

# 1 Was ist organische Chemie? - Einleitung

## Organische Verbindungen

- **Periodensystem:** Wo sind die Grenzen der organischen Chemie?

alle organischen Verbindungen bauen auf dem Kohlenwasserstoff-Gerüst auf: **C, H**

## The Periodic Table According to Organic Chemists

1 <b>H</b> 1.0079															2 <b>C</b> 12.011		
3 <b>C</b> 12.011	4 <b>C</b> 12.011											5 <b>C</b> 12.011	6 <b>C</b> 12.011	7 <b>N</b> 14.007	8 <b>O</b> 15.999	9 <b>F</b> 18.998	10 <b>C</b> 12.011
11 <b>C</b> 12.011	12 <b>C</b> 12.011											13 <b>C</b> 12.011	14 <b>C</b> 12.011	15 <b>C</b> 12.011	16 <b>C</b> 12.011	17 <b>Cl</b> 35.453	18 <b>C</b> 12.011
19 <b>C</b> 12.011	20 <b>C</b> 12.011	21 <b>C</b> 12.011	22 <b>C</b> 12.011	23 <b>C</b> 12.011	24 <b>C</b> 12.011	25 <b>C</b> 12.011	26 <b>C</b> 12.011	27 <b>C</b> 12.011	28 <b>C</b> 12.011	29 <b>C</b> 12.011	30 <b>C</b> 12.011	31 <b>C</b> 12.011	32 <b>C</b> 12.011	33 <b>C</b> 12.011	34 <b>C</b> 12.011	35 <b>Br</b> 79.904	36 <b>C</b> 12.011
37 <b>C</b> 12.011	38 <b>C</b> 12.011	39 <b>C</b> 12.011	40 <b>C</b> 12.011	41 <b>C</b> 12.011	42 <b>C</b> 12.011	43 <b>C</b> 12.011	44 <b>C</b> 12.011	45 <b>C</b> 12.011	46 <b>C</b> 12.011	47 <b>C</b> 12.011	48 <b>C</b> 12.011	49 <b>C</b> 12.011	50 <b>C</b> 12.011	51 <b>C</b> 12.011	52 <b>C</b> 12.011	53 <b>I</b> 126.90	54 <b>C</b> 12.011
55 <b>C</b> 12.011	56 <b>C</b> 12.011	71 <b>C</b> 12.011	72 <b>C</b> 12.011	73 <b>C</b> 12.011	74 <b>C</b> 12.011	75 <b>C</b> 12.011	76 <b>C</b> 12.011	77 <b>C</b> 12.011	78 <b>C</b> 12.011	79 <b>C</b> 12.011	80 <b>C</b> 12.011	81 <b>C</b> 12.011	82 <b>C</b> 12.011	83 <b>C</b> 12.011	84 <b>C</b> 12.011	85 <b>C</b> 12.011	86 <b>C</b> 12.011
87 <b>C</b> 12.011	88 <b>C</b> 12.011	103 <b>C</b> 12.011	104 <b>C</b> 12.011	105 <b>C</b> 12.011	106 <b>C</b> 12.011	107 <b>C</b> 12.011	108 <b>C</b> 12.011	109 <b>C</b> 12.011	110 <b>C</b> 12.011								

# 1 Was ist organische Chemie? - Einleitung

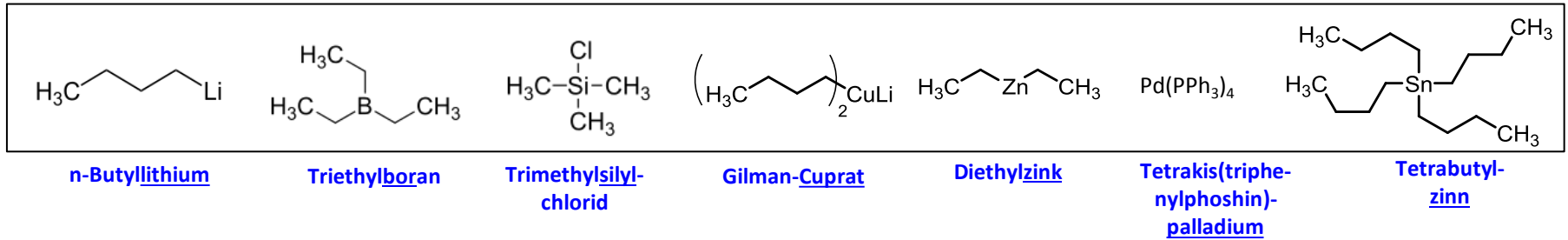
## Organische Verbindungen

### ■ Periodensystem: Wo sind die Grenzen der organischen Chemie?

alle organischen Verbindungen bauen auf dem Kohlenwasserstoff-Gerüst auf: **C, H**

öfters kommen hinzu: **O, N**, manchmal: **S, P** sowie Halogene **F, Cl, Br, I**

weitere: **Li, B, Si, Cu, Zn, Pd, Sn** (sog. „metallorganische Chemie“)



das Periodensystem des Organikers

1																	18
<b>H</b>	2											13	14	15	16	17	
<b>Li</b>												<b>B</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>F</b>	
<b>Na</b>	<b>Mg</b>	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cl</b>	
<b>K</b>			<b>Ti</b>		<b>Cr</b>		<b>Fe</b>			<b>Cu</b>	<b>Zn</b>				<b>Se</b>	<b>Br</b>	
							<b>Ru</b>		<b>Pd</b>	<b>Ag</b>			<b>Sn</b>			<b>I</b>	
							<b>Os</b>			<b>Au</b>	<b>Hg</b>						
	<b>Sm</b>																

# 1 Was ist organische Chemie? - Einleitung

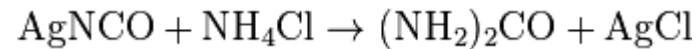
**Organische Chemie** entstand zu Beginn des 19. Jahrhunderts



Friedrich Wöhler (1800-1882)  
Pionier der organischen Chemie

1824: Synthese von Oxalsäure durch Hydrolyse von Dicyan

1828: Harnstoff aus Ammoniumcyanat



Die Wöhler'schen Synthesen eröffneten das Feld der Biochemie, da zum ersten Mal Stoffe, die bisher nur von lebenden Organismen bekannt waren, aus „unbelebter“ Materie künstlich (synthetisch) erzeugt werden konnten.

**Organische Chemie** ist die Wissenschaft von den Molekülen und der Versuch, die **Chemie des Lebens** zu verstehen

# Das Zeitalter der organischen Chemie

- > 95% aller bekannten Verbindungen aus Kohlenstoff
  - Organische Chemie für unseren Lebensstil entscheidend: Kleidung, Materialien (Polymere), Erdöl, Medizin, UNSERE KÖRPER
  - > 50% der Chemiker sind Organiker
- 
- ❑ STRUKTUR : Bestimmen, auf wie Atome räumlich zusammengefügt werden um komplexe Moleküle zu bilden
  - ❑ MECHANISMUS: Verständnis der Reaktivität von Molekülen: Wie und warum chemische Reaktionen stattfinden?
  - ❑ SYNTHESE: Komplexe Moleküle aus einfachen Molekülen mit chemischen Reaktionen aufbauen

# Was ist organische Chemie? - Einleitung

## Organische Chemie ist die Grundlage des Lebens (Naturstoffe)

### ■ Proteine

- Mechanische Funktionen: Gerüststoffe, kontraktile Elemente
- Stoffwechselfvorgänge (Enzyme)
- Koordination der Funktionen (Rezeptoren, Botenstoffe)
- Transportfunktionen

### ■ Nucleinsäuren

- Codierung der Proteinstrukturen
- Template für Proteinsynthesen

### ■ Kohlenhydrate

- Gerüststoffe
- Energiespeicher

### ■ Lipide

- Grundbausteine der Zellmembran
- Energiespeicher

**Organische Chemie** wächst ständig, stellt zunehmend neue Moleküle her

**Organische Chemie** ist heute Grundlage weltweiter Tätigkeit Millionen von Menschen zu ernähren, kleiden, heilen, etc.

# Was macht das C-Atom so einzigartig?

C-Atome sind in der Lage, in fast jeder denkbaren Kombination und Molekülgröße Ketten und Ringe untereinander und unter Beteiligung anderer Atome (vor allem O, N und S) zu bilden.

Darüber hinaus gehen sie Bindungen zu H-Atomen und einigen anderen Atomen ein (z. B. zu Phosphor- und Halogenatomen).

Aus der Vielzahl der möglichen Molekülgrößen, Strukturen und Zusammensetzungen ergibt sich die riesige Zahl organischer Verbindungen.

Und noch eine Besonderheit:

Aufgrund der Zusammensetzung liegt in organischen Verbindungen als Bindungsart fast ausschließlich die **Elektronenpaarbindung** vor.

# Struktur und Bindung organischer Moleküle

Elektronegativitätsskala einiger ausgewählter Elemente

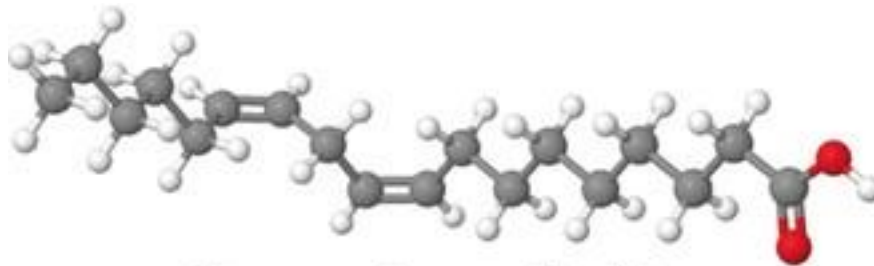
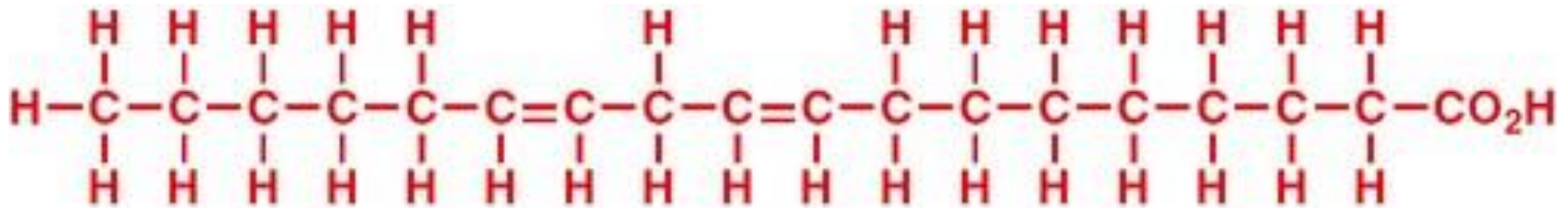
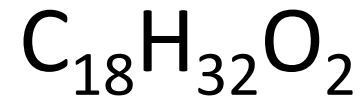
<b>H</b> 2.2						
<b>Li</b> 1.0	<b>Be</b> 1.6	<b>B</b> 2.0	<b>C</b> 2.6	<b>N</b> 3.0	<b>O</b> 3.4	<b>F</b> 4.0
<b>Na</b> 0.9	<b>Mg</b> 1.3	<b>Al</b> 1.6	<b>Si</b> 1.9	<b>P</b> 2.2	<b>S</b> 2.6	<b>Cl</b> 3.2
<b>K</b> 0.8						<b>Br</b> 3.0
						<b>I</b> 2.7

Die Elektronegativität von Fluor wird willkürlich auf 4.0 gesetzt, die anderen Werte sind relativ

# Zeichnen von Molekülen – Strukturformeln

- realitätsnah, aber ökonomisch!

