokalisierte  
π-Orbitalwolke



Benzenring  
vereinfachte  
Darstellung

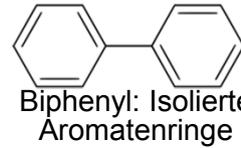
Seite 58

## Aromatische KW = Arene (Sechsringe)

**Aromaten** – wie Benzen – sind cyclische Moleküle mit konjugierten Doppelbindungen (→Aromatizitätskriterien). Griech.: aroma = Duft. Sie unterscheiden sich chemisch + physikalisch von den anderen nicht-aromatischen = aliphatischen Verbindungen.

Aromatizitätskriterien:

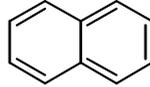
1. Ringförmig = Cyclisch (auch mehrfach = polycyclisch)
2. konjugierte Doppelbindungen  
delokalisiertes  $\pi$ -Elektronensystem
3. eben = planar
4. Hückelregel:  $4n+2$  Elektronen (2,6,10,14,...)  
 $4n$  Elektronen = Anti-Aromaten



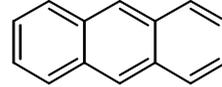
PAK polycyclische aromatische KW  
(kondensierte Aromaten)



Benzen ( $6e^-$ )



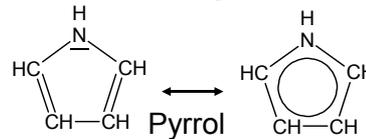
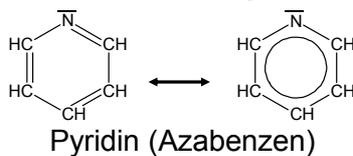
Naphthalin ( $10e^-$ )



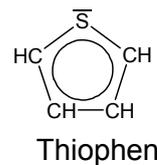
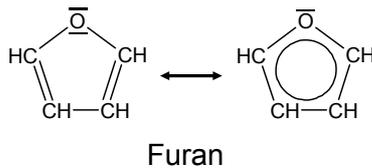
Anthracen ( $14e^-$ )

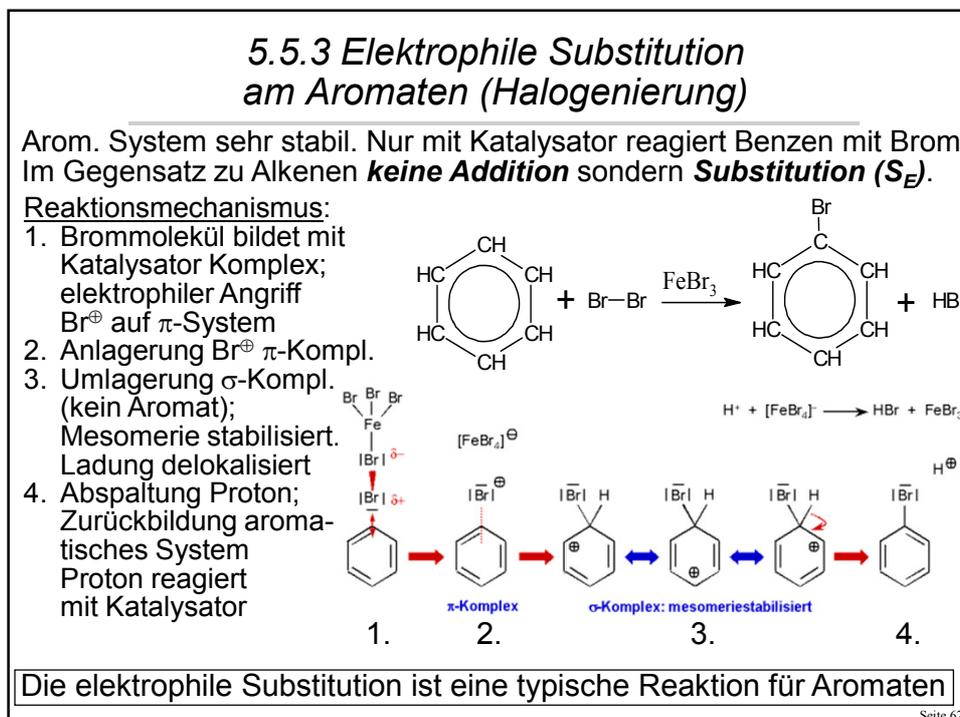
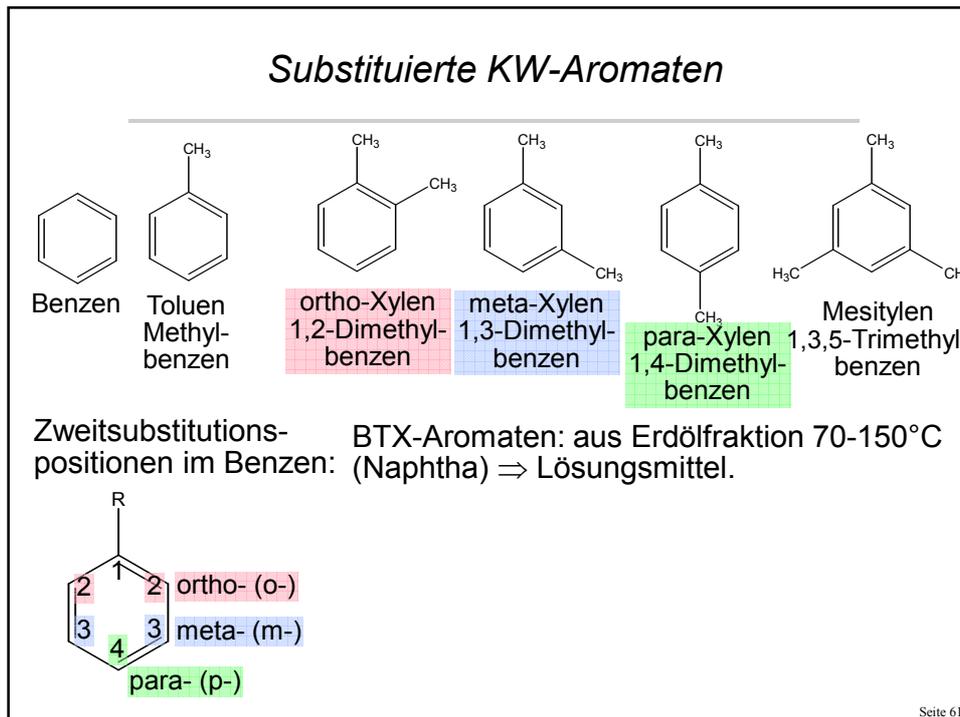
## 5.5.2 Hetero-Aromaten

Aromaten können Heteroatome (nicht-KW; O, N, S) enthalten:  
Sechsringe: Fünfringe:



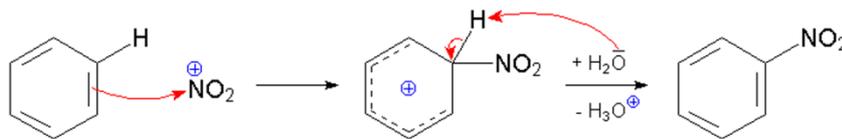
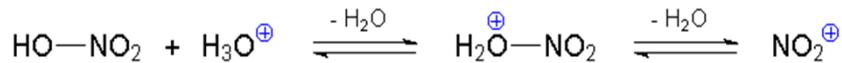
Sind Pyridin oder Pyrrol eine Base?



