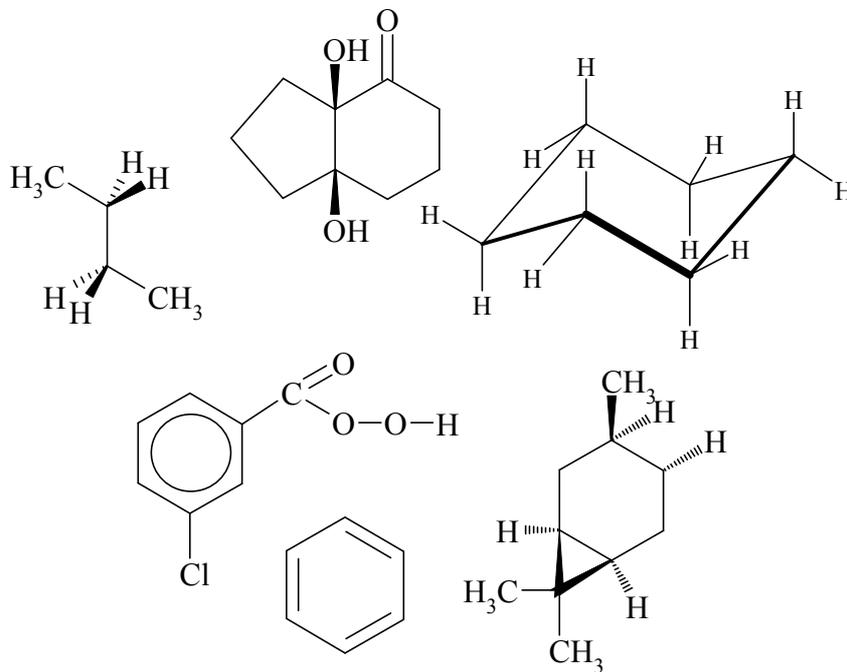


Prof. Martens
Vorlesung zu den
GRUNDLAGEN DER ORGANISCHEN CHEMIE
Wintersemester 2003 / 2004
Universität Oldenburg



Mitschrift verfasst von
Mika Nashan

Letzter Stand: 03. Juli 2004
1. korrigierte Fassung

Inhaltsverzeichnis

0. Vorbemerkungen	2
1. Einführung	3
1.1 Historische Entwicklungen	3
1.2 Allgemeine chemische Grundlagen	4
1.3 Stereochemie	6
2. Chemie der organischen Verbindungen	10
2.1 Alkane (Parafine).....	10
2.2 Halogenalkane und Alkohole.....	16
2.3 Alkene	23
2.4 Hochmolekulare Stoffe (Makromoleküle).....	44
2.5 Alkohole	49
2.6 Ether.....	58
2.7 Schwefelanaloga von Alkoholen und Ethern.....	60
2.8 Epoxide (Oxirane).....	62
2.9 Alkine.....	65
2.10 Aromaten.....	68
2.11 Aldehyde & Ketone	79
2.12 Carbonsäuren und deren Derivate	91
2.13 Carbanionen I	101
2.14 Amine	103
2.15 Phenole	111
2.16 $\alpha - \beta$ ungesättigte Carbonylverbindungen.....	113
2.17 Carbanionen II	116
2.18 Zucker / Kohlenhydrate	120
2.19 Aminosäuren, Peptide und Proteine	123
A1 - Index	128

0. Vorbemerkungen

Folgende Mitschrift entstand im Verlauf der Vorlesung „Grundlagen der Organischen Chemie“, vorgetragen von Herrn Prof. Martens an der Universität Oldenburg im Wintersemester 2003 / 2004. Sie umfasst praktisch alle Tafelanschriften sowie einige von mir persönlich hinzugefügte Kommentare, die allerdings selten mehr als mündliche Erläuterungen seitens des Professors enthalten. In einigen Fällen habe ich mich zudem entschlossen, eng verwandte Absätze zusammenzufassen bzw. die Gliederung von der zeitlichen Abfolge in der Vorlesung abzukoppeln.

Obwohl ich bei der Digitalisierung auf einige Fehler in meiner handschriftlichen Abschrift aufmerksam wurde, können sich immer wieder einige Fehler eingeschlichen haben bzw. manches habe ich bestimmt auch wieder übersehen. Somit kann ich für die (absolute) Richtigkeit dieser Notizen keine Gewähr geben.

In Kooperation mit Herrn Prof. Martens habe ich diese Mitschrift durchgesehen und mehrmals korrigiert. An einigen Stellen wurden zudem kleine Veränderungen vorgenommen, die sich allerdings nicht auf den Inhalt auswirken.

Besonderer Dank gilt natürlich in aller erster Linie Herrn Prof. Martens für sein Engagement und der interessanten Gestaltung seiner Vorlesung, sowie für seine Mithilfe bei der Korrektur dieser Mitschrift. Weiterhin möchte ich mich bei meinen Kommilitoninnen und Kommilitonen bedanken, die mich bei dieser Aufgabe unterstützten, indem sie ihrerseits mich auf Fehler aufmerksam machen oder auch meine Abwesenheit bei der Vorlesung durch ihre Mitschriften ermöglicht haben.

Bei der Erstellung der Mitschrift benutzte ich unter anderem ISISTM/Draw 2.5 von MDL.

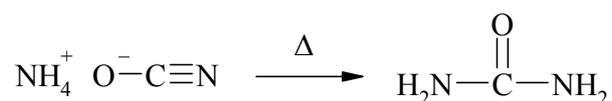
Mika Nashan,
im Juli 2004

1. Einführung

1.1 Historische Entwicklungen

Im 19. Jahrhundert beschreibt *Berzelius* die organischen Stoffe als nur durch die Natur erzeugbar, ermöglicht durch die sog. Lebenskraft („vis vitalis“). Die organische Chemie ist somit die Chemie der lebenden Materie.

1827 gelingt *Wöhler* die Harnstoffsynthese, und damit auch der Beweis, dass organische Stoffe sehr wohl chemisch herzustellen sind:



Heute versteht man unter der organischen Chemie die Chemie der Kohlenstoffverbindungen, die neben Kohlenstoff auch noch aus weiteren Elementen wie H, O, N, P, S, Halogenen, usw. bestehen (können).

Unterschiede zwischen der Anorganischen Chemie (AC) und der Organischen Chemie (OC)

Anorganische Chemie	Organische Chemie
<ul style="list-style-type: none"> • Anorganische Stoffe sind beständig gegenüber hohen Temperaturen • Meist erfolgen zwischen anorganischen Stoffen Ionenreaktionen, die deshalb recht schnell erfolgen 	<ul style="list-style-type: none"> • Organische Stoffe hingegen zersetzen sich bei Temperaturen über 300°C • Die Reaktionen sind meist langsamer Natur, und • der vorherrschende Bindungstyp ist der kovalente.

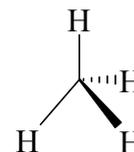
1.2 Allgemeine chemische Grundlagen

1.2.2 Hybridisierung des Kohlenstoffs

Das Element Kohlenstoff C weist 4 Valenzelektronen auf: ${}^{12}_6\text{C} : [\text{He}] \underbrace{2s^2 2p^2}_{4e^-}$

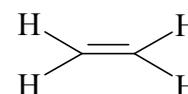
1. sp^3 - Hybridisierung

Das Kohlenstoffatom bildet hierbei mit seinen 4 Substituenten ein Tetraeder, wie er bei den Alkanen z.B. auftritt.



2. sp^2 - Hybridisierung

Es verbinden sich zwei p-Orbitale von zwei Kohlenstoffatomen zu einer π -Bindung, die zusammen mit der σ -Bindung eine planare Stellung ergibt. Dies ist z.B. bei Alkenen zu beobachten.

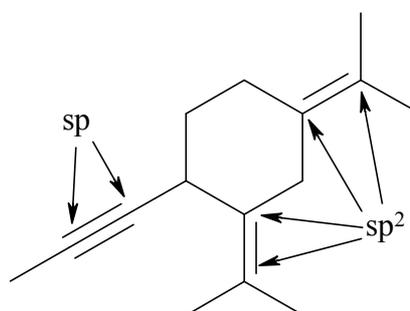


3. sp - Hybridisierung

Bei der sp -Hybridisierung binden sich jeweils zwei p-Orbitale pro C-Atom zu insgesamt zwei π -Bindungen, die zusammen eine lineare Koordination ergeben. Als Beispiel seien hier die Alkine zu nennen.



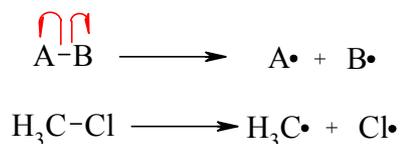
Beispiel:



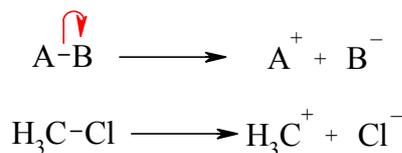
Alle weiteren Kohlenstoffatome sind sp^3 -hybridisiert.

1.2.3 Spaltung kovalenter Bindungen

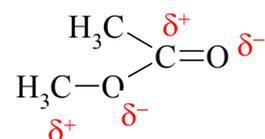
Homolyse



Heterolyse



1.2.4 Bindungspolarität



Essigsäuremethylester

1.2.5 Isomerie

Isomere sind Verbindungen, die zwar dieselbe Summenformel besitzen, aber unterschiedlich aufgebaut sind, also sich in ihrer Strukturen unterscheiden. Bis auf die Ausnahme der Spiegelbildisomerie, sind die physikalischen und chemischen Eigenschaften von isomeren Verbindungen verschieden.

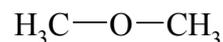
1. Strukturisomerie

Beispiel für die Summenformel C_2H_6O :



Ethanol

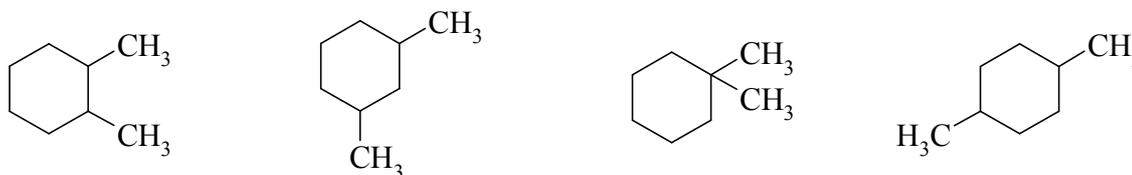
$K_p = 78\text{ °C}$



Dimethylester

$K_p = -24\text{ °C}$

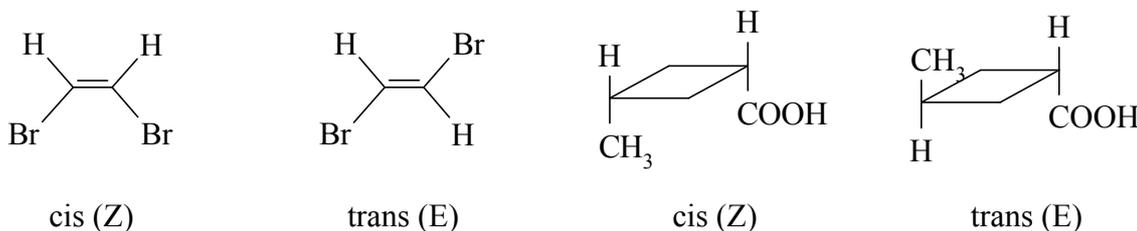
2. Stellungsisomerie



3. cis / trans – Isomerie (E / Z – Isomerie)

E = entgegen / Z = zusammen

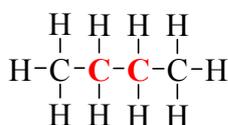
1,2 Dibromethen



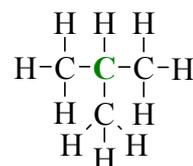
4. Spiegelbildisomerie

Hierbei gleichen sich alle physikalischen (z.B. Siede- und Schmelzpunkte, NMR-Spektrum uvm.) und chemischen Eigenschaften mit Ausnahme der *optischen Aktivität* (Drehung des polarisierten Lichtes) und den *physiologischen Eigenschaften*. (Siehe 1.3.1)

1.2.6 verschieden substituierte Kohlenstoffatome



Primäres C-Atom



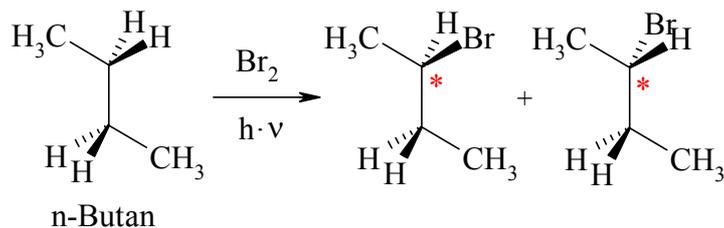
sekundäres C-Atom

tertiäres C-Atom

1.3 Stereochemie

1.3.1 Enantiomere

Bei folgender Reaktion entstehen zwei Produkte, die sich nur in ihrer räumlichen Struktur unterscheiden:



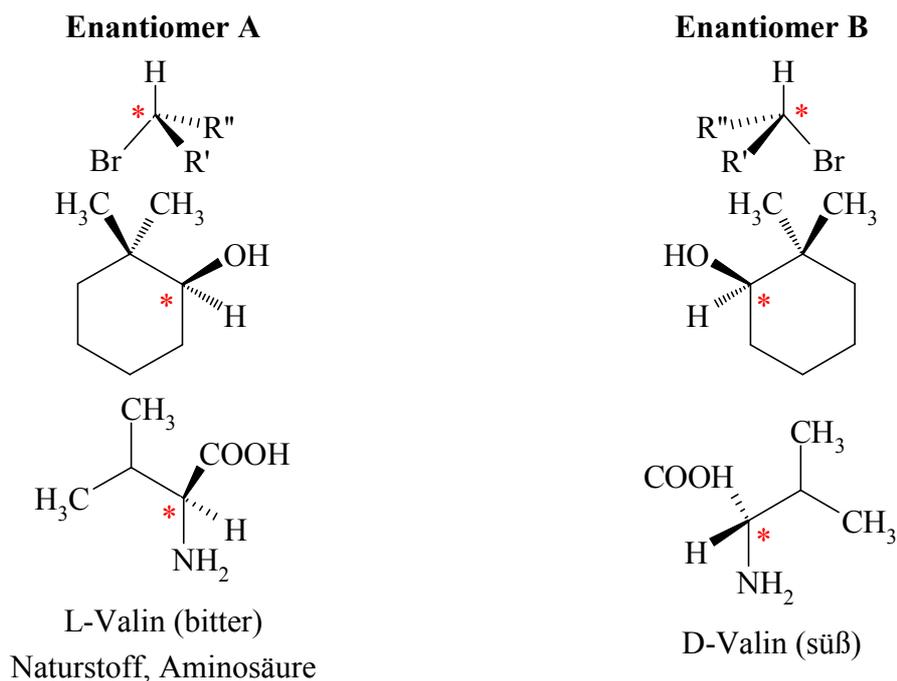
* C-Atom mit vier verschiedenen Substituenten
(assymetrisches C-Atom, stereogenes Zentrum)

Die beiden Produkte entstehen im Verhältnis 1:1, und bilden als 1:1 Gemisch eines Enantiomerenpaares ein *Racemat*.

Enantiomere verhalten sich wie Bild und Spiegelbild, ähnlich wie rechte und linke Hand. Sie haben identische physikalische Eigenschaften mit Ausnahme der *optischen Aktivität*. D.h., sie drehen den Winkel des polarisierten Lichtes um denselben Betrag, aber in entgegengesetzter Richtung. Dreht das eine Enantiomer das Licht im Uhrzeigersinn, so bezeichnet man es als rechtsdrehend und wird (+)-Enantiomer genannt. Das andere linksdrehende Enantiomer nennt man dementsprechend (-)-Enantiomer.

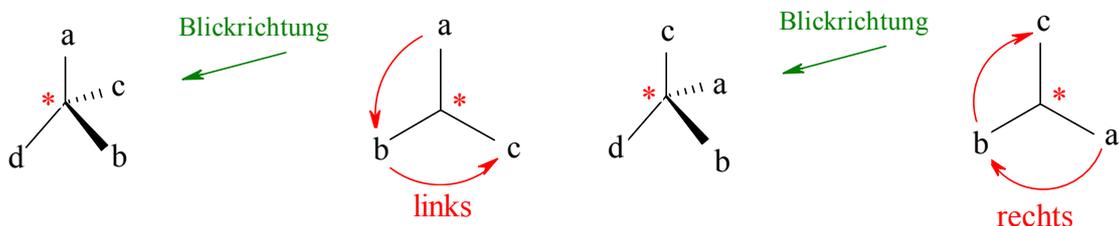
Auch das Verhalten in chemischen Reaktionen ist dasselbe, allerdings gilt dies nicht bei Reaktionen mit Stoffen, die ihrerseits Enantiomere sind, wodurch auch Unterschiede in den *physiologischen Eigenschaften*, wie im Geruch und Geschmack, bedingt werden.

1. Beispiele



2. R, S – Nomenklatur (CIP-Nomenklatur nach Cahn, Ingold und Prelog)

Mit den Substituenten a, b, c und d in absteigender Priorität ergibt sich folgendes Bild:



(S)-Konfiguration

Die Abfolge verläuft entgegen dem Uhrzeigersinn, also linksherum.

Sinister (lat.) = links

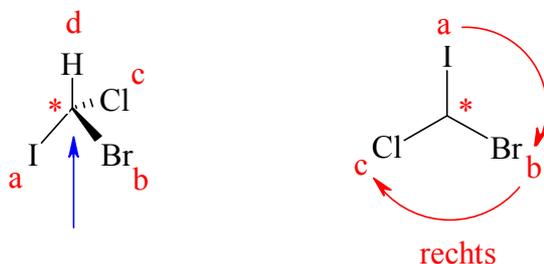
(R)-Konfiguration

Die Abfolge verläuft mit dem Uhrzeigersinn, also rechtsherum.

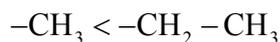
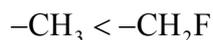
Rectus (lat.) = rechts

Festlegung der Prioritäten der Substituenten am stereogenen Zentrum:

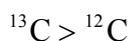
1. Regel Hohe Ordnungszahl vor niedriger Ordnungszahl



2. Regel Bei gleicher Ordnungszahl geht man die Kette entlang, bis ein Unterschied erkennbar wird.

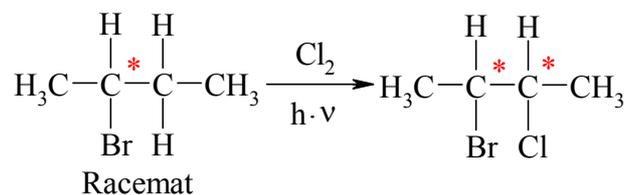


3. Regel ‚schwere‘ Isotope vor leichten:



1.3.2 Diastereomere

Diastereomere weisen neben einem stereogenen Zentrum noch mindestens ein weiteres auf:



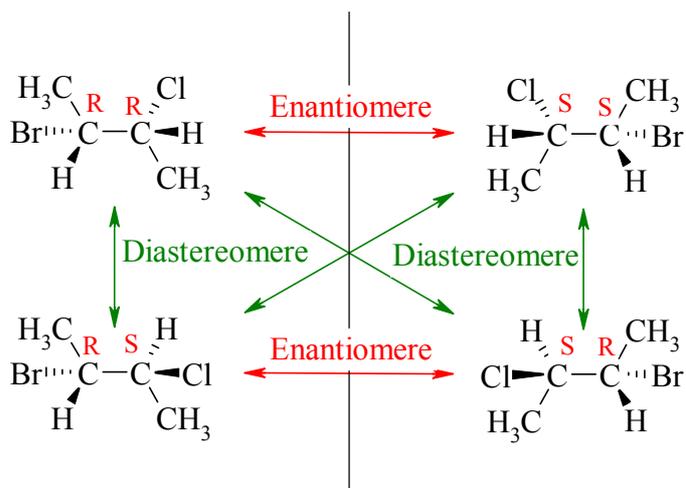
Aus dem Racemat mit seinen beiden Enantiomeren in der (R)- und der (S)-Konfiguration bilden sich bei Halogenierung also vier Stereoisomere in den Konfigurationen (R)-(R), (R)-(S), (S)-(R) und (S)-(S).

Diastereomere weisen unterschiedliche chemische und physikalische Eigenschaften auf. Die Anzahl der Stereoisomere einer Verbindung berechnet sich mit der Formel:

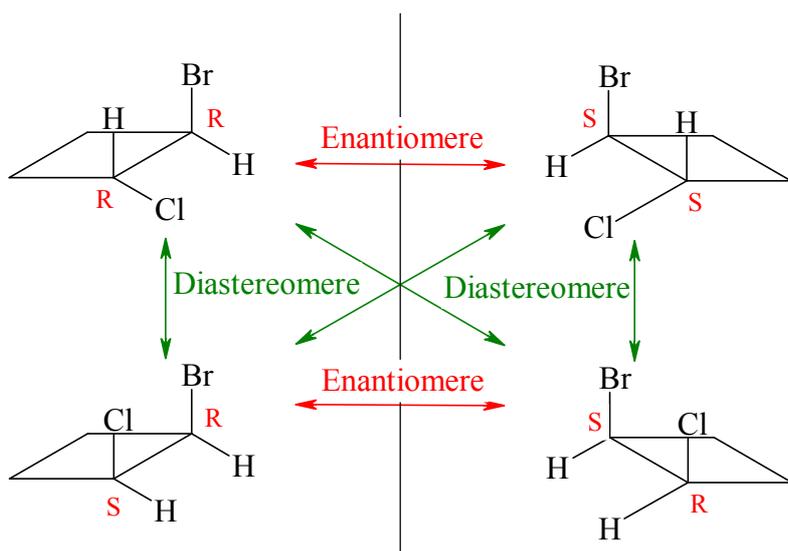
$$\Sigma_{\text{Stereoisomere}} = 2^n \quad n = \text{Anzahl der stereogenen Zentren}$$

1. Beispiele

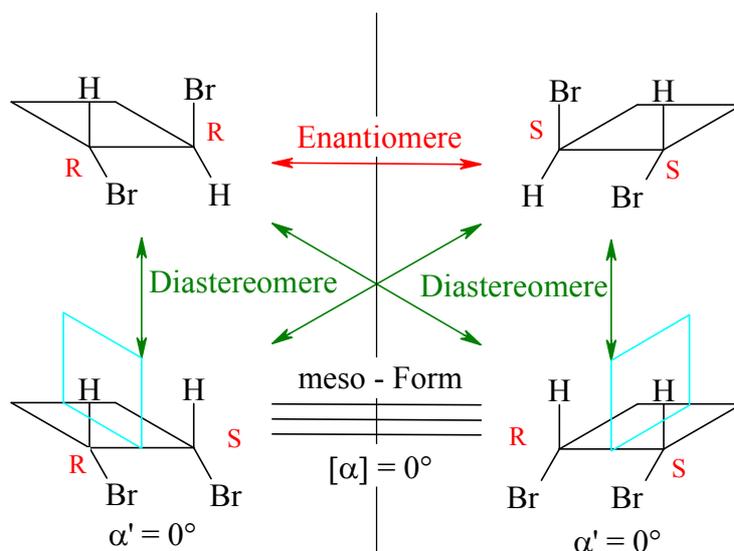
a)



b)

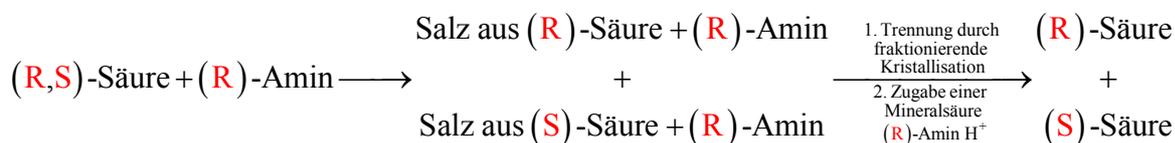


c)

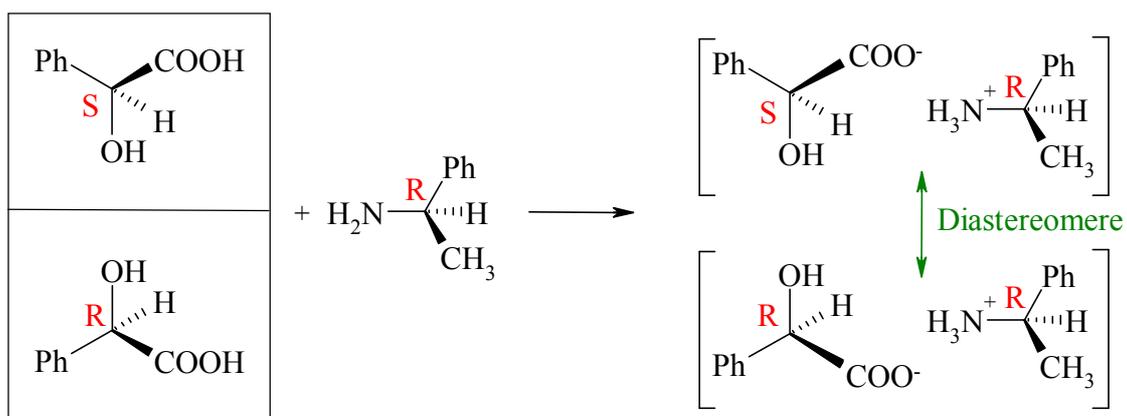


Die beiden unteren Moleküle besitzen eine innere Symmetrie, d.h. eine Spiegelachse. Sie sind daher nach außen optisch inaktiv, haben also einen spezifischen Drehwert $[\alpha] = 0$. So besitzen zwei gleich substituierte Moleküle mit zwei stereogenen Zentren nur 3 Stereoisomere.

2. Racematspaltung einer Säure

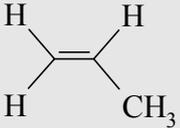
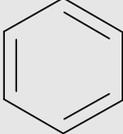


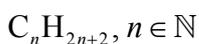
Beispiel:



Die entstehenden Salze sind Diastereomere und können dementsprechend mit chemischen und physikalischen Methoden getrennt werden.

2. Chemie der organischen Verbindungen

Kohlenwasserstoffe				
Aliphaten				Aromaten ¹
Alkane	Alkene	Alkine	Cycloaliphate	
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$		$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$		
Propan	Propen	Propin	Cylopentan	Benzol



2.1 Alkane (Parafine)

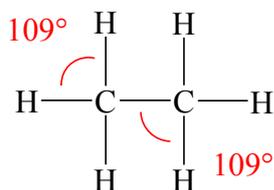
2.1.1 Beispiele

Summenformel	Alkan	Anzahl der Strukturisomeren
CH_4	Methan (Erdgas)	1
CH_3-CH_3	Ethan	1
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	Propan	1
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}_3$	Butan	2
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$	Pentan	3
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_3$	Hexan	6
⋮	⋮	⋮
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_3$	Oktan	18
⋮	⋮	⋮
$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{18}-\text{CH}_3$	Eicosan	366.319

¹ Aus den Bezeichnungen Aliphaten und Aromaten leitet sich auch der Name eines bekannten Erdöllieferanten ab.

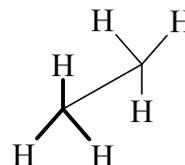
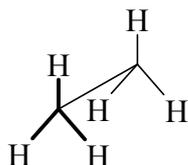
2.1.2 Beispiele zu Strukturisomeren

1. *Ethan* C₂H₆

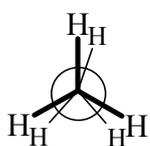


H₃C-CH₃
σ-Bindung
(frei drehbar)

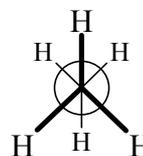
Sägebockschreibweise



Newman-Projektion

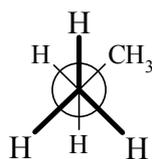


verdeckte Konformation
(eclipsed)

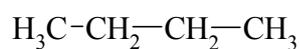


gestaffelte Konformation
(staggered)

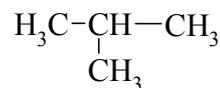
2. *Propan* C₃H₈



4. *Butan* C₄H₁₀



n-Butan
(normal)
K_p = 0 °C



i-Butan

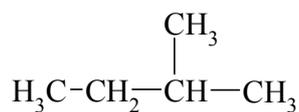
(iso)

K_p = -12 °C

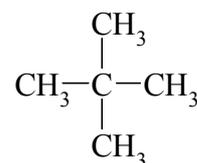
5. *Pentan* C₅H₁₂



n-Pentan

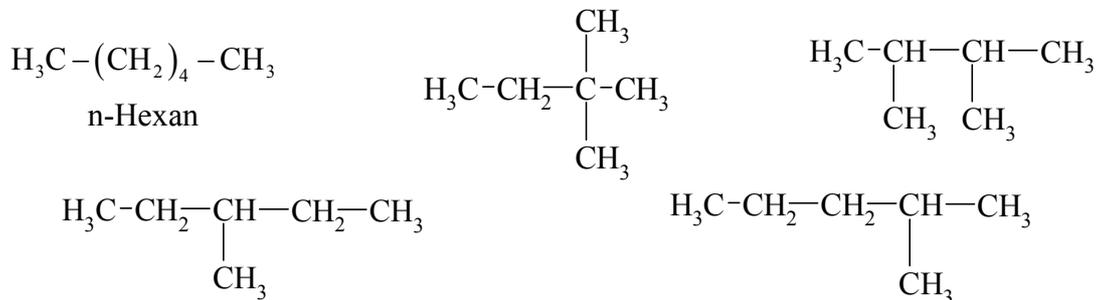


i-Pentan

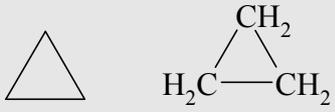
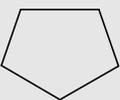
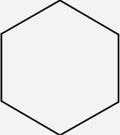
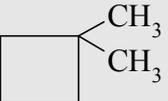
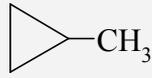


neo-Pentan

6. Hexan C₆H₁₄

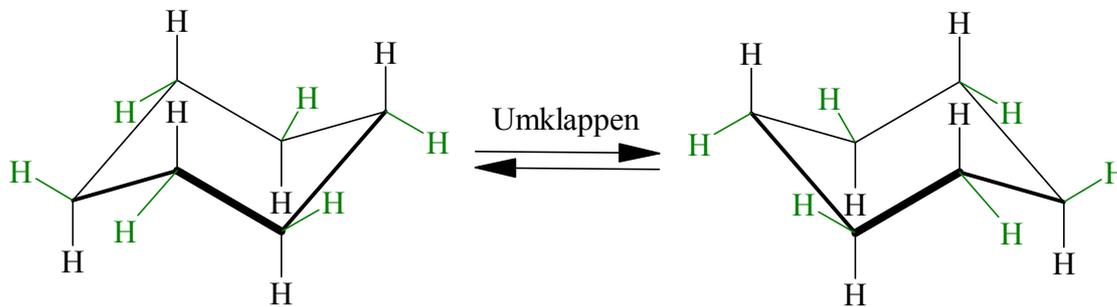


2.1.2 Cycloalkane

Struktur	Name
	Cyclopropan
	Cyclobutan
	Cyclopentan
	Cyclohexan
	1,1-Dimethylcyclobutan
	Methylcyclopropan

Darstellungen des Cyclohexans

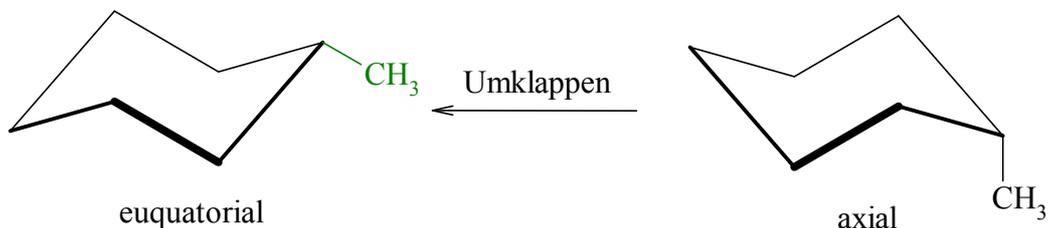
Sesselkonformationen



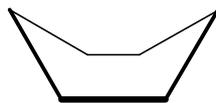
axiale H-Atome / equatoriale H-Atome

Beim Umklappen werden aus axialen (equatorialen) H-Atomen equatoriale (axiale) H-Atome.

Die equatoriale Stellung wird von (größeren) Substituenten bevorzugt:

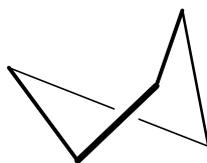


Wannenkonformation



(energiereicher)

Twistkonformation

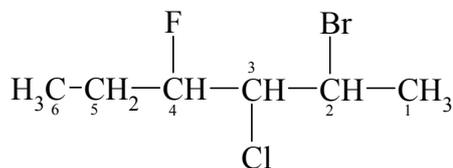


2.1.4 Nomenklatur nach UIPAC

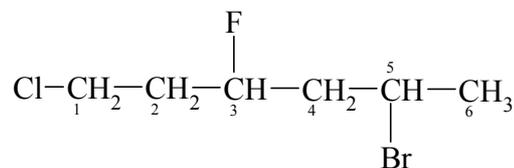
(International Union of Pure and Applied Chemistry)

Alkan	Alkylrest	Beispiel
Methan	Methyl	$\text{CH}_3 - \text{Br}$ (Mono-) Brommethan
Ethan	Ethyl	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$ Ethanol
n-Propan	n-Propyl	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_2 - \text{Cl}$ (1-) Chlorpropan
i-Propan	i-Propyl	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} - \text{CH} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{Cl} \end{array}$ 2-Chlorpropan
Butan	Butyl	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_3 - \text{SH}$ (Butanthiol)

Beispiele zur Nomenklatur:



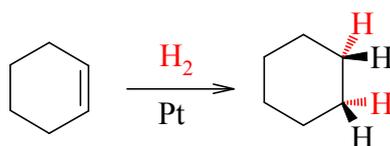
2-Brom-3-chlor-4-fluorohexan



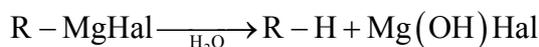
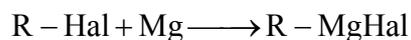
5-Brom-1-chlor-3-fluorohexan

2.1.5 Labormethoden zur Alkansynthese

1. Hydrierung von Alkenen



2. Hydrolyse von Grignard-Verbindungen



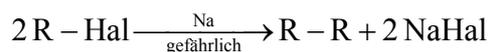
3. Reduktion mit naszierendem Wasserstoff



4. Reaktion mit Organometallverbindungen



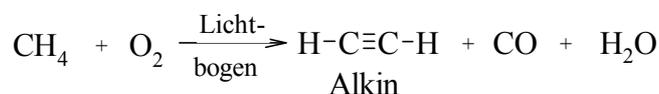
5. Wurtz-Synthese



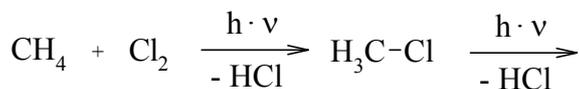
2.1.6 Reaktionen der Alkane

Die Alkane sind im Allgemeinen reaktionsträge.