**Linolsäure** (cis,cis-Octadeca-9,12-diensäure)



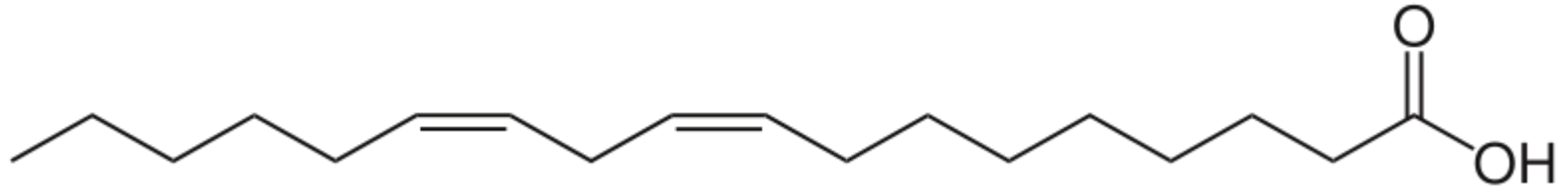
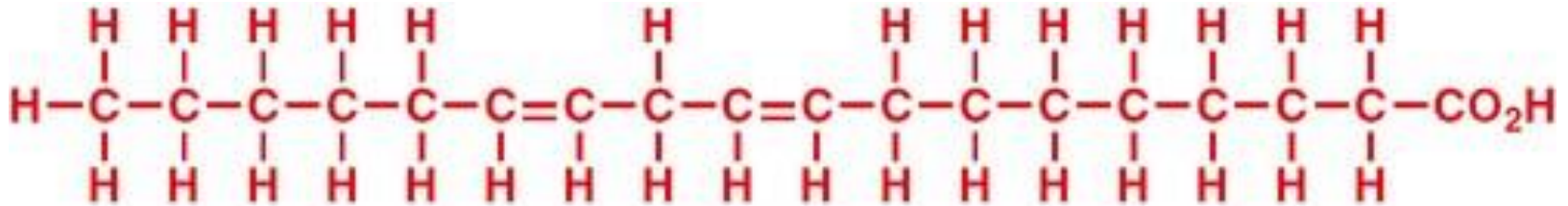
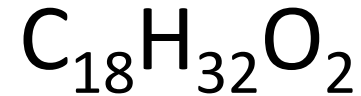
Röntgenstruktur von Linolsäure



# Zeichnen von Molekülen – Strukturformeln

- realitätsnah, aber ökonomisch!

**Linolsäure** (cis,cis-Octadeca-9,12-diensäure)



# Zeichnen von Molekülen – Strukturformeln

- realitätsnah, aber ökonomisch!



1



2

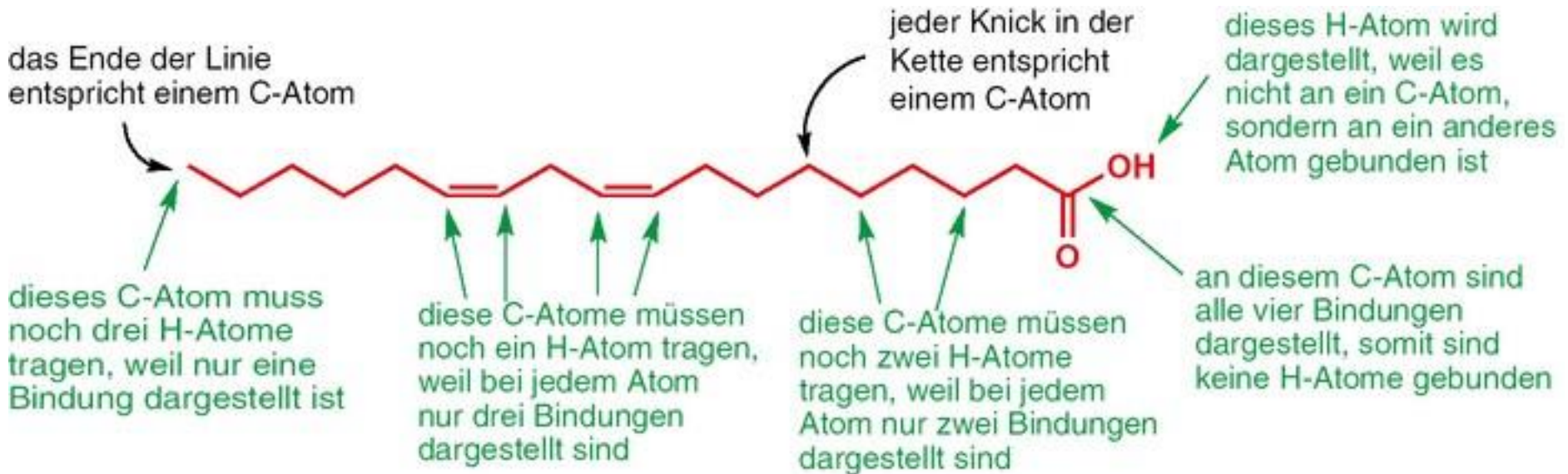
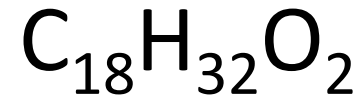


3

# Zeichnen von Molekülen – Strukturformeln

- realitätsnah, aber ökonomisch!

**Linolsäure** (cis,cis-Octadeca-9,12-diensäure)

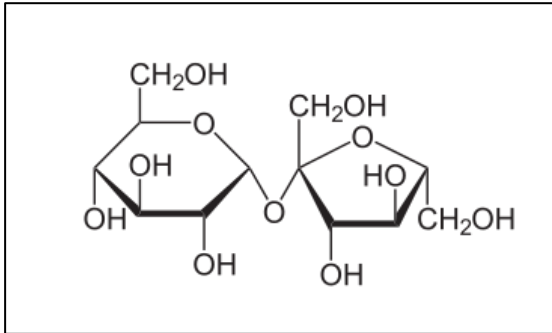


# 1 Was ist organische Chemie? - Einleitung

## 1.3 Organische Verbindungen

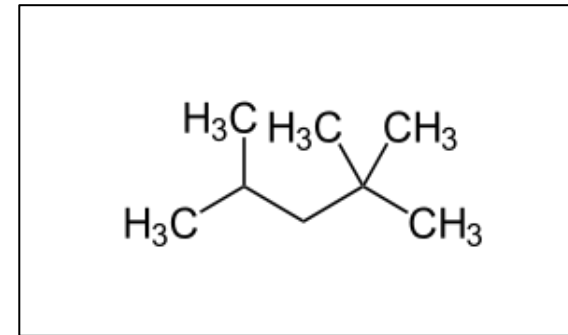
Unter den **16 Millionen organische Verbindungen** gibt es **alle Arten von Molekülen mit vielfältigen Eigenschaften**

■ Aussehen: *kristallin, ölig, wachsartig, flüssig, gasförmig, kunststoffartig,...*



**Saccharose**

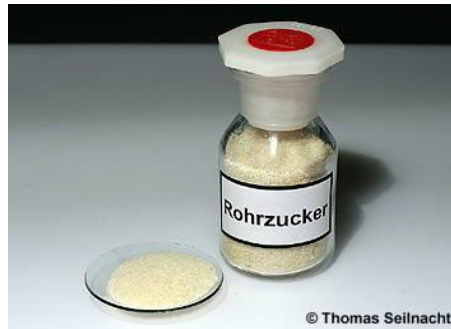
$\beta$ -D-Fructofuranosyl- $\alpha$ -D-glucofuranosid



**2,2,4-Trimethylpentan**



<https://de.wikipedia.org/wiki/Saccharose>



[http://www.seilnacht.com/Chemie/ch\\_sacch.htm](http://www.seilnacht.com/Chemie/ch_sacch.htm)



<http://www.seilnacht.com/Lexikon/phh.JPG>

# 1 Was ist organische Chemie? - Einleitung

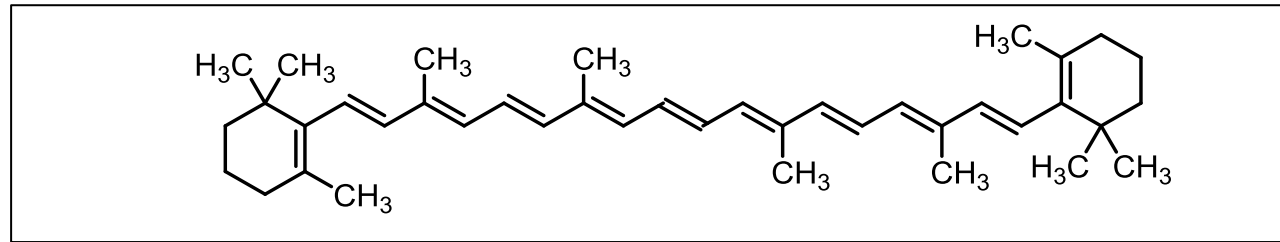
## Organische Verbindungen

- **Farben:** Optische Eigenschaften (Absorption, Fluoreszenz, Reflektion, Brechungsindex,...)