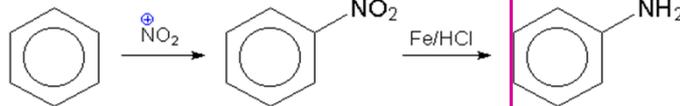


## Nitrierung von Benzen

Die Nitrierung von Benzen ist eine der am besten untersuchten elektrophilen Substitutionen an aromatischen Verbindungen. Das elektrophile, nitrierende Agens ist das Nitronium-Ion  $\text{NO}_2^+$ . Es entsteht bei der Protonierung von Salpetersäure durch andere starke Säure, z. B. Schwefelsäure:  $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Nitriersäure}$



+ Reduktion der Nitrogruppe  $\rightarrow$  **Amino-Aromaten (Anilin)**  
(direkt nicht möglich)

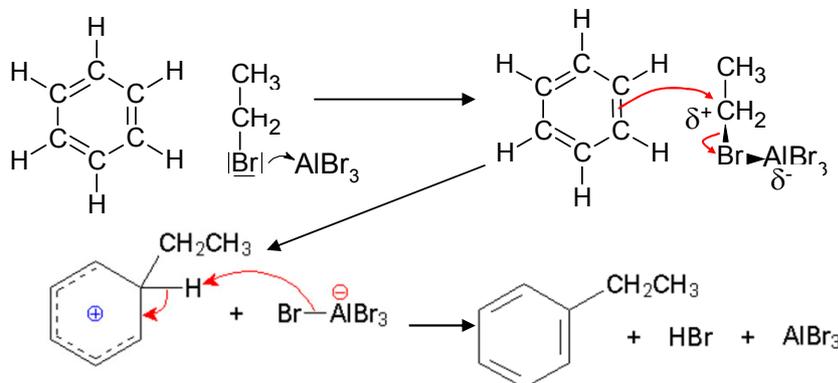


Seite 63

## Friedel-Crafts-Alkylierung

Alkyl-Reste können an Aromaten angeknüpft werden nach der sogenannten **Friedel-Crafts-Alkylierung**. Der Alkyl-Rest wird dabei als Alkylhalogenid eingesetzt. Das C-Atom am Halogen wird noch stärker positiviert durch Lewis-Säure ( $\text{AlBr}_3, \text{FeCl}_3, \text{BF}_3$ ) als Katalysator

Beispiel: Ethylierung von Benzen:



Seite 64

## Zusammenfassung Aromaten

Aromaten sind cyclische, planare Molekülstrukturen mit konjugierten Doppelbindungen, in denen  $4n+2$   $\pi$ -Elektronen delokalisiert sind.

Die einfachste aromatische Verbindung ist Benzen ( $C_6H_6$ ): 

Neben  $sp^2$ -hybridisierten C-Atomen auch Heteroatome (N,O,S) im Ring.

**Aromaten** sind durch Mesomerie stabilisiert und **wenig reaktiv**:

**Elektrophile Substitution:** Angriff eines Elektrophils (durch **Katalysator** gebildet) am Aromatenring und Austausch eines Wasserstoffatoms  $\Rightarrow$  substituierter Aromat.

Seite 65

## Zusammenfassung Organische Reaktionsmechanismen

Mechanismus	Symb.	Edukte	Reaktionsbed	Produkt(e)
Radikalische Substitution	$S_R$	Alkane + Halogene	UV/Temp.	Halogenalkane + Halogenwasserstoff
Elektrophile Addition	$A_E$	Alkene/Alkine + Halogen/ $H_2$ / $H_2O$	-	(subst.) Alkan/Alken Alkohole
Nukleophile Substitution	$S_N$	Subst. (hal.) Alkan + Nukleophil z. B.: + Alkohol + $OH^-$ + $NH_3$ + prim./sek. Amin		(Abgangsgruppe)+ Ether Alkohol prim. Amin /sek./tert. Amin
Elektrophile Substitution	$S_E$	Aromaten + Elektrophil	Katalysator (Lewissäure)	Subst. Aromaten

Seite 66

## 5.6 Naturstoffe

### 5.6.1 Fette

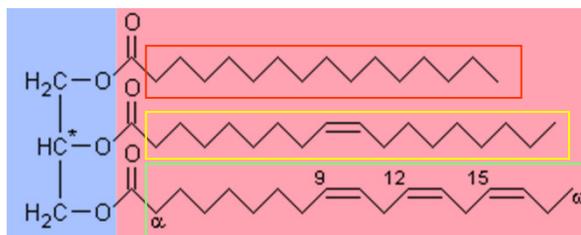
Lipide (gr. *lipos* = Fett) = nicht wasserlösliche Naturstoffe  
(löslich in lipophilen LöMi: Benzin, Benzen, Ether, Chloroform etc.)

Zu den Lipiden gehören:

Wachse (langkettige Ester), Fettsäuren, Sphingolipide, Terpene, etc.

**und Neutralfette** = Dreifachester des **Glycerins** (Glycerols) mit **drei Fettsäuren** (= Triglyceride = Triacylglycerine)

Fettsäuren: 4-26 C-Atome, <8 niedere, 8-12 mittlere, >12 höhere FS  
meist 12-22 C-Atome; immer geradzahlig (FS-Synthese Acetyl-CoA)



**Gesättigte Fettsäuren:**  
nur Einfachbindungen.

**Ungesättigte Fettsäuren:**  
auch Doppelbdng (Z-Konfig).

**Mehrfach ungesättigte Fettsäuren:** mehrere Doppelbindungen in  $\omega$ -3,  $\omega$ -6,  $\omega$ -9-Pos.

Hydrophobe Fettsäureketten schirmen Esterbindung ab  $\Rightarrow$  hydrophob.  
Nicht Wasserlöslich z. B. Fettagen auf Suppe.

Seite 67

## Fette/Öle

### Vorkommen – Verarbeitung - Verwendung

Quelle: tierisch/pflanzlich	Verarbeitung	Produkt	Verwendung
Rinder	Ausschmelzen (rel. hohe Temp. zerstört Doppelbdng)	Talg	chem. Industrie (z. B. Tenside)
Schweine, Gänse	Ausschmelzen	Schmalz	Nahrungsmittel
Wale, Robben	Ausschmelzen	Tran	Margarine/chem. I
Milch			Nahrungsmittel
Ölpflanzen (Ölsaaten): Raps, Sonnenblumen, Oliven, Flachs, Nüsse, Kürbis, Rizinus, Ölpalme, Kokos, etc	Kaltpressen schont Vitamin+ ungesättigte FS	Pflanzen-Öl	Nahrungsmittel
	Heißpressen		Nahrungsmittel/chem. Industrie
	Extraktion: Chlor-KW, Hexan; verdampfen		
Leinsamen		Leinöl	Ölfarbe; Linoleum
Raps, Sonnenblumen	Umesterung	Biodiesel	Kraftstoff

Die chem. Industrie verarbeitet Fette zu Wasch-/Reinigungsmitteln, Kosmetika, Schmierstoffen, etc.; viele Millionen Tonnen pro Jahr!

Seite 68

## Physiologische Bedeutung von Fetten

Fette und Öle sind Grundnährstoffen des Menschen; benötigt als:

- Energielieferant (Depotfett)
- Isolatoren gegen Kälte
- Lösungsmittel für nur fettlösliche Stoffe (Vitamine, Geschmacksstoffe)
- Schutzpolster für innere Organe und des Nervensystems
- Bestandteil der Zellmembranen (Doppelschicht)
- Hautschutz (nicht zu oft waschen!)