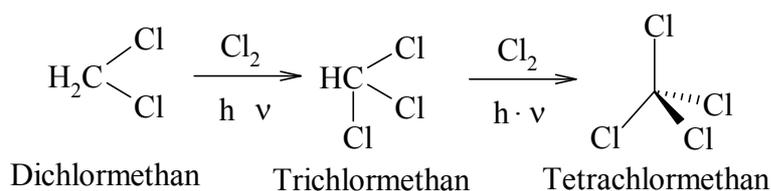
1. Verbrennungsreaktion (wichtigste Reaktion)



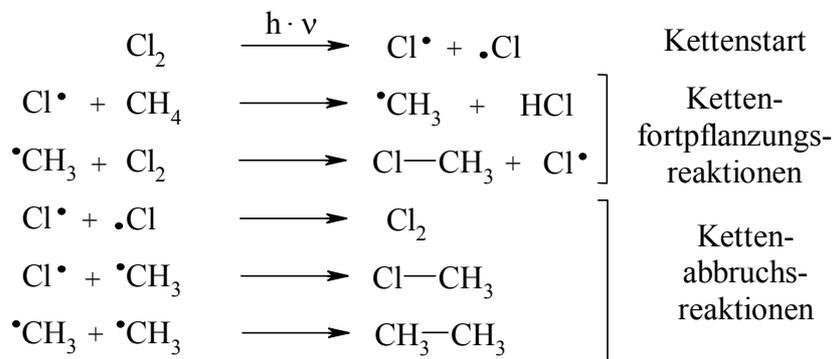
2. Photochlorierung von Methan



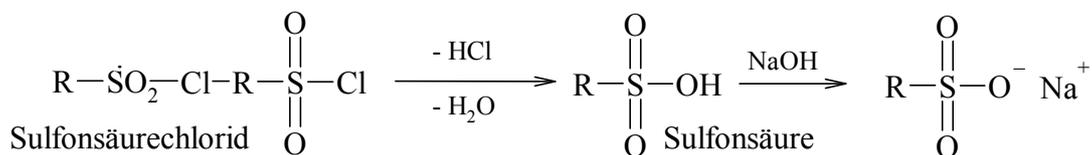
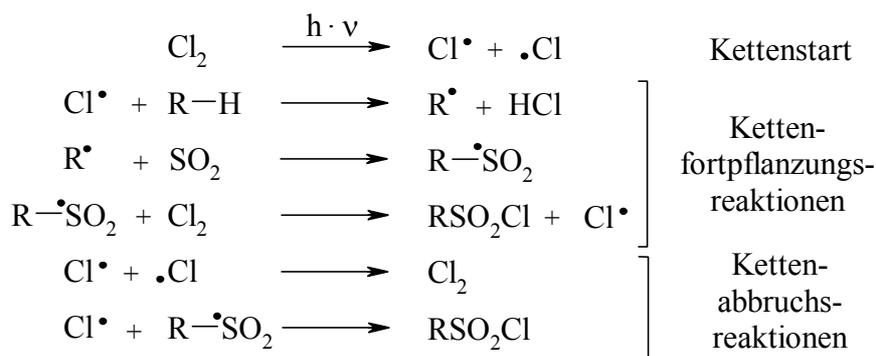
Monochlormethan



Es folgt der Reaktionsmechanismus der *Radikalkettenreaktion*:



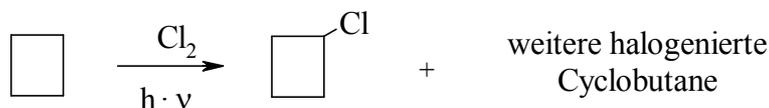
3. Sulfochlorierung mit $\text{Cl}_2 / \text{SO}_2$



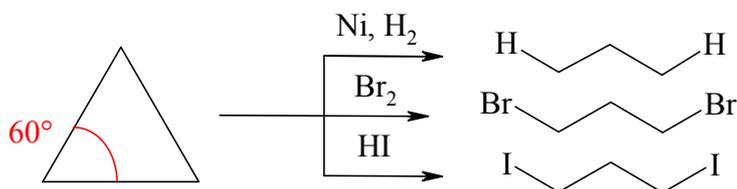
2.1.7 Reaktionen der Cycloalkane

Die Reaktionen der Cycloalkane ähneln denen der kettenförmigen Alkane.

1. Photohalogenierung

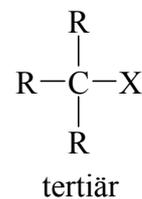
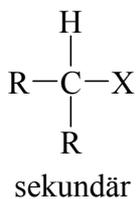
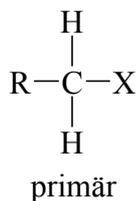


2. Besondere Reaktionen des Cyclopropan



Das Cyclopropan ist deshalb so reaktiv, weil der Bindungswinkel C-C 60° beträgt, und somit stark von dem idealen Bindungswinkel im Tetraeder von 109° abweicht. Daraus resultiert eine recht hohe Ringspannung.

2.2 Halogenalkane und Alkohole



2.2.1 Beispiele

1. Halogenalkane

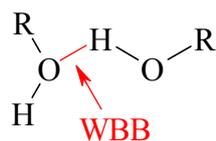
$\text{CH}_3-\text{CHCl}_2$	CCl_4
Dichlormethan	Tetrachlormethan

2. Alkohole

CH_3-OH	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_2-\text{OH}$	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{OH} \end{array}$
Methanol	Ethanol	n-Propanol (Propan-1-ol)	i-Propanol (Propan-2-ol)

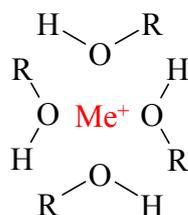
2.2.2 Eigenschaften der Alkohole

1. Wasserstoffbrückenbindungen

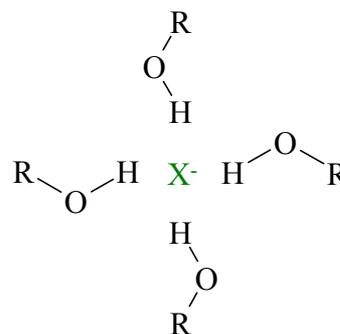


Alkohole weisen aufgrund der sich bildenden Wasserstoffbrückenbindungen (WBB) relativ hohe Siedepunkte auf.

2. Solvatisierung von Ionen



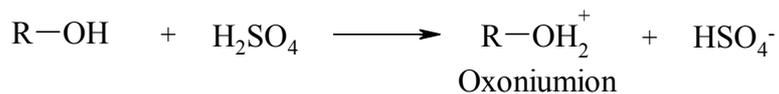
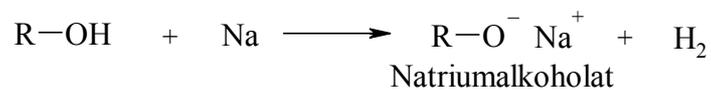
Kationen



Anionen

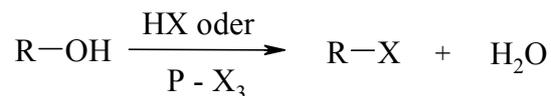
Aufgrund dieser Eigenschaften vermögen die Alkohole Ionen zu solvatisieren.

3. Alkohole als Säuren und Basen

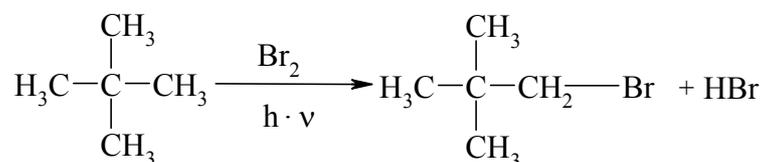
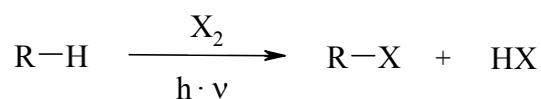


2.2.3 Synthese von Halogenalkanen

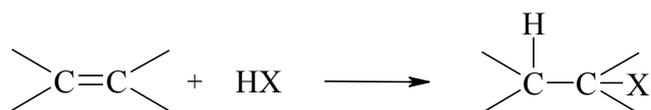
1. aus Alkoholen



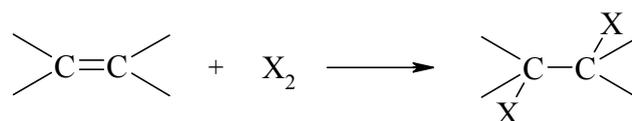
2. Photohalogenierung



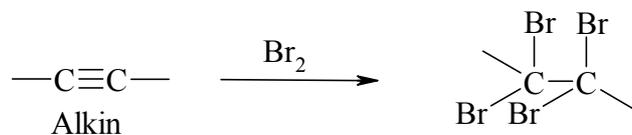
3. Addition von H-X an Alkene



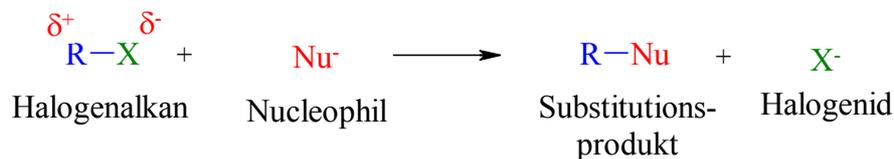
4. Addition von Halogenen



5. Addition von Halogenen an Alkine



2.2.4 Nucleophile Substitution



Halogenalkan	+	Nucleophil	→	Substitutionsprodukt	+	Abgangsgruppe
R-X	+	Nu ⁻	→	R-Nu	+	X ⁻
R-X	+	HO ⁻	→	R-OH	+	X ⁻
R-X	+	R'O ⁻	→	R-O-R' (Ether)	+	X ⁻
R-X	+	R'≡C ⁻ (Acetylit)	→	R-C≡R' (Alkin)	+	X ⁻
R-X	+	$\delta^- \quad \delta^+$ R'-Li	→	R-R (Alkan)	+	X ⁻
R-X	+	N≡C ⁻	→	R-C≡N (Nitril)	+	X ⁻
R-X	+	NH ₃	→	R-NH ₂ (Amin)	+	H ⁺ + X ⁻ + Nebenprodukte
R-X	+	HNR' ₂	→	R-NR' ₂	+	H ⁺ + X ⁻
R-X	+	P(Ph) ₃ Triphenylphosphan	→	R- ⁺ P(Ph) ₃ (Phosphoniumsalz)	+	X ⁻
R-X	+	HS ⁻	→	R-SH (Thioalkohol, Mercaptan)	+	X ⁻
R-X	+	⁻ SR' (Thiolat)	→	R-S-R' (Sulfid)	+	X ⁻
R-X	+	H-Ar ²	$\xrightarrow{\text{AlCl}_3}$	R-Ar	+	H ⁺ + X ⁻
R-X	+	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{O}^- - \text{C} - \text{R}' \end{array}$	→	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{R} - \text{O} - \text{C} - \text{R}' \end{array}$ (Ester)	+	X ⁻
R-X	+	$\begin{array}{c} \text{COOR}' \\ \diagdown \\ \text{HC} \\ \diagup \\ \text{COOR}'' \end{array}$	→	$\begin{array}{c} \text{COOR}' \\ \diagdown \\ \text{R} - \text{CH} \\ \diagup \\ \text{COOR}'' \end{array}$	+	X ⁻

² Ar = Aromat

1. S_N^2 - Mechanismus

Beispiel:

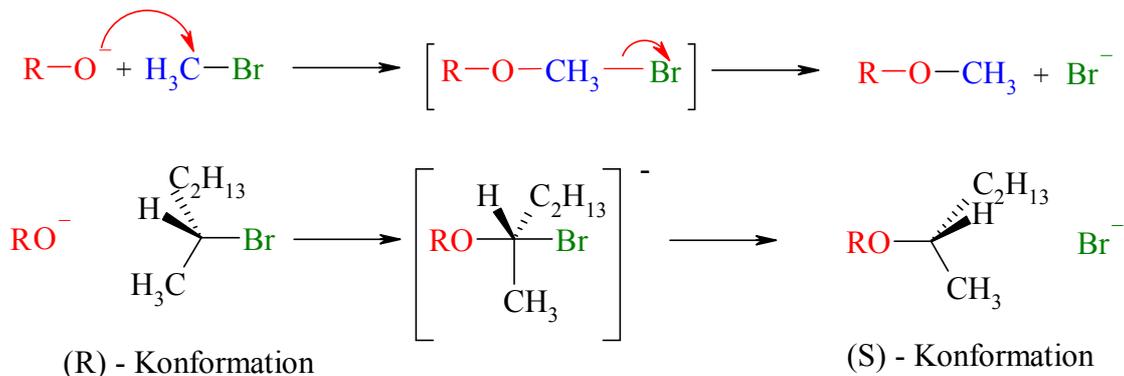


Kinetik:

(Reaktionskinetik 2. Ordnung)

$$\text{RG} = K \cdot [\text{CH}_3 - \text{Br}] \cdot [\text{-OR}]$$

Mechanismus:

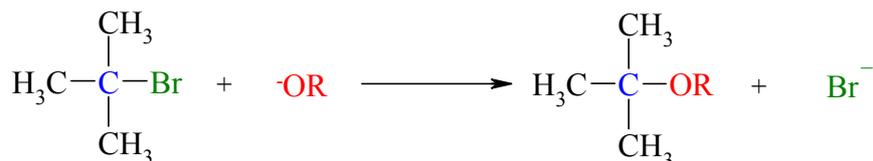


Walden'sche Umkehr (Regenschirmmechanismus)

Man spricht hierbei von einer *vollständigen Inversion der Konfiguration*. Demzufolge verlaufen S_N^2 -Reaktionen *stereospezifisch* ab, d.h., ein reines Stereoisomer reagiert zu einem reinen Stereoisomer mit der entgegengesetzten Konfiguration.

2. S_N^1 - Mechanismus

Beispiel:

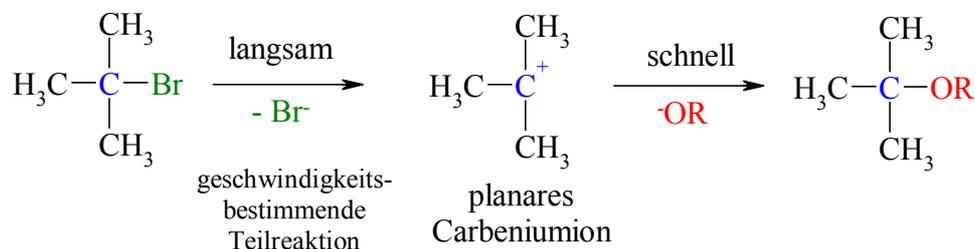


Kinetik:

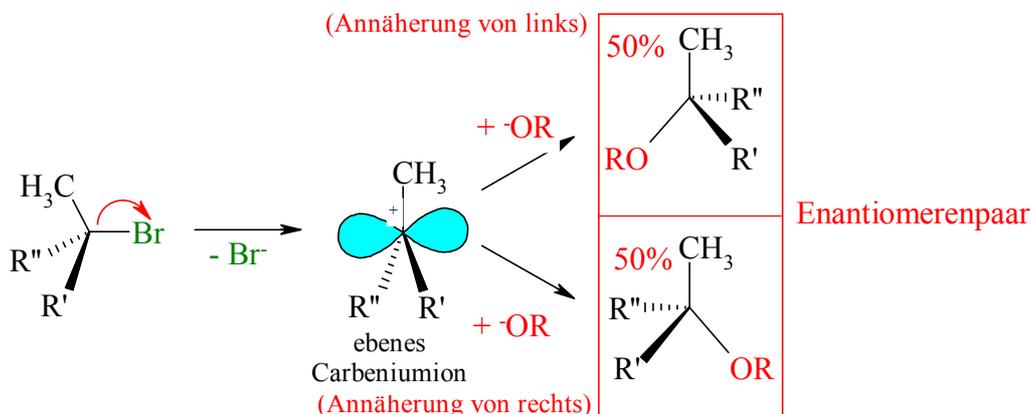
(Reaktionskinetik 1. Ordnung)

$$\text{RG} = K \cdot \left[\text{H}_3\text{C}-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{Br} \right]$$

Mechanismus:



Die S_N^1 - Reaktion verläuft nicht stereospezifisch und liefert als Produkte immer Racemate:

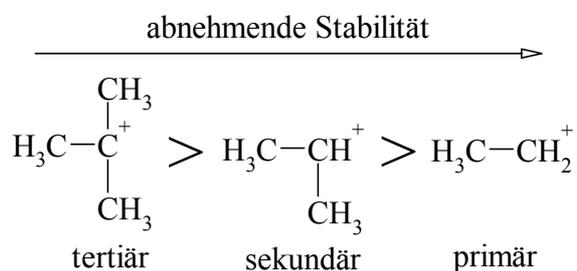


3. Konkurrenz zwischen S_N^1 und S_N^2

Es stellt sich nun die Frage, wann welcher Mechanismus auftritt.

Einfluss des Halogenalkans

Bei tertiären Halogenalkanen wird der S_N^1 - Mechanismus bevorzugt, während bei primären der S_N^2 -Mechanismus auftritt. Bei sekundären Halogenalkanen können sowohl S_N^1 als auch S_N^2 vorkommen. Entscheidend ist die Stabilität der zwischenzeitlich entstehenden positiv geladenen Carbeniumionen:



Verantwortlich hierfür ist der (+)-*I-Effekt* (Elektronenspendender, d.h. positiv induktiver Effekt), bei dem die Methylgruppen wie auch andere Alkylgruppen stabilisierend auf das betroffene C-Atom wirken. Darüber hinaus sind manche Carbeniumion zusätzlich mesomeriestabilisiert, die im Vergleich zu anderen noch stabiler sind.

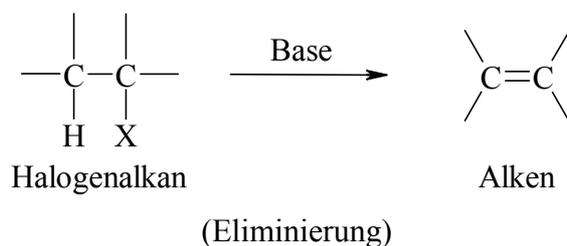
Einfluss des Lösungsmittels

Aufgrund der starken Dipolwirkung begünstigen polare Lösungsmittel einen Ablauf nach S_N^1 , indem die negativ geladenen Pole der Lösungsmittelmoleküle das positiv geladene Carbeniumion stabilisieren.

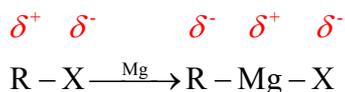
Unpolare Lösungsmittel hingegen führen zu Reaktionsabläufen nach S_N^2 .

2.2.5 Reaktionen der Halogenalkane

1. Abspaltung von H-X

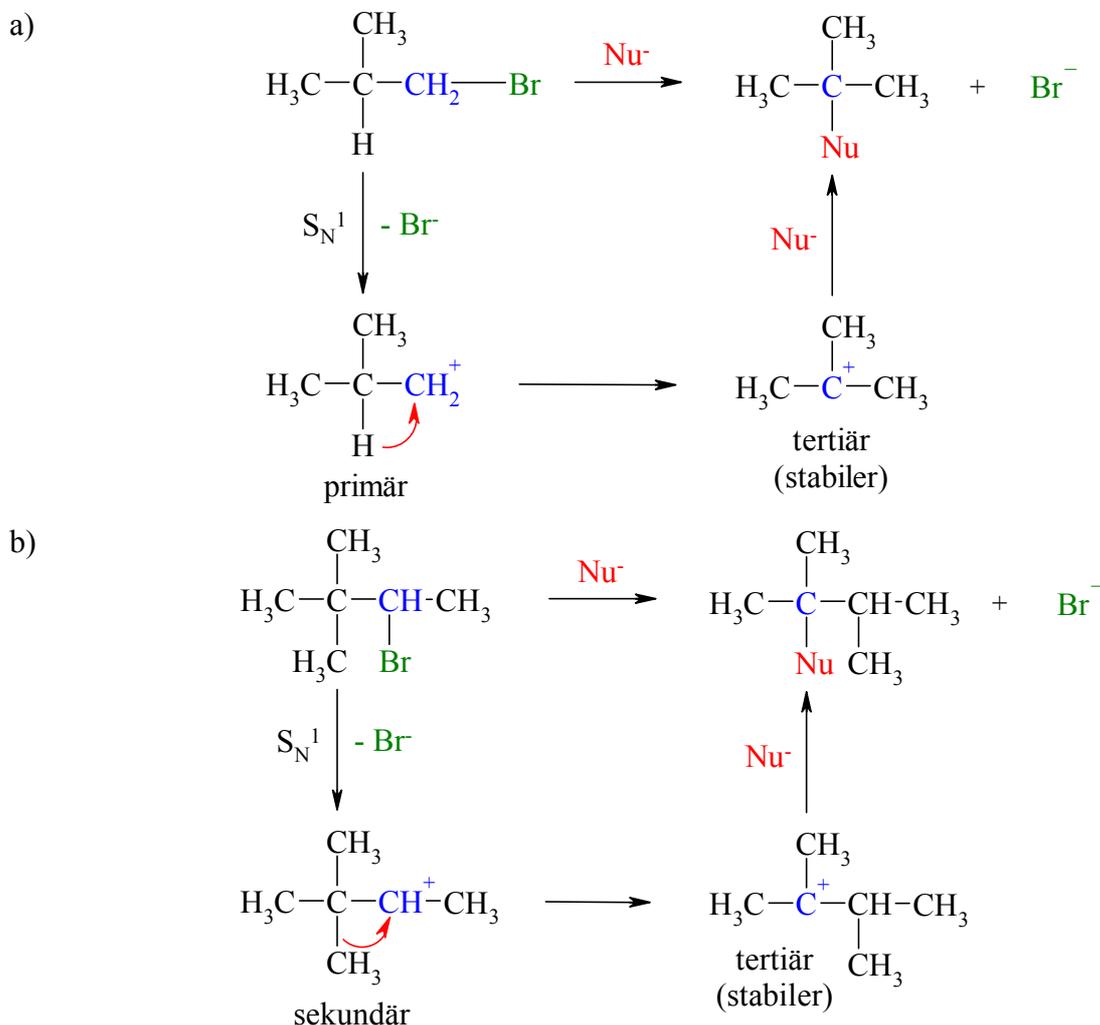


2. Bildung von Grignard-Verbindungen

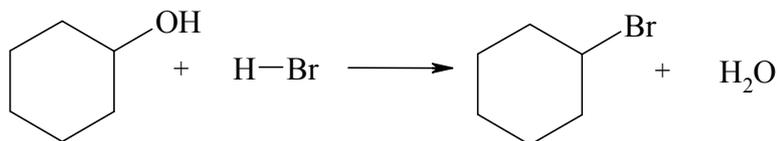


Ersichtlich an den Partialladungen erfolgt eine Umpolung, bei der sich die Vorzeichen der Ladungsverteilung ändern.

3. Umlagerung von Carbeniumionen

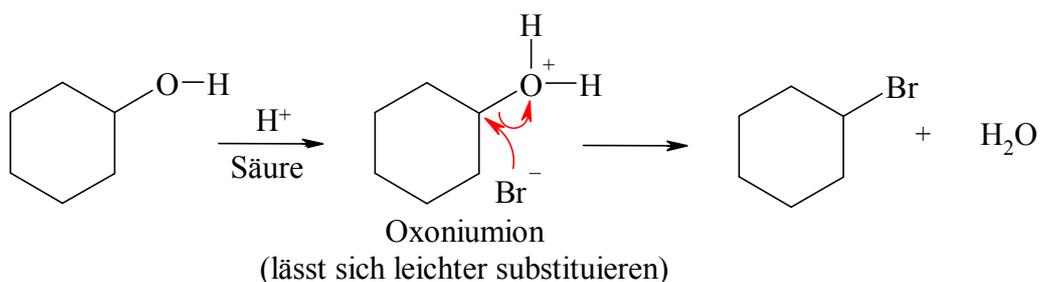


4. Reaktionen zwischen Alkoholen und Halogenalkanen



nicht direkt möglich, da sich OH-Gruppen nur schlecht substituieren lassen

Reaktionsmechanismus:



5. Analyse der Halogenalkane



Die Reaktionsgeschwindigkeit ist vom Halogenalkan und dessen Struktur abhängig:

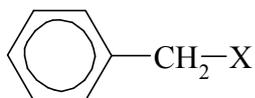


tertiäres > sekundäres > primäres Halogenalkan

Folgende Verbindungen sind besonders reaktiv:

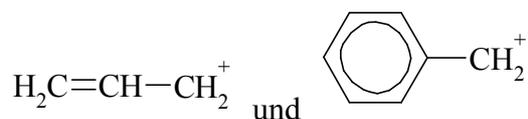


Allylhalogenid



Benzylhalogenid

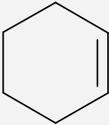
Der Grund für die erhöhte Reaktivität liegt darin, dass die bei Halogenidabspaltung entstehenden Carbanionen



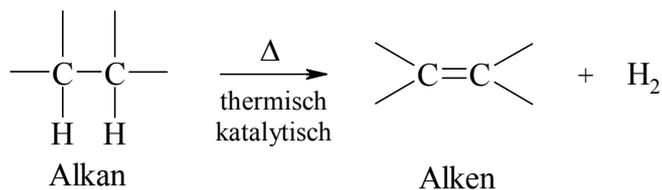
mesomeriestabilisiert sind damit stabiler sind als z.B. Carbanionen, die sich aus tertiären Halogenalkanen gebildet haben.

2.3 Alkene

2.3.1 Beispiele

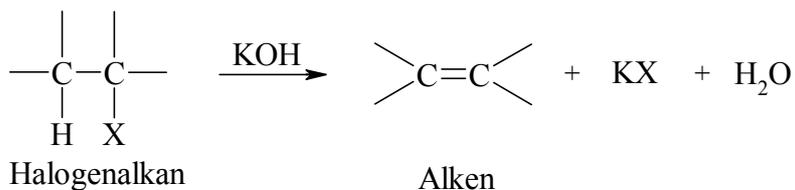
Strukturformel	Name (und weitere Verwendung)
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$	Ethen (Ethylen \rightarrow Polyethylen PE)
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_3$	Propen (Propylen \rightarrow Polypropylen PP)
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H}_3\text{C} \quad \quad \text{CH}_3 \end{array}$	cis-2-Buten
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{CH}_3 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H}_3\text{C} \quad \quad \text{H} \end{array}$	trans-2-Buten
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	1-Buten
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{C}=\text{CH}_2 \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$	Isobuten
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$	Butadien
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{C}=\text{CH}_2 \end{array}$	Isopren 2-Methyl-1,3-butadien (\rightarrow Terpene, Terpentin, Steroide)
	Cyclopenten
	Cyclohexen
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}=\text{CH} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	Chlorethen, Vinylchlorid (\rightarrow Polyvinylchlorid PVC)
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{Br}$	Allylbromid
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{OH}$	Allylalkohol

2.3.2 Industrielle Herstellung von Alkenen

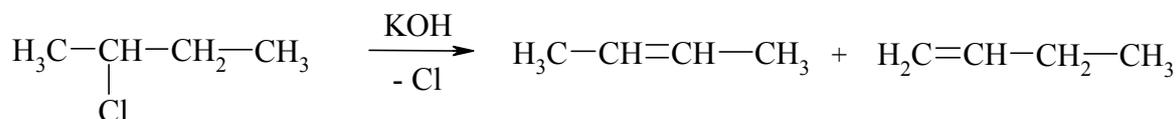


2.3.3 Laborverfahren zur Synthese von Alkenen

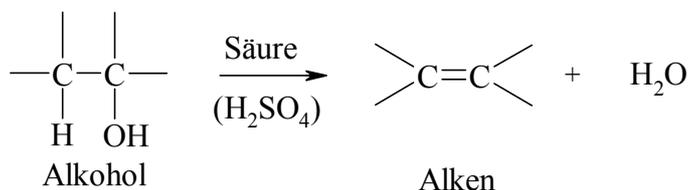
1. Abspaltung von Halogenwasserstoff



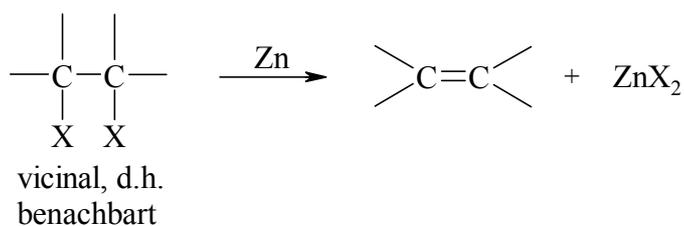
Beispiel



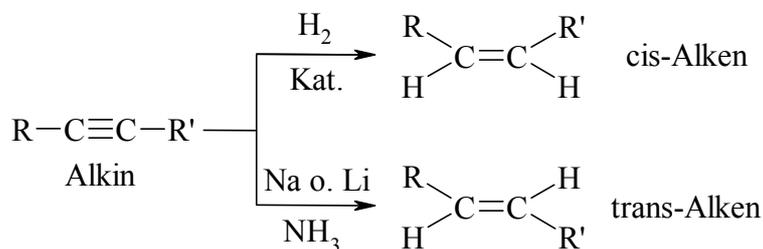
2. Wasserabspaltung aus Alkoholen



3. Abspaltung von Halogenen aus vicinalen Dihalogenen



4. Reduktion von Alkinen

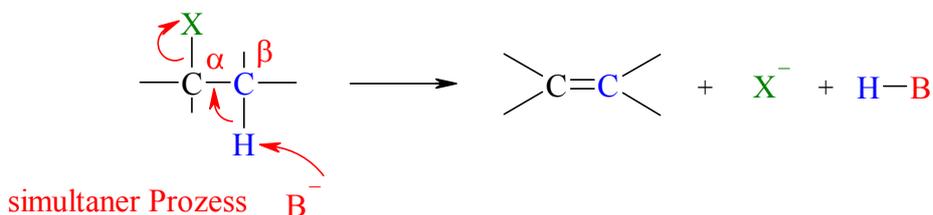


5. Wittig-Reaktion

später in VL (siehe 2.11.4.8)

2.3.4 Eliminierungsreaktionen

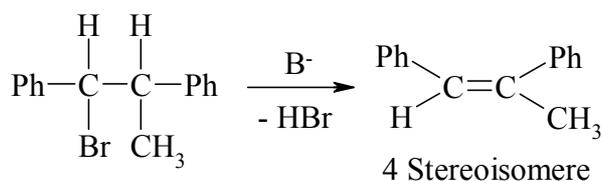
1. E_2 – Mechanismus (detaillierte Darstellung) (zu 2.3.3.1)



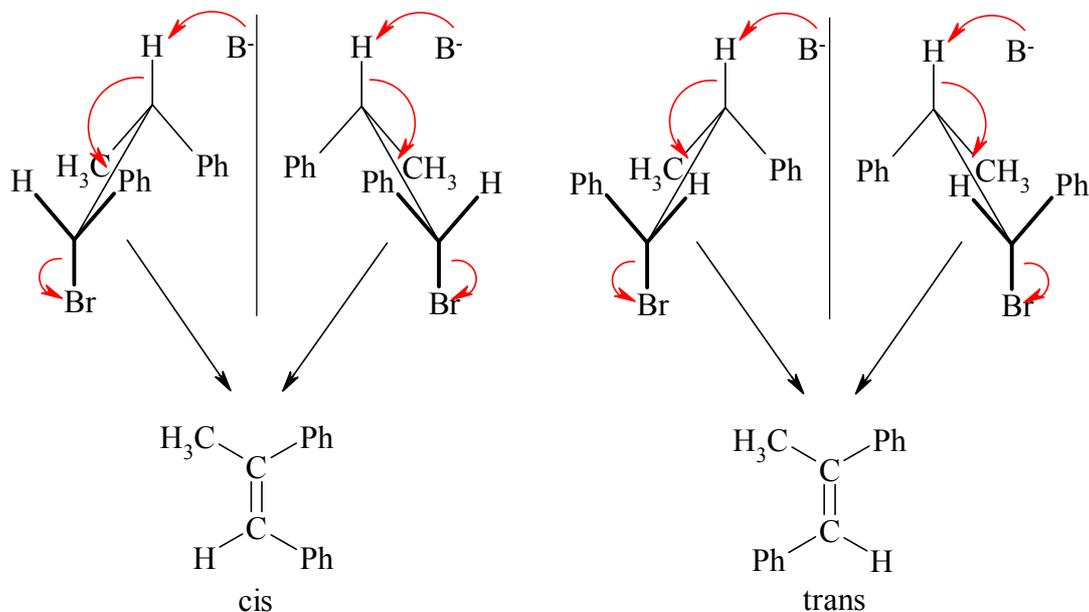
Kinetik zweiter Ordnung: $RG = K \cdot [\text{Halogenalkan}] \cdot [B^-]$

Eliminierungsreaktionen konkurrieren mit Substitutionsreaktionen, da die Base B^- ($B \in \{OH^-, \dots\}$) neben dem H-Atom auch natürlich am halogenierten C-Atom angreifen kann.

Stereochemie der E_2 – Eliminierung

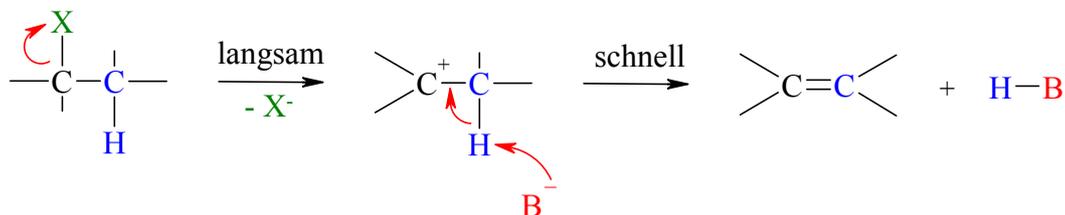


In der Sägebockschreibweise ergeben sich die vier Stereoisomere wie folgt:



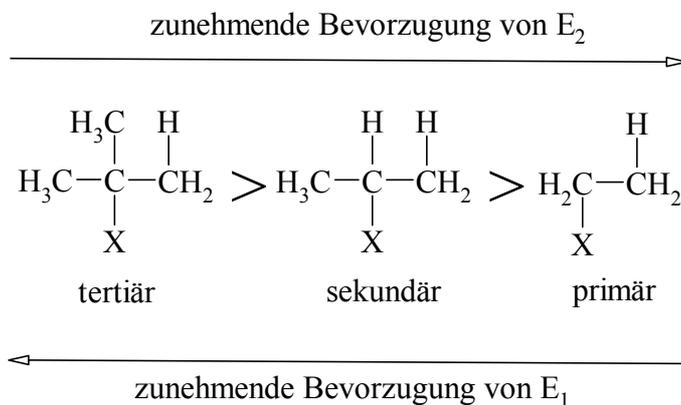
H und Br müssen *antiperiplanar* vorliegen, d.h. sie stehen sich in einer Ebene gegenüber.