### Wechselwirkung der Moleküle mit Licht (UV, vis, NIR)

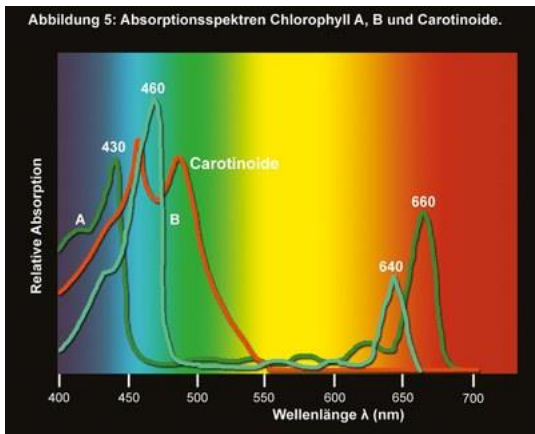


<https://de.wikipedia.org/wiki/Carotine>

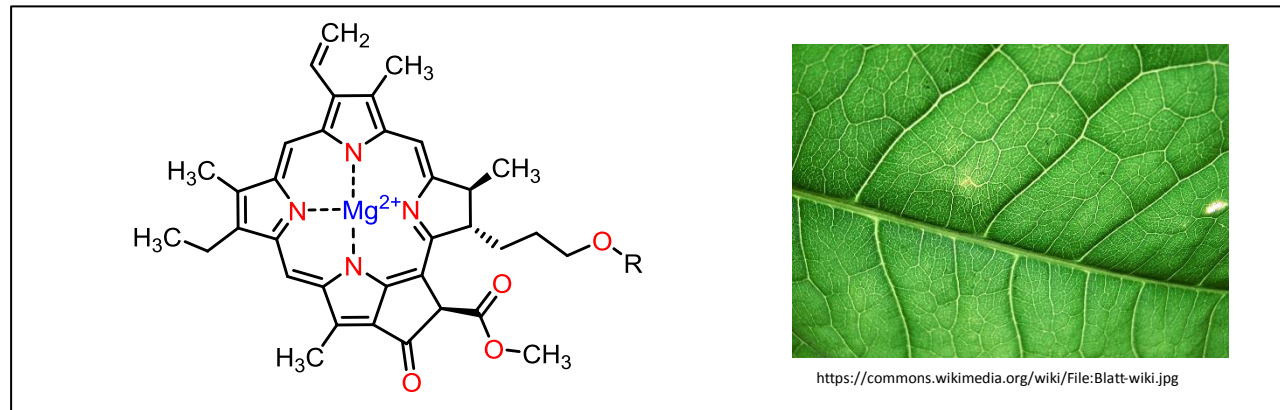


**$\beta$ -Carotin**

1,3,3-Trimethyl-2-[(1E,3E,5E,7E,9E,11E,13E,15E,17E)-3,7,12,16-tetramethyl-18-(2,6,6-trimethylcyclohexen-1-yl)octadeca-1,3,5,7,9,11,13,15,17-nonaenyl]cyclohexen



<http://www.easylife.nl/de/publikationen/pflanzenwachstum-teil-1>



**Chlorophyll A**

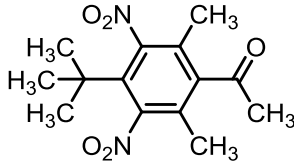


<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blatt-wiki.jpg>

# 1 Was ist organische Chemie? - Einleitung

## Organische Verbindungen

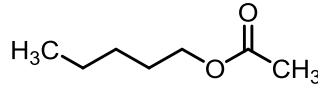
- **Geruch, Geschmack:** angenehm oder unangenehm riechende organische Substanzen  
Synthetische und natürliche **Riechstoffe** (Parfüme), (Fruchttester)



**Moschus-Keton**

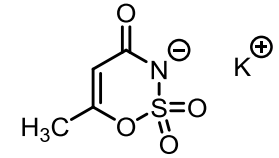
4-*tert*-Butyl-2,6-dimethyl-3,5-dinitroacetophenon

<http://www.fragrancia.com/perfume/Christian-Dior/Hypnotic-Poison-219.html>



**Essigsäure-amylolester**

<http://www.swisseduc.ch/chemie/labor/estersynth/>

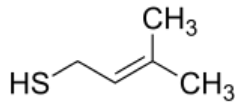


**Acesulfam** (Claus 1967)

6-Methyl-3,4-dihydro-1,2,3-oxathiazin-4-on-2,2-dioxid

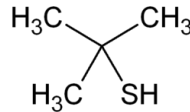


[https://www.bueromarkt-ag.de/bilder/suess-stoff\\_gutguenstig\\_p-102501\\_s-700.jpg](https://www.bueromarkt-ag.de/bilder/suess-stoff_gutguenstig_p-102501_s-700.jpg)

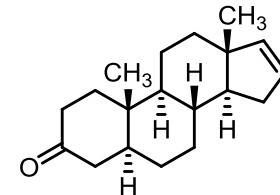


**2-Buten-1-thiol**

<http://www.spiegel.de/sport/achilles/achillesferse-stinkt-er-im-startfeld-a-643913.html>



***tert*-Butylthiol**

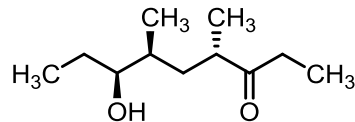


**(+)-Androstenon**



<http://www.rezepte-nachkochen.de/trueffel.php>

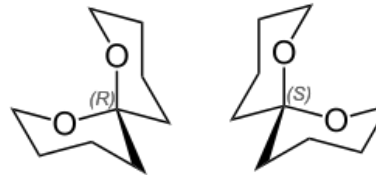
## Geruch bei Insekten: Pheromone



**Serricornin**

4,6-Dimethyl-7-hydroxy-nonan-3-one

<https://de.wikipedia.org/wiki/Tabakk%C3%A4fer>



**Olean**

(*R,S*)-1,7-Dioxaspiro[5.5]undecan

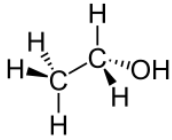


<http://roviesolives.gr/germany/pflege-des-olivenbaums.html>

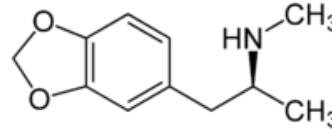
# 1 Was ist organische Chemie? - Einleitung

## Organische Verbindungen

### ■ Wirkung aufs Gehirn (Drogen)

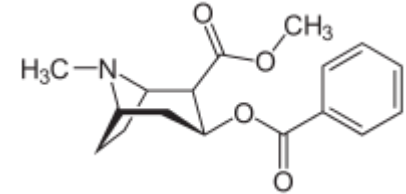


**Alkohol**



**Ecstasy**

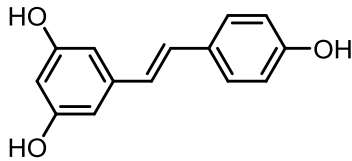
3,4-Methylenedioxy-N-methylamphetamin



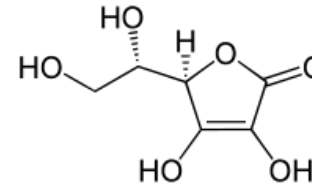
**Cocain**

Methyl(1*R*,2*R*,3*S*,5*S*)-3-(benzoyloxy)-8-methyl-8-azabicyclo[3.2.1]octan-2-carboxylat

### ■ Wirkung in der Nahrung

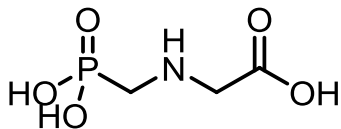


**Resveratrol**



**Ascorbinsäure (Vitamin C)**

### ■ Agrochemikalien: Insektizide, Fungizide, Herbizide

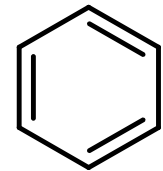
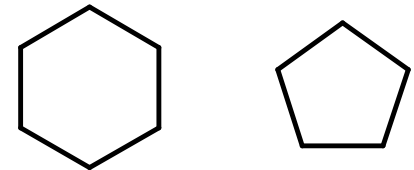
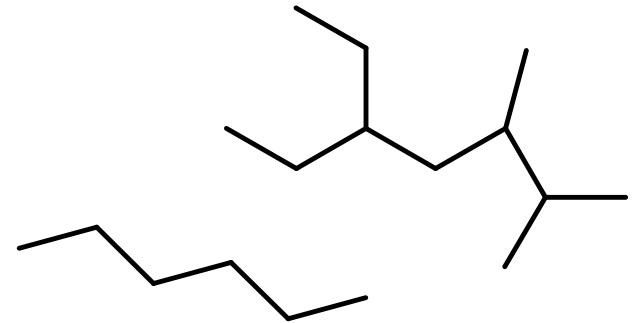


*N*-(Phosphonomethyl)glycin

**Glyphosat:** ein kontroverses Herbizid

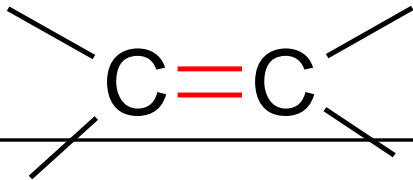

# Verbindungsklassen und funktionelle Gruppen in der organischen Chemie

- Aliphatische Verbindungen
  - geradlinige und verzweigte Kohlenstoffketten
- Alicyclische Verbindungen
  - Kohlenstoffringe, die formal durch Cyclisierung der aliphatischen Verbindungen entstehen
- Aromatische Verbindungen
  - Verbindungen, die als typisches Merkmal den Benzolring enthalten





# Funktionelle Gruppen

	<b>Funktionelle Gruppe</b>	<b>Beispiele Formeln</b>	<b>Beispiele Namen</b>
<b>Alkan</b>	Keine (C-H, C-C)	CH <sub>4</sub> H <sub>3</sub> C-CH <sub>3</sub>	Methan Ethan
<b>Alken</b>		H <sub>2</sub> C=CH <sub>2</sub>	Ethen (Ethylen)
<b>Alkin</b>		HC≡CH	Ethin (Acetylen)

**Funktionelle Gruppen** enthalten polare kovalente Bindungen ( $\Delta EN$ ), dadurch entsteht Reaktivität!

	<b>Funktionelle Gruppe</b>	<b>Beispiele Formeln</b>	<b>Beispiele Namen</b>
Alkohol	$\text{R}-\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{OH}$ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	Methanol Ethanol
Ether	$\text{R}-\text{O}-\text{R}$	$\text{CH}_3\text{OCH}_3$	Dimethyl- ether

(Alkohole und Ether sind formal Derivate von Wasser)

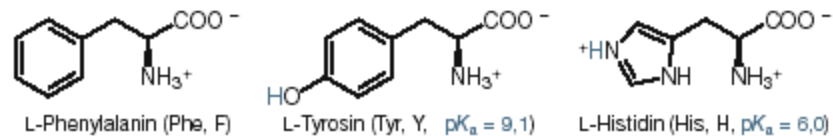
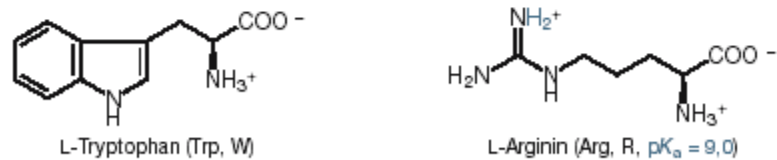
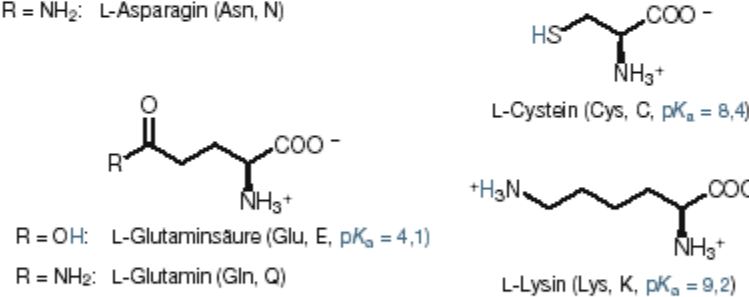
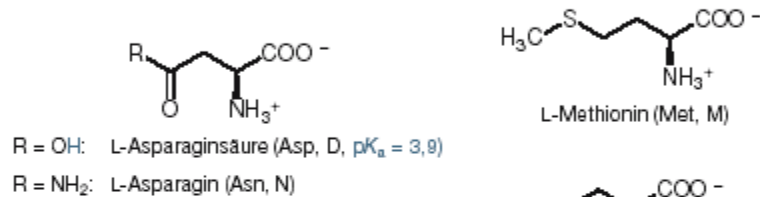
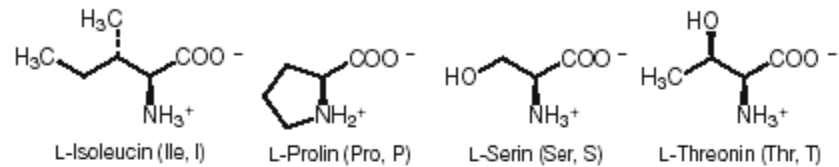
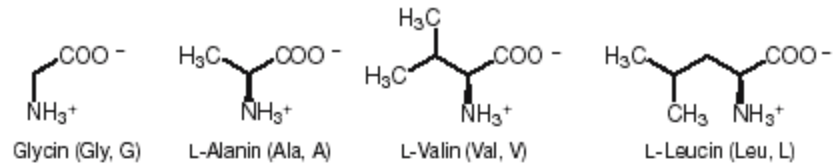
	<b>Funktionelle Gruppe</b>	<b>Beispiele Formeln</b>	<b>Beispiele Namen</b>
Aldehyd	$\text{R}-\text{C} \begin{array}{l} \text{// O} \\ \text{- H} \end{array}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{C} \begin{array}{l} \text{// O} \\ \text{- H} \end{array}$	Ethanal (Acetaldehyd)
Keton	$\text{R}-\text{C} \begin{array}{l} \text{// O} \\ \text{- R}' \end{array}$	$\begin{array}{l} \text{H}_3\text{C} \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} \text{C} = \text{O}$	Dimethylketon (Aceton)