**Fette** (neben Zucker) = **Energiespeicher** der Zellen  $\Rightarrow$   $\beta$ -Oxidation.  
Hoher Brennwert 39 kJ/g. Doppelt so hoch wie Kohlehydrat o. Eiweiß.

**Essentielle Fettsäuren** (Omega-3, Omega-6 FS) können vom Körper nicht produziert werden; nur durch Nahrungsaufnahme.

Blutfett im menschlichen Körper:  
Neben Cholesterin, Triglyceride 70-170 mg/dl.

Seite 69

## Fette – fette Öle Schmelzpunkt

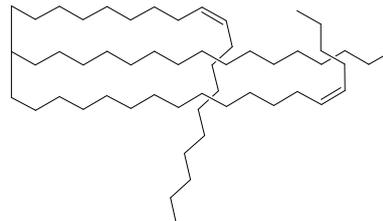
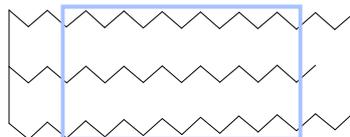
Man unterscheidet die festen *Fette* und die flüssigen *fetten Öle*.  
(**Fettes** Öl zur Unterscheidung von **Mineralöl** (aus Erdöl)!

Aggregatzust. von Fett/Öl bei Raumtemperatur abhängig vom Schmelzpunkt (m.p.) (+40 bis -20 °C), dieser ist wiederum abhängig von der Art der Fettsäure: Längere Ketten  $\Rightarrow$  höherer m.p. der Fettsäure:  
Buttersäure (C4:0) m.p.= -80°C, Stearinsäure (C18:0) m.p.= 70°C.

Schmelzpunkt durch Doppelbindung ab: Linolensäure (C18:3) m.p.= -11°C  
Fette aus **gesättigten Fettsäuren**. Öle: **(mehrf.) ungesättigte Fettsäuren**

All-trans-Konf. (zick-zack-Kette)  $\Rightarrow$  Kette Knick an cis-Doppelbindung  
gestreckte Ketten  $\Rightarrow$  parallel  $\Rightarrow$  keine laterale Ordnung möglich  
gelagerte Ketten (van-der-Waals-  $\Rightarrow$  niedriger Schmelzpunkt  
Kräfte)  $\Rightarrow$  **Mikrokristalle**  $\Rightarrow$  bei RT flüssig

relative hoher Schmelzpunkt (>RT);



Fettsäurengemisch  $\Rightarrow$  keinen Schmelzpunkt,  
sondern breiter Schmelzbereich.

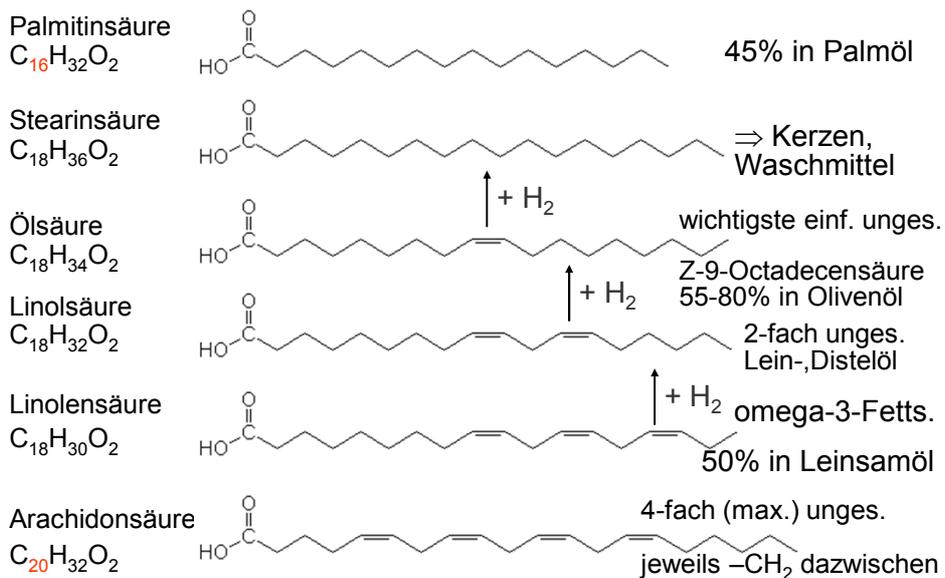
## Zusammensetzung von Fetten/Ölen und ihre Schmelzbereiche

Fettsäuren	Butter	Schweine- schmalz	Rinder- talg	Walöl	Kokos- fett	Oliven- öl	Sonnen- blumenöl	Leinöl
<b>gesättigte</b>								
Buttersäure (C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOH)	3%	-	-	-	-	-	-	-
Laurinsäure (C <sub>11</sub> H <sub>23</sub> COOH)	3%	-	-	-	48%	-	-	-
Palmitinsäure (C <sub>15</sub> H <sub>31</sub> COOH)	27%	27%	30%	18%	9%	15%	5%	7%
Stearinsäure (C <sub>17</sub> H <sub>35</sub> COOH)	10%	14%	20%	1%	3%	2%	2%	3%
andere Fettsäuren	18%	2%	4%	10%	32%	2%	1%	-
<b>ungesättigte</b>								
Ölsäure (C <sub>17</sub> H <sub>33</sub> COOH)	30%	45%	39%	32%	6%	71%	27%	18%
Linolsäure (C <sub>17</sub> H <sub>31</sub> COOH)	4%	8%	3%	5%	2%	8%	65%	14%
Linolensäure (C <sub>17</sub> H <sub>29</sub> COOH)	1%	-	-	-	-	-	-	58%
andere Fettsäuren	4%	4%	4%	16%	-	2%	-	-
Schmelzber. (in °C)	30 – 36	27 - 29	42 - 49	unter 0	20 - 23	-2 bis 0	-18 bis +11	-27 bis -16

Anteile einzelner Fettsäuren in verschiedenen Fetten (in Gew%)

Seite 71

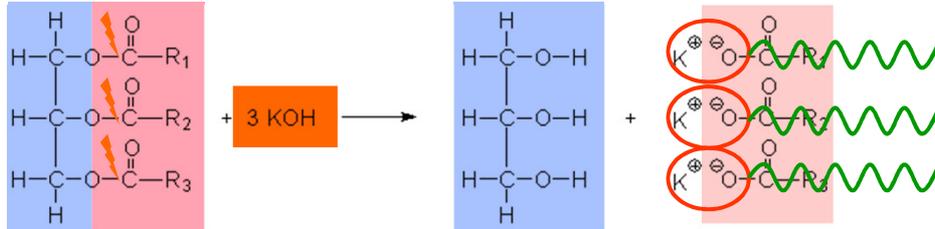
## Fettsäuren



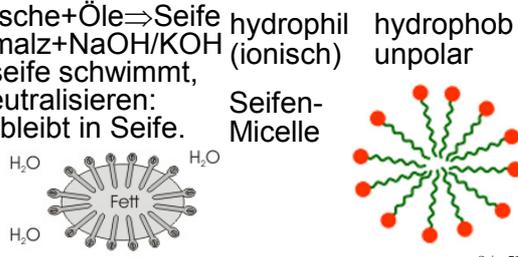
Seite 72

### Fettverseifung - Kernseife

Wie alle Ester, werden auch Fette durch Laugen irreversibel gespalten. Es entsteht **Glycerin** und Salze der Fettsäuren. Diese Salze wirken als Seifen, die Reaktion nennt man **Verseifung**.