2. E_1 – Mechanismus (detaillierte Darstellung) (zu 2.3.3.1)



Kinetik erster Ordnung: $RG = K \cdot [\text{Halogenalkan}]$

3. Möglichkeiten zur Fallunterscheidung zwischen E_1 und E_2

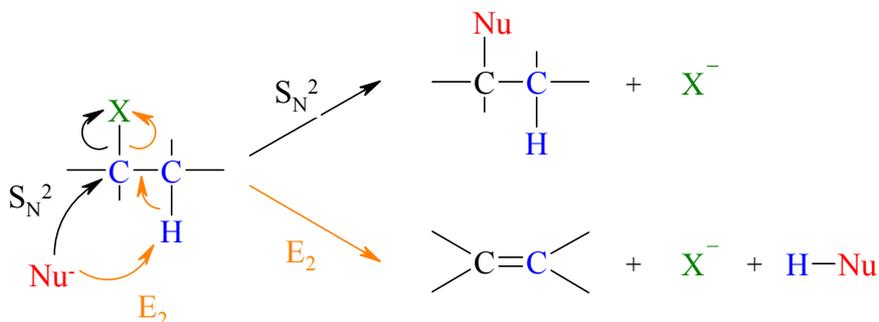


4. Konkurrenz zwischen Eliminierung und Substitution

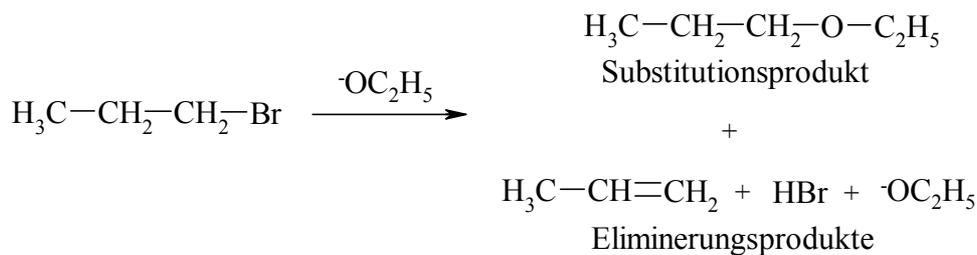
Halogenalkan	Substitution		Eliminierung	
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br}$ (primär)	91%	Sterische Hinderung ³ nimmt zu	9%	Stabilität der Carbeniumionen nimmt zu
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{Br} \end{array}$ (sekundär)	20%		80%	
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{Br} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ (tertiär)	3%		97%	
Halogenalkan	Substitution		Eliminierung	
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$	99%	Sterische Hinderung ¹ nimmt zu	1%	Stabilität der Carbeniumionen nimmt zu
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br}$	91%		9%	
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{Br} \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$	40%		60%	

³ Geometrie der Reste behindert eine Annäherung

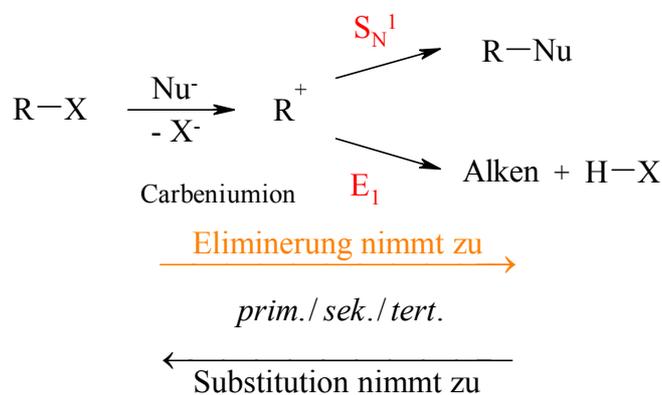
a) Vergleich E₂ gegen S_N²



Beispiel:



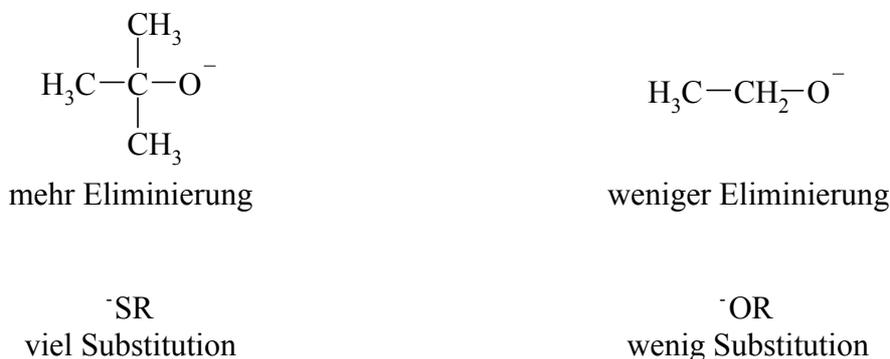
b) Vergleich E₁ gegen S_N¹



c) Abhängigkeit vom Lösungsmittel

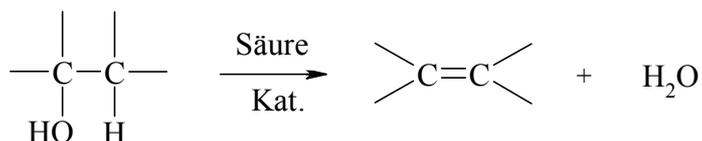
Während polare Lösungsmittel sowie niedrige Reaktionstemperaturen die Substitution begünstigen, führen unpolare Lösungsmittel und / oder hohe Reaktionstemperaturen zu einem vermehrten Auftreten der Eliminierung.

d) Abhängigkeit vom Nucleophil



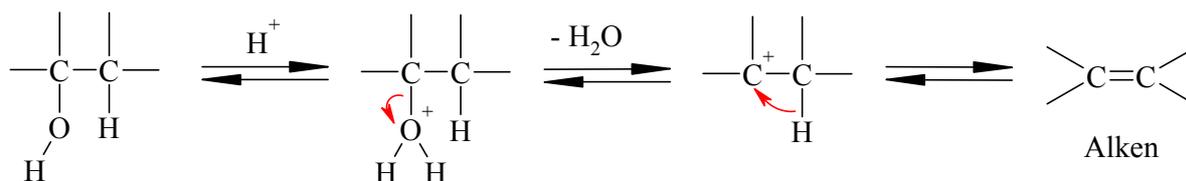
Sterisch gehinderte Nucleophile gehen bevorzugt Eliminierungsreaktionen ein.

2.3.5 Dehydratisierung von Alkoholen (1,2 – Eliminierung von H₂O)



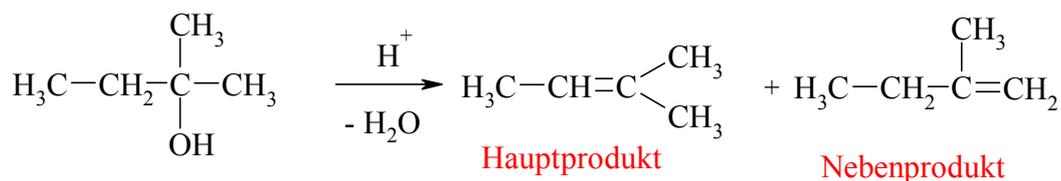
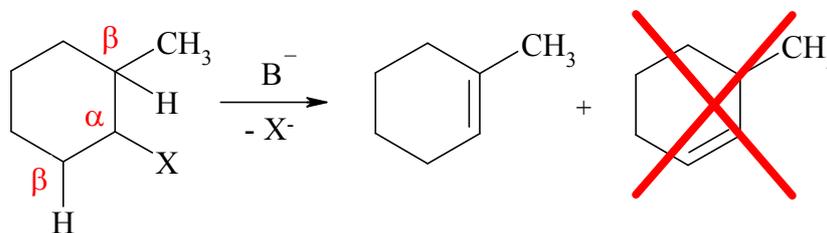
Die Dehydratisierungsneigung nimmt mit in der Reihenfolge primärer, sekundärer, tertiärer Alkohol ab.

Mechanismus



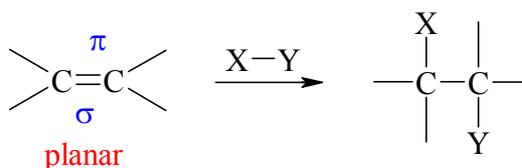
2.3.6 Saytzeff-Regel

Bei zwei β-C-Atomen wird bevorzugt das höher substituierte Alken entstehen.



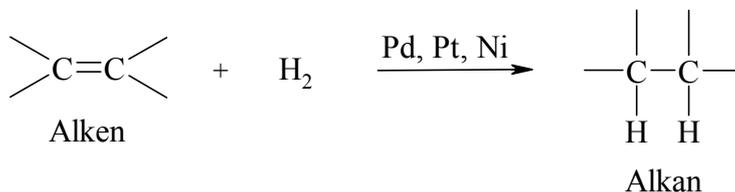
2.3.7 Reaktionen der Alkene

Generell sind Alkene reaktionsfreudiger als die Alkane.

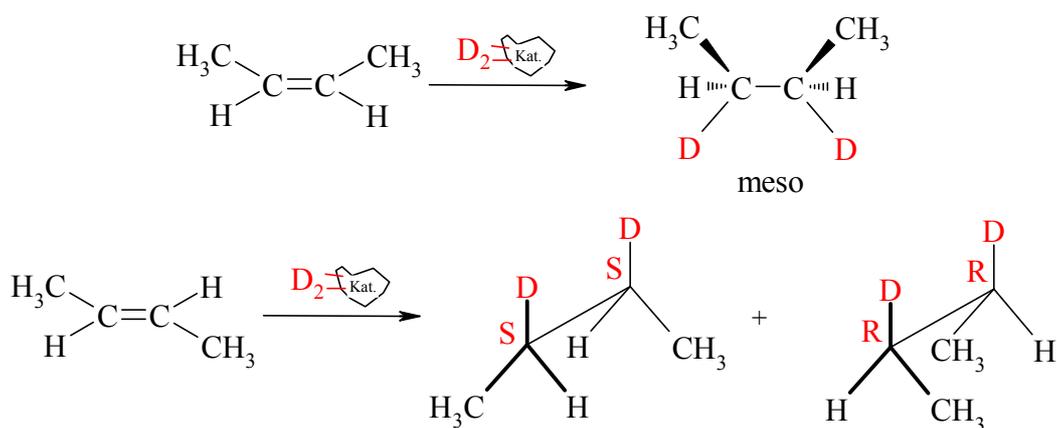
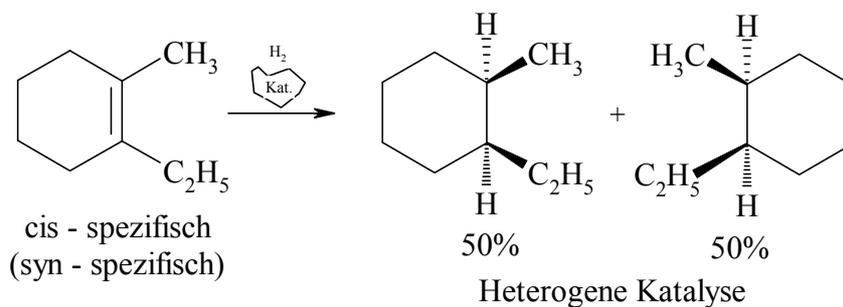
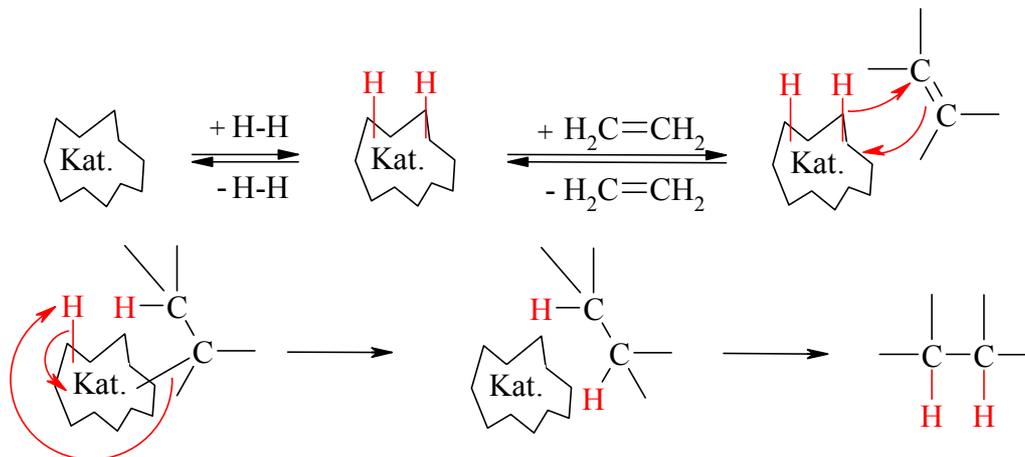


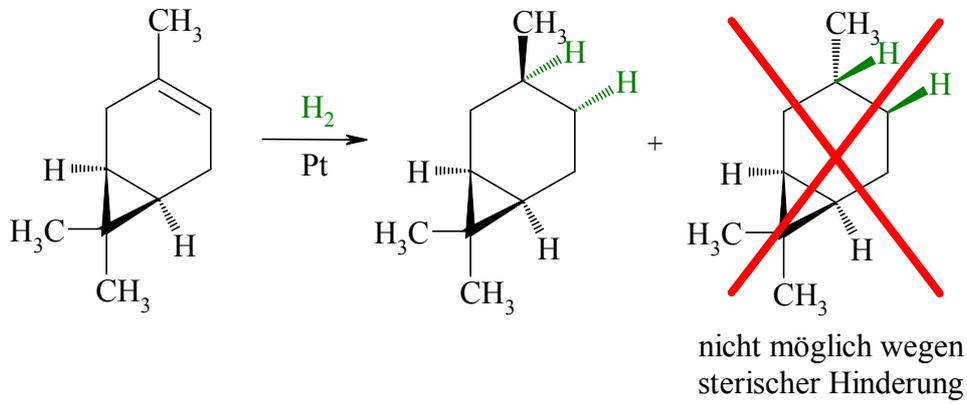
π-Elektronen stehen senkrecht zur Ebene

1. Katalytische Hydrierung (Addition von Wasserstoff)

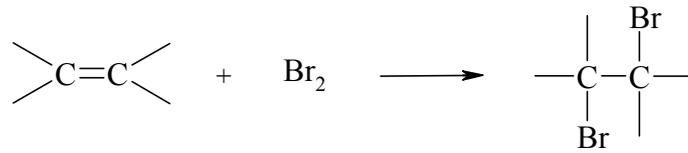


Details

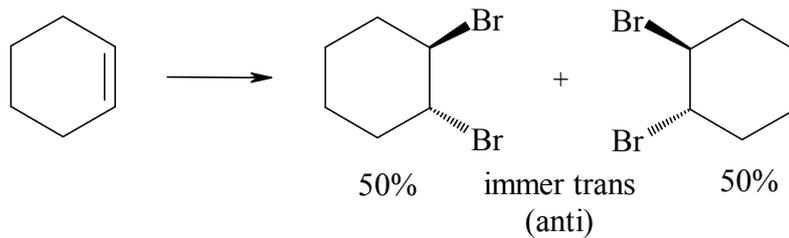
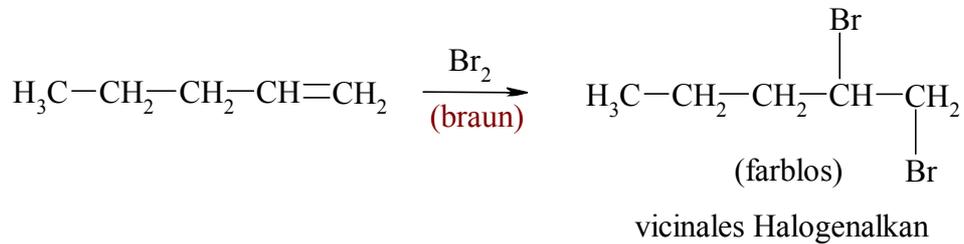




2. Halogenierung

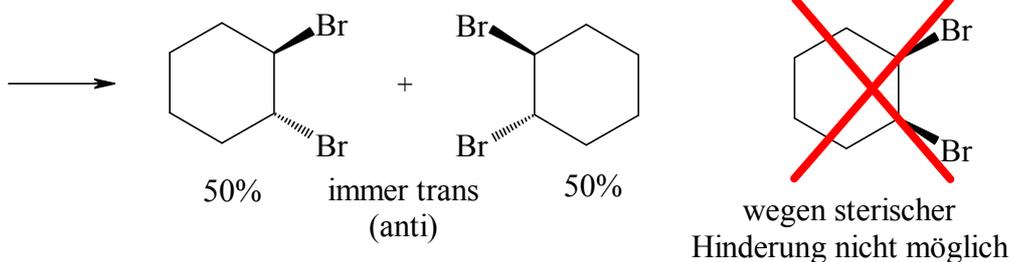
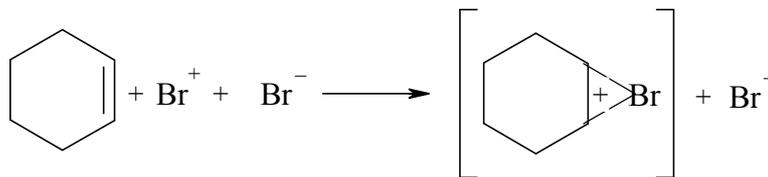
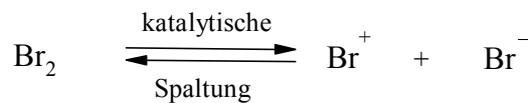


Beispiel



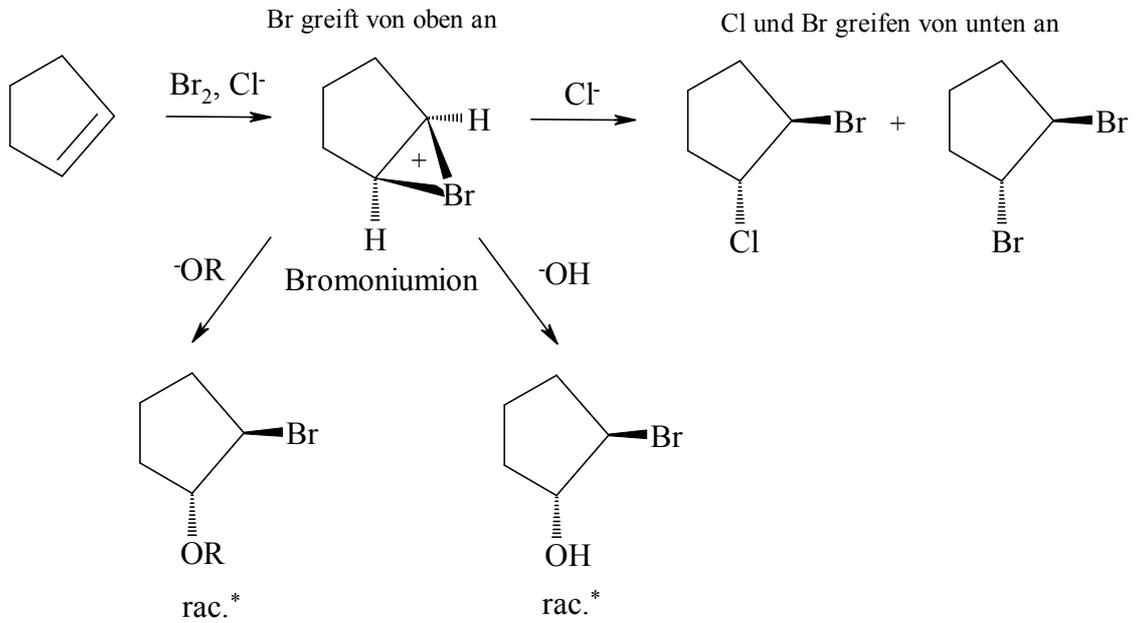
Details

In Lösungen mit Brom besteht folgendes Gleichgewicht:



Belege für die Existenz des Bromoniumions:

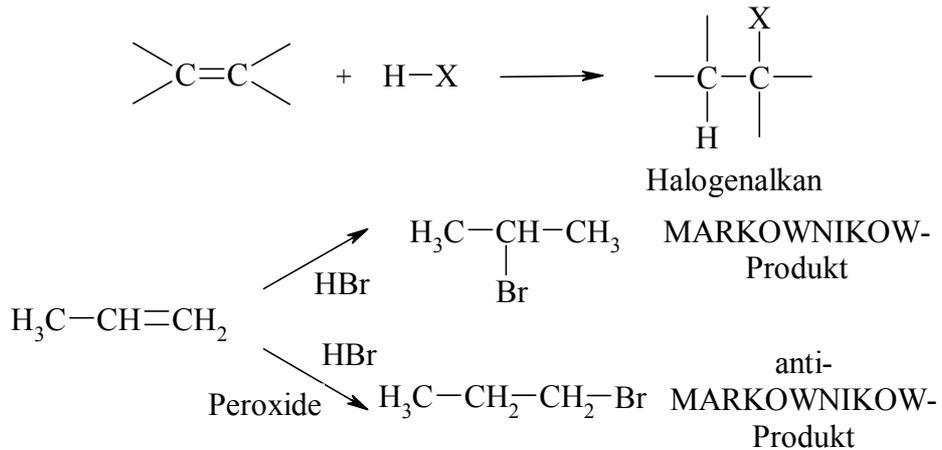
Man fängt das Bromoniumion durch andere Nucleophile ab.



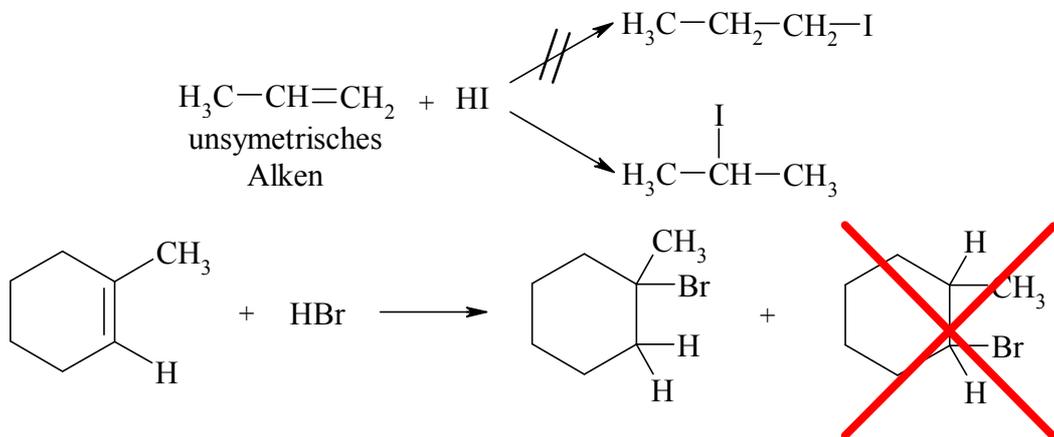
* rac. = racematisch

Das Gemischprodukt ist ein Hinweis auf das Vorhandensein des Bromoniumions.

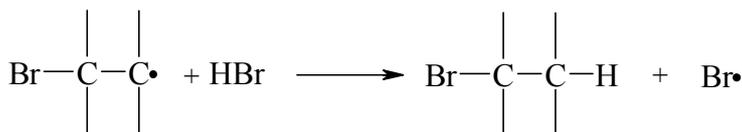
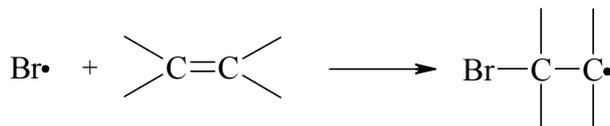
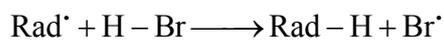
3. Addition von Halogenwasserstoff



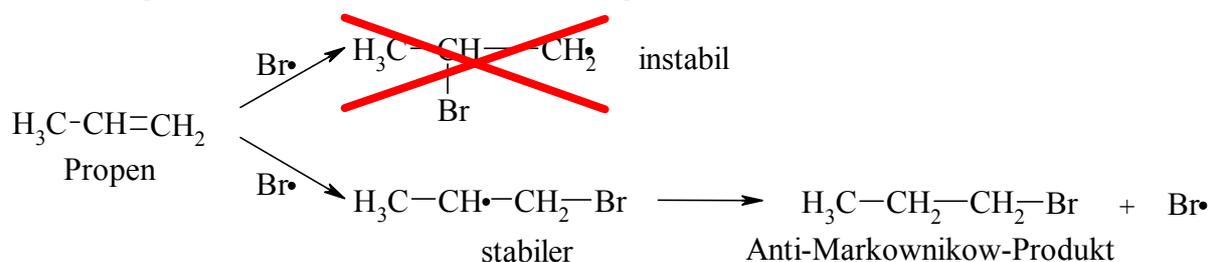
Details



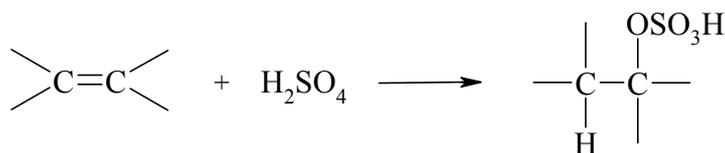
Radikalische H-Br – Addition



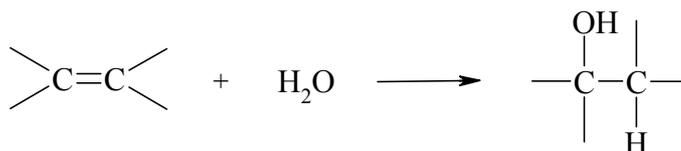
Andere Regioselektivität beobachtet man im folgenden Fall:



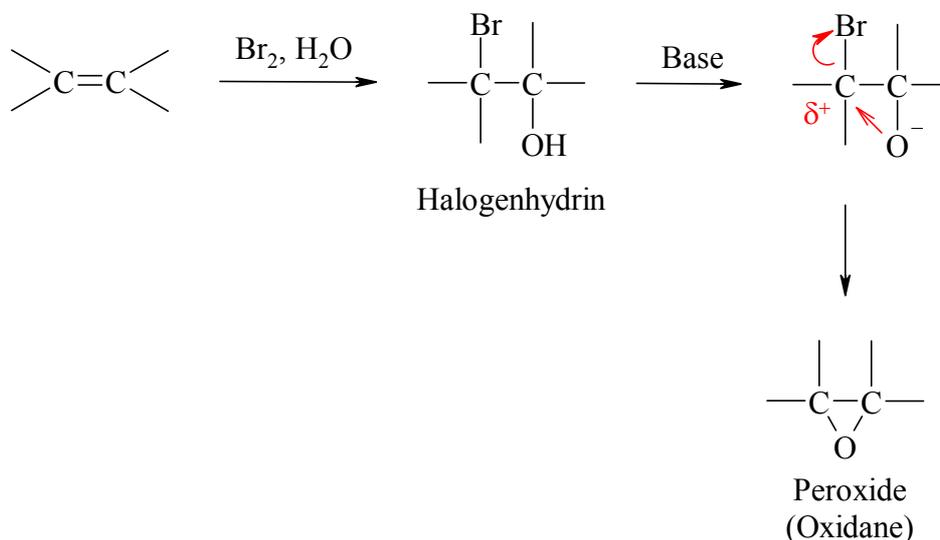
4. Addition von Schwefelsäure



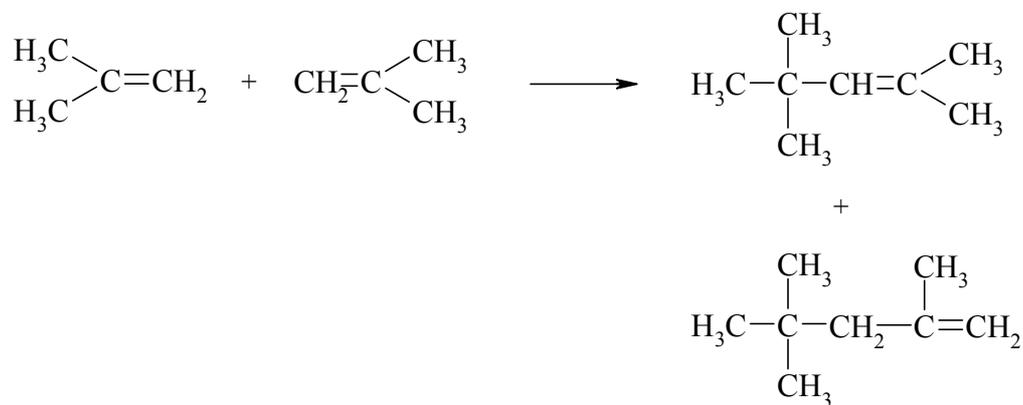
5. Addition von Wasser



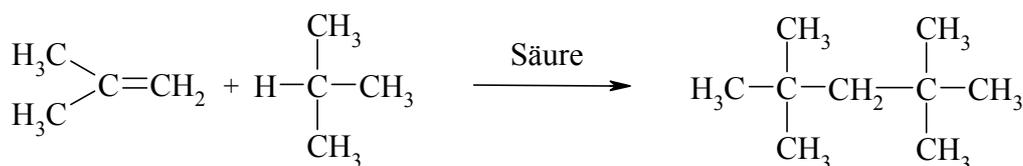
6. Halogenhydrinbildung



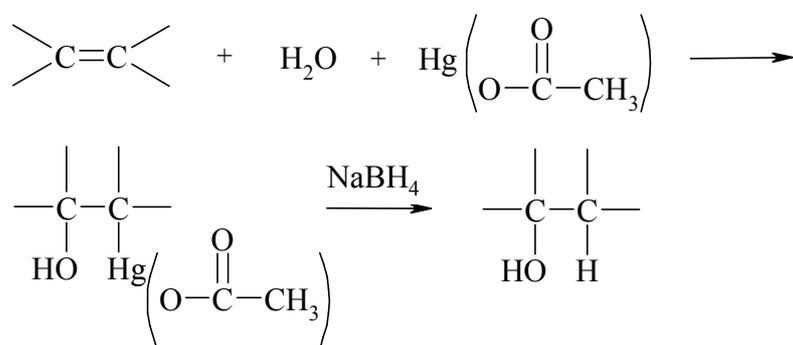
7. Dimerisierung



8. Alkylierung

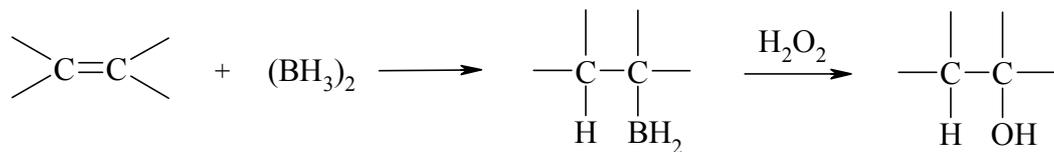


9. Addition von Quecksilberacetat (veraltet)

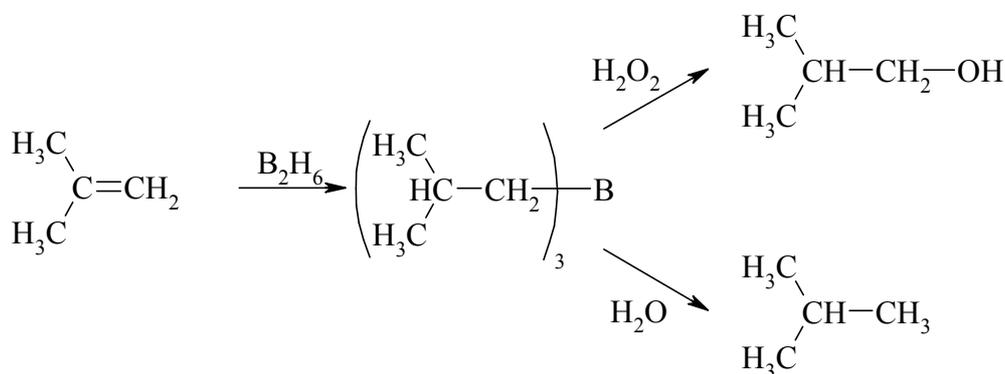


Aus Umweltschutzgründen ist dieses Verfahren selbstverständlich nicht mehr gängig.