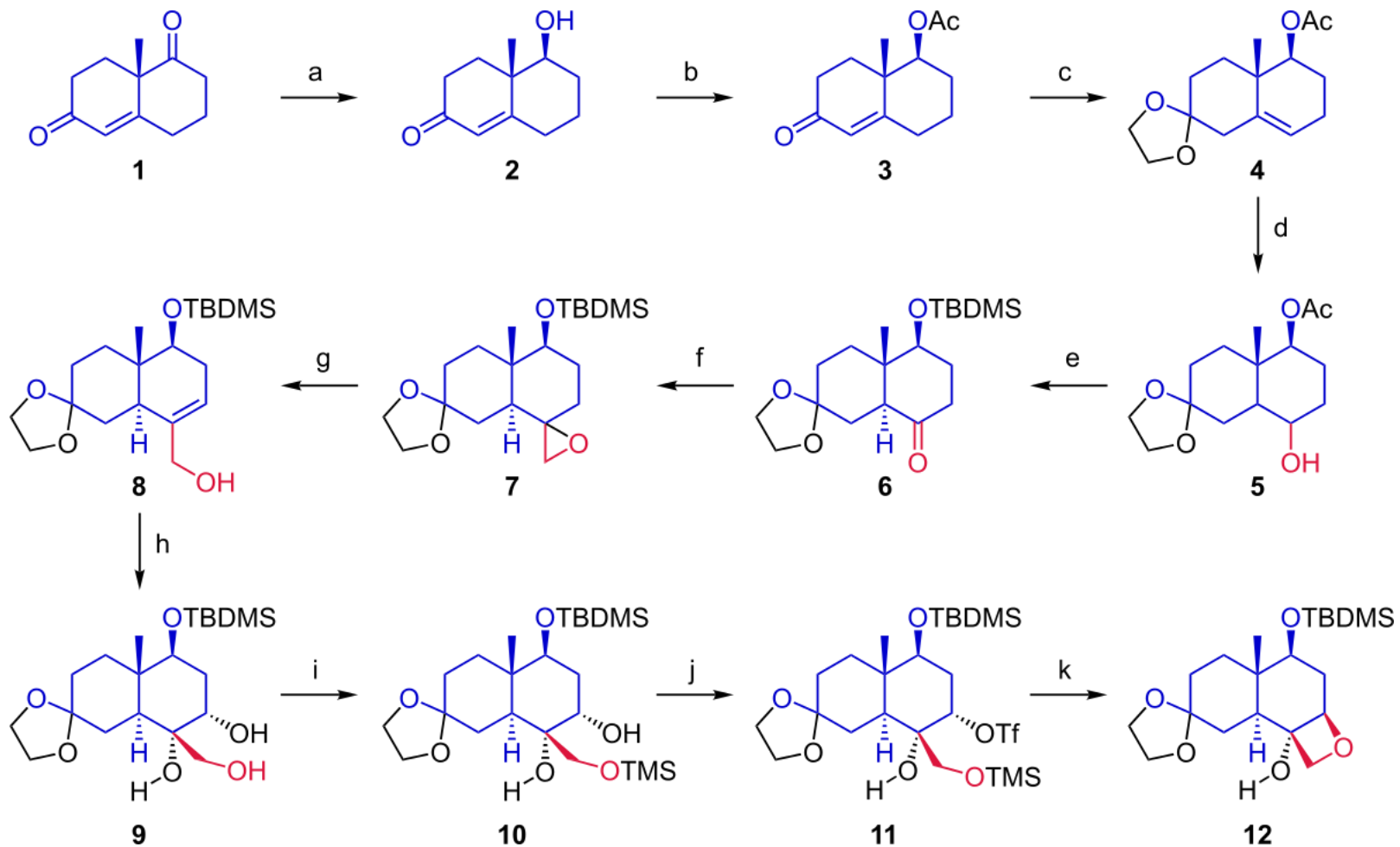
	<b>Funktionelle Gruppe</b>	<b>Beispiele Formeln</b>	<b>Beispiele Namen</b>
Carbon- säure	$\text{R}-\text{C} \begin{array}{l} \text{// O} \\ \text{\textbackslash OH} \end{array}$	$\text{CH}_3\text{COOH}$	Ethansäure (Essigsäure)
Ester	$\text{R}-\text{C} \begin{array}{l} \text{// O} \\ \text{\textbackslash OR}' \end{array}$	$\text{CH}_3\text{COOCH}_3$	Ethansäure- methylester

	<b>Funktionelle Gruppe</b>	<b>Beispiele Formeln</b>	<b>Beispiele Namen</b>
<b>Carbon- säureamid</b>	$\text{R}-\text{C} \begin{array}{l} \text{// O} \\ \text{- NH}_2 \end{array}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{C} \begin{array}{l} \text{// O} \\ \text{- NH}_2 \end{array}$	Ethansäure- amid (Essigsäure- amid)
<b>Carbon- säure- halogenid</b>	$\text{R}-\text{C} \begin{array}{l} \text{// O} \\ \text{- X} \end{array}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{C} \begin{array}{l} \text{// O} \\ \text{- Cl} \end{array}$	Ethansäure- chlorid (Acetylchlorid)
<b>Nitril</b>	$\text{R}-\text{C}\equiv\text{N}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{N}$	Ethannitril (Acetonitril)

	<b>Funktionelle Gruppe</b>	<b>Beispiele Formeln</b>	<b>Beispiele Namen</b>
<b>Halogenid</b>	$R-X$	$CH_3CH_2Cl$	Chlorethan (Ethylchlorid)
<b>Amin</b>	$  \begin{array}{c}  R-\bar{N}-R_2 \\    \\  R_1  \end{array}  $	$H_3C-NH_2$ $(H_3C)_2NH$	Methylamin Dimethylamin
<b>Thiol</b>	$R-SH$	$CH_3SH$	Methylthiol (Methyl- mercaptan)

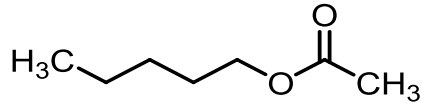
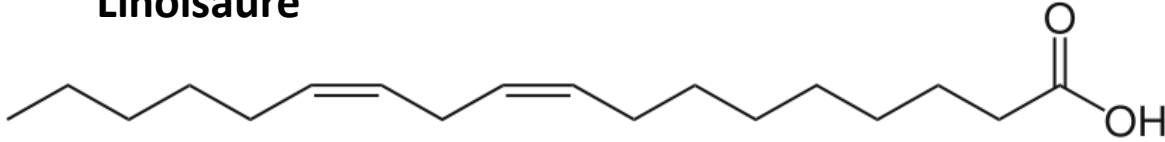
# Kenntnispflichtige Formeln der 20 proteinogenen Aminosäuren:



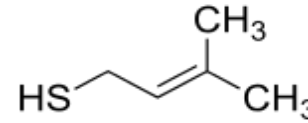




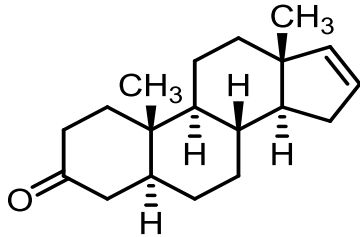
**Linolsäure**



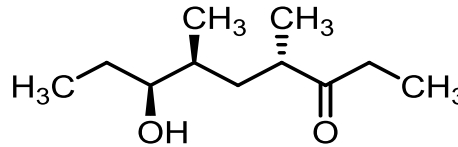
**Essigsäure-amylester**



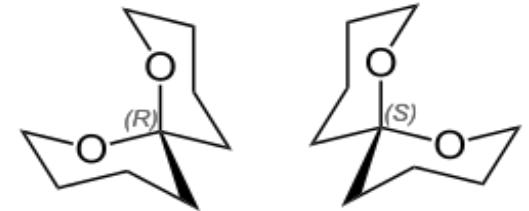
**2-Buten-1-thiol**



**(+)-Androstenon**



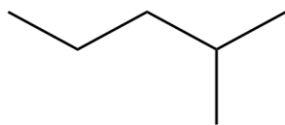
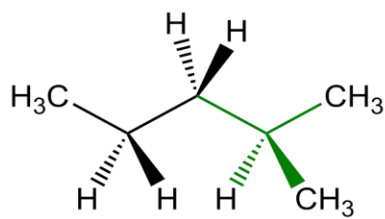
**Serricornin**



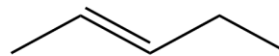
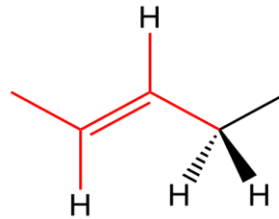
**Olean**

# Eigenschaften von C-Hybridbindungen

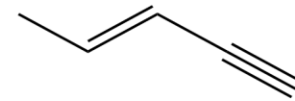
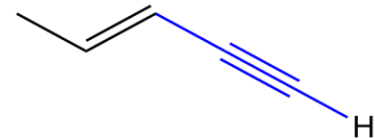
Typ	Hybridisierung	Geometrie	Winkel	Bindungslänge [pm]	Energie [kJ/mol]	Bindungsarten
Einfach /	$sp^3$	Tetraeder	$109,5^\circ$	154	345	$4\sigma$
Zweifach-	$sp^2$	Trig. planar	$120^\circ$	134-140	615	$3\sigma + 1\pi$
Dreifach-	$sp$	Linear	$180^\circ$	120	811	$2\sigma + 2\pi$