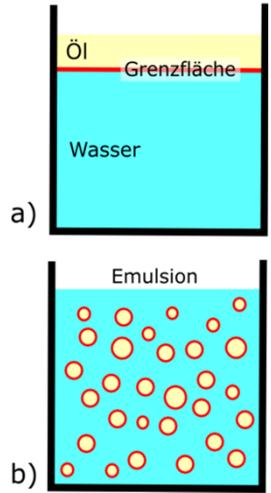
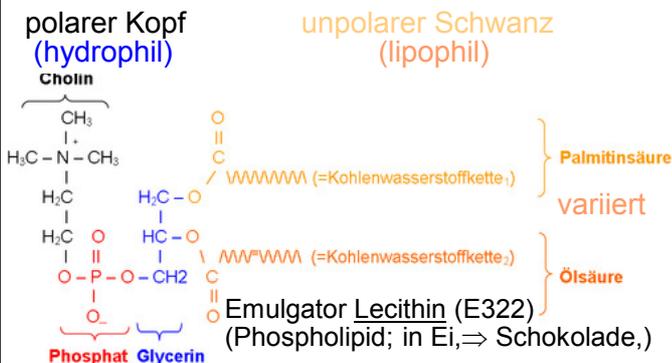
Seifensieden: Römer: Pflanzenasche+Öle⇒Seife  
 Kokos-, Oliven-, Palmöl, Talg, Schmalz+NaOH/KOH  
 Aussalzen mit NaCl (Lp !): Kernseife schwimmt,  
 Lauge + Glycerin unten. Oder neutralisieren:  
 Glycerin (Feuchtigkeitsspender) bleibt in Seife.  
 Mit hartem Wasser (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) schwerlösliche Kalkseife ⇒ als Waschmittel ungeeignet.



Seite 73

### Emulsionen - Emulgatoren

In der Lebensmittelindustrie eingesetzte Tenside heißen **Emulgatoren**. Ein **Emulgator** ermöglicht die Herstellung einer Emulsion = fein verteiltes Gemisch ansonsten nicht mischbarer Flüssigkeiten (a) (Öl/Wasser), z. B. Kosmetika, Milch, Margarine. Eine Phase als Tröpfchen in der anderen (b). Es gibt Wasser-in-Öl (W/O) und (O/W)-Emulsionen  
 Emulgatoren: Fettsäuresalze, Mono-/Diglyceride



## 5.6.2 Kohlenhydrate = Saccharide = Zucker

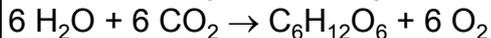
**Kohlenhydrate** nehmen eine zentrale Rolle für das Leben auf der Erde ein. Sie werden von allen Lebewesen zur **Energiegewinnung** und **-speicherung** verwendet.

Kohlenhydrate sind als **Mono-, Oligo-** und **Polysaccharide** wichtige Rohstoffe und Nahrungsbestandteile.

Sie werden im tierischen und menschlichen Organismus als **Glykogen** gespeichert.

Durch oxidativen Abbau ("Verbrennung") setzen sie die gespeicherte Energie frei.

Kohlenhydrate werden aus  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  bei der **Photosynthese** aufgebaut.



Die Kohlenhydrate haben fast alle die allgemeine Summenformel  $\text{C}_m(\text{H}_2\text{O})_n$ , sind also (formal) "Hydrate" des Kohlenstoffs.



Seite 75

## Konstitution der Kohlenhydrate Aldosen - Ketosen

Kohlenhydrate gehören zur großen Naturstoffklasse der Hydroxyaldehyde bzw. Hydroxyketone.

Man unterscheidet - abhängig von der Lage der  $\text{C}=\text{O}$ -Doppelbindung – zwei Gruppen von Kohlenhydraten:

Die **Aldosen** besitzen eine endständige Aldehydgruppe, die **Ketosen** eine Ketogruppe (Strukturisomerie).

An den übrigen C-Atomen befindet sich in der Regel je eine OH-Gruppe.

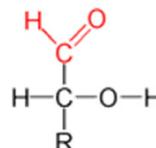
Außerdem unterscheidet man nach der Anzahl der C-Atome:

Triosen (3), Tetrosen (4),

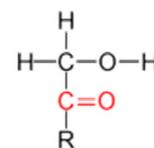
Pentosen (5) und Hexosen (6).

Letzten beiden wichtig für Stoffwechsel.

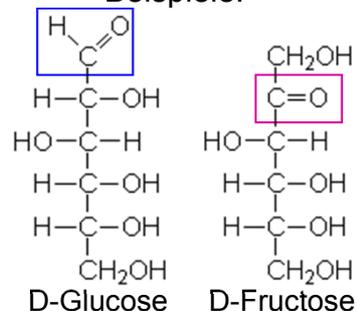
Aldosen



Ketosen



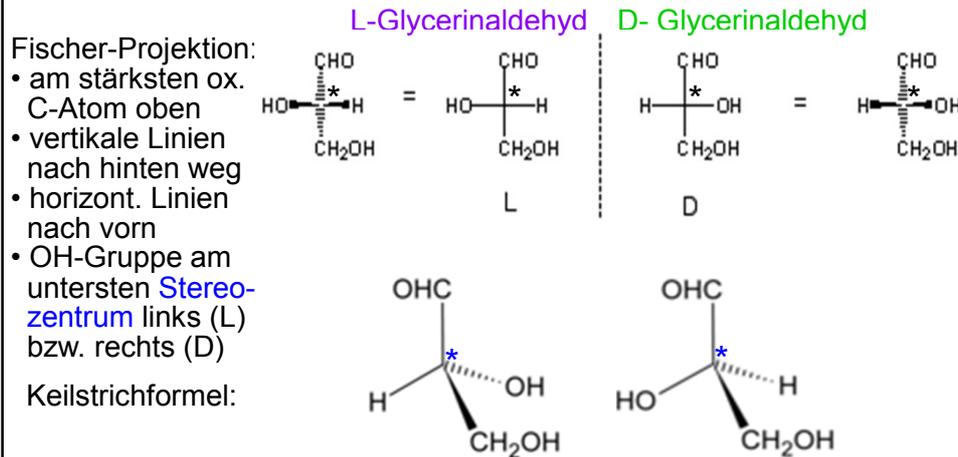
Beispiele:



76

## Aldo-Triosen Chiralität - Enantiomere

Triosen besitzen drei C-Atome. Das zweite C-Atom ist asymmetrisch (\*) substituiert, besitzt vier verschiedene Substituenten und ist daher **chiral**. Es gibt also zwei Enantiomere (Spiegelbildisomere):



Seite 77

## Optische Aktivität Polarimetrie

Beim Durchgang von linear polarisiertem Licht durch Substanzen mit chiralen Molekülen wird die Polarisations Ebene des Lichts gedreht. Die Substanz ist **optisch aktiv**.

Man unterscheidet:

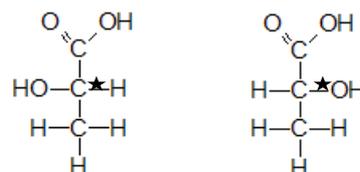
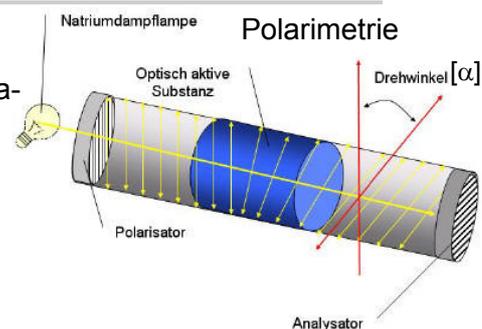
**rechtsdrehende (+)** Verb. und **linksdrehende (-)** Verbindungen.