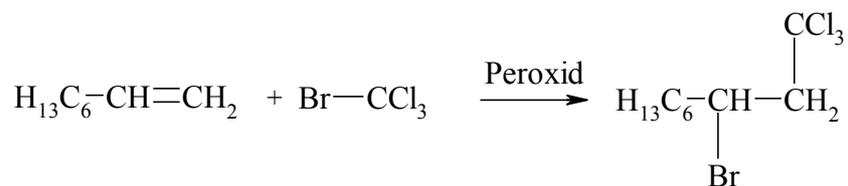
10. Hydroborierung



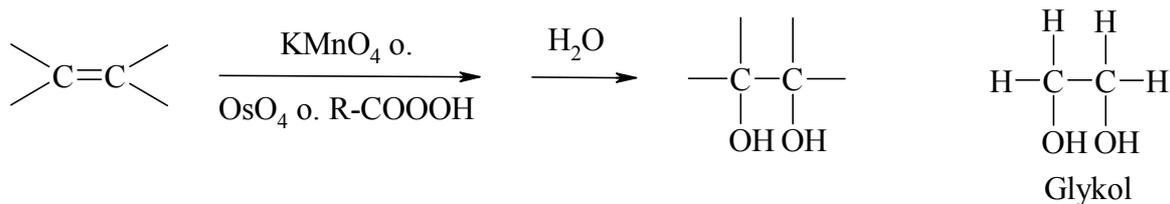
Details



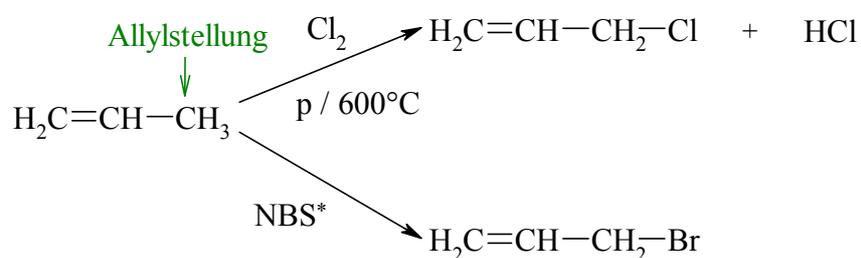
11. Addition von Radikalen



12. vicinale Dihydroxylierung (Glykolbildung)

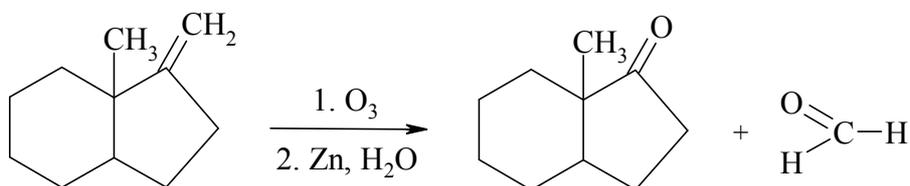
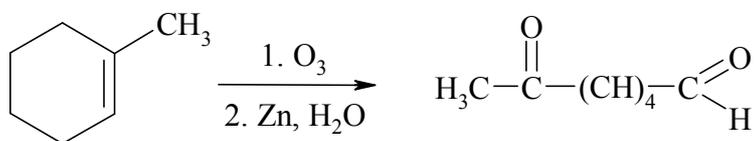
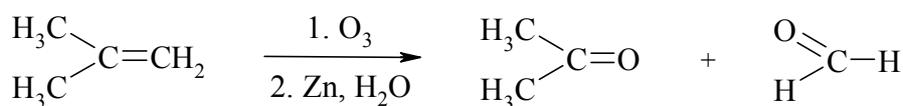
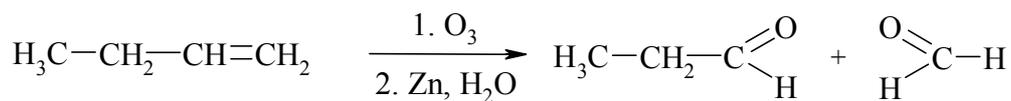
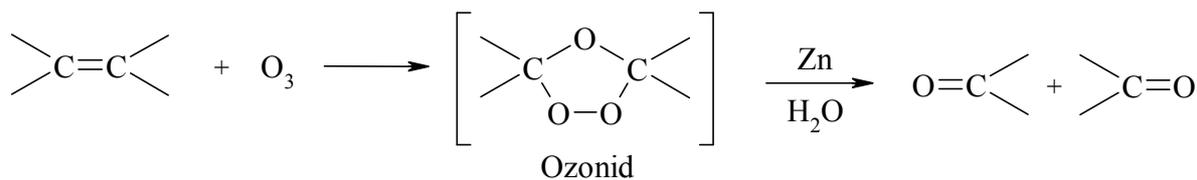


13. Halogenierung in Allylstellung

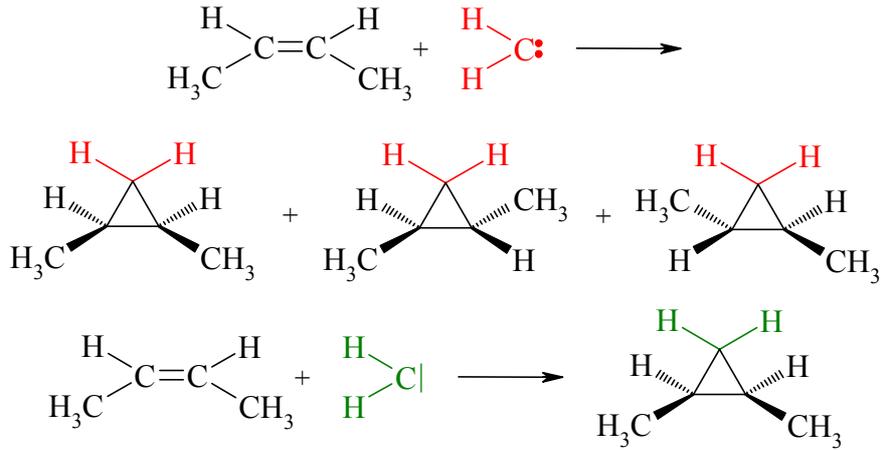


*NBS = N-Brom-succinimid

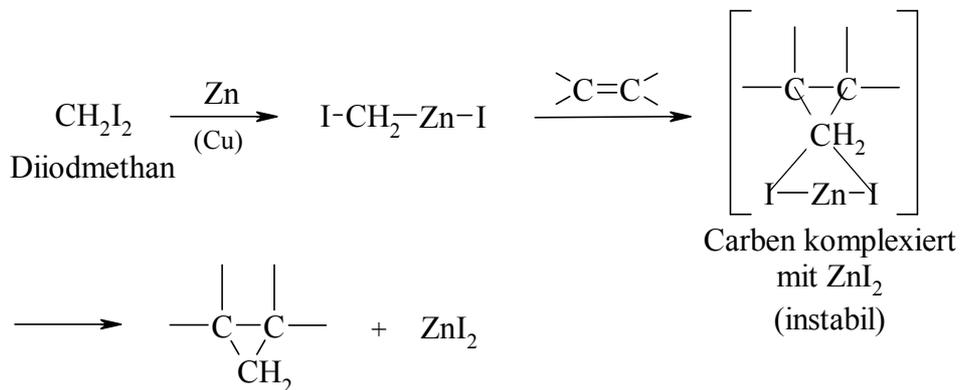
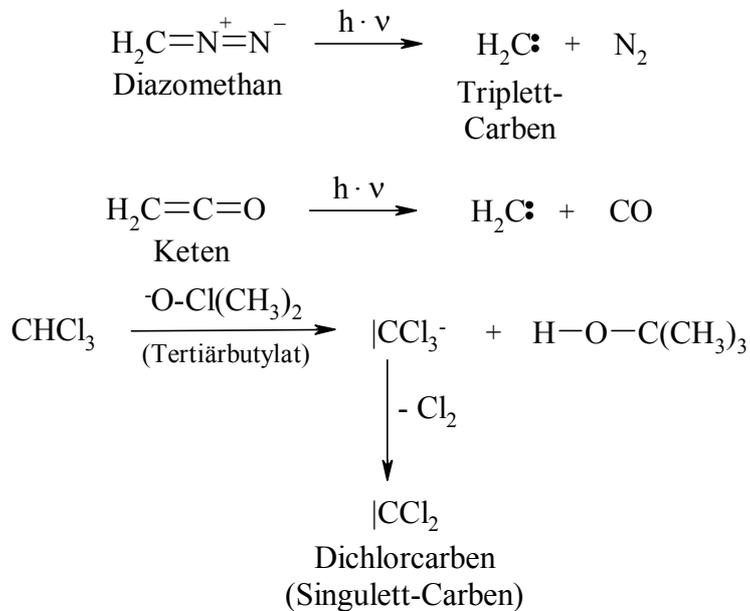
14. Ozonolyse



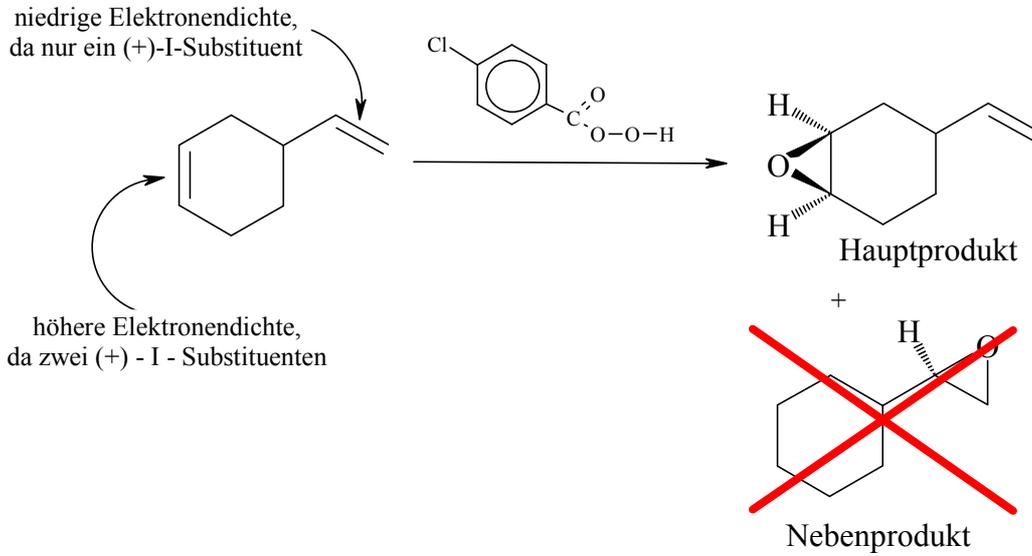
15. Carbenübertragung



Details

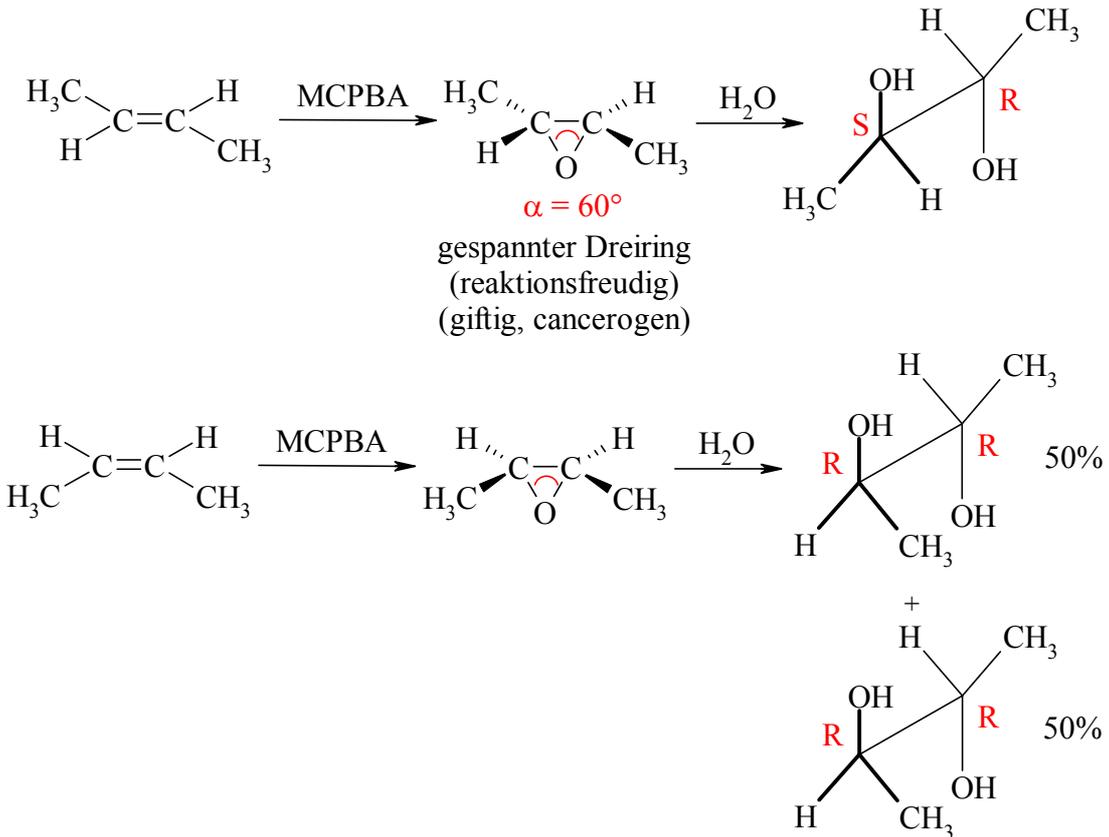
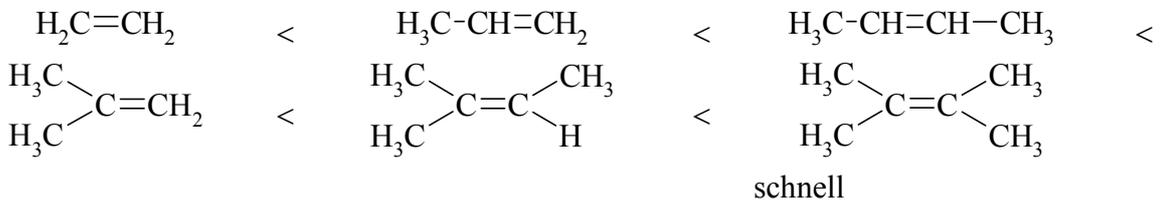


Relative Reaktionsgeschwindigkeit der Epoxidation



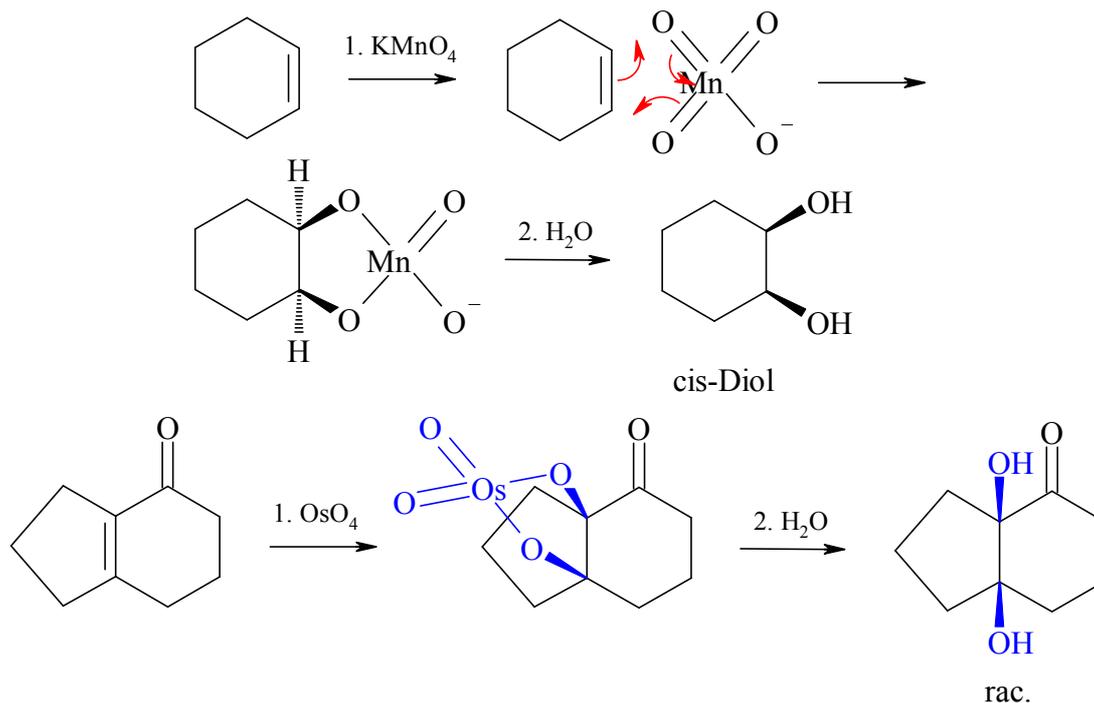
Die beiden aus der Reaktion hervorgehenden Oxirane entstehen nicht im Verhältnis 1:1.
Die Reaktionsgeschwindigkeiten ergeben sich nach der folgenden Reihenfolge.

langsam



Details zur Herstellung der cis-Diole

- a) Man kann das Reaktionsprodukt eindeutig herstellen, und zwar mit KMnO_4 oder OsO_4 , so dass cis-1,2-Diole bzw. durch
 b) Epoxidation mit Percarbonsäuren und anschließend H_2O (mit Säure), wodurch dann trans-1,2-Diole entstehen.



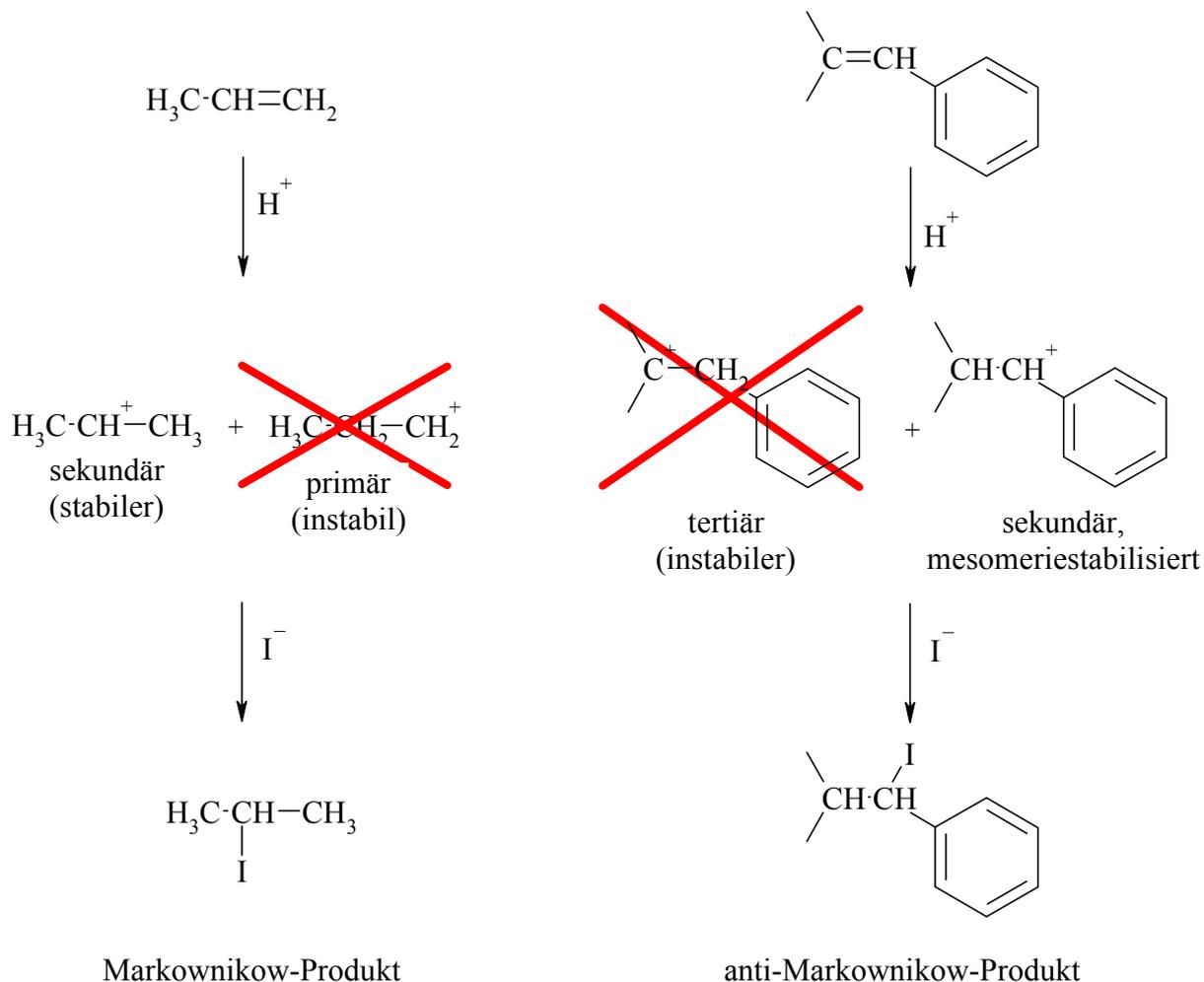
2.3.8 Markownikow-Regel (1900)

„Addiert man H-X an eine C=C -Doppelbindung, so lagert sich der Wasserstoff an das Kohlenstoffatom, welches am meisten H-Atome besitzt.“

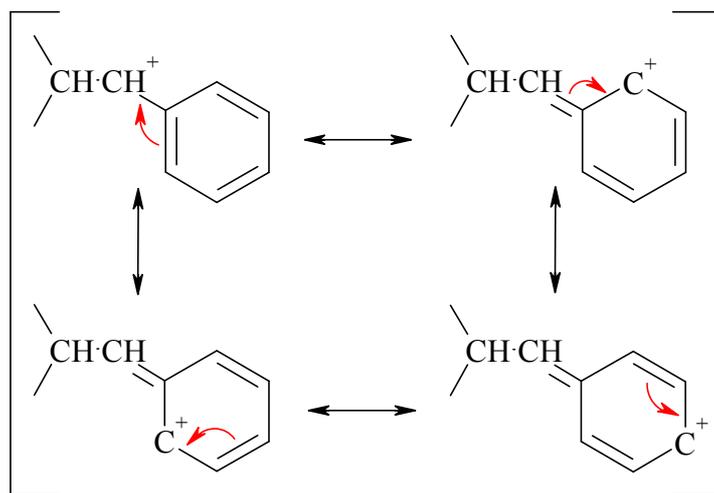
Diese Regel jedoch mehr als Definition des Markownikow-Produktes zu verstehen, da sie in vielen Fällen verletzt wird und dann mehrheitlich oder einzig und allein das anti-Markownikow-Produkt entsteht.

Stattdessen ist die Stabilität der zwischenzeitlich entstehenden Carbeniumionen bzw. Radikale von Bedeutung. Durch stabilisierende Einflüsse wie z.B. einem mit einer Phenylgruppe ausgeübten M-Effekt werden hierbei auch anti-Markownikow-Produkte bevorzugt gebildet.

Vergleich: Markownikow-Produkt – anti-Markownikow-Produkt

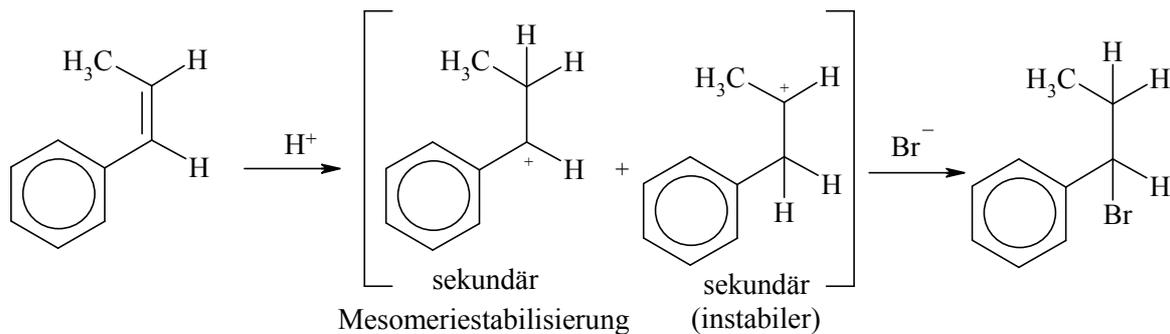
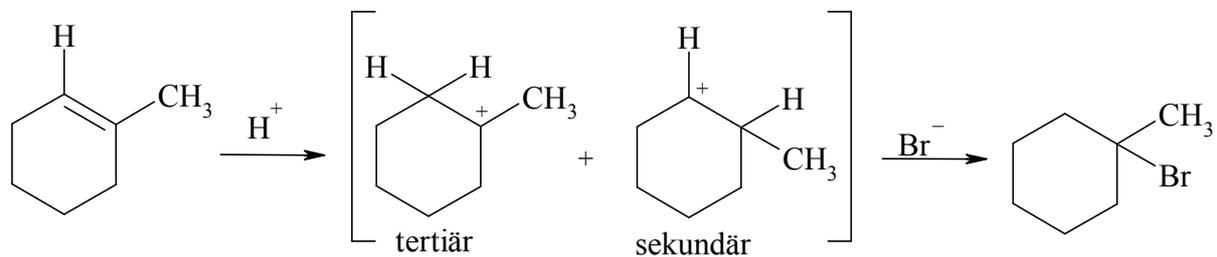


Der Grund für das Auftreten des anti-Markownikow-Produktes ist der +M-Effekt, der von dem Phenylring ausübt wird:



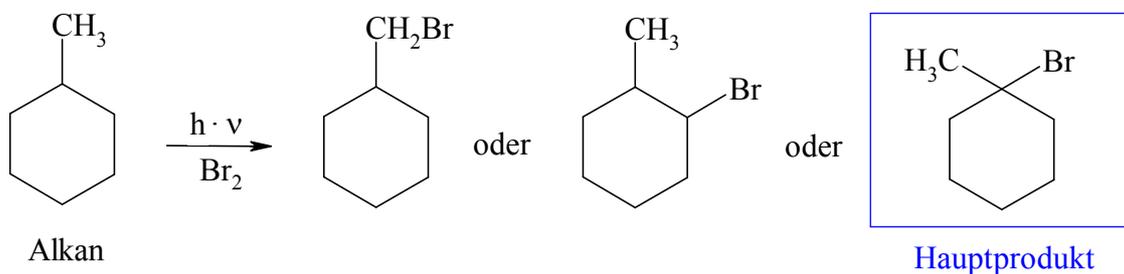
Im Allgemeinen gilt, dass geladene Atome wie auch Radikale durch mesomere Effekte stärker stabilisiert werden als solche, die mehrfach substituiert sind. Unter letzteren gilt die Reihenfolge, dass Teilchen mit sekundär substituierten Kohlenstoffatomen eine größere Stabilität aufweisen als primäre, tertiäre stabiler als sekundäre sind, usw.

Beispiele für Markownikow-Produkte:

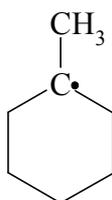


Man beachte bei der *radikalischen Addition von Halogenwasserstoffen* die Bildung von anti-Markownikow-Produkten (2.3.7.3).

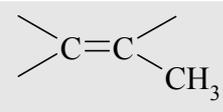
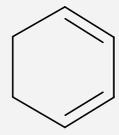
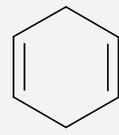
Zur Wiederholung:



Letzteres Produkt entsteht bei dieser Reaktion am meisten, da das hierbei zwischenzeitlich entstehende Radikal das stabilste ist:

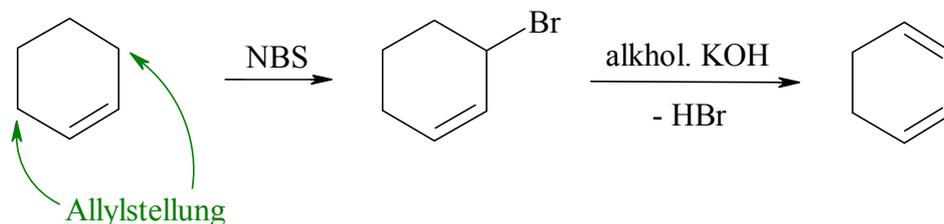


2.3.9 Chemie der konjugierten Doppelbindungen

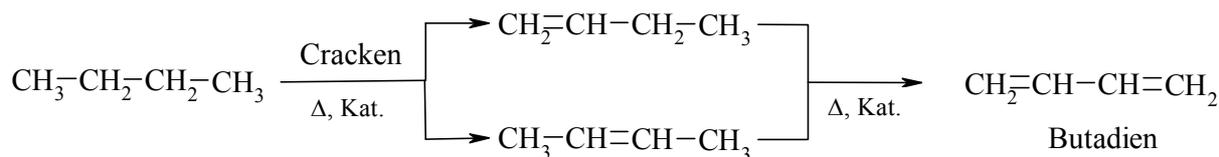
kumulierte Doppelbindungen	konjugierte Doppelbindungen	isolierte Doppelbindungen
$H_2C=C=CH_2$	$CH_2=CH-CH=CH_2$	$CH_2=CH-CH_2-CH=CH_2$
Allen (nicht besonderes relevante Verbindung)	1,3-Butadien	(normale Chemie der Alkene)
		
		

Herstellung konjugierter Diene

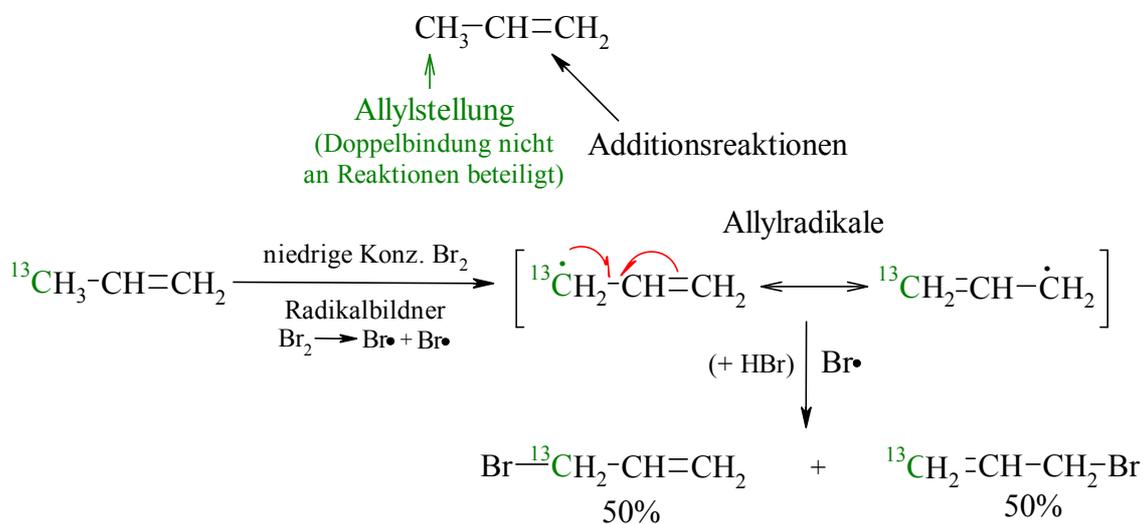
Laborsynthese:



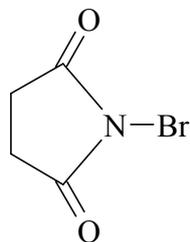
Industrielle Herstellung:



Reaktionen in Allylstellung

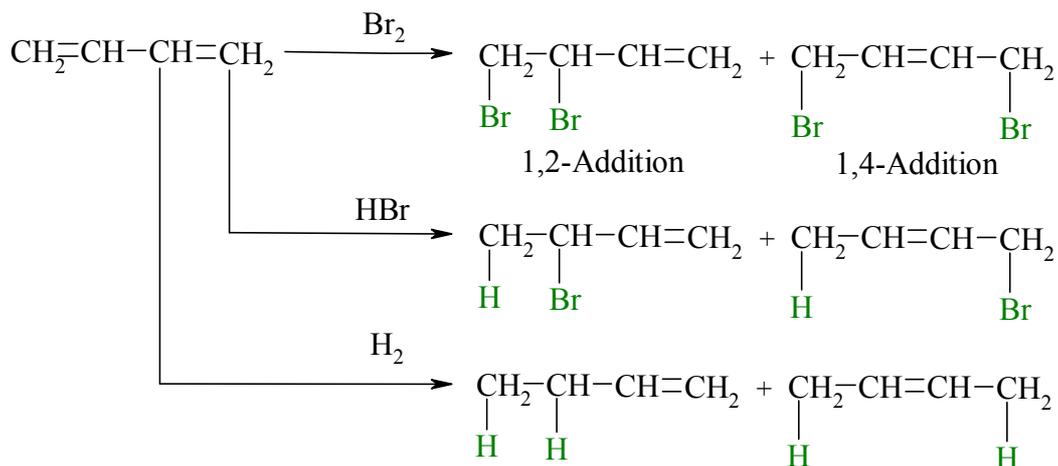


Halogenierungsmittel (Radikalbildner)

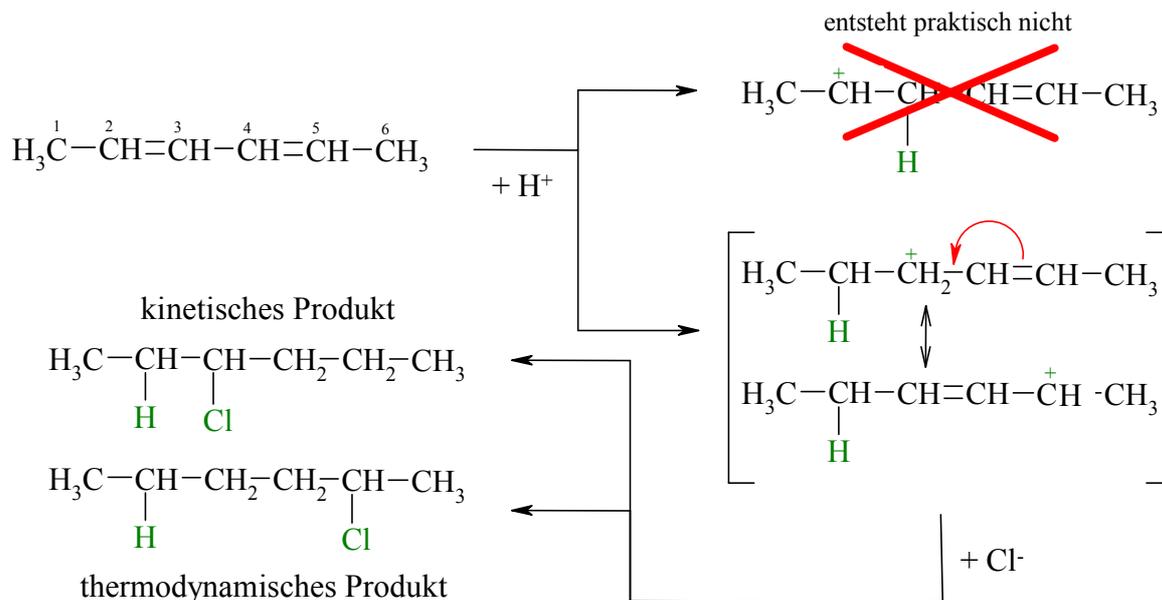


N-Brom-succinimid (NBS)

Reaktivität konjugierter Diene

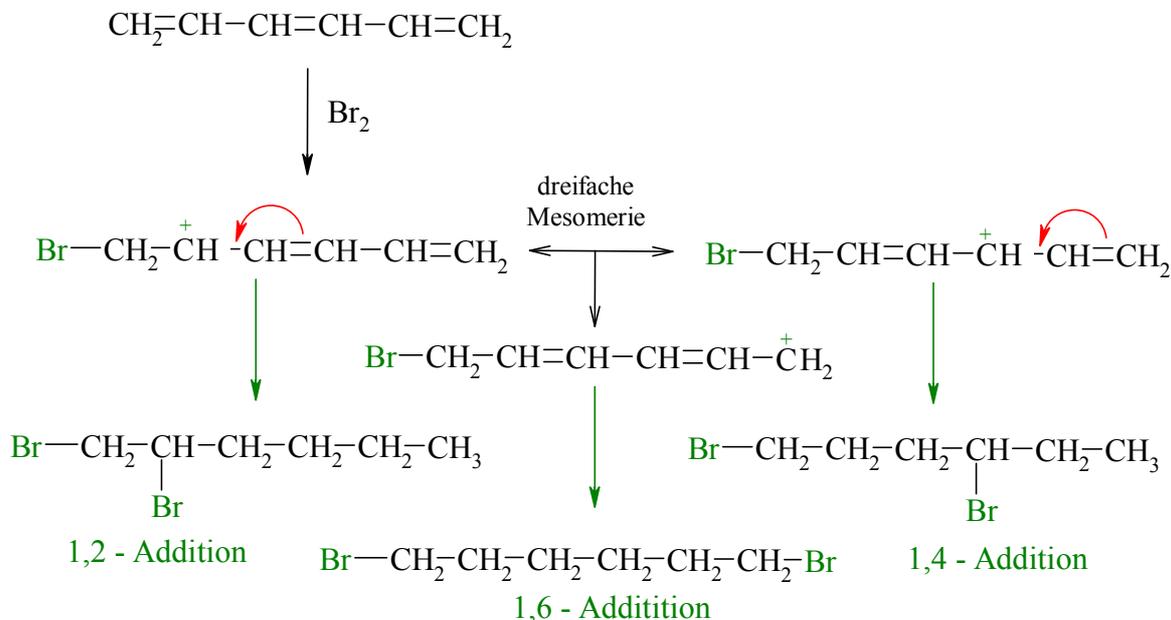


Details

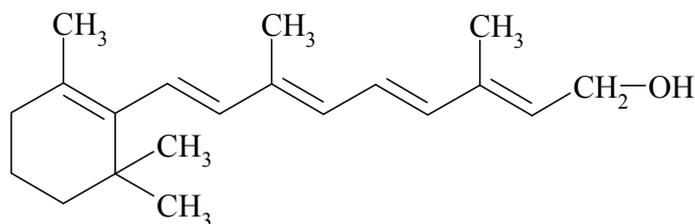


Das bei der 1,2-Addition entstandene *kinetische Produkt*, welches bei -80°C fast ausschließlich entsteht, kann durch Umlagerung bei hohen Temperaturen in das *thermodynamische Produkt* überführt werden, dass bei der 1,4-Addition gebildet wird.