**a**

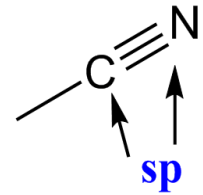
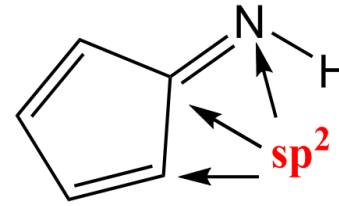
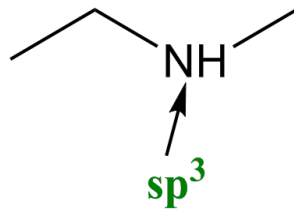
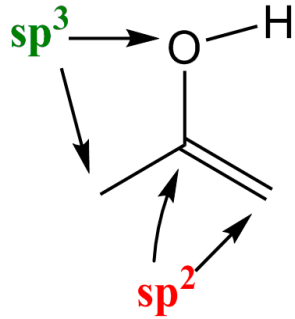
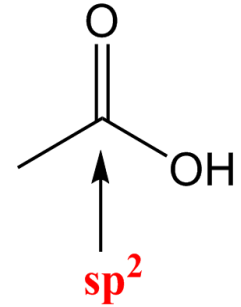
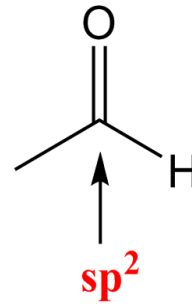
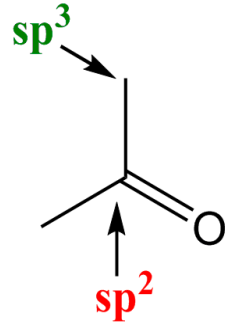
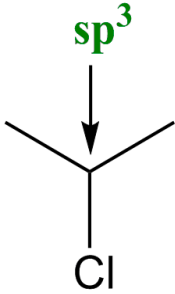


**b**

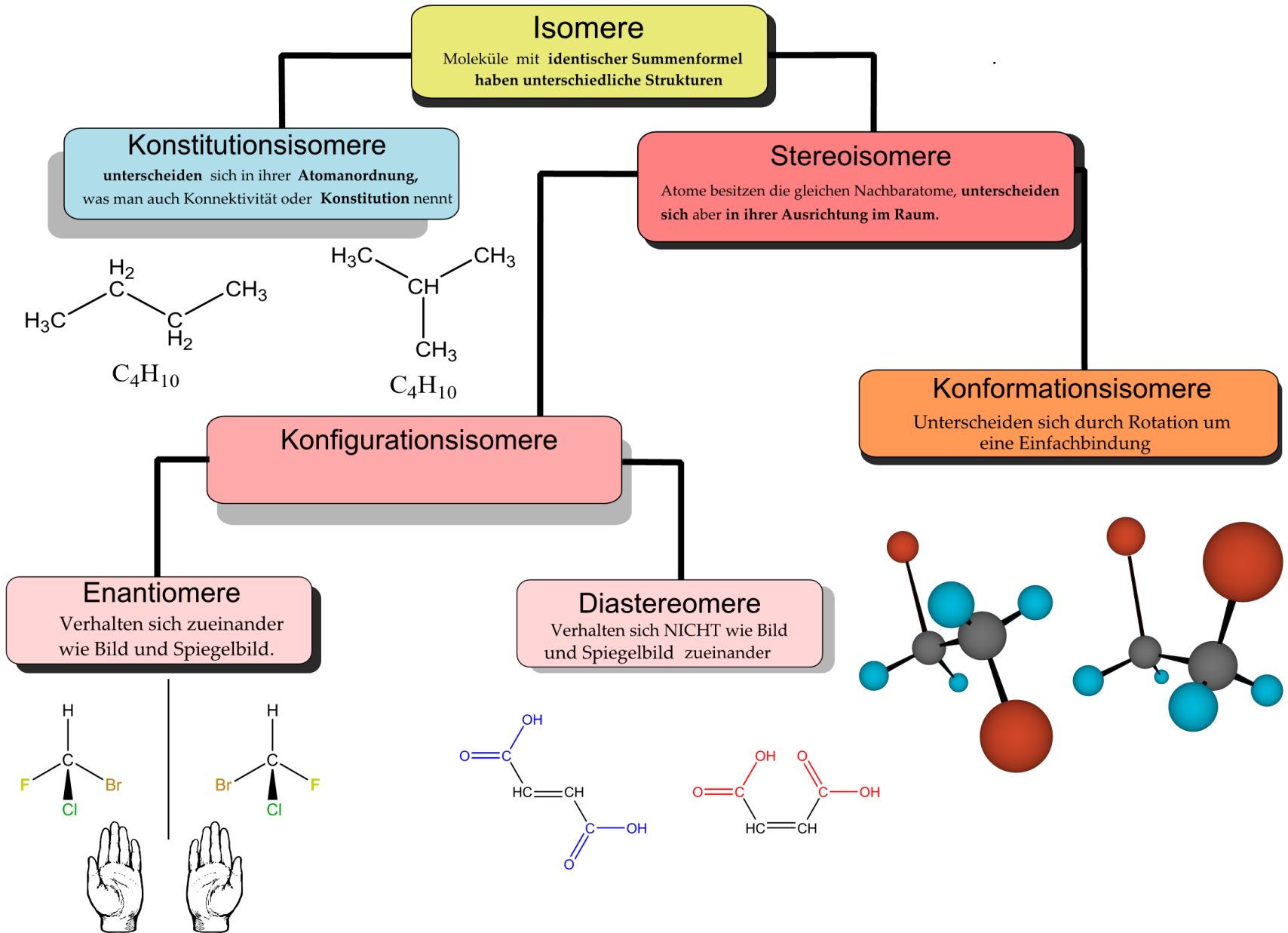


**c**

# Andere Hybridorbitale sind möglich



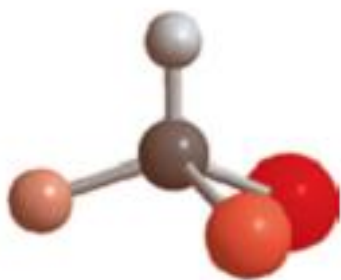
# Isomerie



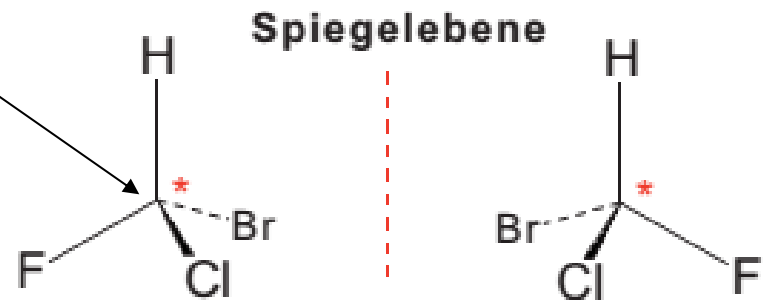
# Isomerie

## Stereoisomerie:

- Stereoisomere haben die gleiche Summenformel und die gleiche Verknüpfung der Atome, aber eine unterschiedliche räumliche Anordnung.  
Beispiele:
- *cis-trans-Isomere* (s. oben)
- **Enantiomere** (griech. *enanta*, gegenüber; *meros*, Teil).



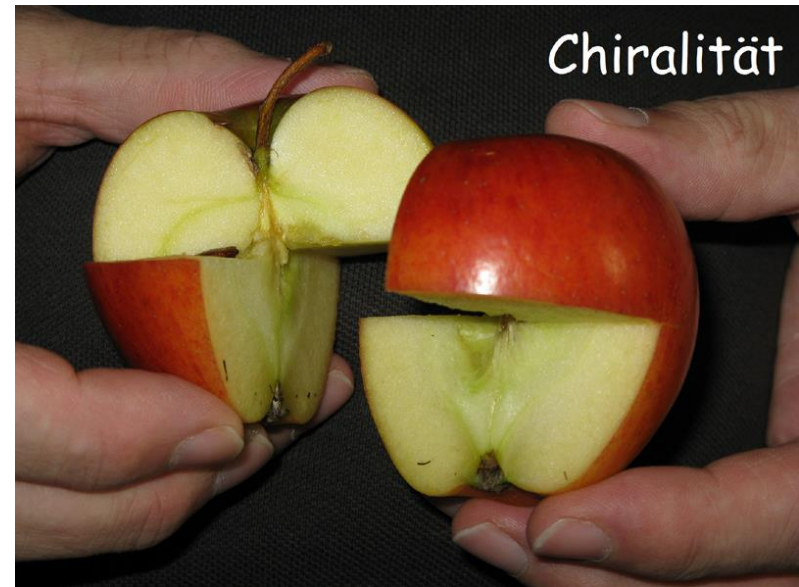
*Chiralitätszentrum*



Zwei Moleküle Bromchlorfluormethan:  
**Enantiomere** (\* Chiralitätszentrum)