Der spezifische **Drehwinkel  $[\alpha]$**  ist charakteristische Materialeigenschaft.

Zwei Enantiomere haben gleichen Drehwinkelbetrag, aber unterschiedliches Vorzeichen. Ein 1:1 Gemisch zweier Enantiomere (**Racemat**) ist optisch inaktiv.

Beispiel: Milchsäure (2-Hydroxypropans.)

**rechtsdrehend (+) / linksdrehend (-)** hat **nichts** mit D/L-Konfiguration zu tun!



L- (+)-Milchsäure  
 $[\alpha] = +2,6^\circ$

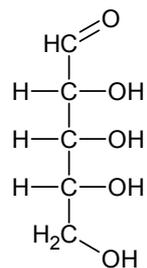
D- (-)-Milchsäure  
 $[\alpha] = -2,6^\circ$

## Aldo-Pentosen

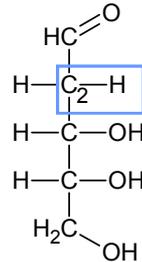
Pentosen: 5 C-Atome, 3 chirale  $\Rightarrow 2^3=8$  Isomere (4 Enantiomerenpaare).

Von den Pentosen sind zwei von biochemischer Bedeutung:  
Die D-Ribose und die 2-Desoxy-D-ribose. Beide kommen in den Nucleinsäuren vor: Die Ribose in der Ribonucleinsäure (RNS), die Desoxyribose in der Desoxyribonucleinsäure (DNS)

D-Ribose



2-Desoxy-D-ribose



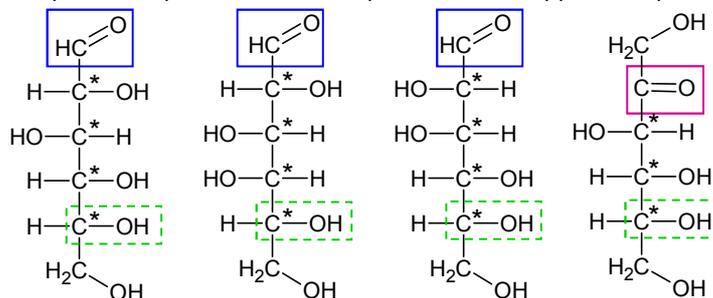
Seite 79

## Hexosen

Hexosen: 6 C-Atome; Aldo-Hexosen: 4 Stereozentren (\*)

$\Rightarrow 2^4=16$  Isomere (8 Enantiomerenpaare, jeweils D/L).

Biochemische Bedeutung: Glucose (Traubenzucker), Galactose, Mannose (Aldosen) und Fructose (Fruchtzucker)(Ketose).



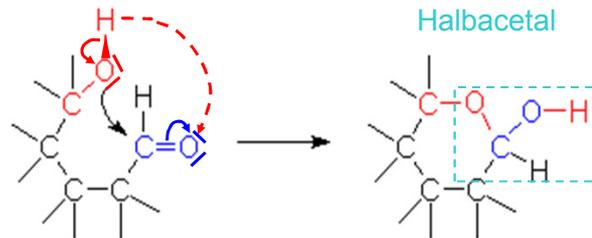
Im Organismus kommen nur D-Enantiomere vor.

D-Enantiomere haben die OH-Gruppe am untersten asymmetrisch substituierten C-Atom nach rechts zeigend.

Seite 80

## Halbacetalbildung bei Zuckern Pyranosen - Furanosen

Zucker können – als Hydroxyaldosen bzw. -ketosen – in wässriger Lsg. intramolekular (mit sich selbst) reagieren  $\Rightarrow$  Bildung eines Halbacetals unter Ringschlussreaktion.



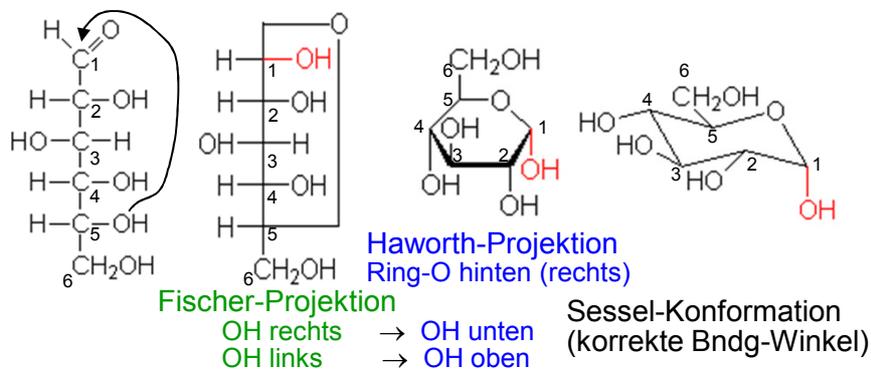
Aus dem  $sp^2$ -hybridisierten Carbonyl-Kohlenstoff wird eine  $sp^3$ -hybridisierter Halbacetal-Kohlenstoff mit 4 Einfachbindungen zu unterschiedlichen Substituenten - einer davon ist eine neue OH-Gruppe.

Seite 81

## Darstellung der Halbacetalform von Zuckern

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die cyclische Halbacetalform von Zuckern darzustellen:

Beispiel: Glucose, genauer D-Glucopyranose (Sechsring)



Ringkohlenstoff- und -wasserstoffatome werden weggelassen.

Seite 82

### $\alpha$ -/ $\beta$ -Anomere Mutarotation Beispiel: Glucose

Aldehydgruppe stellt ein **prochirales Zentrum** dar. Durch Bildung des cyclischen Halbacetals entsteht zusätzliches chirales (= **anomeres**) C-Atom (C<sub>1</sub>), neu gebildete anomere OH-Gruppe zwei Konform.

⇒ Zwei verschiedene Formen Glucopyranose:  $\alpha$ / $\beta$

**$\alpha$ -D-Glucopyranose**

**$\beta$ -D-Glucopyranose**

Cycl. Halbacetale = Diastereomere ⇒ **Unterschiedlicher spez. opt. Drehwinkel**

**Mutarotation:**  
In wässriger Lösung Umwandlung  $\alpha \leftrightarrow \beta$  bis Gleichgewicht.

Seite 63

### Reduzierende Zucker

Die Aldehydgruppe der Glucose kann oxidiert werden (⇒Gluconsäure); sie selbst wirkt als Reduktionsmittel ⇒ reduzierender Zucker.  
 Reduzierende Zucker: Positive Fehling-, Tollens-, Schiff-Probe.  
 Früher: Nachweis Glucose im Harn ⇒ Diabetes

$$\begin{array}{c}
 \text{H} \\
 | \\
 \text{C}=\text{O} \\
 | \\
 \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\
 | \\
 \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\
 | \\
 \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\
 | \\
 \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\
 | \\
 \text{H}_2\text{C}-\text{OH}
 \end{array}
 + 2\text{Cu}^{2+} + 4\text{OH}^- \longrightarrow
 \begin{array}{c}
 \text{HO} \\
 | \\
 \text{C}=\text{O} \\
 | \\
 \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\
 | \\
 \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\
 | \\
 \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\
 | \\
 \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\
 | \\
 \text{H}_2\text{C}-\text{OH}
 \end{array}
 + \text{Cu}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$$

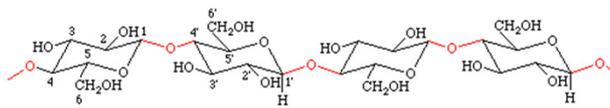
Glucose	Fructose	Saccharose
reduzie- rend	reduzie- rend	<b>nicht</b> reduzie- rend

Alle Aldosen (Glucose, Galaktose, Mannose) = reduzierende Zucker. Ketosen (z.B Fructose) können- im Gegensatz zu Ketonen – auch oxidiert werden, wegen Keto-Endiol-Tautomerie ⇒ Gleichgewicht mit Glucose, Mannose).  
 Haushaltszucker Saccharose: nicht reduzierend.