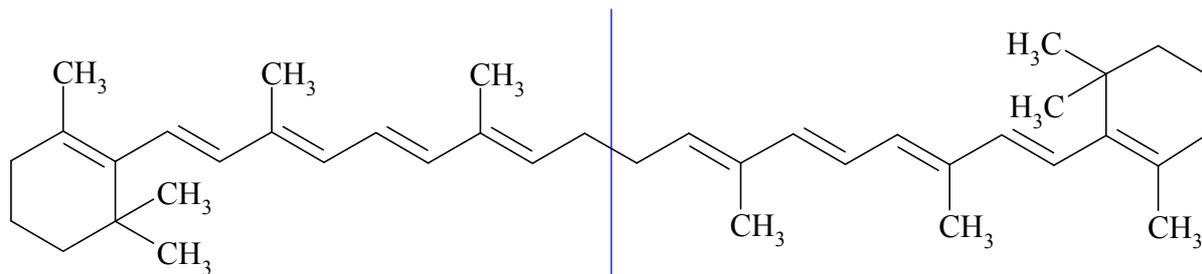
Bromierung von 1,3,5-Hexatrien



Beispiel der konjugierten Doppelbindungen in der Natur

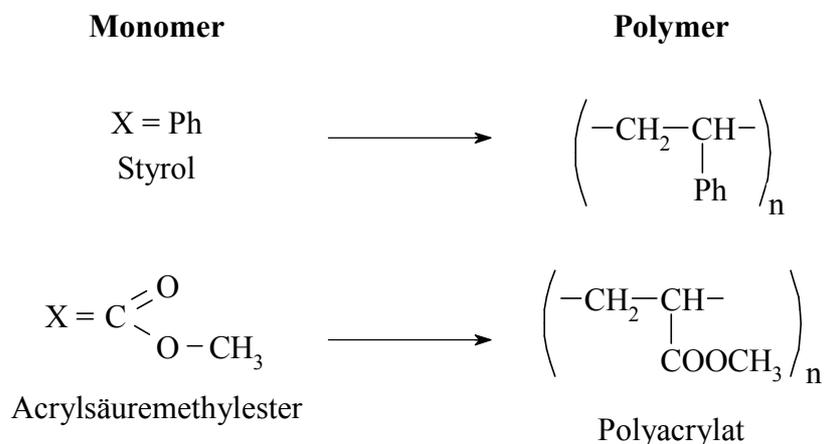


Vitamin A



β-Carotin

(bestehend aus 2 Vitamin-A-Molekülen)



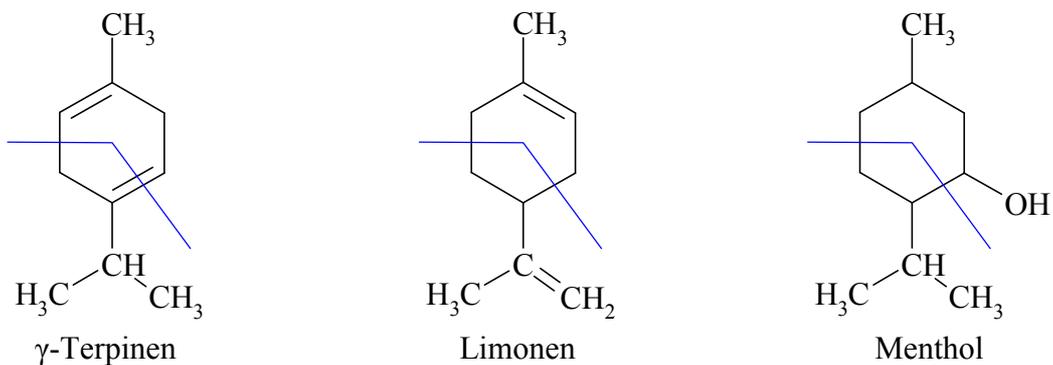
Regelmäßigkeiten bei Polymeren

Struktur	Bezeichnung
$-\text{CH}_2-\underset{\text{X}}{\underset{\uparrow}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\underset{\text{X}}{\underset{\uparrow}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\underset{\text{X}}{\underset{\uparrow}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\underset{\text{X}}{\underset{\uparrow}{\text{CH}}}-$	isotaktisch (auf einer Seite)
$-\text{CH}_2-\underset{\text{X}}{\underset{\uparrow}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\overset{\text{X}}{\underset{\vdots}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\underset{\text{X}}{\underset{\uparrow}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\overset{\text{X}}{\underset{\vdots}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-$	syndiotaktisch
$-\text{CH}_2-\underset{\text{X}}{\underset{\uparrow}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\overset{\text{X}}{\underset{\vdots}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\overset{\text{X}}{\underset{\vdots}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\overset{\text{X}}{\underset{\vdots}{\text{CH}}}-$	Ataktisch (unregelmäßig)

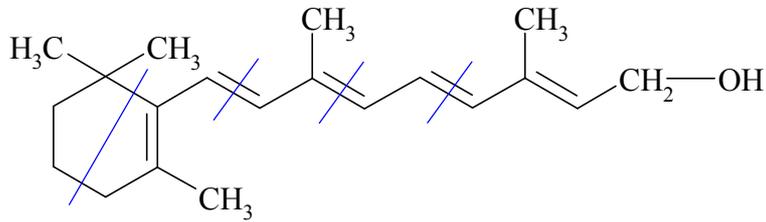
Regelmäßige Polymere können einen fast kristallinen Charakter besitzen.

Monoterpene

Monoterpene sind aus zwei Isopren-Einheiten aufgebaut.



Demgegenüber sind Sequiterpene aus drei und Diterpene aus 4 Isopren-Einheiten aufgebaut.



Vitamin A1

Auch die Sexualhormone sind Diterpene.

2.4.3 Polymerisationsreaktionen

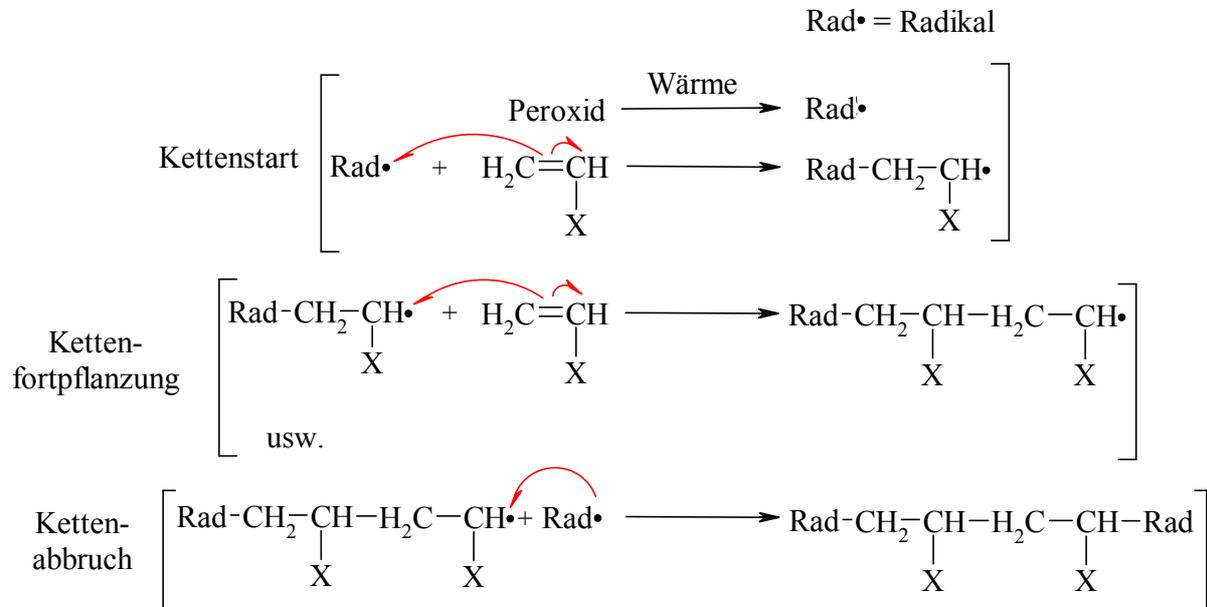
a) Homopolymerisation

Nur ein Monomer reagiert.

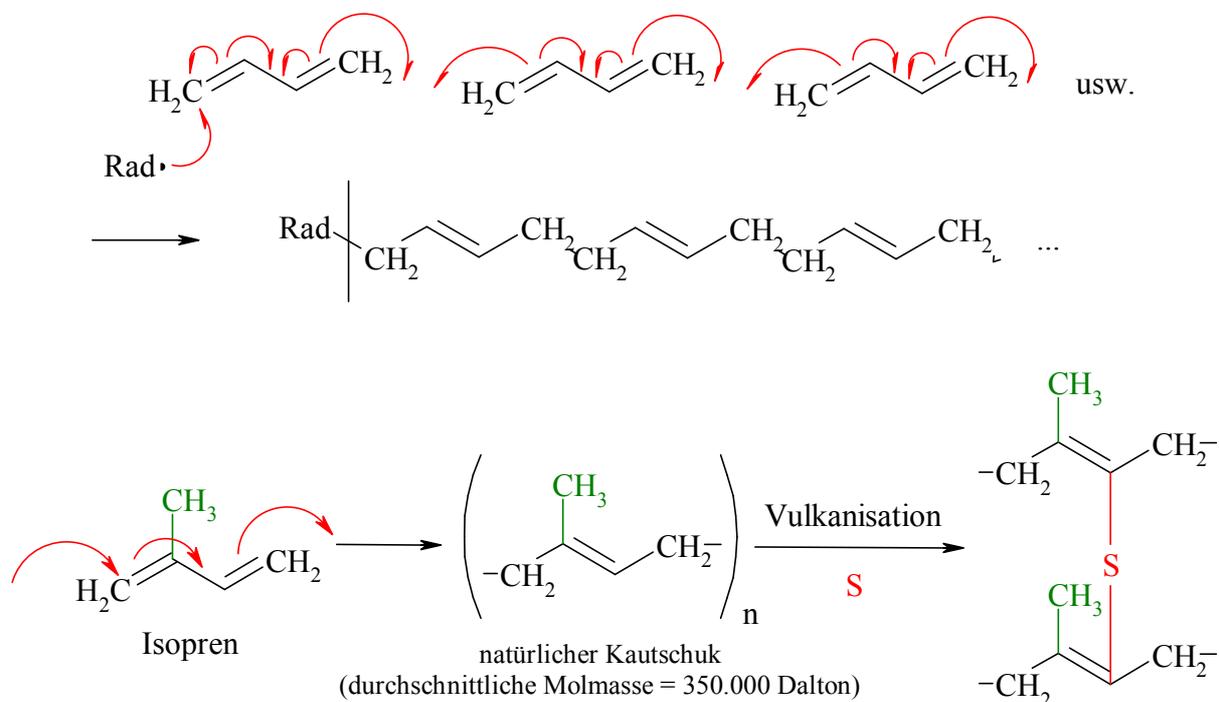
b) Copolymerisation

Man geht von zwei oder mehr verschiedenen Monomeren aus.

1. Radikalische Polymerisation



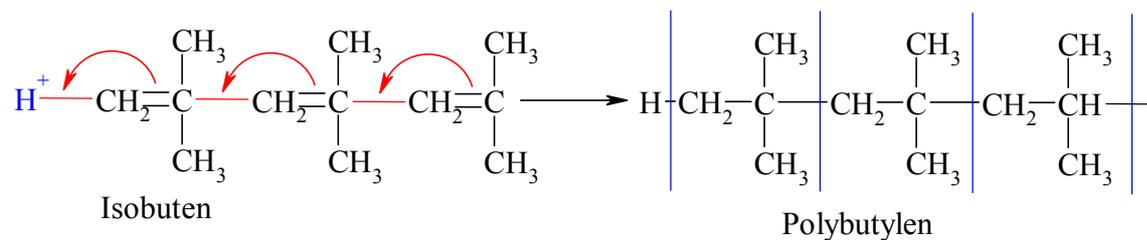
Beispiele



Kautschuk altert, indem die S-Brücken oxidiert werden, und somit der Kautschuk brüchig wird.

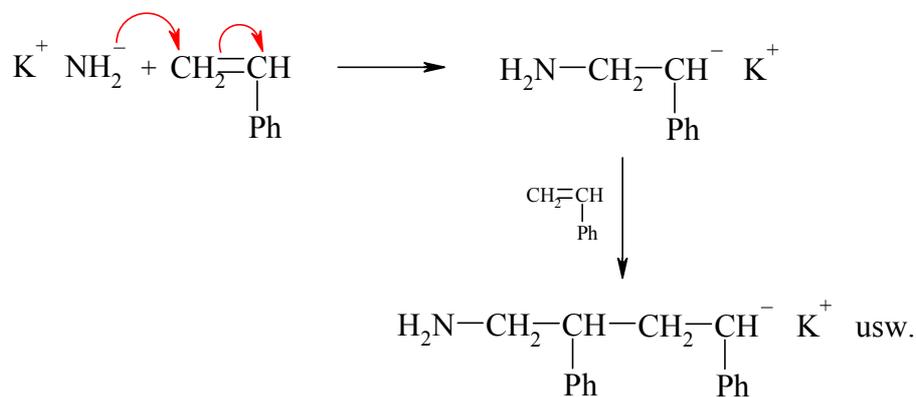
2. Ionische Polymerisation

Kationische Polymerisation (durch Säuren)

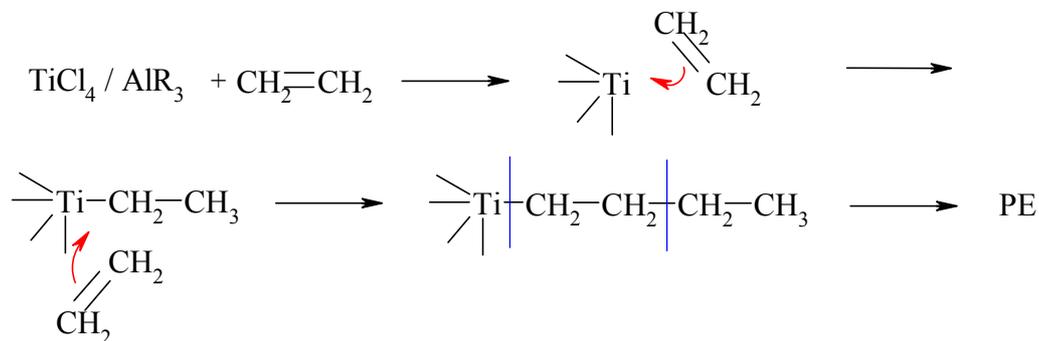


Anionische Polymerisation (durch Basen).

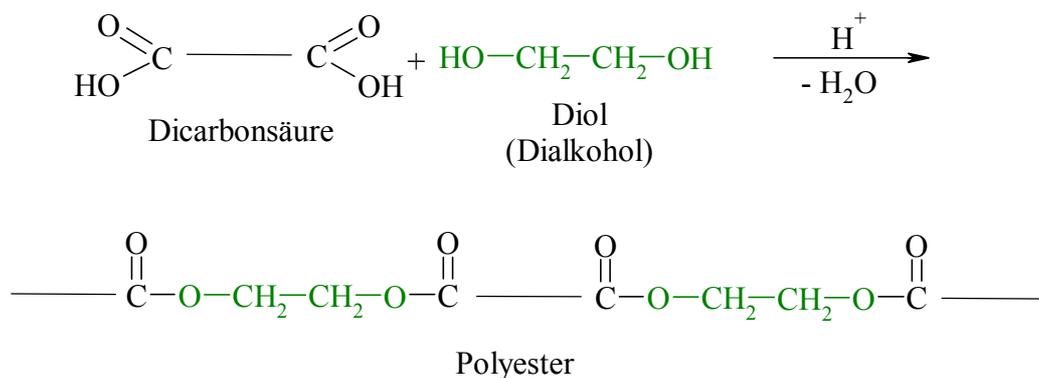
(z.B. Li⁺-NH₂ oder K⁺-NH₂)



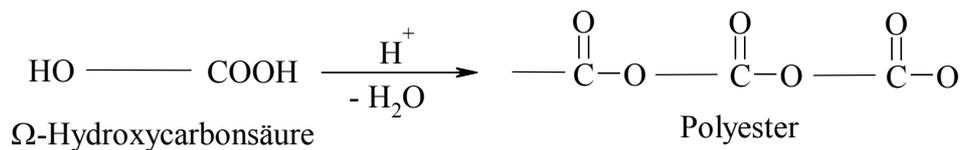
Koordinationspolymerisation / Ziegler-Natta-Katalyse



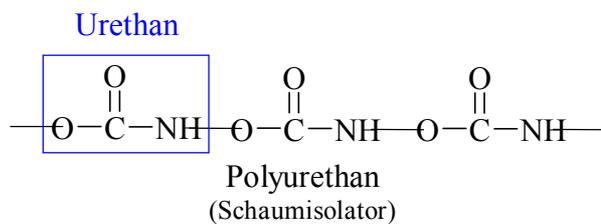
2.4.4 Polykondensate



Alternativ:



2.4.5 Polyaddukte



2.5 Alkohole

2.5.1 Einteilung der Alkohole

Primäre Alkohole

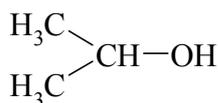


Methanol



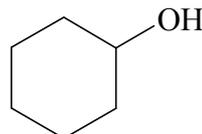
Ethanol

Sekundäre Alkohole



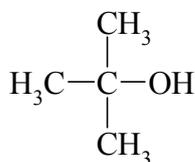
Isopropanol

(iso-Propanol / 2-Propanol)



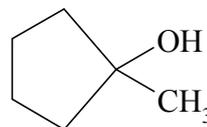
Cyclohexanol

Tertiäre Alkohole



t-Butanol

(tertiär-Butanol / 2-Methyl-2-Propanol)



1-Methyl-1-cyclopentanol

Die Eigenschaften der Alkohole liegen zwischen denen des Wassers und den Alkanen, wobei kürzere Ketten deutlich den dem Wasser ähnlichen polaren Charakter bewirken, während längere Ketten eher zu einem hydrophoben Verhalten analog zu den Alkanen führen.



Alkan



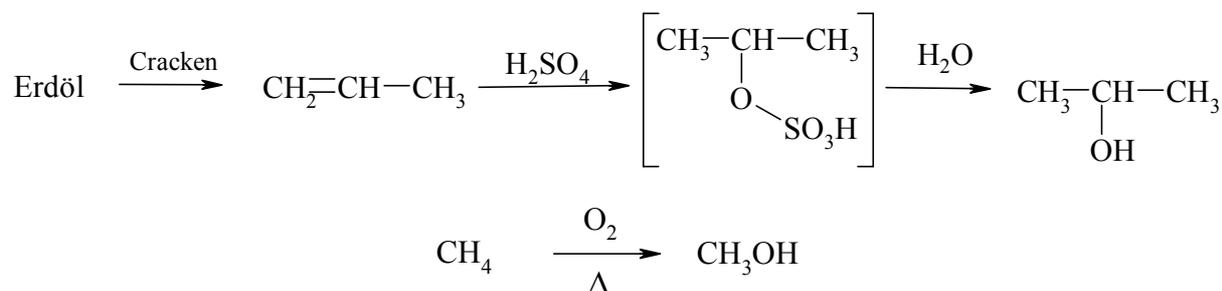
Alkohol



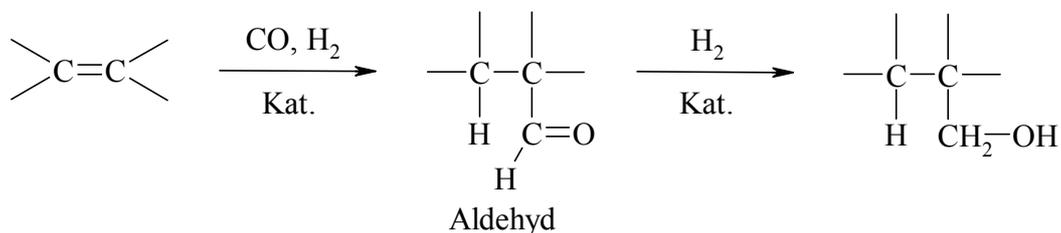
Wasser

2.5.2 Industrielle Herstellung von Alkoholen

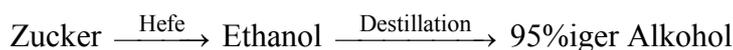
1.



2. Oxosynthese

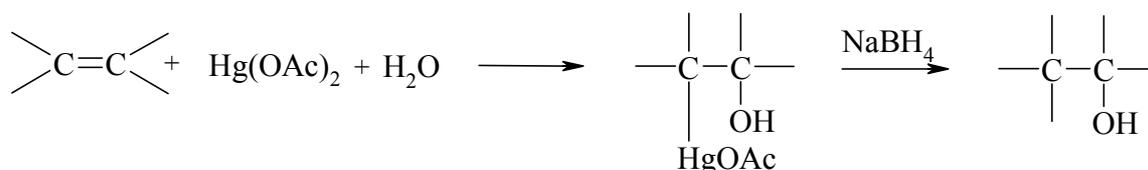


3. Alkoholische Gärung

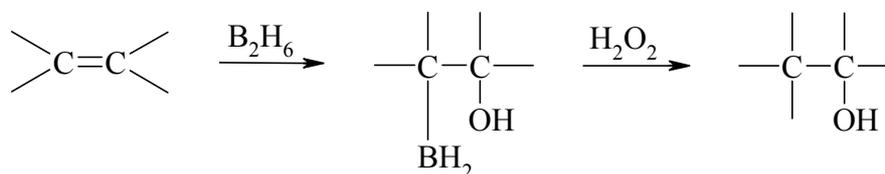


2.5.3 Laborsynthesen

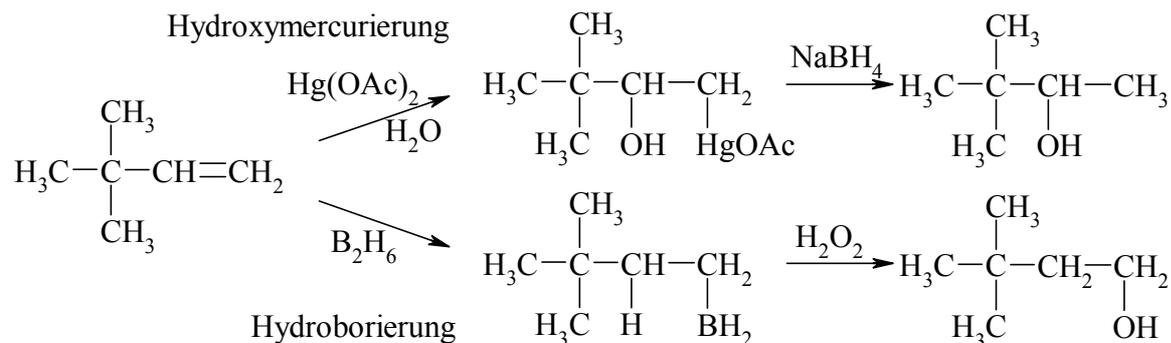
1. Hydroxymercurierung



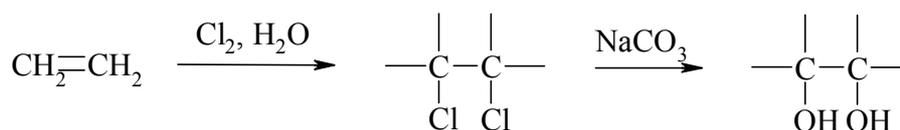
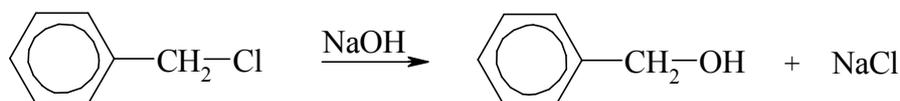
2. Hydroborierung + Oxidation



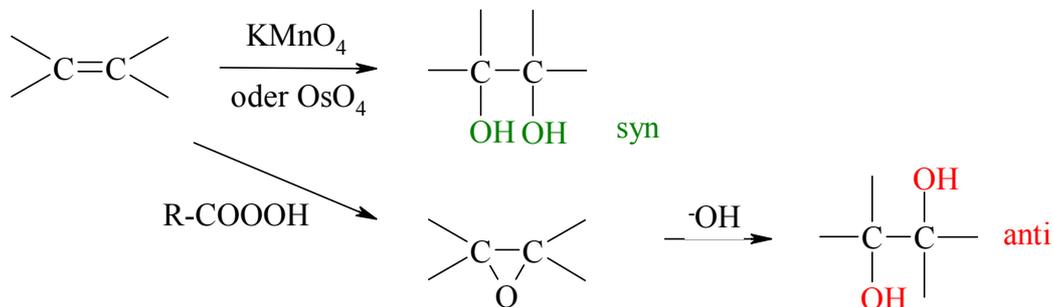
Vergleich zwischen der Hydroxymercurierung und der Hydroborierung



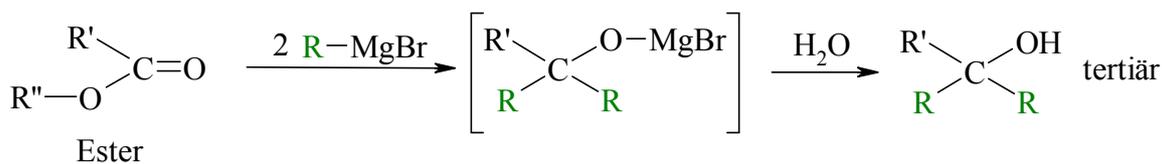
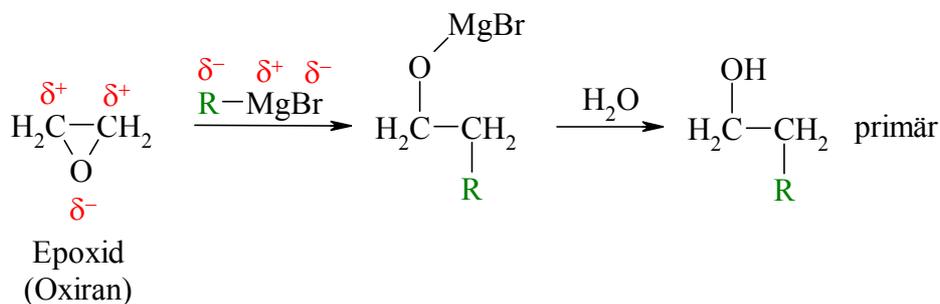
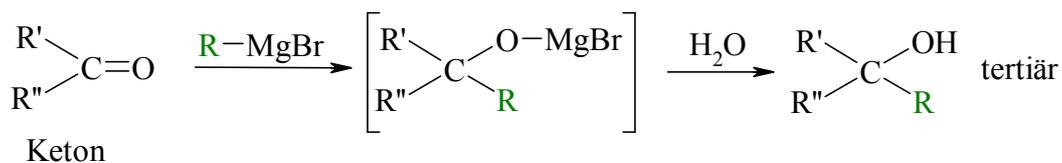
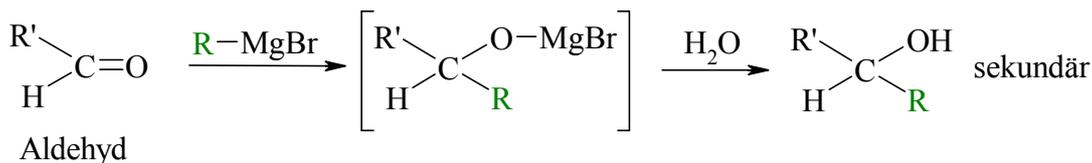
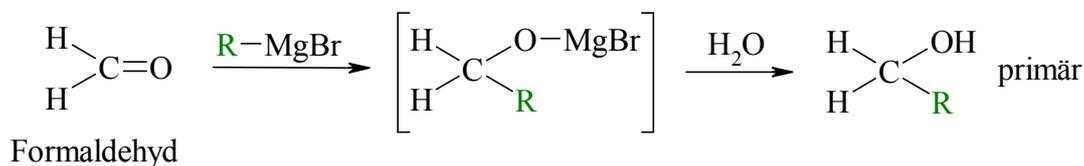
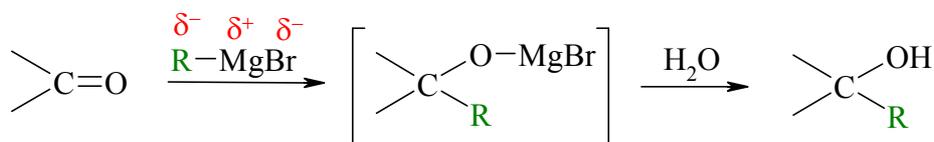
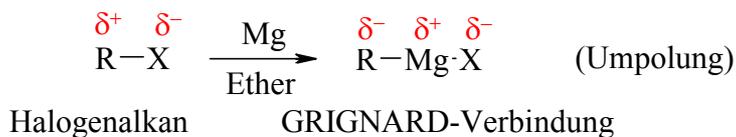
3. Verfahren der nucleophilen Substitution (S_N)



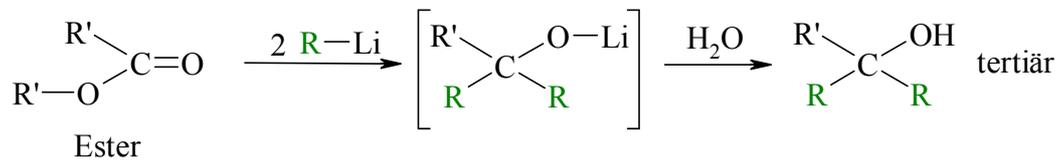
4. Hydroxylierung von Alkanen



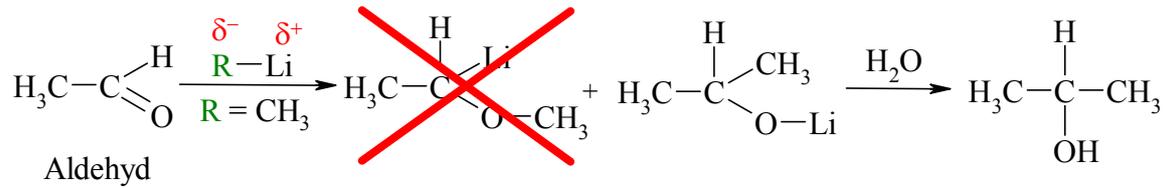
5. Grignard-Reaktion (Organomagnesiumverbindungen)



Statt Grignard-Verbindungen lassen sich auch andere metallorganische Verbindungen wie z.B. Lithiumorganyle einsetzen:



Zur Wiederholung:



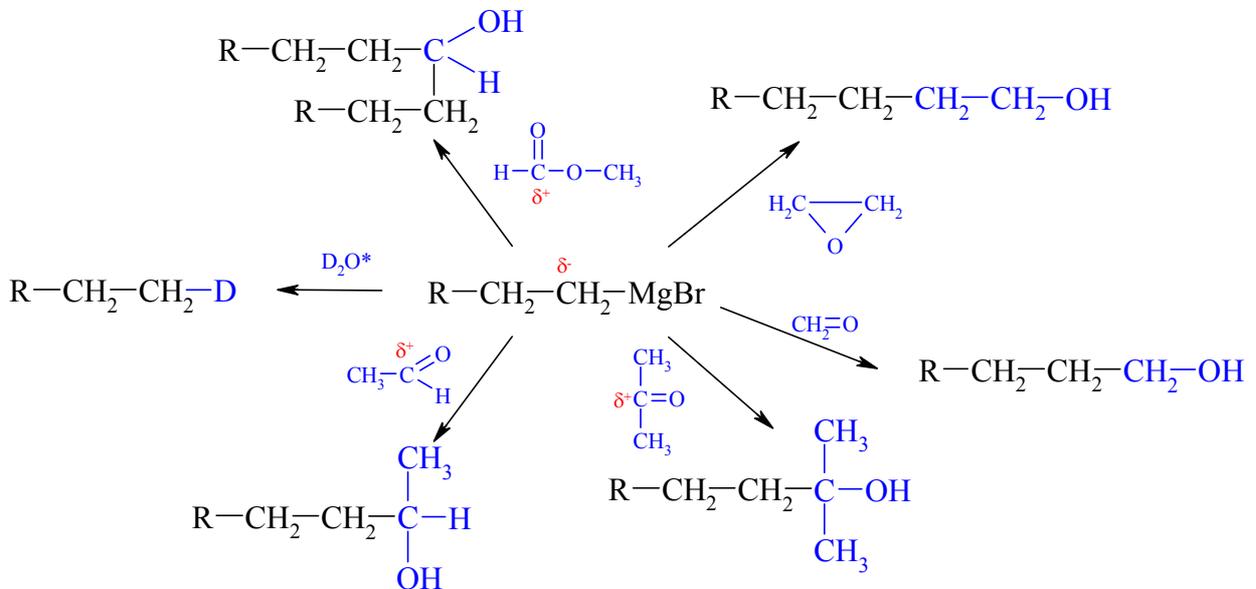
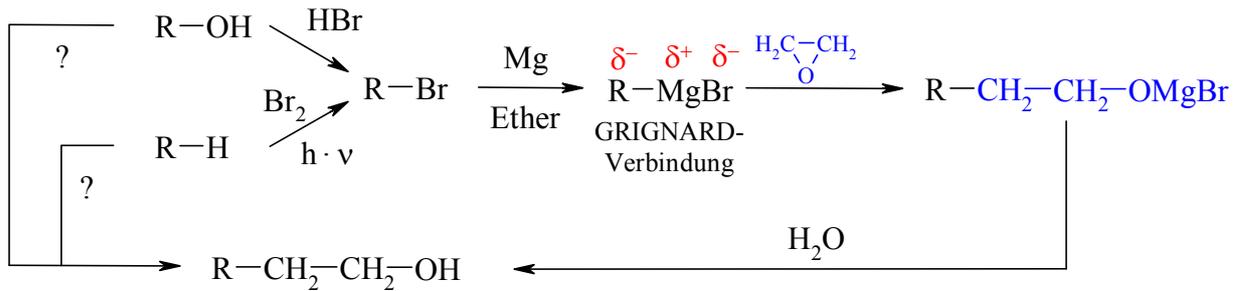
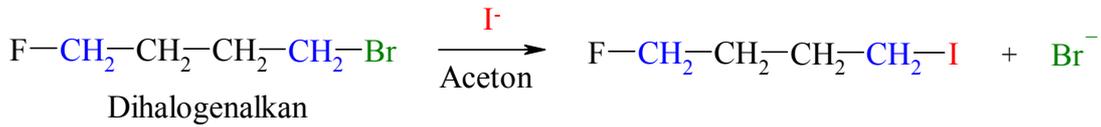
6. Aldolkondensation