# Chiralität

Makroskopische Objekte sind chiral

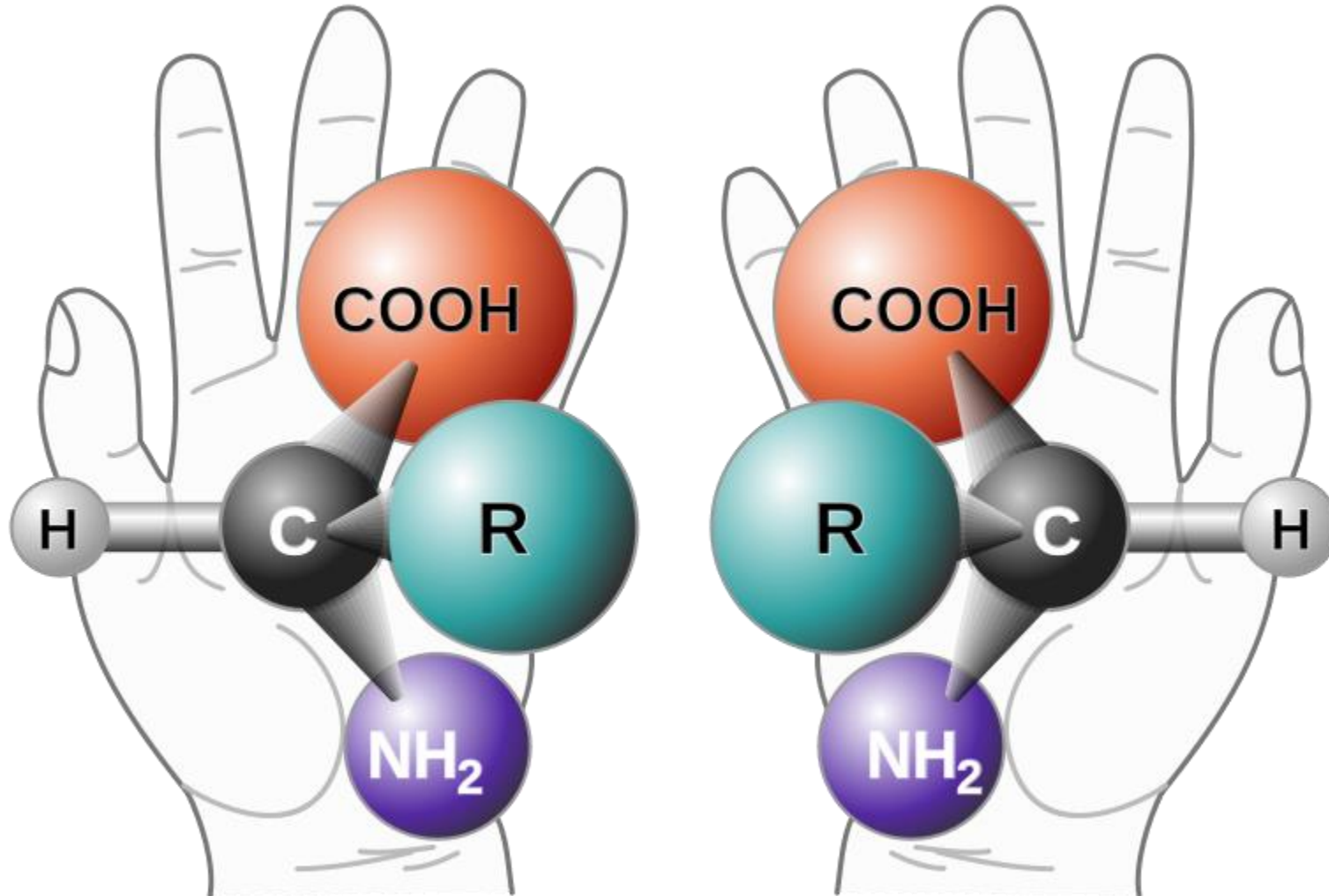


**Chiralität** ist ein griechisches Kunstwort und bedeutet „Händigkeit“  
(abgeleitet vom Wortstamm χερ~, ch[e]ir~ – hand~)

# Chiralität: Enantiomere

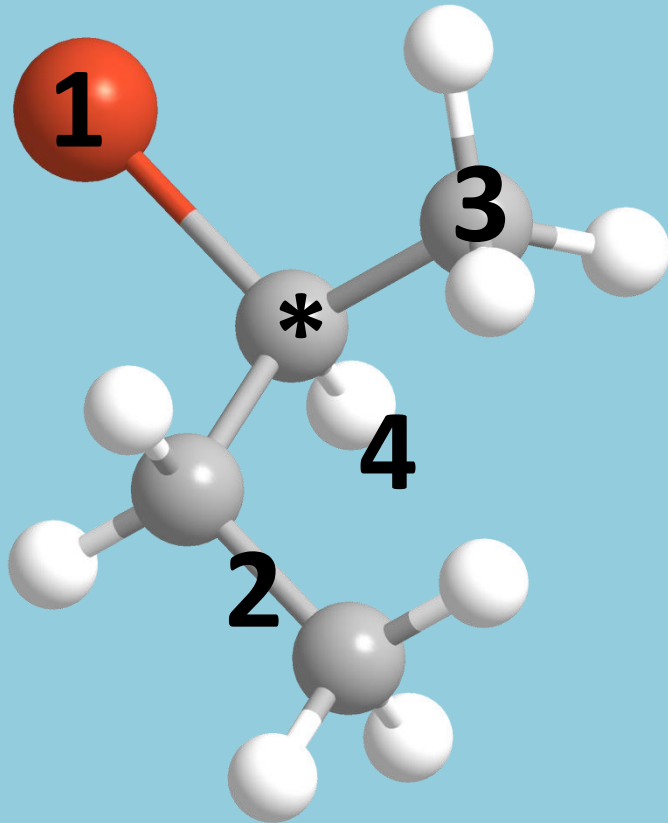
## Aminosäuren

Lebewesen inkl. Mensch sind chiral, [Proteine aus L-Aminosäuren](#) - Wechselwirkung mit chiralen Objekten in Passt / Passt-nicht-Kombinationen

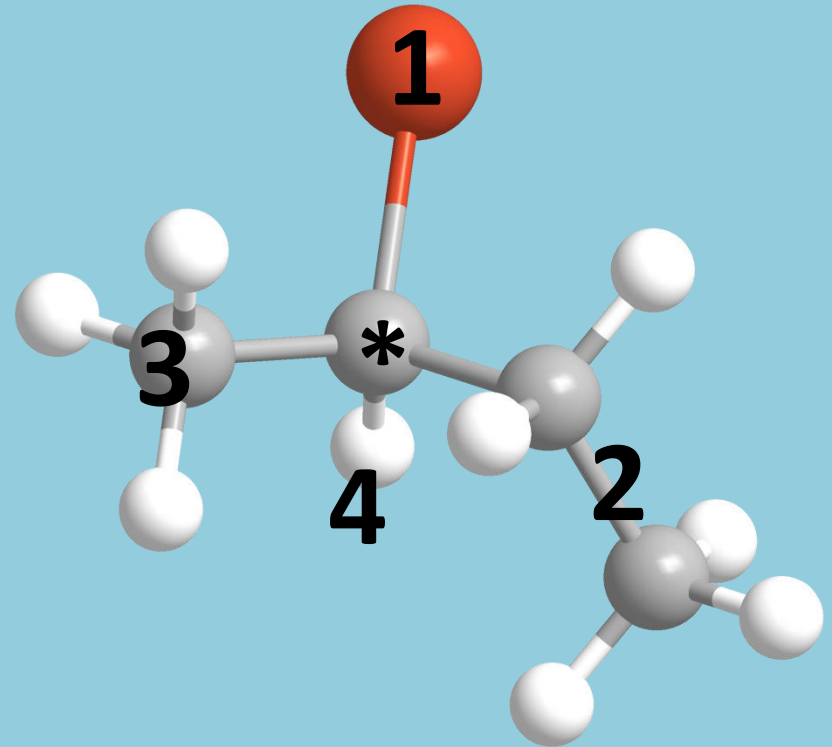


# Stereochemie

Enantiomere: Bild und Spiegelbild: Prioritäten nach CIP



**(S)-2-Brombutan**



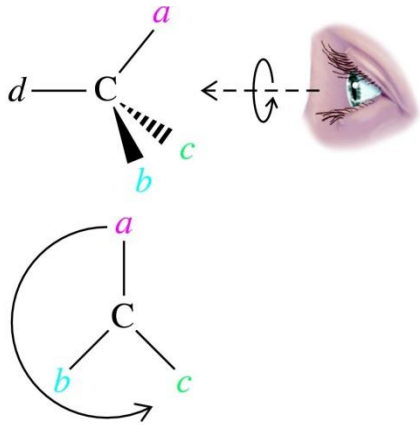
**(R)-2-Brombutan**



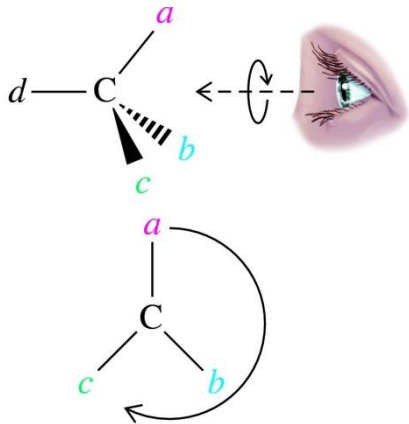
# Stereochemie

Benennung der Konfiguration nach Cahn, Ingold, Prelog: **Das R-S-System**

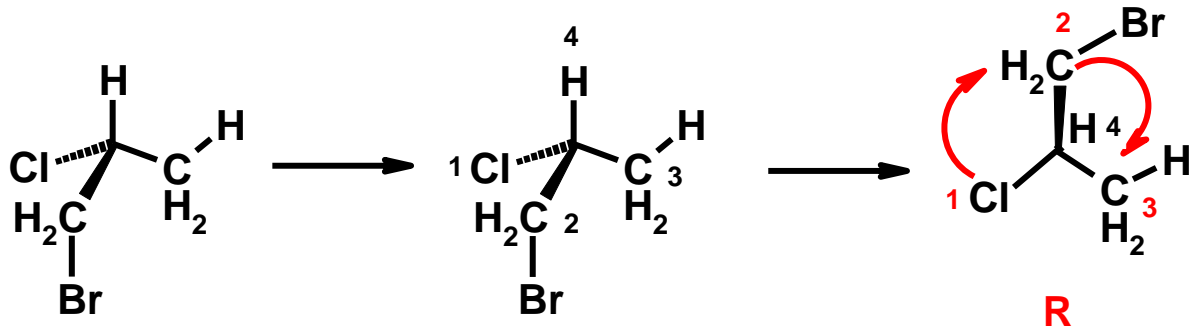
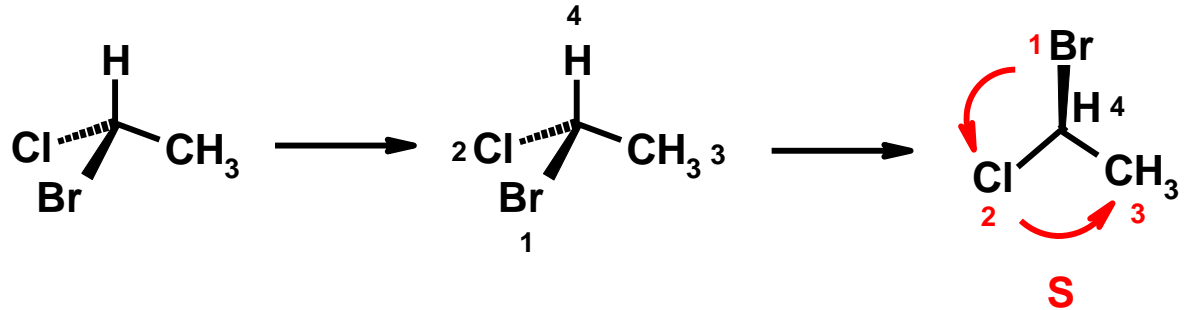
Prioritätensetzung allgemein