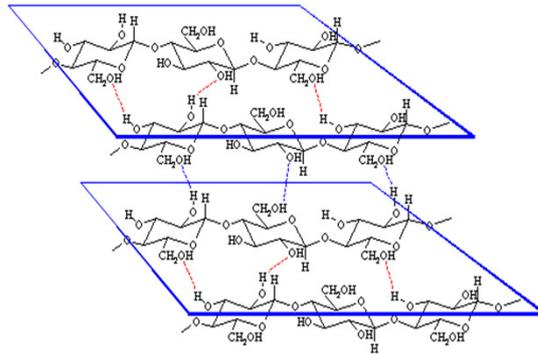
## Polysaccharide (Glykane): Cellulose

Polysaccharide=Mehrfachzucker: 100 bis >10.000 Monosacch. verknüpft über Glykosidbindungen -O-. Wichtigste Polysacch.: Cellulose, Stärke, Glycogen

Cellulose: Hauptteil (50%)  
pflanzl. Zellwände →  
häufigst. Polysacch.: 10<sup>11</sup> t/a  
Unverzweigtes Polysacch.  
~10000 D-Glucose 1,4- β-glykosidisch verknüpft.



Ca. 2000 Molekülketten lagern sich zusammen zu Mikrofibrillen. (H-Brücken) ⇒ kristalline Struktur ⇒ sehr stabil, nicht wasserlöslich.

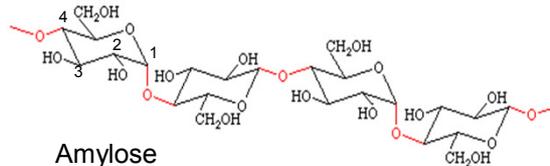


Starke Säuren spalten (lösen) Cellulose;  
Konzentrierte Säure, hohe Temp.  
→ Abbau zu Glucose.

## weitere Polysaccharide

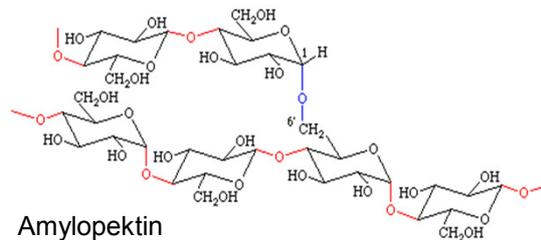
Stärke (Amylum, pflanzliches Reservekohlenhydrat) besteht aus:

10 – 30%  
Amylose = 1,4-α-D-Glucose  
(linear)



und

70 – 90%  
Amylopektin = 1,4- und 1,6'-  
α-D-Glucose; 1:30 ⇒  
Verzweigung



Glycogen (tierisches Reservekohlenhydrat, Leber) Struktur wie Amylopektin, aber stärker verzweigt 1:10. M=1.000.000 da; 3000 D-Glucose-Einheiten

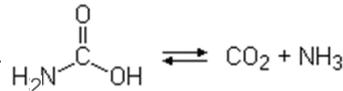
### 5.6.3 Aminosäuren allgemein

Proteine (= Eiweiße) sind aus Aminosäuren aufgebaut. Die Aminosäuren und deren Verknüpfung bestimmen die Eigenschaften der Struktur-, Transport- und Funktionsproteine der Zellen, der Enzyme und vieler Hormone.

Aminosäuren bilden die Grundlage der belebten Welt.

Aminosäuren besitzen mindestens eine Carboxyl- und eine Amino-Gruppe.

Die einfachste Aminosäure ist die Carbaminsäure, diese ist jedoch nicht stabil:



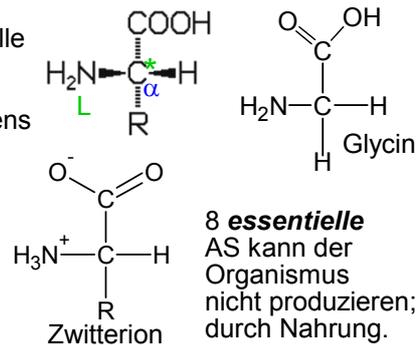
Von biochemischem Interesse sind die **α-Aminosäuren**. Zu diesem Typ gehören alle proteinogenen Aminosäuren.

Die α-Aminosäuren sind – mit Ausnahme von Glycin – **chiral**, besitzen also mindestens ein **asymmetrisches C-Atom**.

Es gibt also jeweils D- und L-Enantiomere. Proteinogen sind nur die **L-Aminosäuren**.

In wässriger Lösung liegen Aminosäuren häufig als Zwitterion vor.

Es sind 21 proteinogene Aminosäuren bekannt (viele Kombinationen!) und 250 nicht proteinogene.



**8 essentielle** AS kann der Organismus nicht produzieren; durch Nahrung.

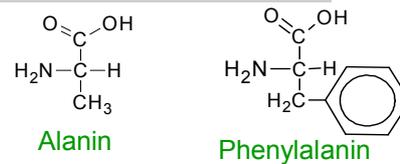
Seite 87

### Einteilung der Aminosäuren

**Neutrale Aminosäuren** = keine funkt., dissozierenden Seitengruppen ⇒ isoelektrischer Punkt pH 5,5 - 7,5.

**Unpolare neutrale Seitenketten:**

KW (Alanin, Phenyl- (Phenylalanin)).

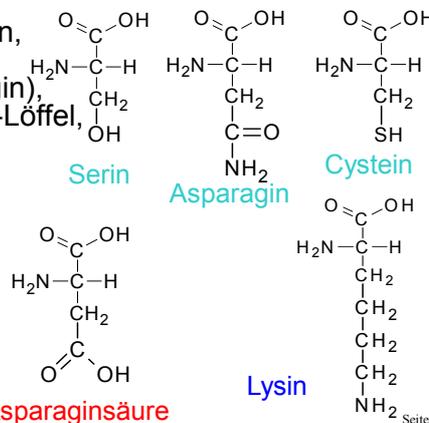


**Polare neutrale Aminosäuren:**

Neutrale Aminosäuren mit funktionellen, aber nicht dissozierenden Gruppen.

Hydroxyl-(Serin), Säureamid-(Asparagin), Schwefelhaltig (Cystein, in Ei, kein Ag-Löffel, sonst schwarzes Ag<sub>2</sub>S)

Acetylcystein ACC gegen Schwermetallionvergiftung und Strahlenschädenprophylaxe (Radikalfänger)



**Sauren Aminosäuren**

(z.B.) Asparaginsäure) zweite Carboxylgruppe. In wässriger Lösung sauer.

**Basischen Aminosäuren**

weitere Aminogruppen (z.B. Lysin).

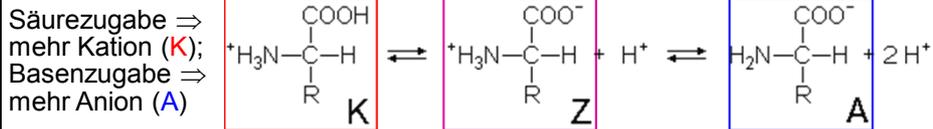
Asparaginsäure

Lysin

Seite 88

### Dissoziation, Titration und isoelektrischer Punkt von Aminosäuren

In Wasser liegen AS hauptsächlich als Zwitterion (Z) vor (deshalb gut Löslich.)