7. Reduktion von Carboxylverbindungen (siehe 2.13.1.1)

8. Reduktion von Säuren oder Estern

2.5.4 Einführung in Synthesestrategien

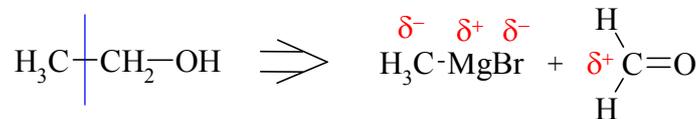
Nucleophile Substitution S_N



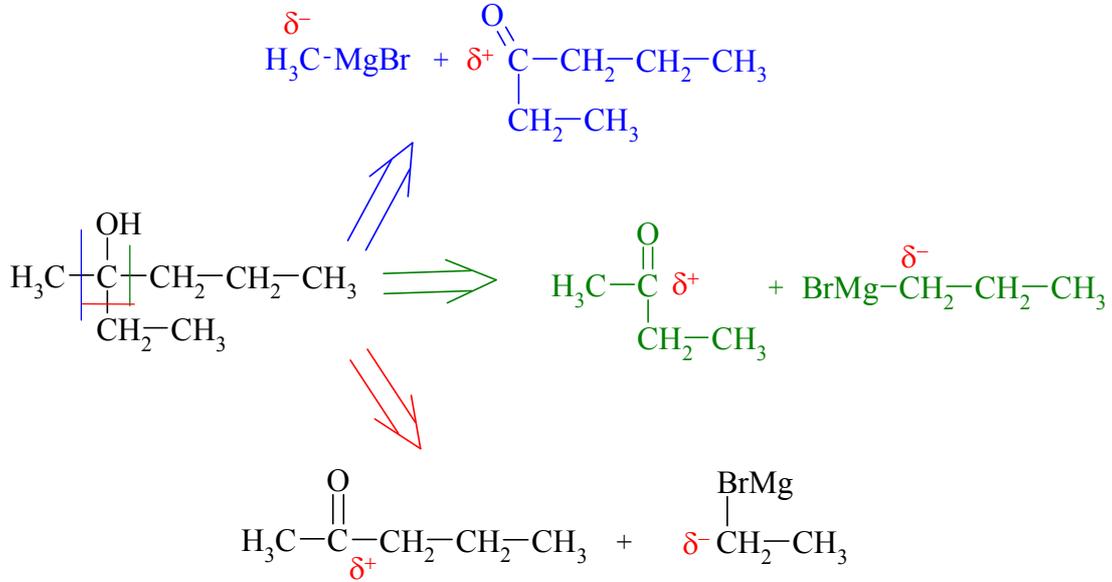
* = Deuterierung zur Erforschung von Metabolismen

2.5.5 Retrosynthetische Analyse

1. Beispiel



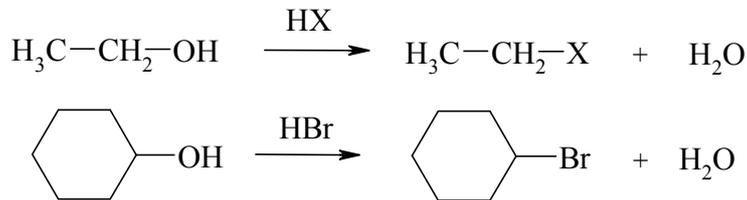
2. Beispiel



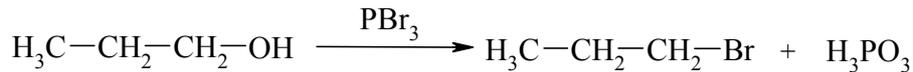
2.5.6 Reaktionen der Alkohole

1. Spaltung der R-OH-Bindung

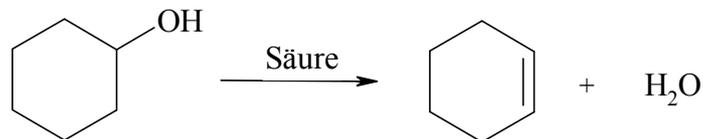
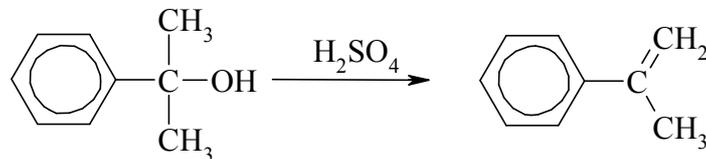
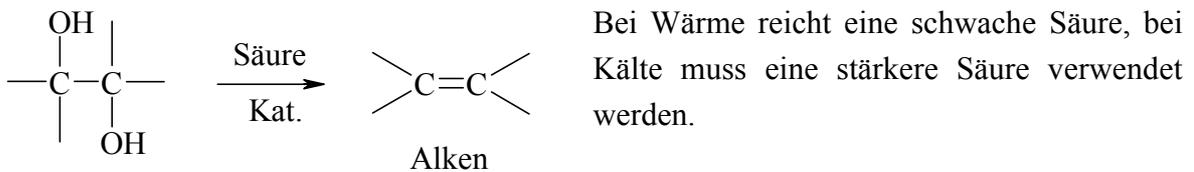
Reaktion mit Halogenwasserstoff



2. Reaktion mit PX_3 ($\text{X} = \text{Halogen}$)

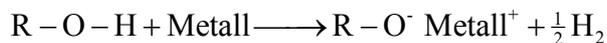


3. Abspaltung von H_2O (Eliminierung)



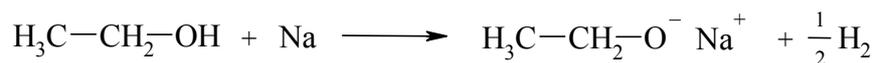
Spaltung der O-H-Bindung

4. Reaktion mit Metallen

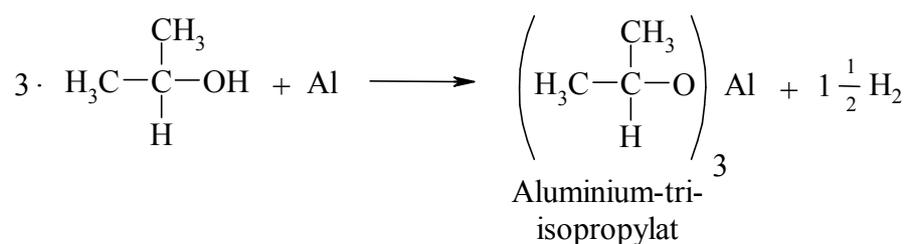


schnelle Reaktion langsame Reaktion

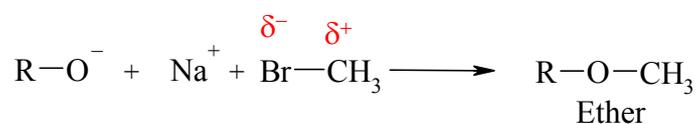
primär > sekundär > tertiär



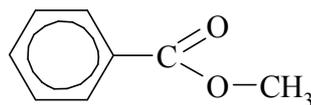
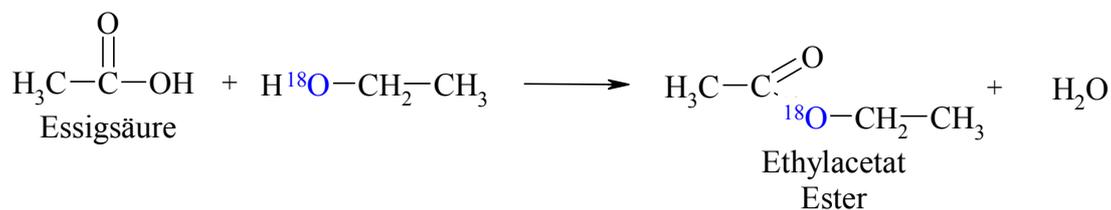
Natriumethylat



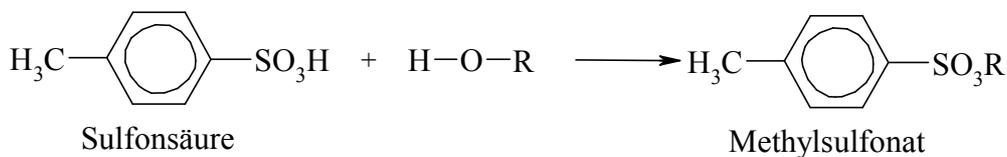
Verwendung der Alkoholate z.B. bei der *WILLIAMSON'schen Ethersynthese*:



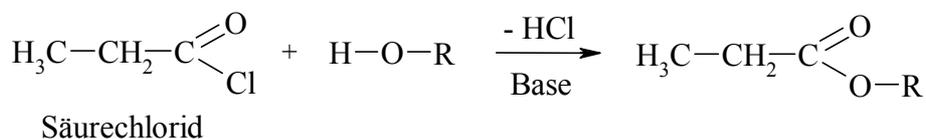
5. Veresterung



Methylbenzoat
(Duftstoff in unbestäubten Blüten)

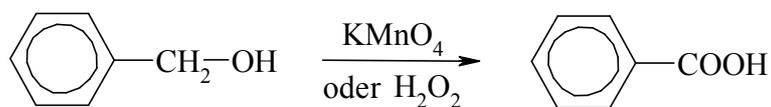
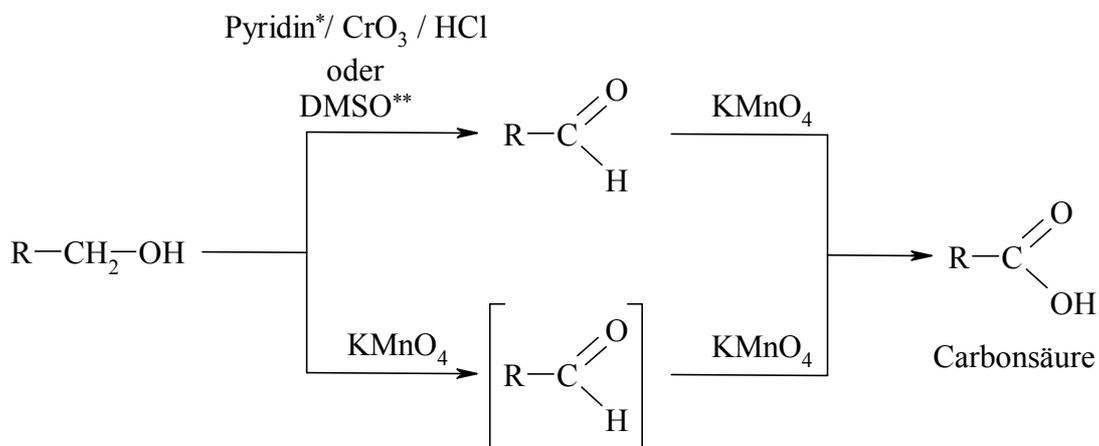


Laborverfahren:

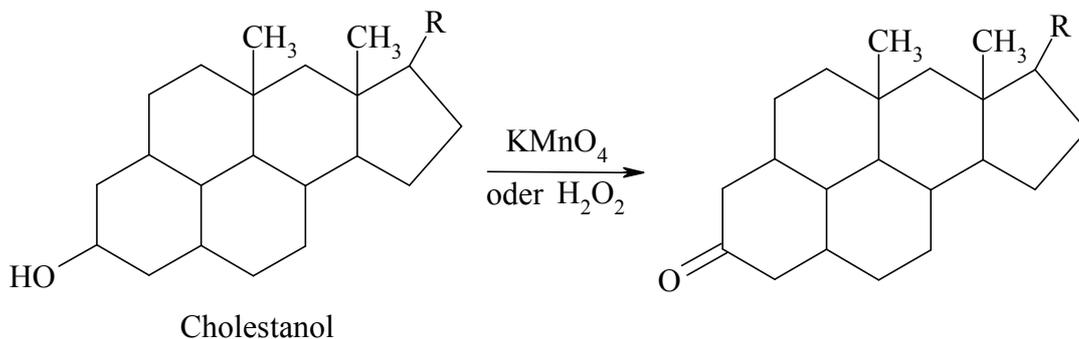
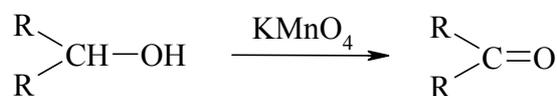


6. Oxidation

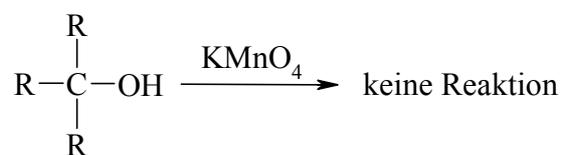
Primäre Alkohole



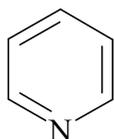
Sekundäre Alkohole



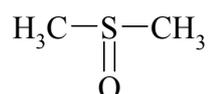
Tertiäre Alkohole



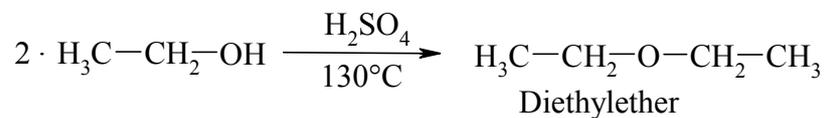
* Pyridin:



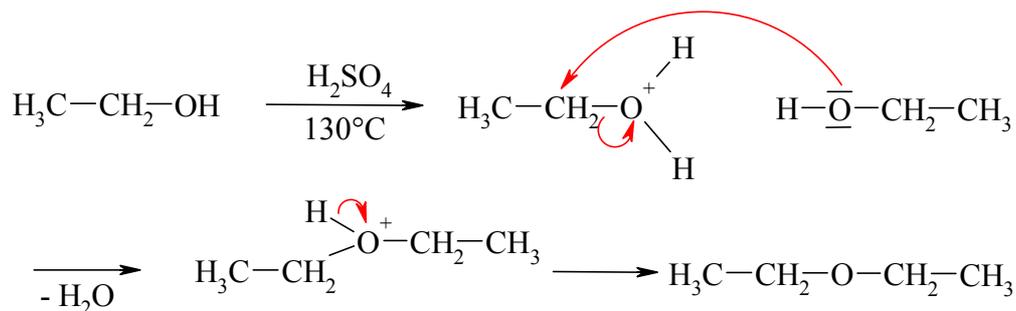
** DMSO = Dimethylsulfoxid



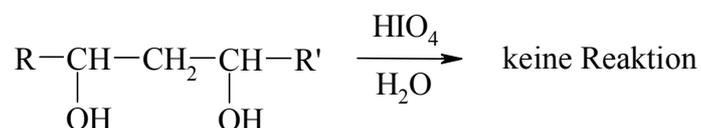
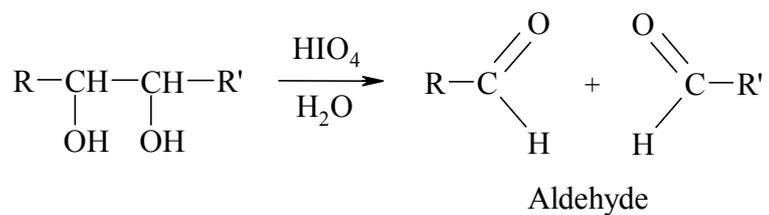
7. Ether aus Alkoholen und Mineralsäuren



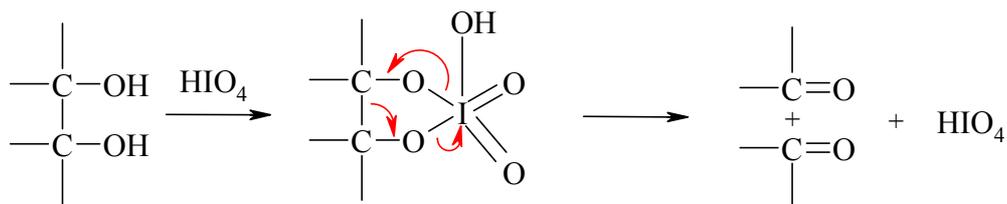
Mechanismus:



8. Periodsäurespaltung von 1,2-Diolen



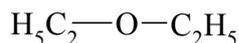
Anhand letzter Reaktion bzw. ‚Nicht-Reaktion‘ lassen sich Dirole auf das Vorhandensein von vicinalen, d.h. aneinander liegenden OH-Gruppen, analysieren.



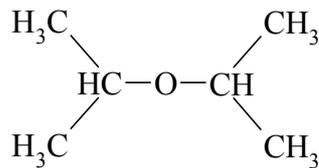
2.6 Ether

2.6.1 Einteilung der Ether

Symmetrische Ether

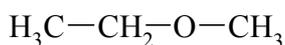


Diethylether



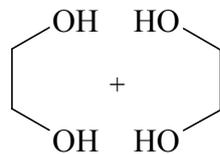
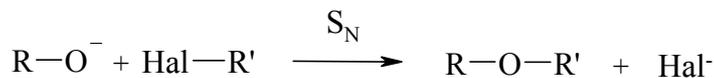
Diisopropylether

Unsymmetrische Ether

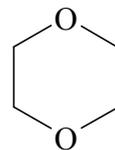
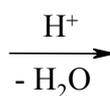


Ethylmethylether

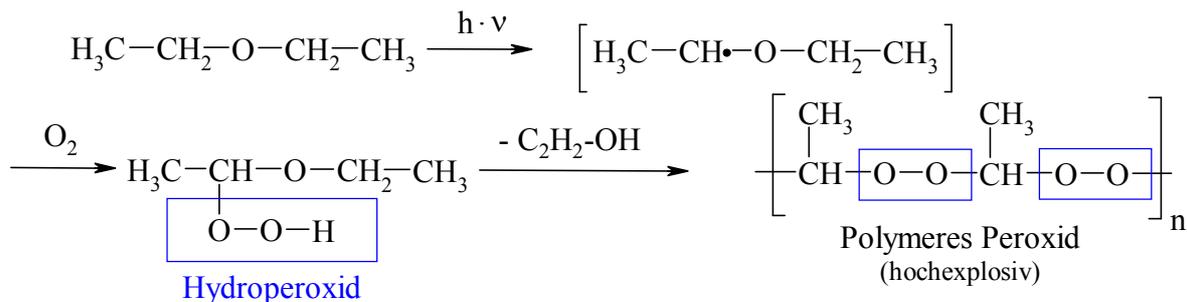
2.6.2 Industrielle Herstellung von Ethern



Glykol



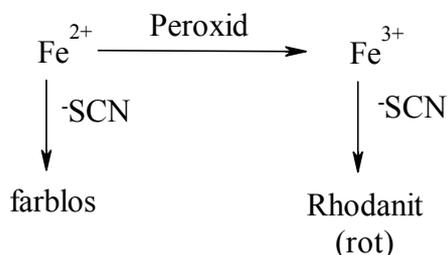
1,3-Dioxan
(Dioxan)



Sicherheitsmaßnahmen zum Diethylether

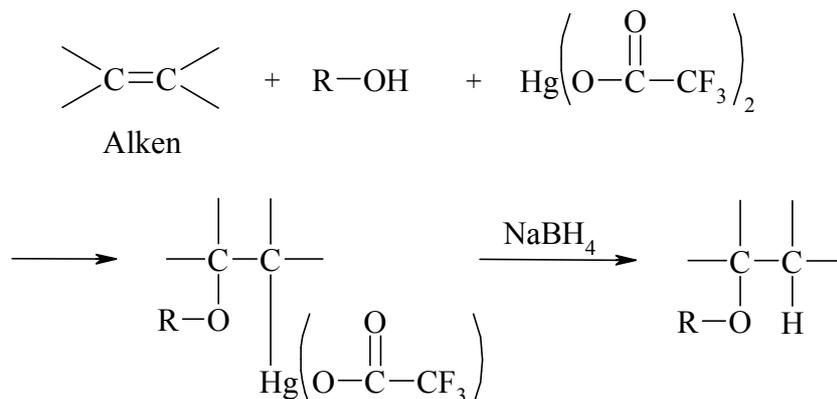
1. Lagerung nur in (lichtundurchlässigen) braunen Flaschen oder Metallbehältern
2. Behälter nicht über längere Zeiträume offen stehen lassen
3. Analyse des Diethylethers auf Anwesenheit von polymeren Peroxiden mittels

Peroxidnachweis:



Das Zerstören von Peroxiden erfolgt durch Ausschütteln mit einer FeSO₄-Lösung.

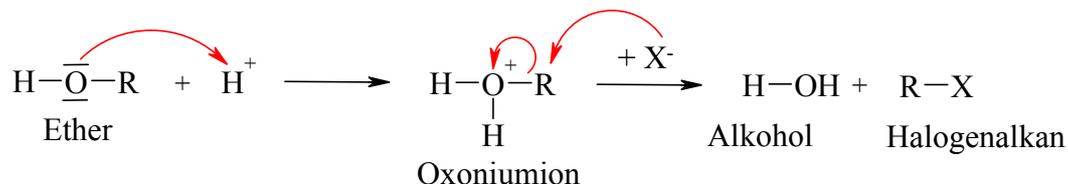
2.6.3 Laborverfahren zu Ethersynthese



2.6.4 Reaktionen der Ether

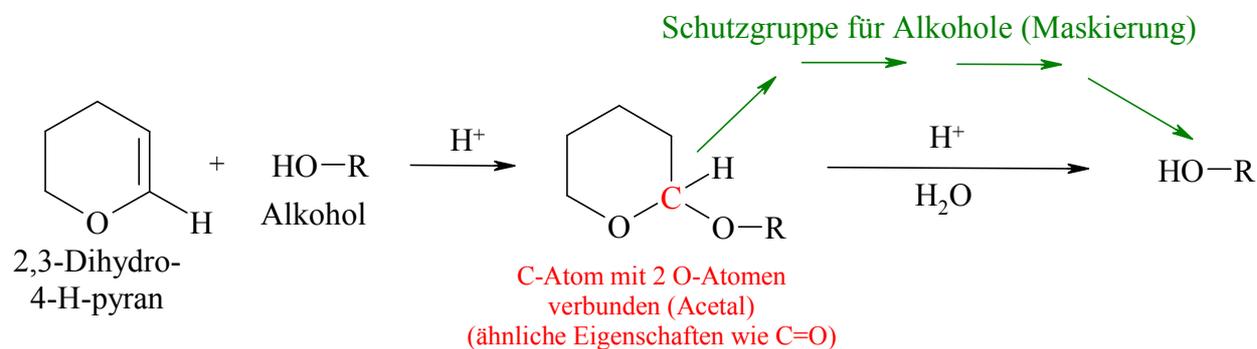
Die meisten Ether sind relativ reaktionsträge und werden deshalb unter anderem als Lösungsmittel in der organischen Chemie verwendet.

Spaltung durch Halogenwasserstoffsäuren H-X



Bei unsymmetrischen Ethern stellt sich dann natürlich die Frage, welcher Alkohol bzw. Halogenalkan entsteht.

Anwendung von cyclischen Ethern:

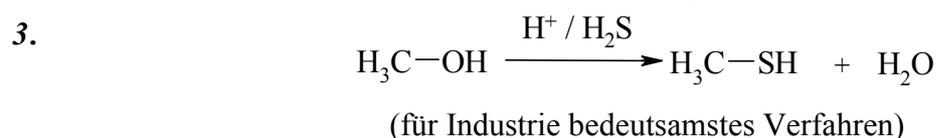
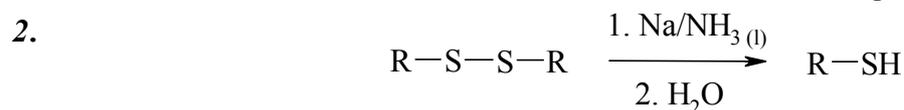
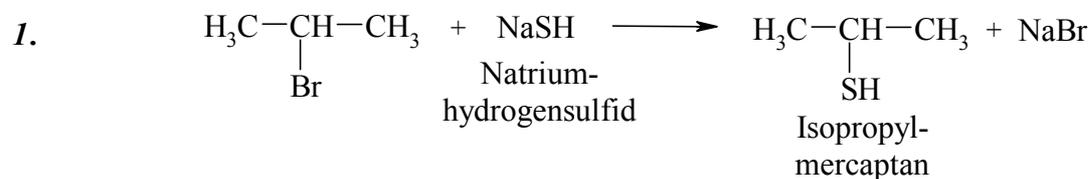


2.7 Schwefelanaloga von Alkoholen und Ethern

2.7.1 Beispiele

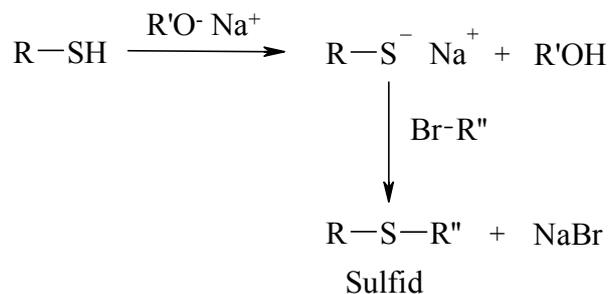
Struktur	Name
CH_3SH	Methanthiol, Methylmercaptan
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{SH} \end{array}$	3-Pentanthiol
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{S}-\text{CH}_3$	Ethylmethylsulfid
$\text{H}_3\text{C}-\text{O}^-$	Methoxylat-Anion
$\text{H}_3\text{C}-\text{S}^-$	Methanthiolat-Anion (sehr starkes Nucleophil)

2.7.2 Synthesen

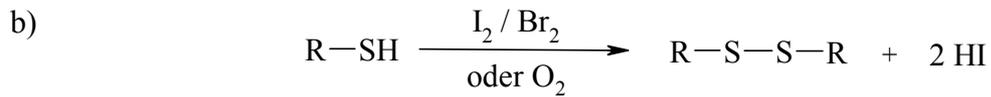
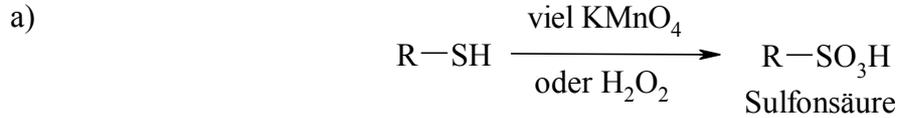


2.7.3 Reaktionen

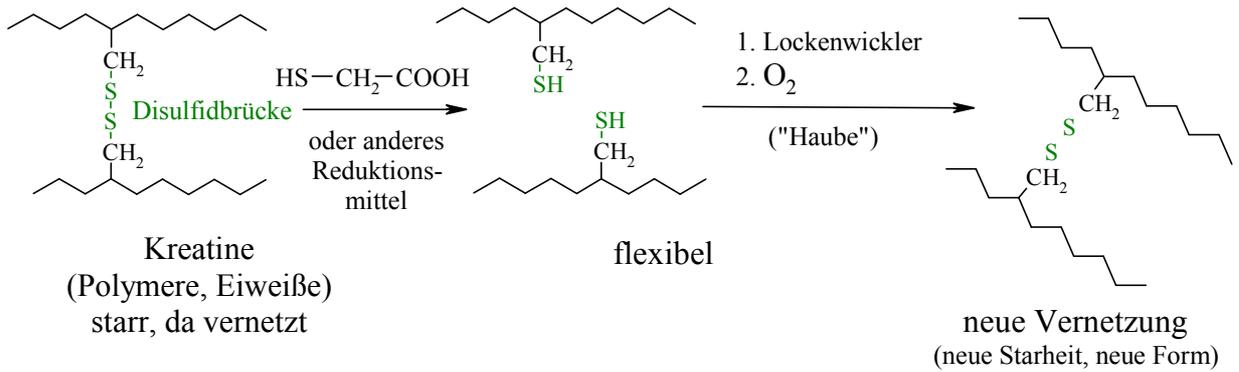
1. Herstellung von Sulfiden



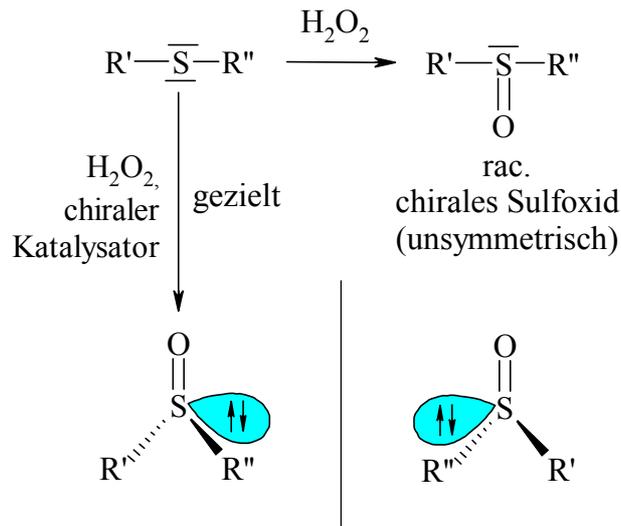
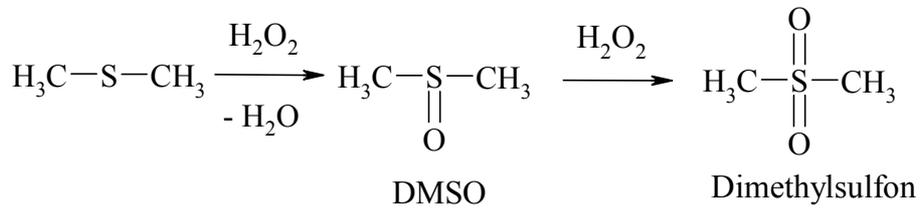
2. Oxidation von Mercaptanen



Natürliches Vorkommen in Haaren, Nägeln und Hörnern in Form von Kreatin

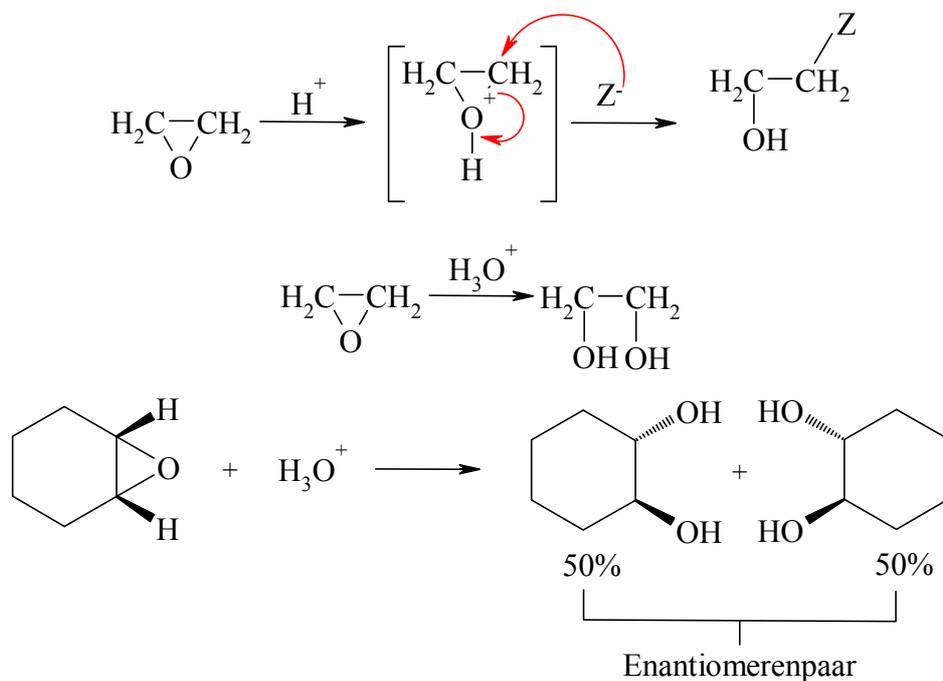


3. Oxidation der Sulfide



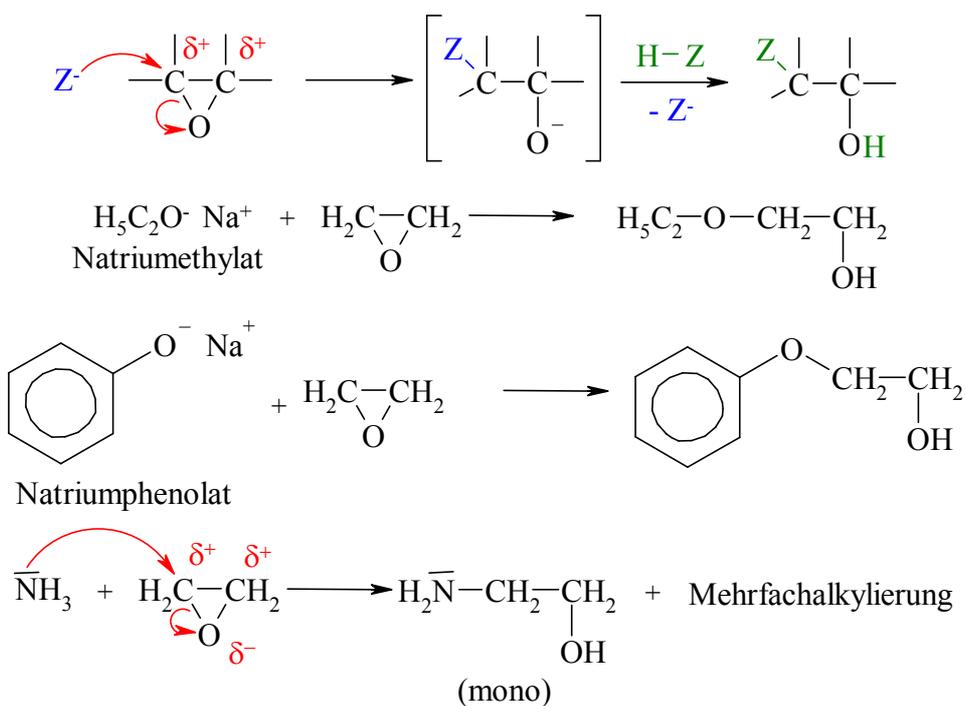
2.8.3 Reaktionen der Oxirane

1. Säurekatalysierte Ringöffnung

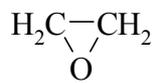


Über Oxirane lassen sich demnach trans-Diole als Enantiomergemisch darstellen.