gegen den Uhrzeigersinn: *S*



im Uhrzeigersinn: *R*

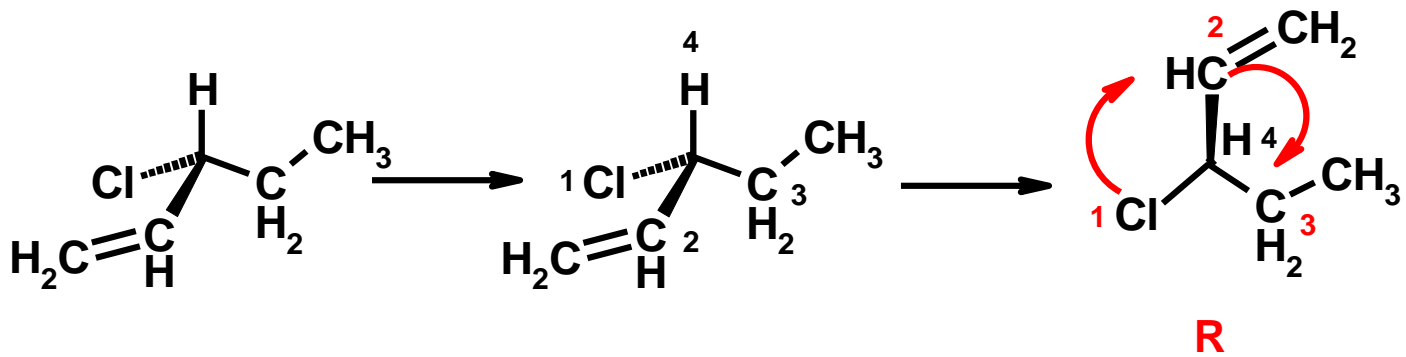
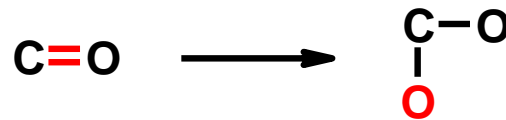
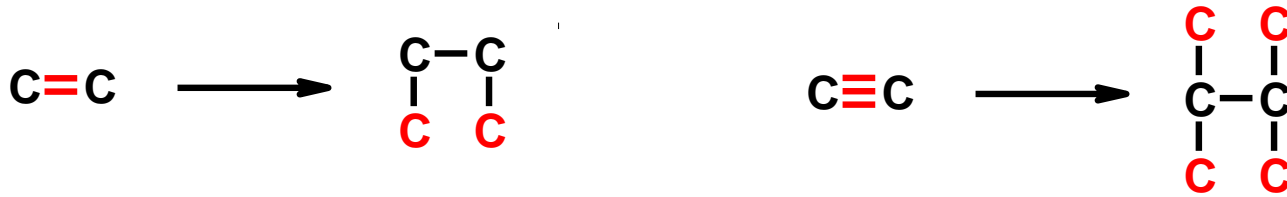


Prioritäten nach Ordnungszahl im PSE!

Bei gleichen Atomen in der ersten Sphäre, weiter gehen!

# Stereochemie

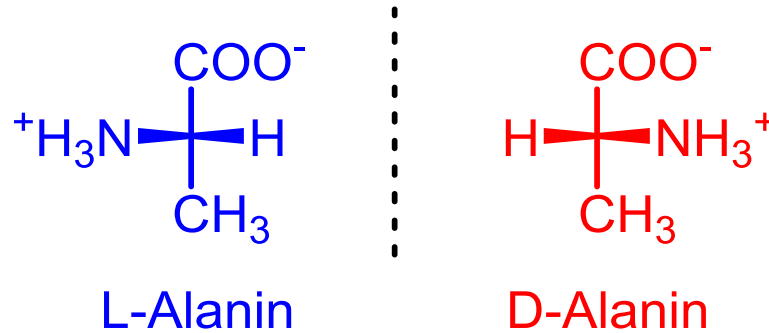
## Prioritätensetzung bei Mehrfachbindungen



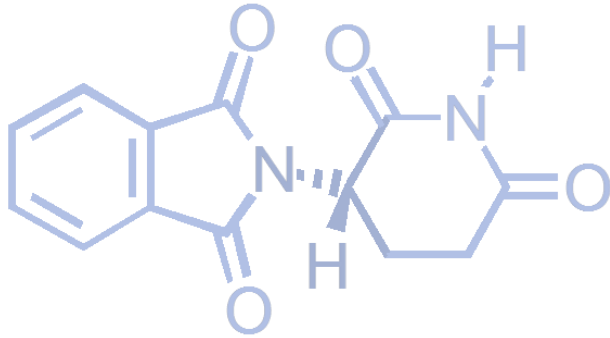
# Stereochemie

## Einschub: Homochiralität von Biomolekülen

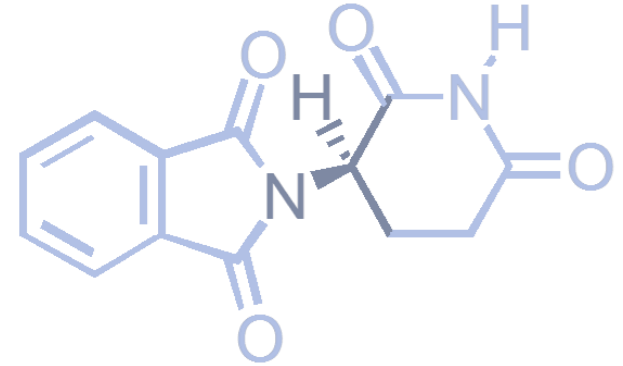
- Außer Glycin sind alle natürlichen **Aminosäuren** chiral und liegen in der L-Form vor („Homochiralität= gleicher Chiralitätssinn“)
- Beinahe alle biologisch relevanten **Zucker** liegen in der D-Form vor
- Die jeweils anderen Enantiomere sind häufig biologisch inaktiv oder sogar toxisch



# Spieglein, Spieglein an der Wand



(S)-Contergan



(R)-Contergan

Teratogen,  
verursacht Mißbildungen

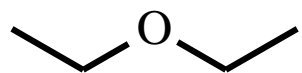
Mildes Beruhigungsmittel

Fälle von Robbengliedrigkeit bei Neugeborenen treten Anfang der 60iger Jahre auf  
1961-1962 wird Contergan aus dem Handel genommen

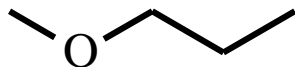
# Aufgabe:

- Bitte schreiben Sie alle möglichen Isomere mit der Summenformel  $C_4H_{10}O$  auf (womöglich mit Zick-Zack-Formeln).