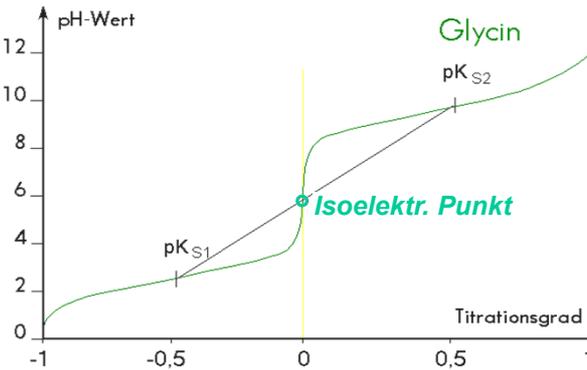
Henderson-Hasselb.-Gl.:  $\text{pH} = \text{pK}_{\text{S1}} + \log \frac{[\text{Z}]}{[\text{K}]}$  bzw.  $\text{pH} = \text{pK}_{\text{S2}} + \log \frac{[\text{A}]}{[\text{Z}]}$

da alles schwache Säuren bzw. Basen, K/Z, Z/A Puffer

Beispiel: Glycin  
 zwei-protonige schwache S.

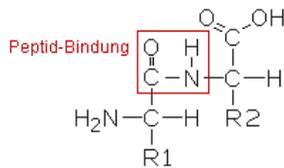
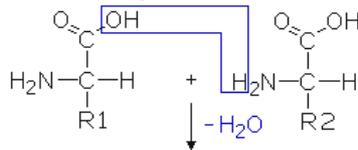
**Isoelektr. Punkt** ( $\text{pH}_{\text{IP}}$ ):  
 AS nach außen neutral:  
 haupts. [Z] und [A]=[K]

$$\text{pH}_{\text{IP}} = \frac{1}{2} \cdot (\text{pK}_{\text{S1}} + \text{pK}_{\text{S2}}).$$

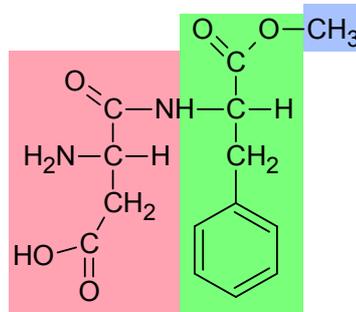


### Peptide

Aminosäuren können miteinander reagieren, wobei die Carboxylgruppe der einen und die Aminogruppe der anderen unter **Wasserabspaltung** eine **Amidbindung** ausbilden. Bei Aminosäuren nennt man sie **Peptid-Bindung**.



Di- (2 AS), Tri- (3 AS), Oligo- (<10 AS),  
 Polypeptid (10-100 AS),  
 Makropeptide = Protein (>100 AS)  
 Tripeptid:  $21^3 = 9261$  Kombinationen!



Beispiel: Dipeptid:  
 Aspartam (Süßstoff, Nutrasweet®)  
 Asparagins.-Phenylalanin-Methylester

## Primärstruktur von Peptiden

Als **Primärstruktur** von Peptiden bzw. Proteinen bezeichnet man die **Sequenz** (Reihenfolge) der Aminosäuren in der Kette.

Beispiel: Polypeptid Insulin:

Regelt Glucose-Konzentration im Blut.

Summenformel  $C_{257}H_{383}N_{65}O_{77}S_6$ ,

M = 5808 Da

**Primärstruktur:** 2 Peptidstränge

A: 21 Aminosäure, B: 30 AS

mit genau definierter Sequenz.

Zusammengehalten über

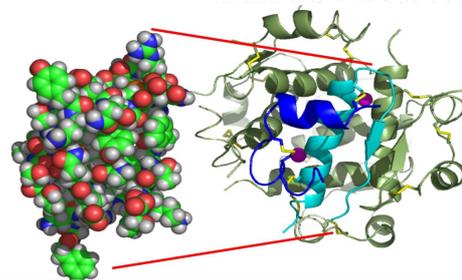
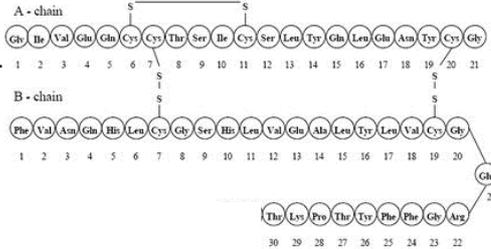
Disulfid-Brücken des Cystein.

**Räumliche Anordnung (Sekundärstruktur)** des Insulin:

Kalottenmodell (links): C, H, O, N

Strukturelementmodell (rechts):

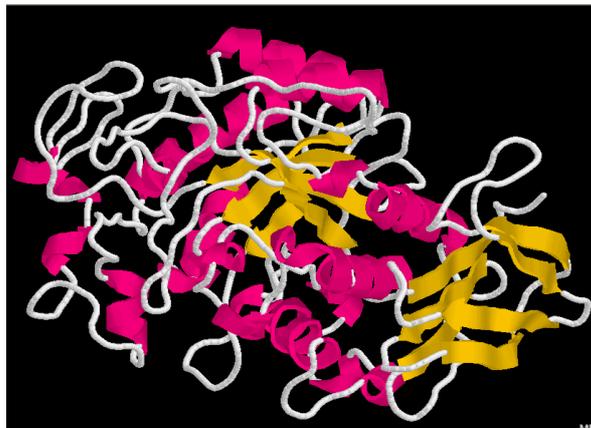
Strang A, Strang B, Disulfid-Brücken



91

## Sekundärstruktur der Polypeptide

Die bei der Proteinbiosynthese gebildete Peptid-Kette bildet je nach Aminosäuresequenz Sekundärstrukturen, z.B.  $\alpha$ -Helix oder  $\beta$ -Faltblatt, aus. Die Sekundärstrukturen werden durch Wasserstoffbrücken stabilisiert. In einem Protein können mehrere Helices und/oder Faltblatt-Strukturen vorkommen.