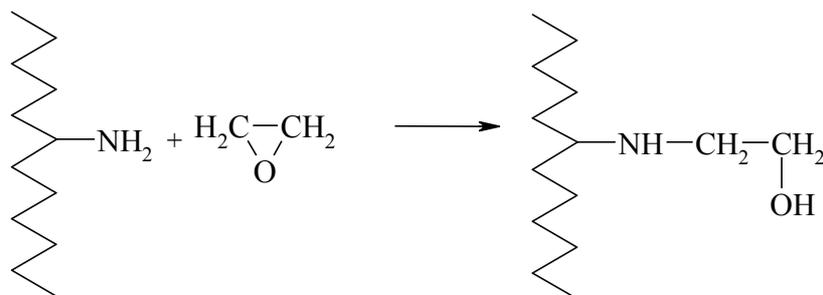
2. Basenkatalysierte Ringöffnung



Alkylantien:



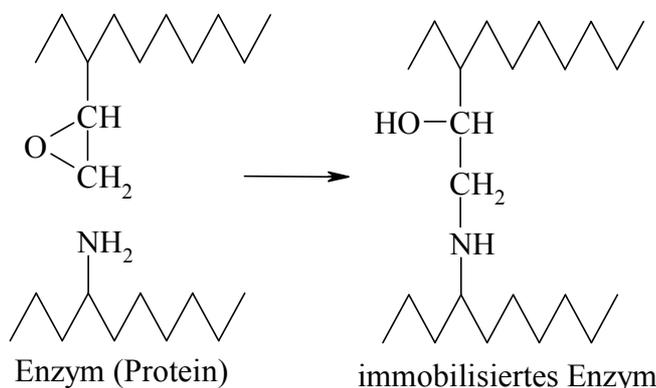
ist ein Alkylanz (Alkylierungsmittel), die in der Regel giftig sind. Diese Stoffgruppe wird wegen folgendem Mechanismus für die Chemotherapie verwendet:



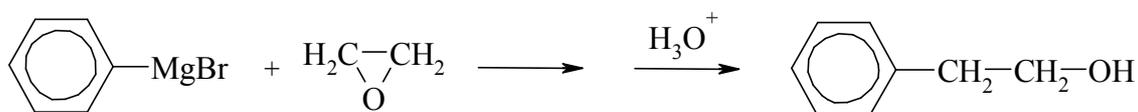
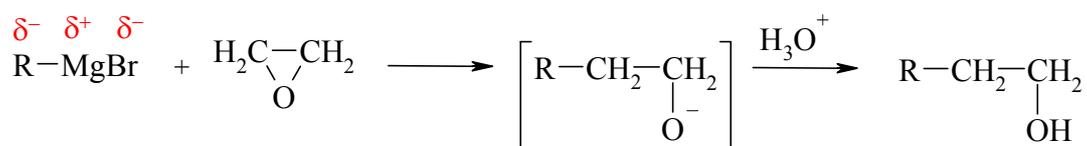
Protein

Zusätzlich dazu verwendet man diese Reaktion in der Biotechnologie, um an Makromoleküle Enzyme zu binden, wodurch diese immobilisiert werden:

Makromolekül mit Epoxidgruppen in der Seitenkette

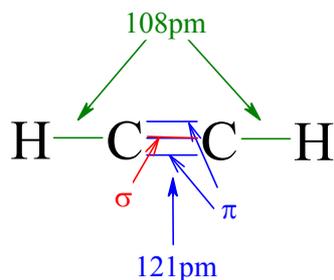


3. Reaktionen mit Grignard-Verbindungen



2.9 Alkine

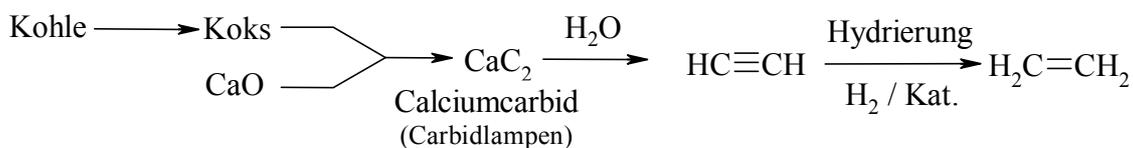
2.9.1 Aufbau



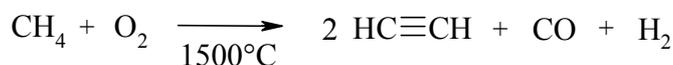
Ethin / Acetylen
(Schweißgas)
Linearer Aufbau

2.9.2 Industrielle Herstellung

1. veraltetes Verfahren

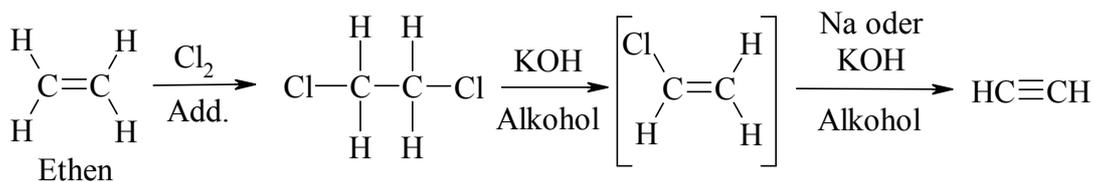


2. modernes Verfahren

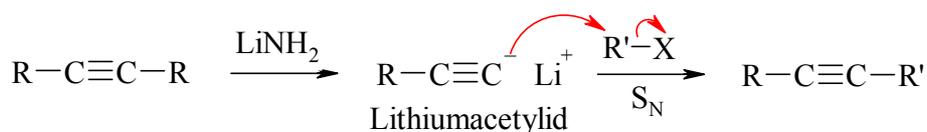


2.9.3 Labormethoden

1. Halogenwasserstoffabspaltung

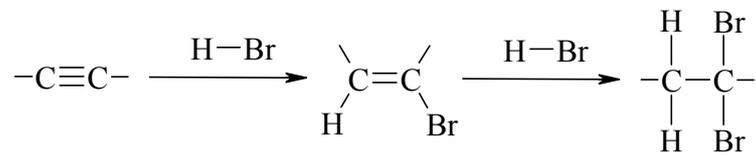


2. Reaktionen von Metallacetyliden

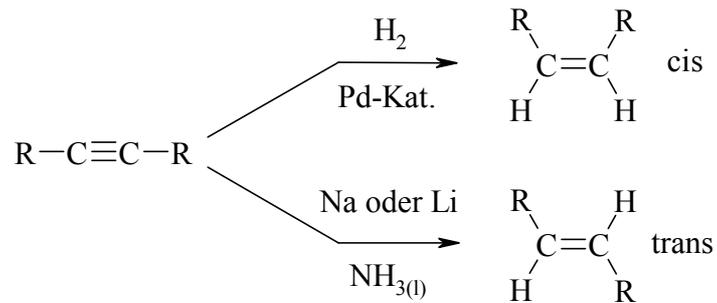


2.9.4 Reaktionen der Alkine

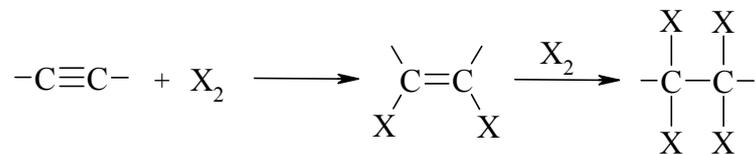
1. Addition von Halogenwasserstoff



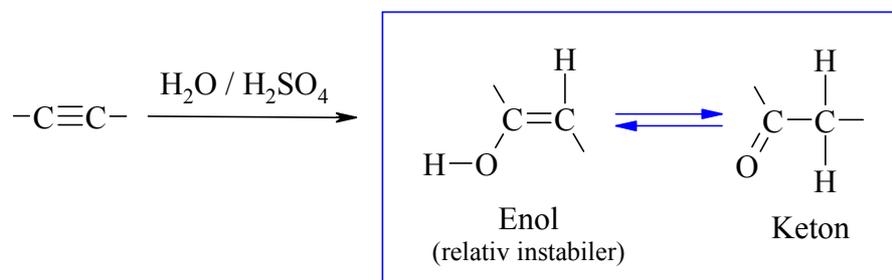
2. Addition von Wasserstoff



3. Addition von Halogenen

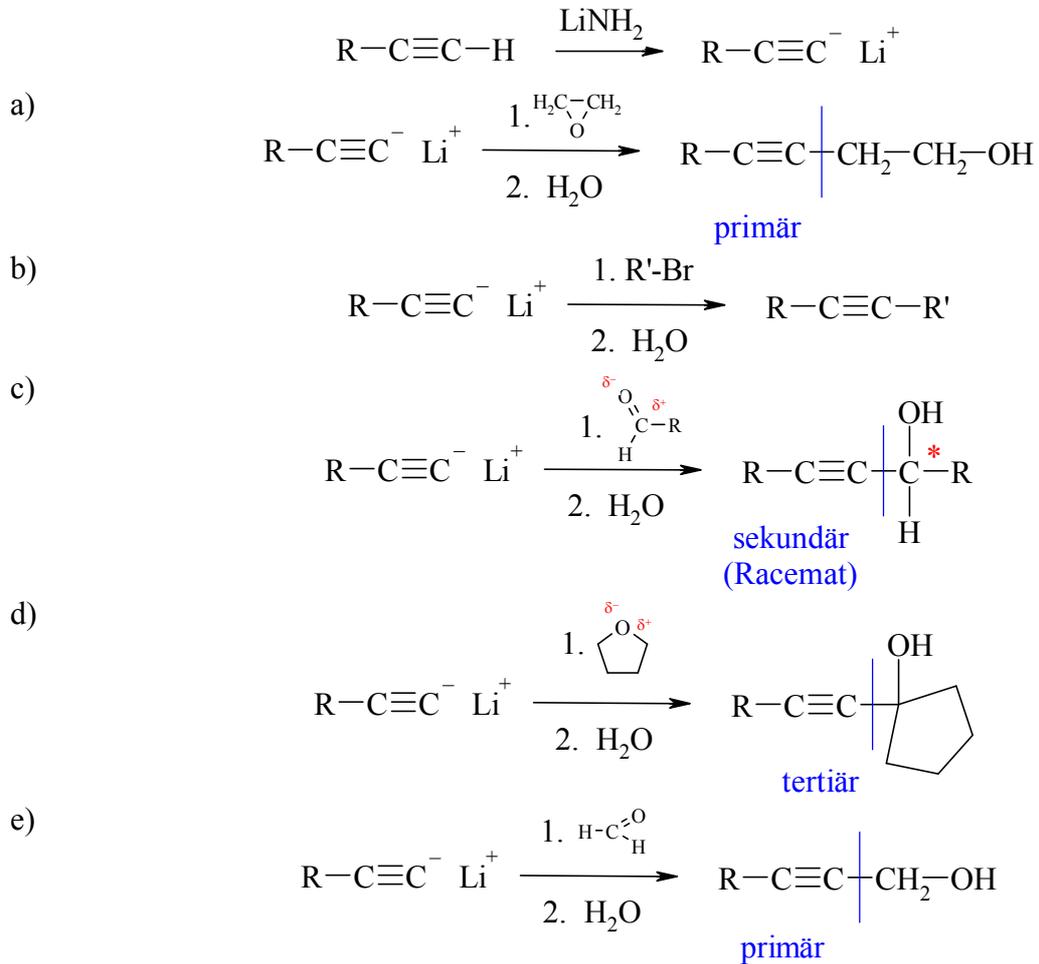


4. Addition von H₂O



Keto – Enol - Tautomerie

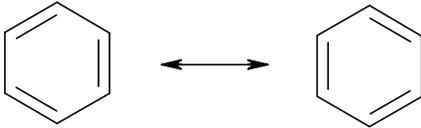
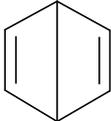
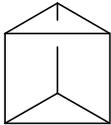
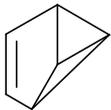
5. Metallacetylide



2.10 Aromaten

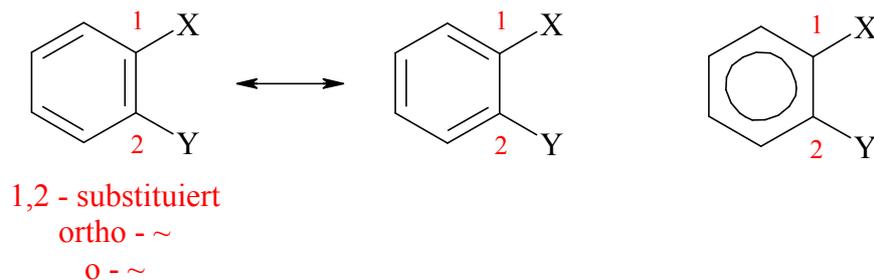
Der Name der Aromaten leitet sich ab von der Beschreibung der „wohlriechenden Verbindungen.“

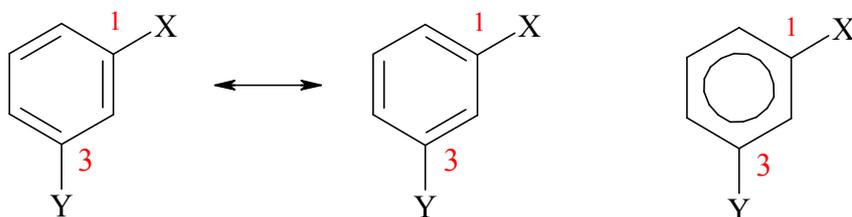
2.10.1 Schreibweisen des Benzols

	Strukturformel	Entdecker (Bezeichnung)
korrekte Formel		Schreibweise nach Kekulé
synthetisierte Verbindungen (instabil)		... DEWAR
		... LADENBURG (Prisma)
		(Benzvalen)

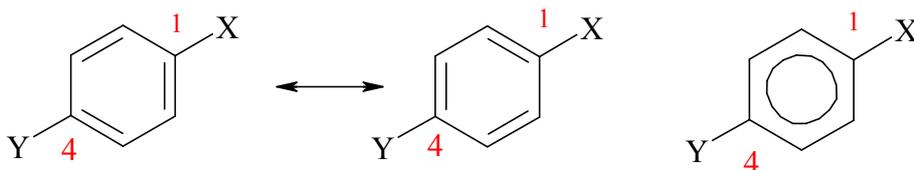
Belege für die Kekulé-Formel:

1. Es gibt nur ein Monosubstitutionsprodukt (C_6H_5X)
2. Benzol liefert drei Disubstitutionsprodukte (C_6H_4XY)



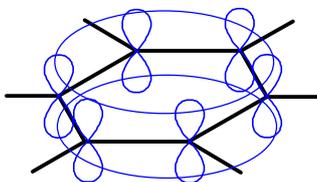


1,3 - substituiert
meta - ~
m - ~



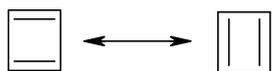
1,4 - substituiert
para - ~
p - ~

Das Benzolmolekül ist mit π -Elektronen oberhalb und unterhalb der Ringebene planar:



2.10.2 Kriterien des aromatischen Zustandes

1. Gegenbeispiele

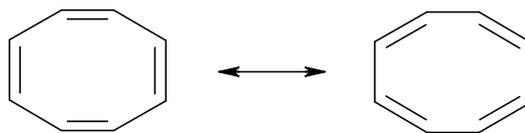
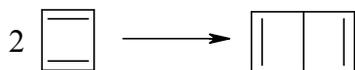


Cyclobutadien

kein Aromat

< 20K stabil

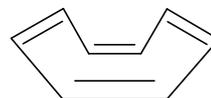
> 35K:



Cyclooctatetraen

kein Aromat

reagiert wie ein Alken



2. Hückel-Regel für Aromaten

Ein Aromat muss nach Definition folgende Eigenschaften aufweisen:

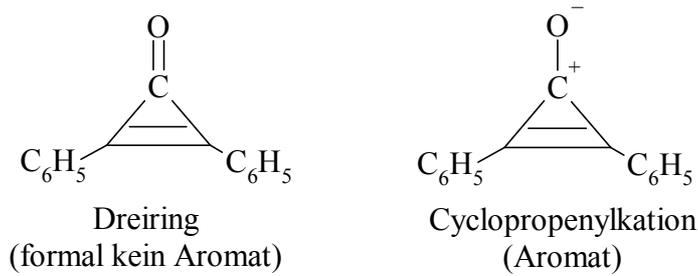
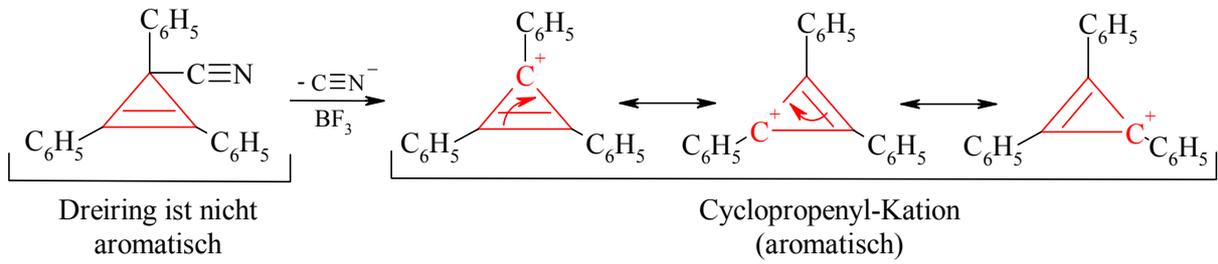
Das Molekül muss eben und

ringförmig aufgebaut sein, und

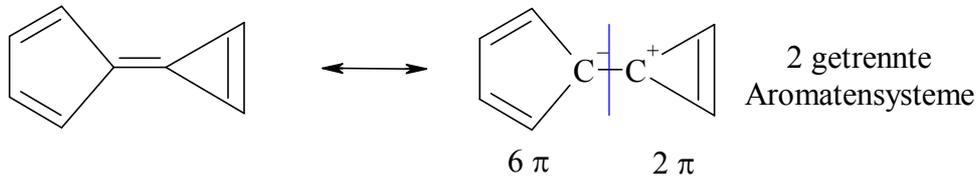
$(4n + 2)$ delokalisierte π -Elektronen aufweisen. ($n \in \mathbb{N}$).

3. Beispiele für Aromaten mit $n = 0$

$4 \cdot 0 + 2 = 2$ delokalisierte π – Elektronen

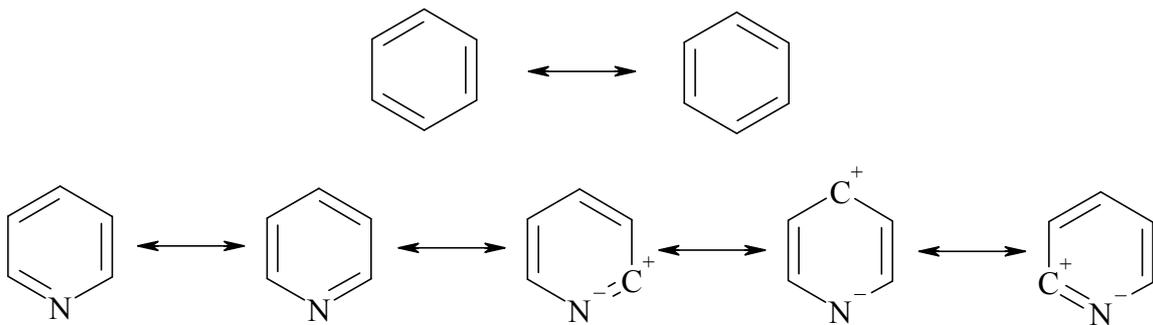


Hierbei ist die Carbonylgruppe nicht experimentell bestimmbar.

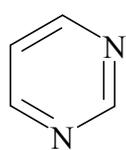


4. Beispiele für Aromaten mit $n = 1$

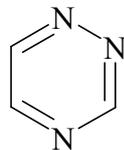
$4 \cdot 1 + 2 = 6$ delokalisierte π – Elektronen



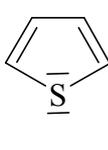
Pyridin



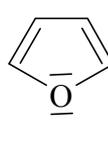
Pyrimidin



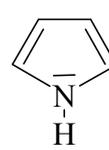
Pyrazin



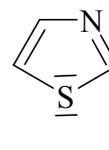
Thiophen



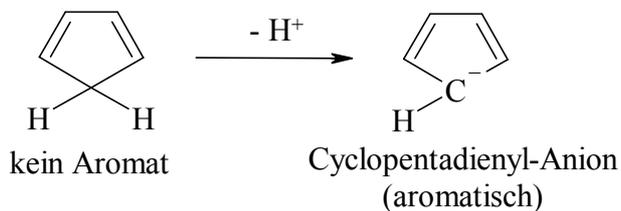
Furan



Pyrrol

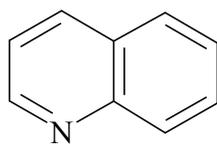
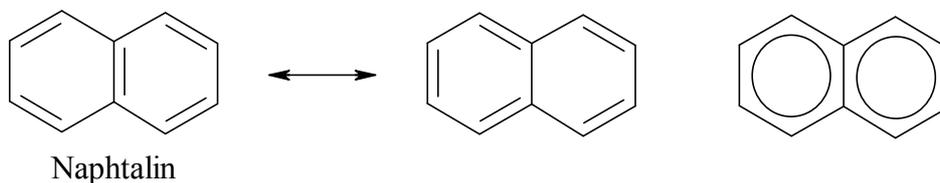


Thiazol

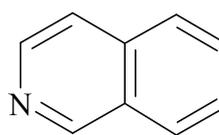


5. Beispiele für Aromaten mit $n = 2$

10 delokalisierte π – Elektronen



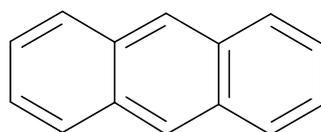
Chinolin



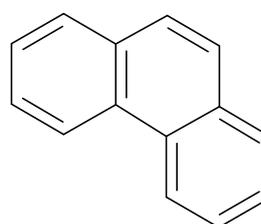
Isochinolin

6. Beispiele für Aromaten mit $n = 3$

14 delokalisierte π – Elektronen

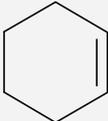
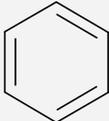


Anthacen



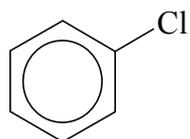
Phenanthren

2.10.3 Reaktivitätsvergleich

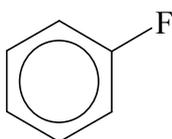
		
	Cyclohexen	Benzol
+ KMnO_4	rasche Oxidation	keine Reaktion
+ Br_2	Entfärbung durch Addition	keine Reaktion
+ HI	Addition	keine Reaktion
+ H_2 (Ni-Kat.)	rasche Hydrierung bei 25°C / 1 – 1,5bar	langsame Hydrierung bei $100\text{-}200^\circ\text{C}$

2.10.4 Nomenklatur von Benzolderivaten und der Einfluss der Substituenten

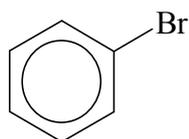
1. Nomenklatur



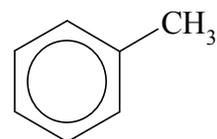
Chlorbenzol



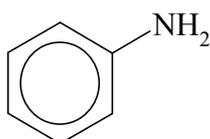
Fluorbenzol



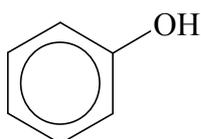
Brombenzol



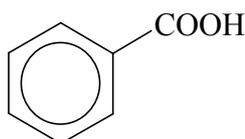
Toluol



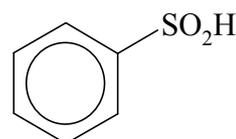
Anilin



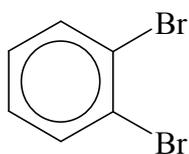
Phenol



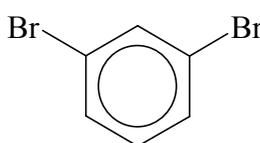
Benzoessäure



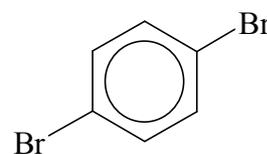
Benzosulfonsäure



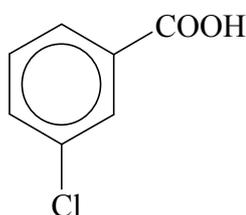
1,2 - / o - Dibrombenzol



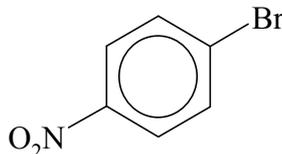
1,3 - / m - Dibrombenzol



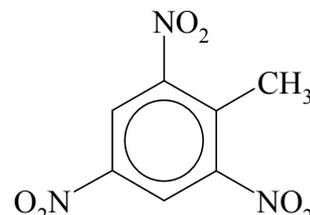
1,4 - / p - Dibrombenzol



m - Chlorbenzoessäure

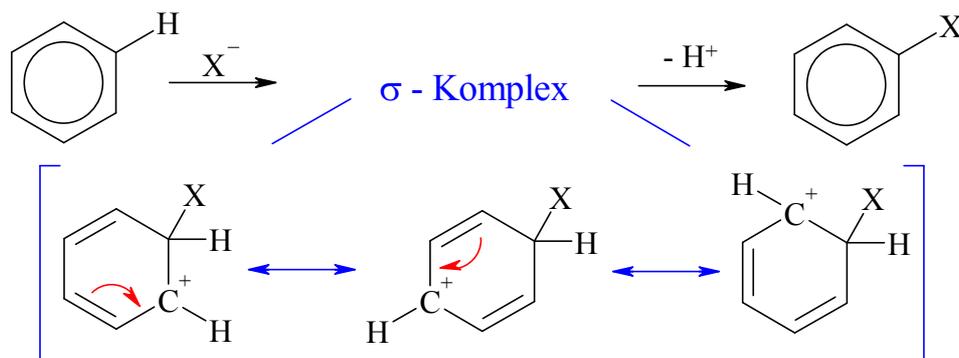


p - Bromnitrobenzol

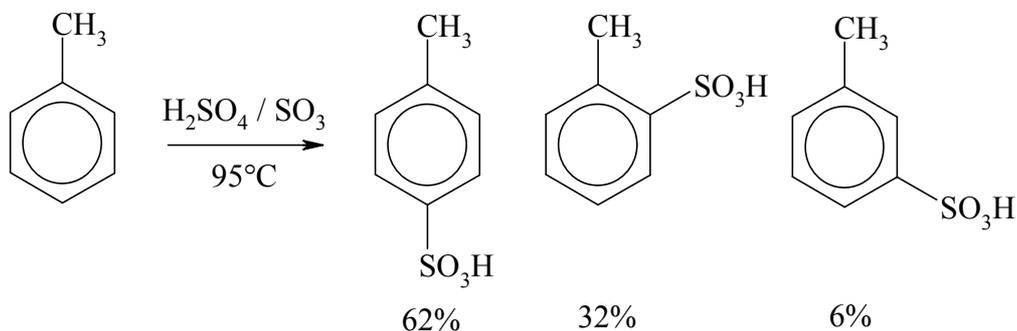


2,4,6 - Trinitrotoluol (TNT)

2. Elektrophile Substitution am Aromaten

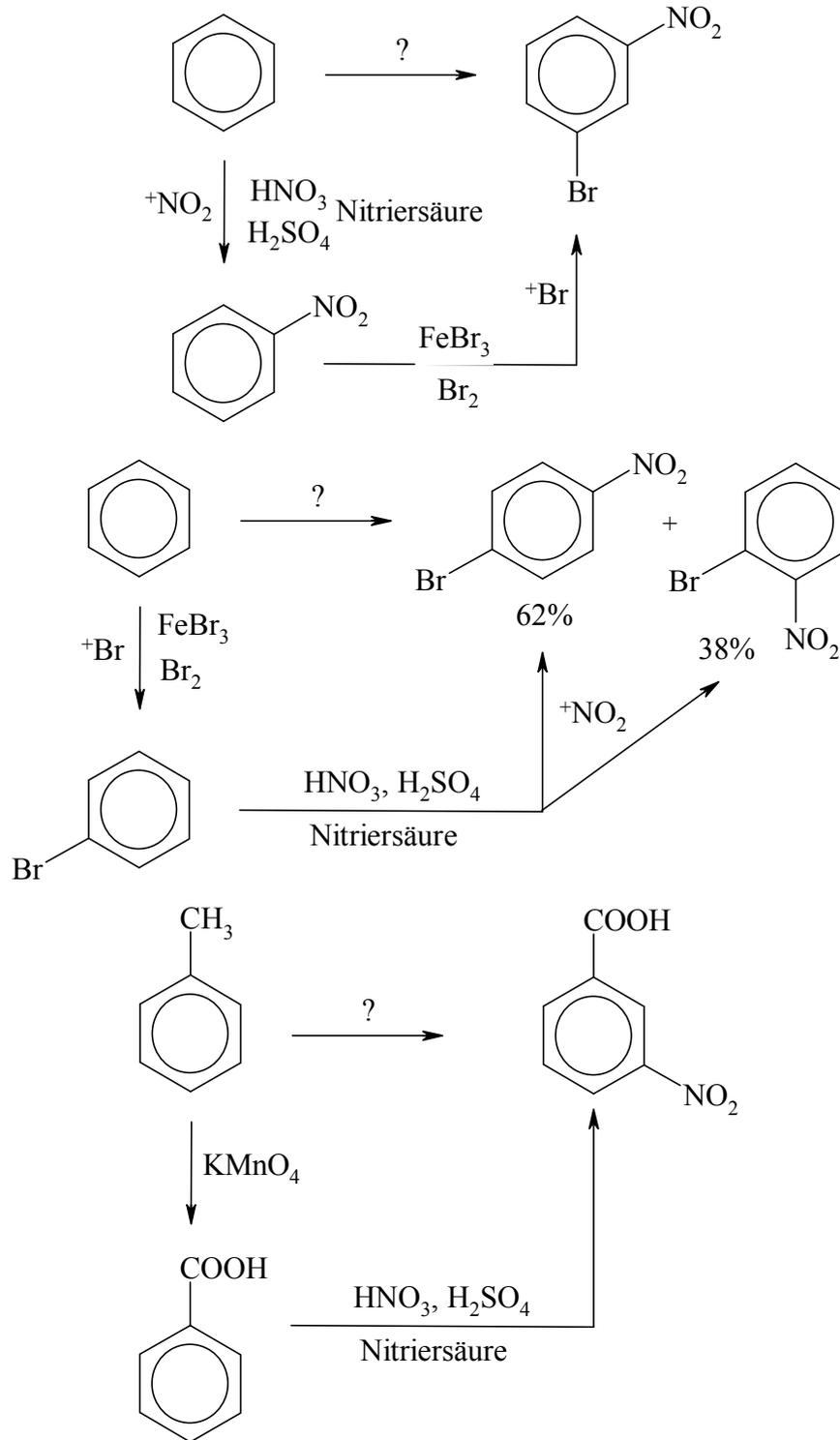


3. Substituenteneinfluss

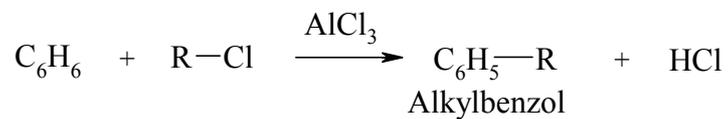


Substituent	Verhalten bei weiterer Substitution	
CH ₃ , C ₂ H ₅ , Alkyl,	(-) - I - Effekt	Der Substituent dirigiert in ortho- und para-Stellung, und erhöht die Reaktionsgeschwindigkeit im Vergleich zum Benzol. Es liegt zwischenzeitlich der Mesomeriestabilisierte σ - Komplex vor.
-OH, -O-CH ₃ , -NH ₂	(+) - M - Effekt	
Cl, Br,	(+) - M - Effekt	Diese Substituenten dirigieren in o- und para-Stellung, wobei sie die Reaktion im Vergleich zum Benzol verlangsamen, da eine elektrophile Substitution erfolgt.
CH ₂ Cl	(-) - I - Effekt	
-NO ₂ , -COOC ₂ H ₅ , $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$, $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{H} \end{array}$, -CF ₃ , -N ⁺ (CH ₃) ₂	Der elektronenziehende Substituent dirigiert in m-Stellung und verringert die Reaktivität.	