**7 Konstitutionsisomere! +  
2 Enantiomere (Stereoisomere)**



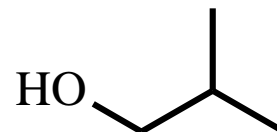
**1. Diethylether**



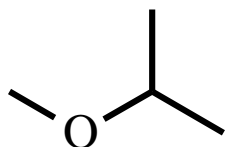
**2. Methylpropylether**



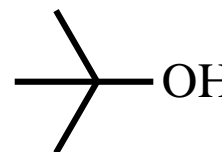
**3. 1-Butanol**



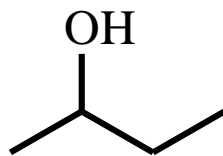
**4. 2-Methyl-1-propanol**



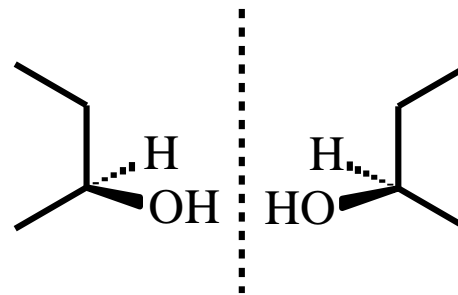
**5. Methylisopropylether**



**6. tert-Butylalkohol  
(2-Methyl-2-propanol)**



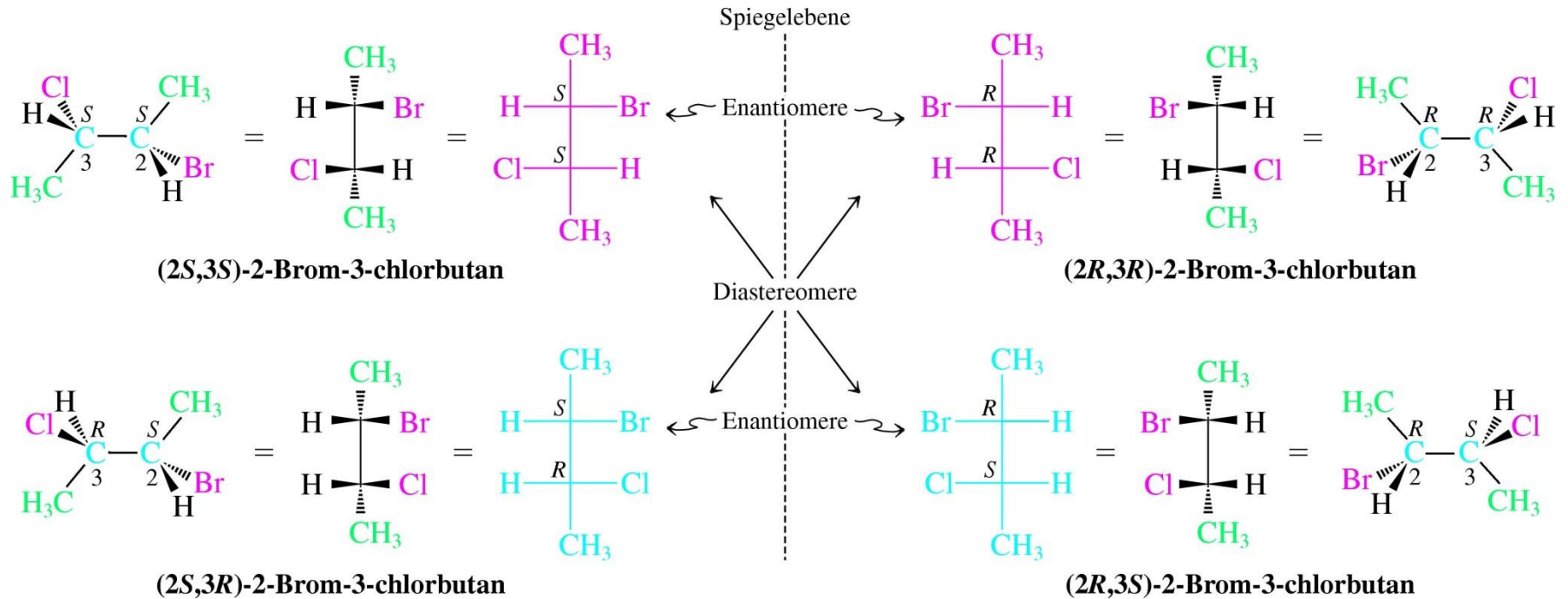
**7. sec-Butylalkohol  
(2-Butanol)**



**Enantiomere (R- und S-)**

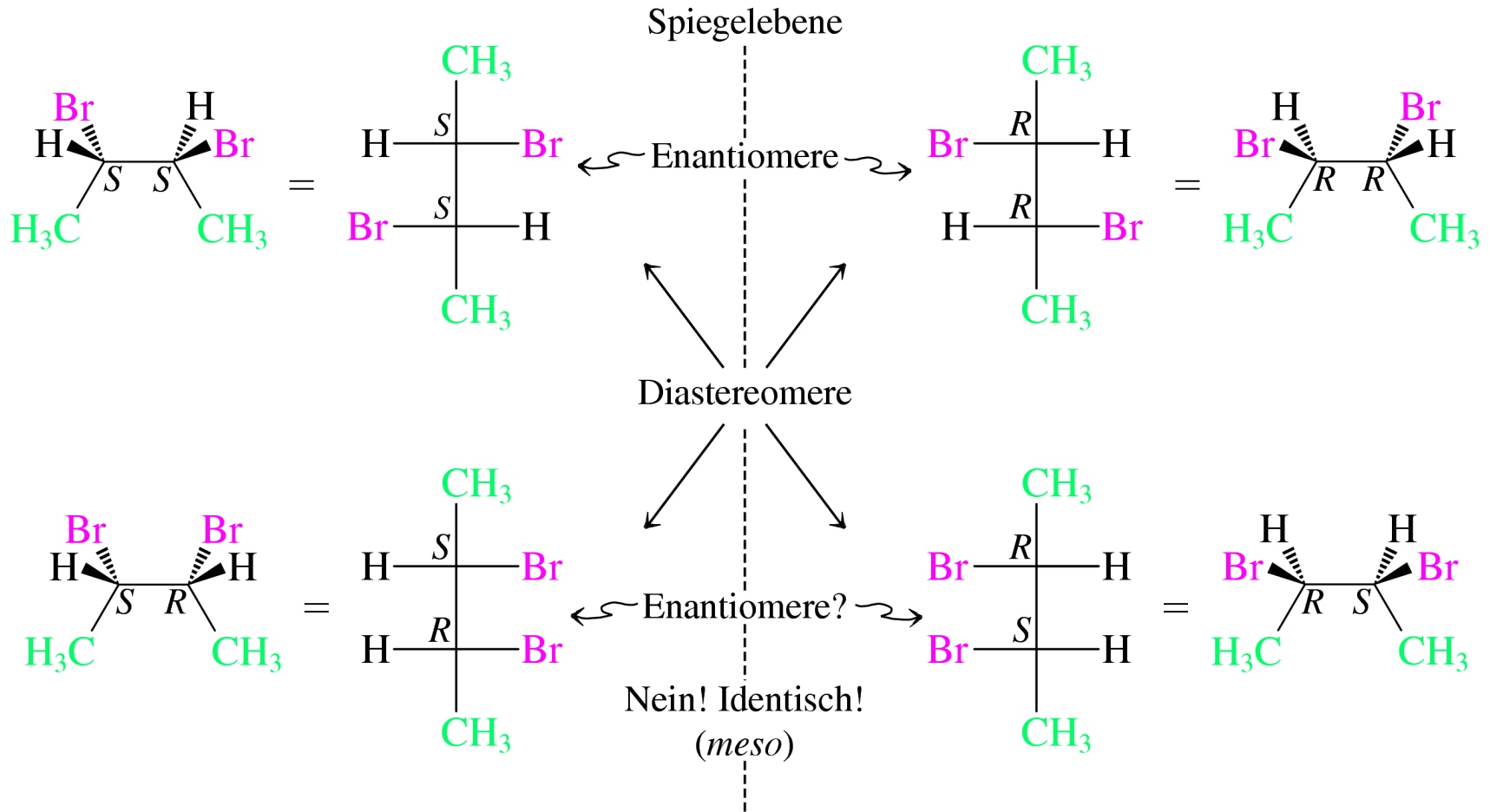
# Stereochemie

## Verbindungen mit mehreren chiralen Zentren (**Diastereomere**)



# Stereochemie

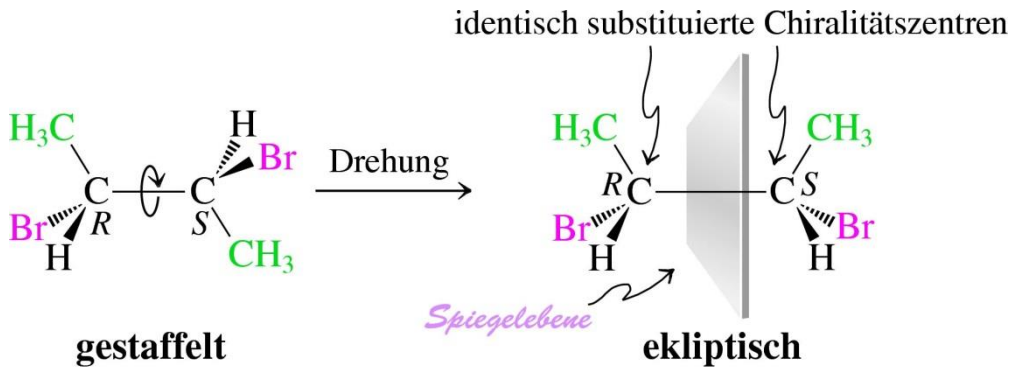
Verbindungen mit mehreren chiralen Zentren (**Diastereomere**): gleiche Substitution





# Stereochemie

Verbindungen mit mehreren chiralen Zentren (**Diastereomere**): meso-Formen

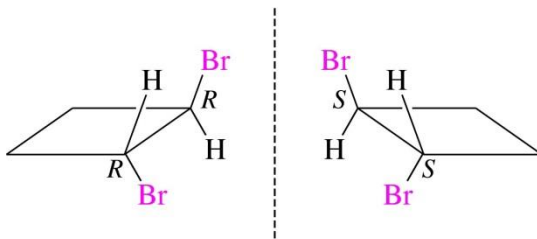


© 2012  
Vollhardt - Organische Chemie  
ISBN: 9783527327546 Abb. 05-013

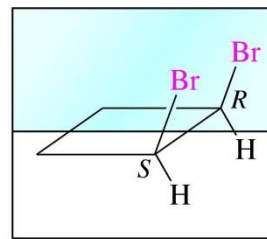
Mesoverbindungen sind achiral,  
trotz asymmetrisch subst. C-  
Atomen!

*genaue Definition:*

meso-Formen haben zwei (oder mehr geradzahlige) stereogene Zentren; und sie können in mindestens einer Konformation vorliegen, die eine Drehspiegelachse oder Spiegelebene oder Punktsymmetrie hat.



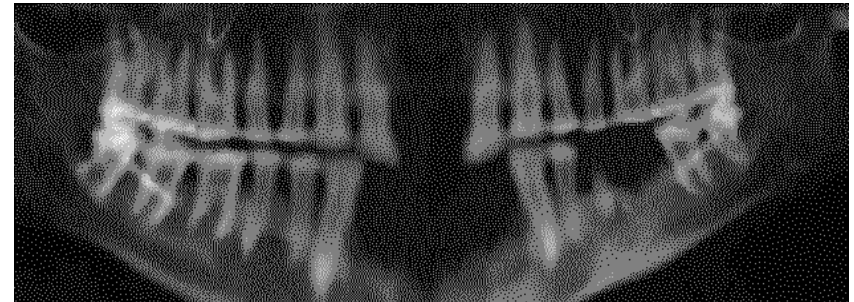
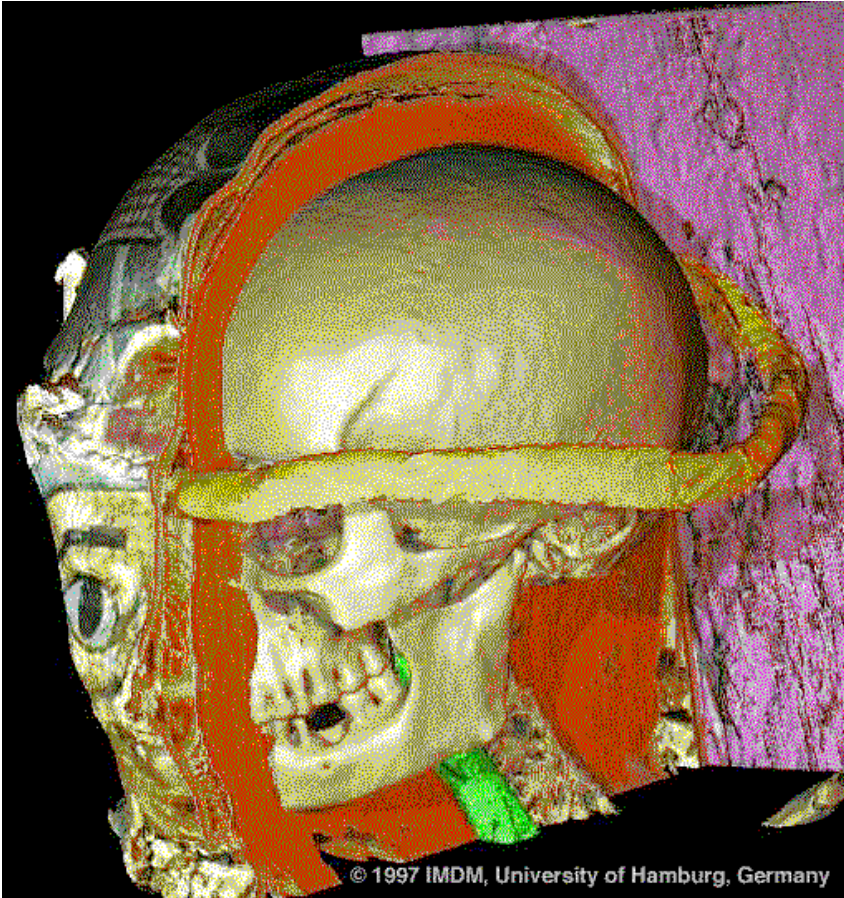
**Enantiomere des  
chiralen Diastereomeren  
trans-1,2-Dibromocyclobutan**



1R,2S ist identisch mit 1S,2R  
**meso-Diastereomer**  
**cis-1,2-Dibromocyclobutan**

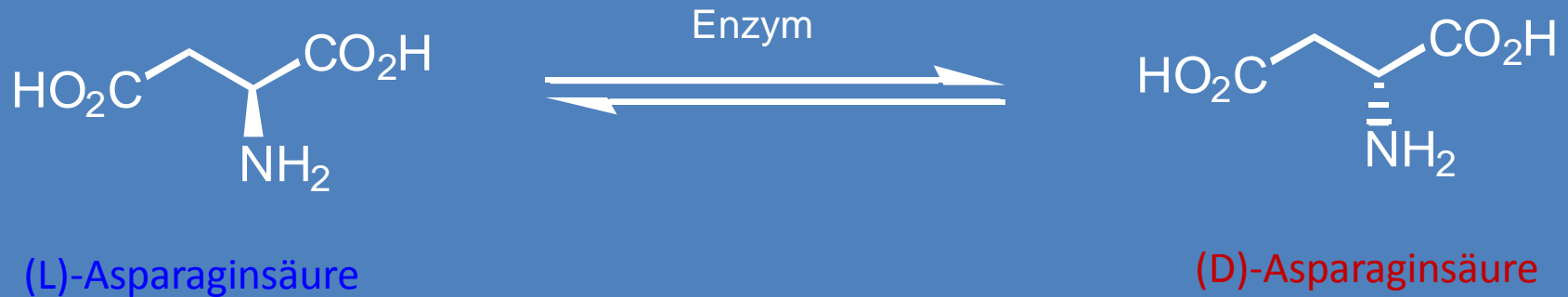
© 2012  
Vollhardt - Organische Chemie  
ISBN: 9783527327546 Abb. 05-014

# Wie alt sind Sie?



# Racemisierung von Asparaginsäure

Altersbestimmung von archäologischen Funden



Die in den Zähnen zunächst vorhandene (L)-Asparaginsäure wird durch Enzyme langsam, über den Tod hinaus, racemisiert.

Racemat: 50:50 Mischung aus beiden Enantiomeren