Beispiel: Amylase  
Enzym im Speichel  
spaltet Stärke

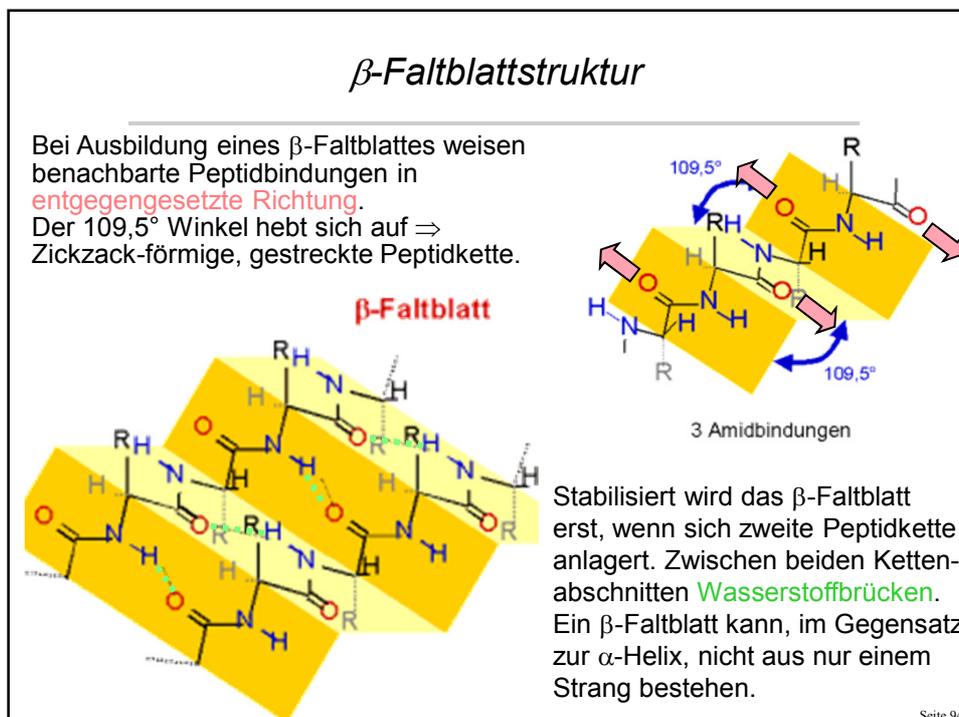
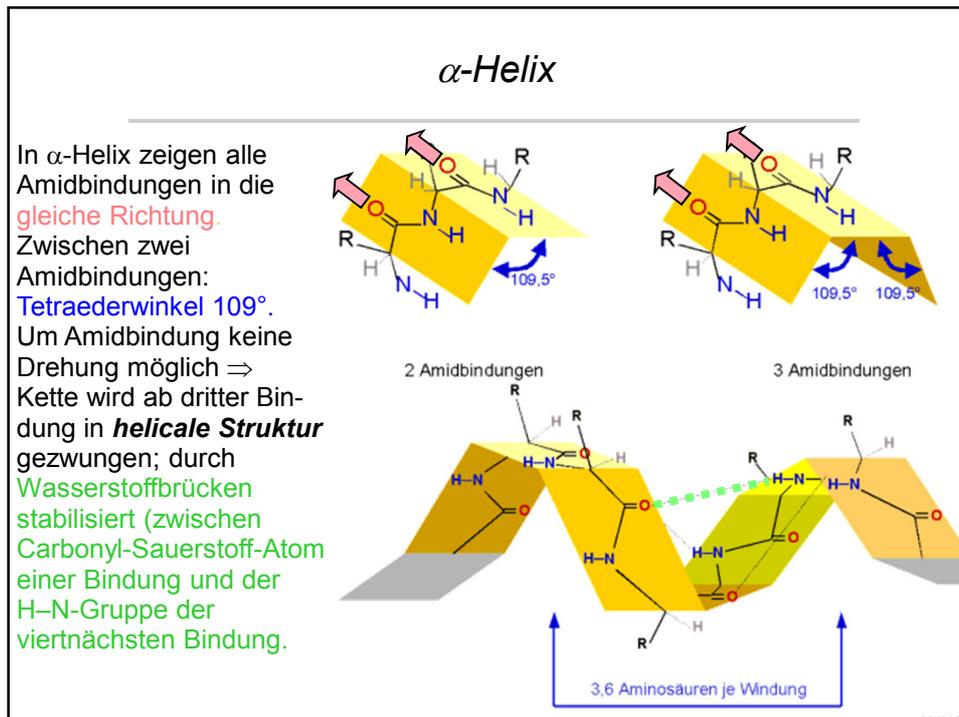
Faltblatt-Strukturen können parallel sein



oder antiparallel



Seite 92



## 5.6.4 Biopolymere

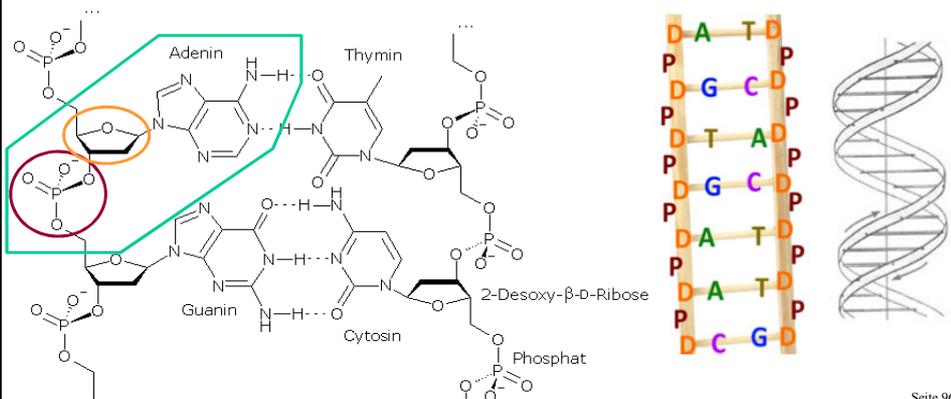
Unter Polymeren versteht man große (Makro-)Moleküle mit  $M > 1000$  Da, die aus Einzeleinheiten, den Monomeren, aufgebaut sind. Biopolymere sind solche natürlich vorkommenden Polymere.

Biopolymer	Monomereinheit
Proteine und Peptide	Aminosäuren
Polysaccharide Cellulose, Stärke, Glykogen	Glucose
Nukleinsäuren (DNS, RNS)	Nukleotide

Seite 95

## DNS

Die Desoxyribonukleinsäure DNS (engl. DNA) trägt die genetische Information für die biologische Entwicklung in Zellen. Sie besitzt Doppelhelixstruktur. Jeder **Strang** ist aus charakterist. Sequenz von **Nukleotiden** aufgebaut. Jedes **Nukleotide** besteht aus einem **Phosphorsäurerest** und einer **Desoxyribose** (abwechselnd in der Kette). Jede Desoxyribose trägt eine organische (Nukleo-)Base: **Adenin**, **Guanin**, **Cytosin**, **Thymin**.



Seite 96

## *Zusammenfassung Naturstoffe*

Es gibt eine Fülle verschiedener Verbindungen in den Organismen.

**Fette:** Ester des Glycerins mit drei C4-C26-Carbonsäuren=Fettsäuren  
Fettsäuren tw. ungesättigt (mit 1-3 Doppelbindungen). Dadurch kleinere  
Kristalle  $\Rightarrow$  niedrigerer Schmelzpunkt  $\Rightarrow$  Speiseöl.

**Zucker (Saccharide):** Aldehyde oder Ketone mit OH-Gruppen an den  
anderen C-Atomen. Endung:-ose. Wichtigste Hexosen:

**Glucose, Fructose** (beide  $C_6H_{12}O_6$ ). OH-Gruppe um untersten asym-  
metrisch substituierten C-Atom zeigt nach rechts (= D-Zucker)

**Ringschlussreaktion** (Halbacetal-Bildung) der Glucose erzeugt OH-  
Gruppe an neuem Stereozentrum  $\Rightarrow$  zwei Isomere ( $\alpha$ -/ $\beta$ -).

Verknüpfung von Monosacchariden über glycosidische Bindungen.

Wichtigste Polysaccharide: Amylose (Stärke) aus  $\alpha$ -Glucose  
und Cellulose aus  $\beta$ -Glucose).

**Aminosäuren (AS):** Carbonsäuren (-COOH) mit Aminogruppe (-NH<sub>2</sub>).

Peptide: Stränge mehrerer AS über Amidbindungen verknüpft.

Proteine: Makropeptide aus >100 AS mit Aminogruppe in  $\alpha$ /L-Stellung.

**DNS:** Doppelhelix; zwei Strängen alternierend Phosphatrest/Zucker.

Zucker trägt Nucleobase (A,G,C,T; Sequenz  $\Rightarrow$  Erbinformation)

Seite 97