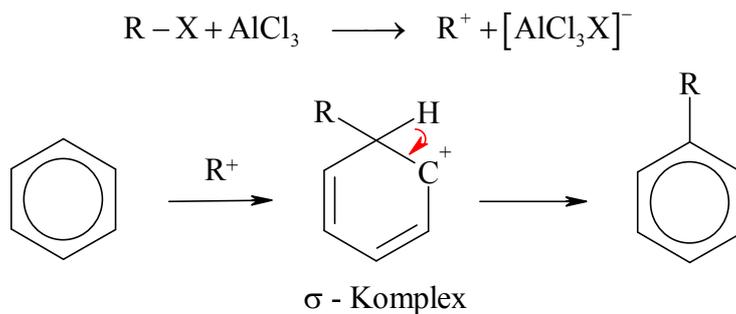
4. Beispielreaktionen



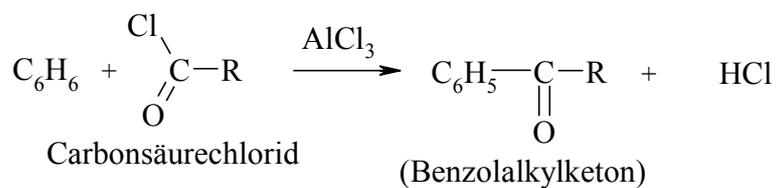
4. Friedel-Crafts-Alkylierung



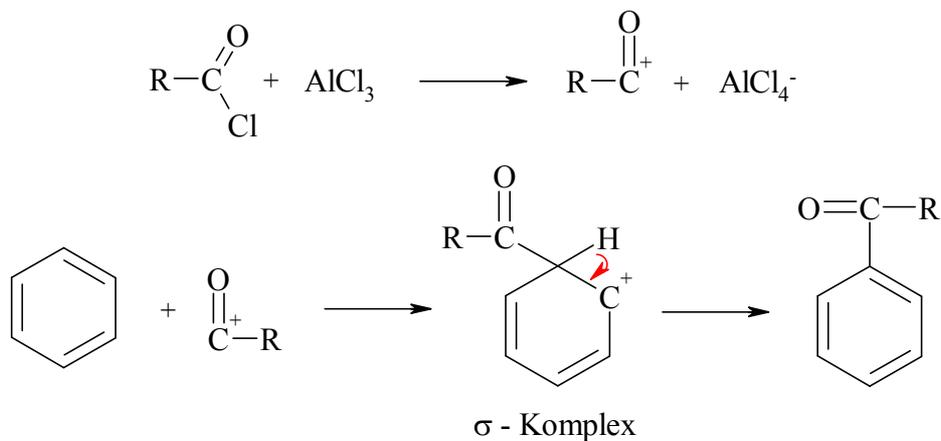
Mechanismus:



5. Friedel-Crafts-Acylierung

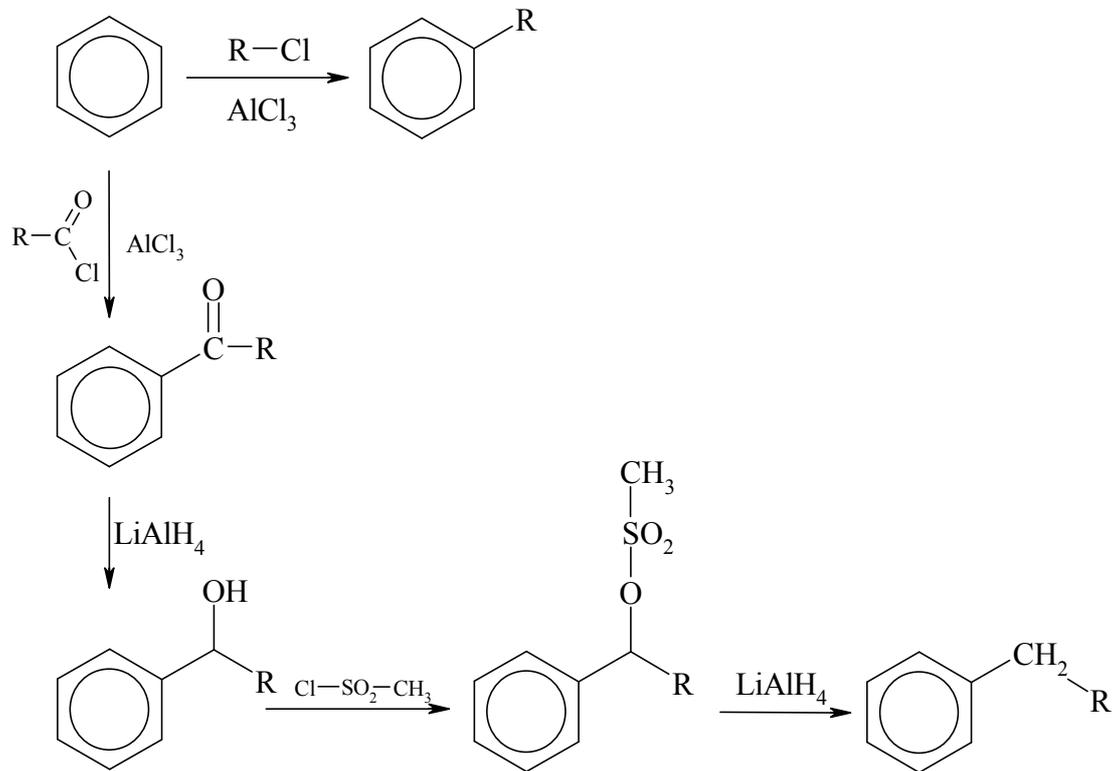


Mechanismus:



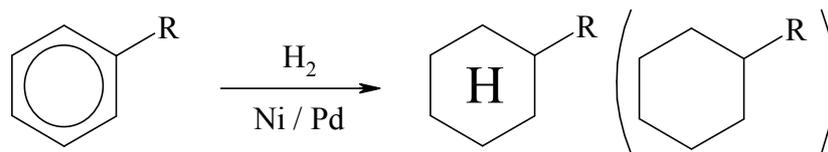
2.10.6 Alkylbenzole

1. Darstellung

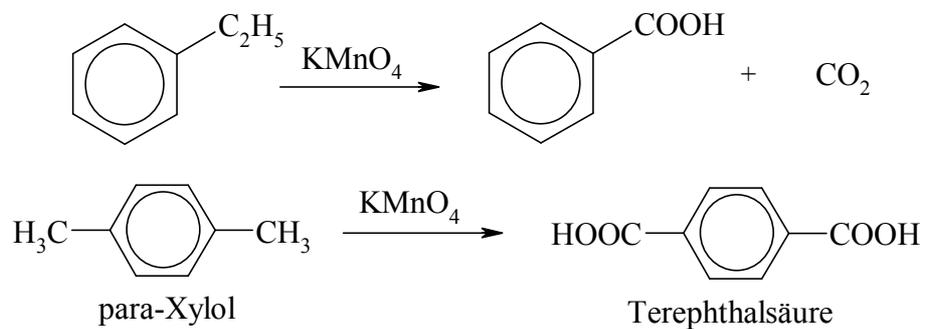


2. Reaktionen

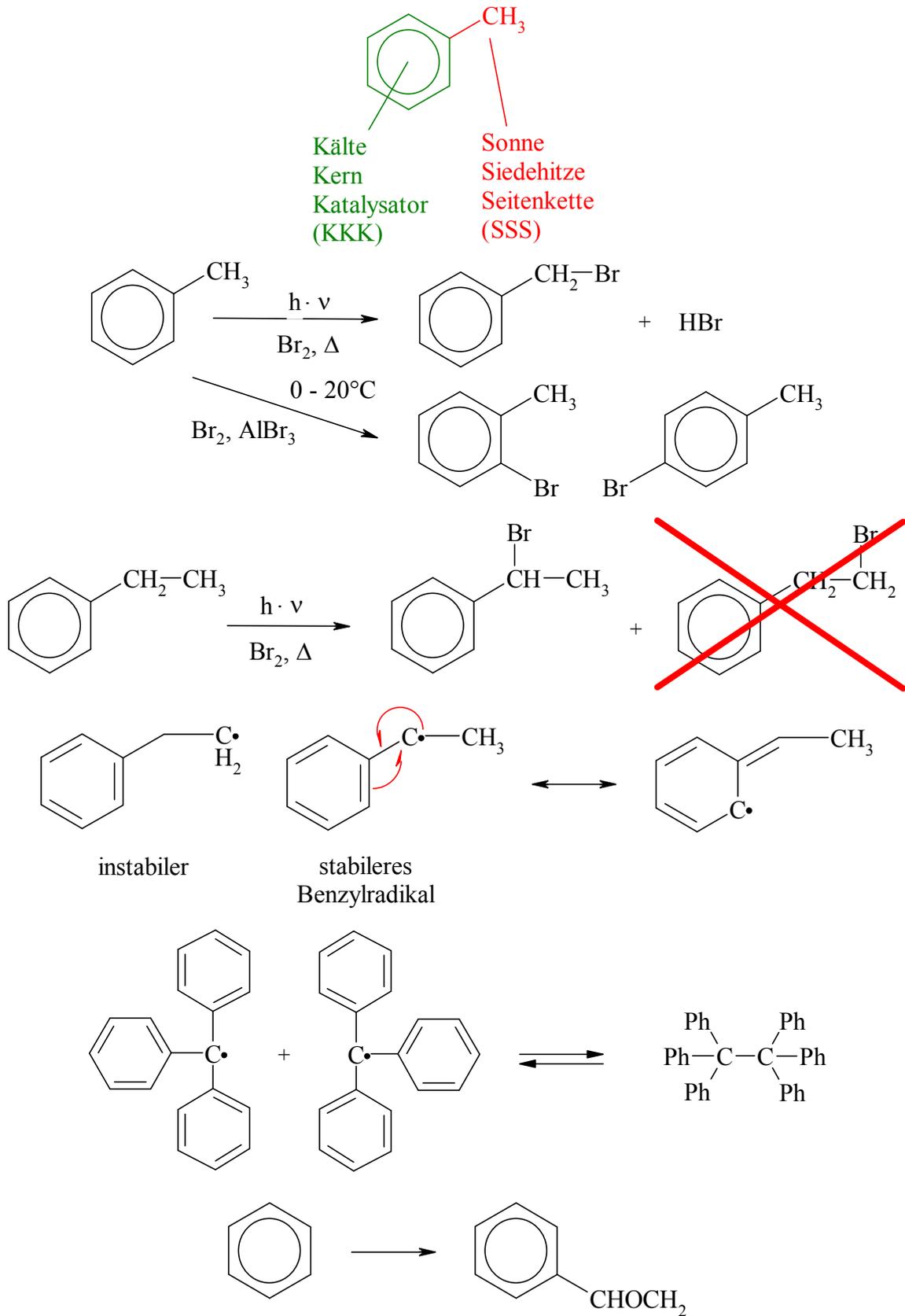
a) Hydrierung



b) Oxidation

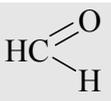
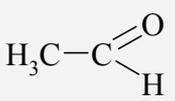
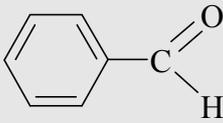
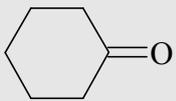
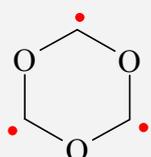
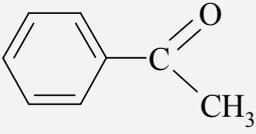


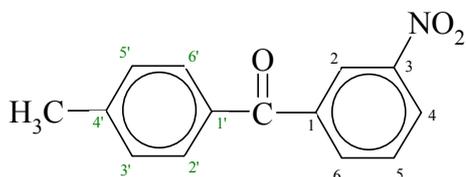
c) Halogenierung



2.11 Aldehyde & Ketone

2.11.1 Beispiele

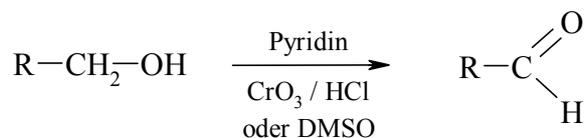
Strukturformel	Name	Strukturformel	Name
	Formaldehyd (Methanal, Biozid)	$\text{H}_3\text{C}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$	Aceton
	Acetaldehyd (Ethanal)	$\text{H}_3\overset{4}{\text{C}}-\overset{3}{\text{CH}_2}-\overset{2}{\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}}-\overset{1}{\text{CH}_3}$	Methylethylketen (2-Butanon)
	Benzaldehyd		Cyclohexanon
	Trioxan ⁴ (• = C-Atom mit zwei O-Atomen verbunden)		Acetophenon



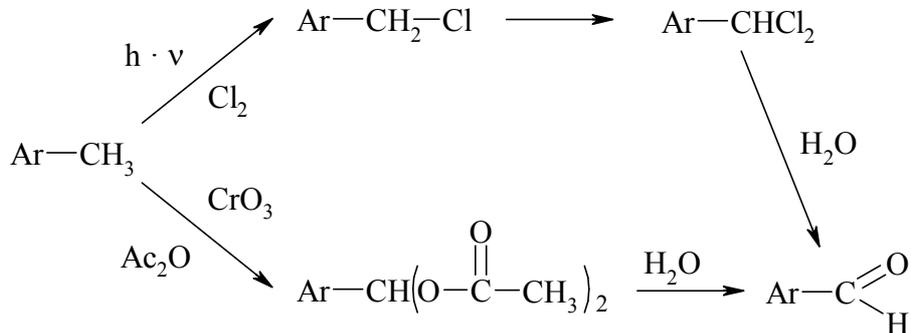
3-Nitro-4²-methylbenzophenon

2.11.2 Darstellung der Aldehyde

1. Oxidation primärer Alkohole



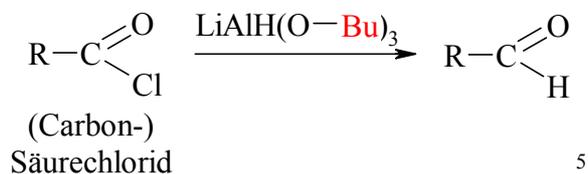
2. Oxidation von Methylbenzolen



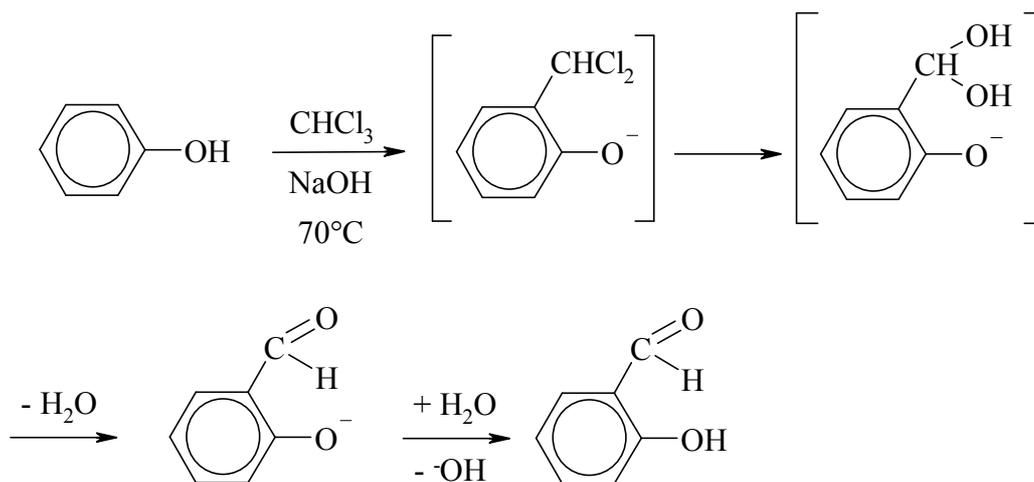
Ar = aromatischer Rest

⁴ Trimeres des Formaldehyds

3. Reduktion von Säurechloriden



4. Reimer-Thiemann-Reaktion

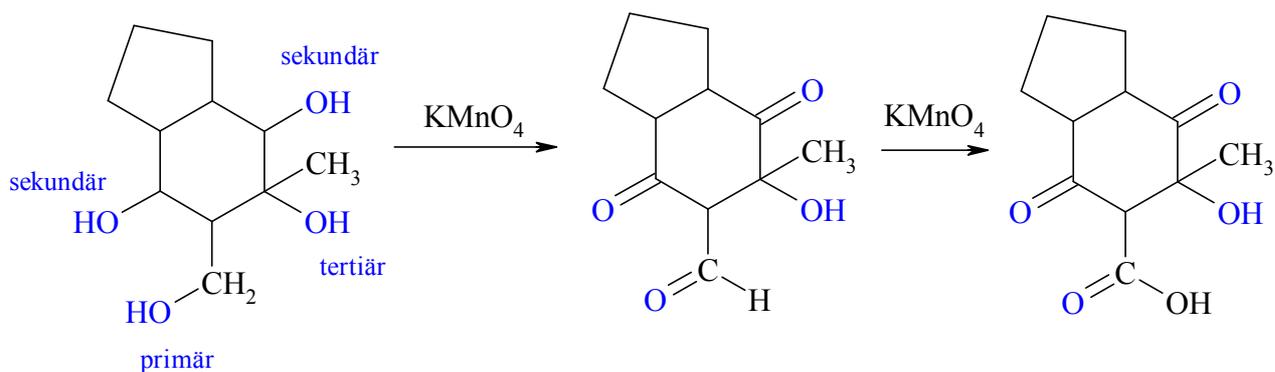


2.11.3 Darstellung der Ketone

1. Oxidation sekundärer Alkohole

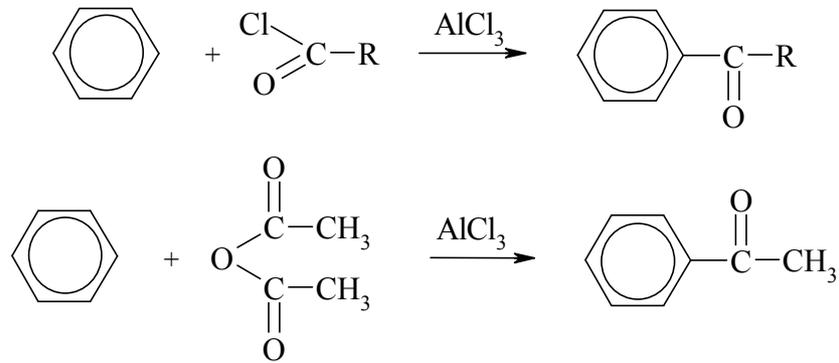


Beispiel

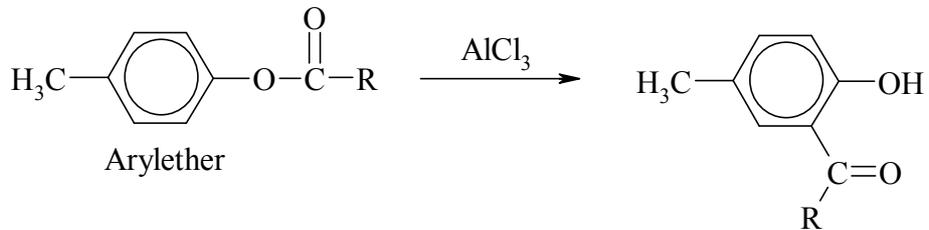


⁵ Bu = Butylrest

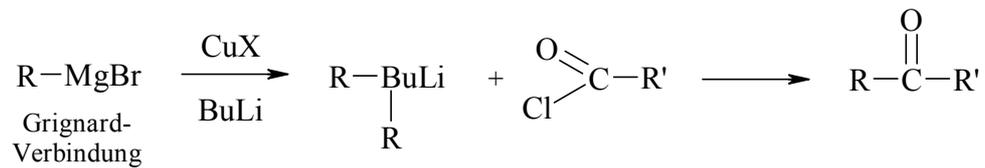
2. Friedel-Crafts-Acylierung



3. Fries'sche Verschiebung



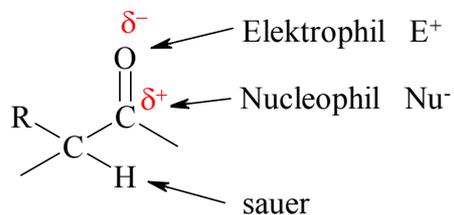
4. Säurechloride + Organokupferverbindungen



5. Acetessigestersynthese

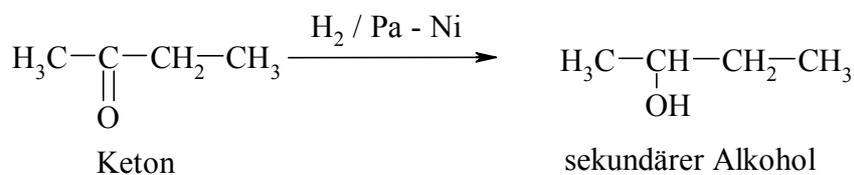
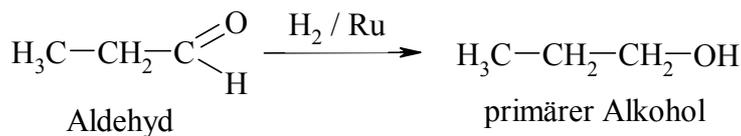
später in VL

2.11.4 Reaktionen der Aldehyde und Ketone

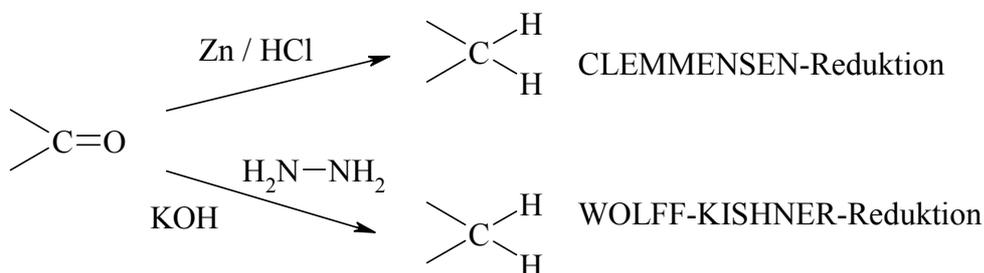


1. Reduktion

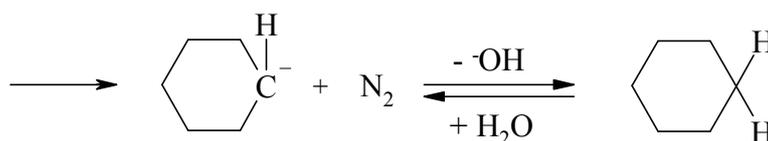
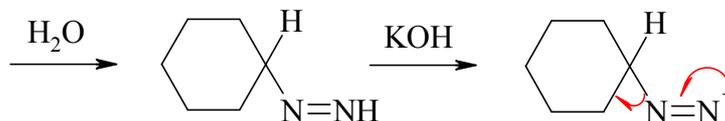
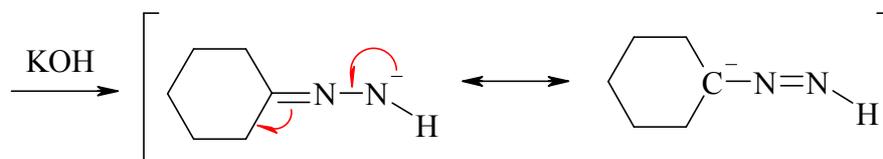
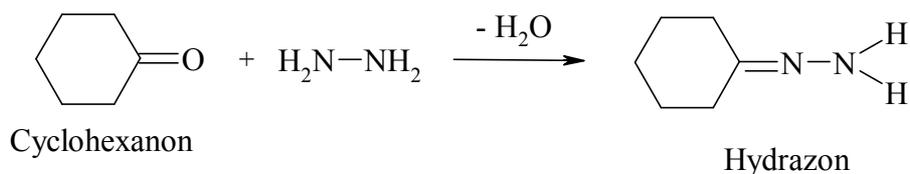
a) katalytische Hydrierung



b) Reduktion zu Kohlenwasserstoffen



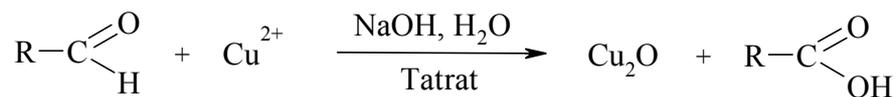
Reaktionsmechanismus:



2. Oxidation

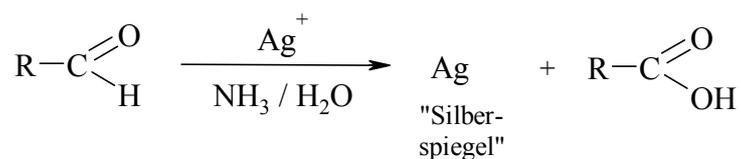
Aldehydnachweis

a) Fehling-Test

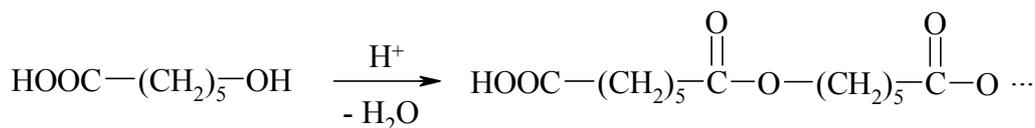
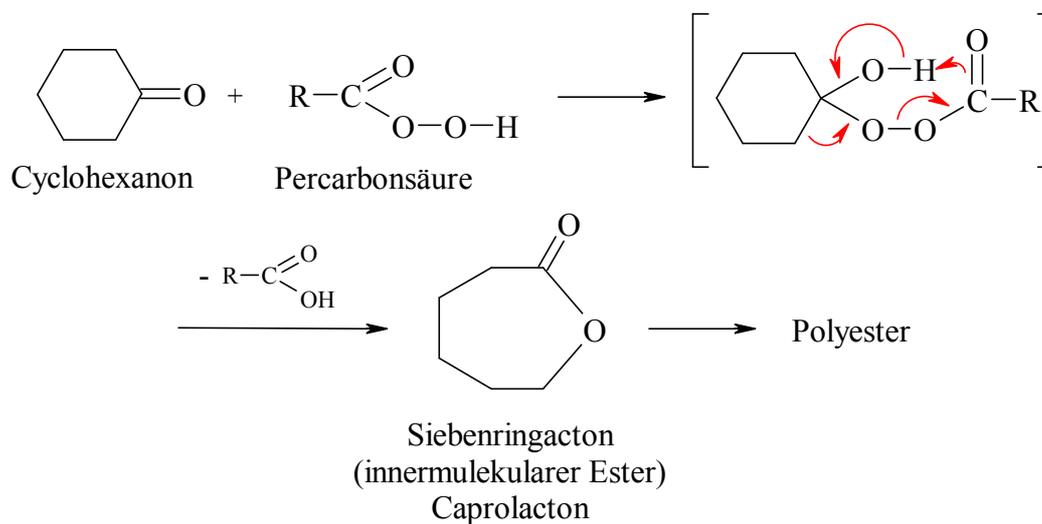


Das Kupfer wird also von dem Aldehyd reduziert.

b) Tollens-Nachweis (Silberspiegel)

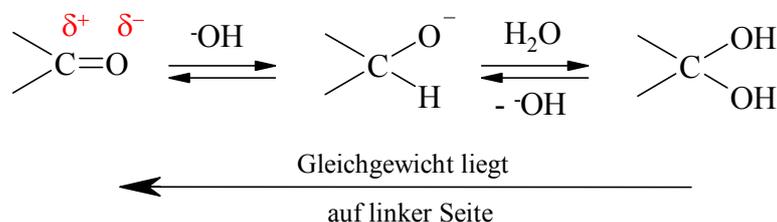


c) Baeyer-Villiger - Oxidation

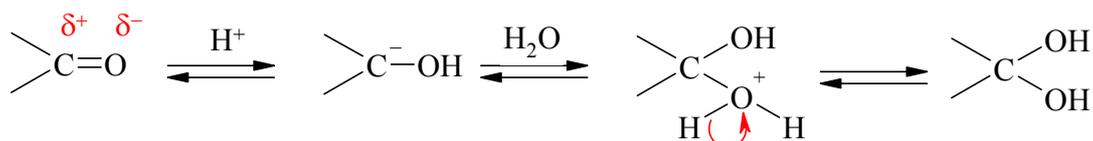


3. Reaktionen mit Wasser und / oder Alkoholen

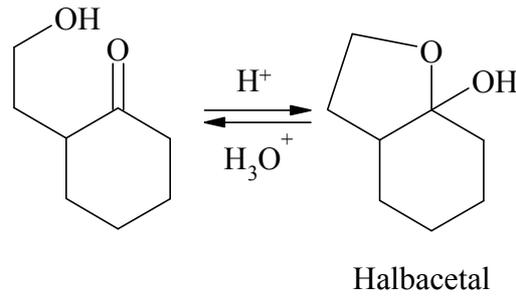
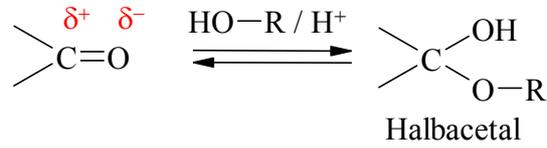
a) Basenkatalysierte Hydratisierung



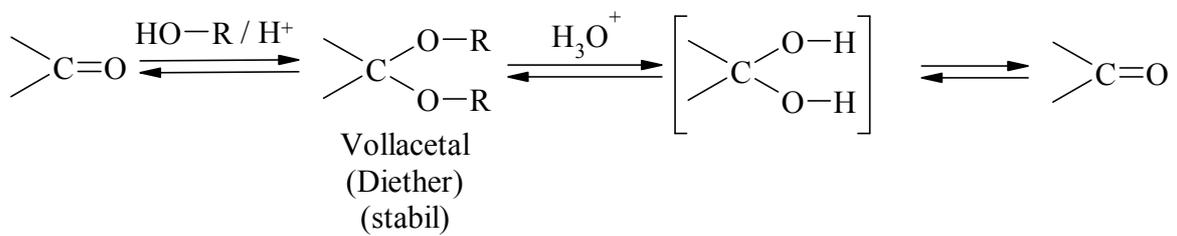
b) Säurekatalysierte Hydratisierung



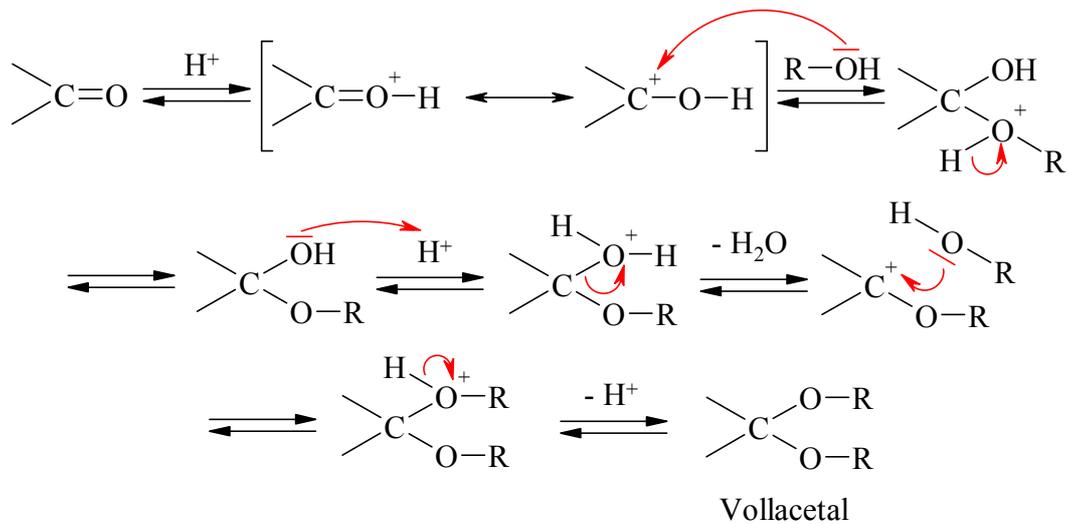
c) Bildung von Halbacetalen



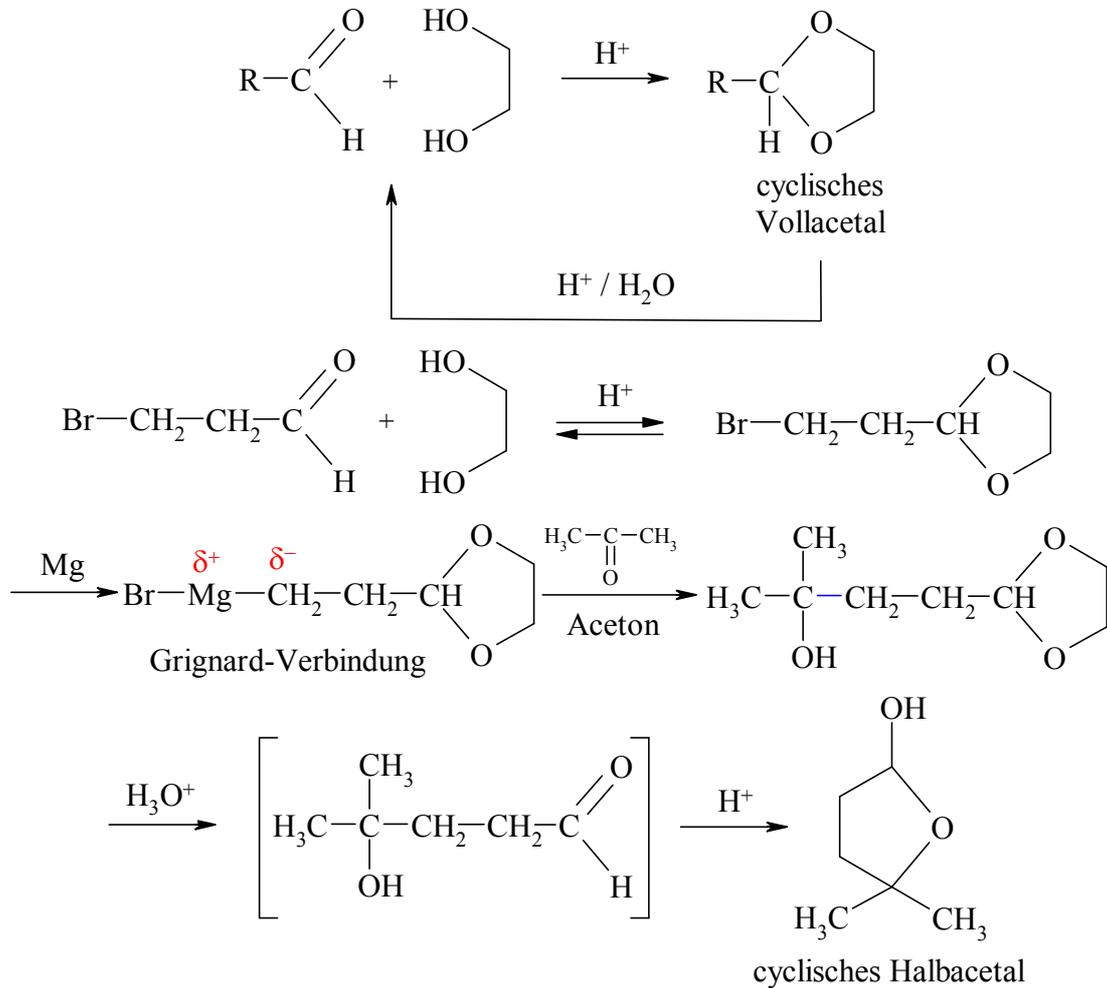
d) Acetale, Vollacetale



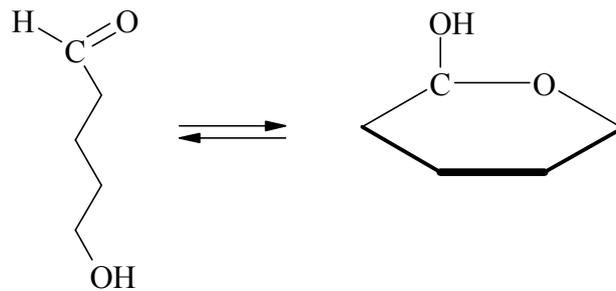
Mechanismus



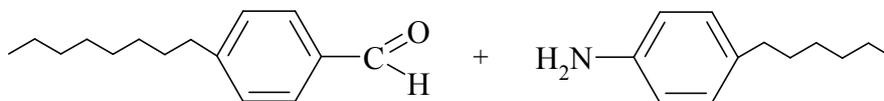
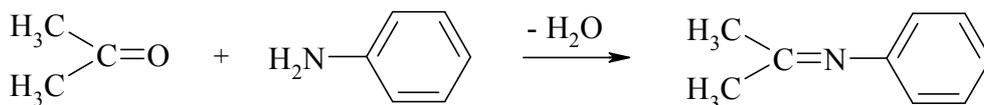
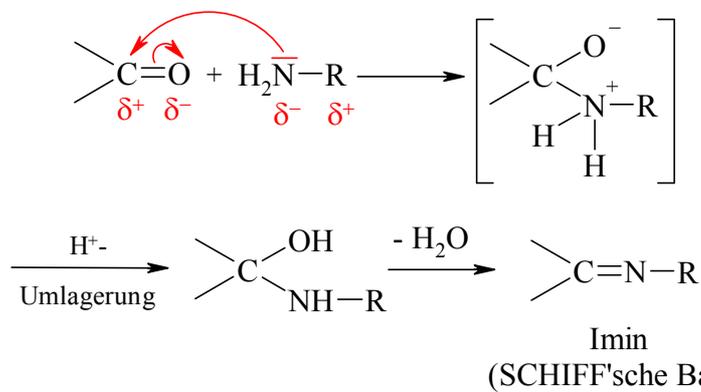
4. Reaktionen mit Grignard-Verbindungen



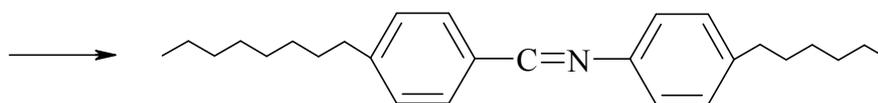
Cyclische Halbacetale bilden sich auch bei Aldosen (Zucker):



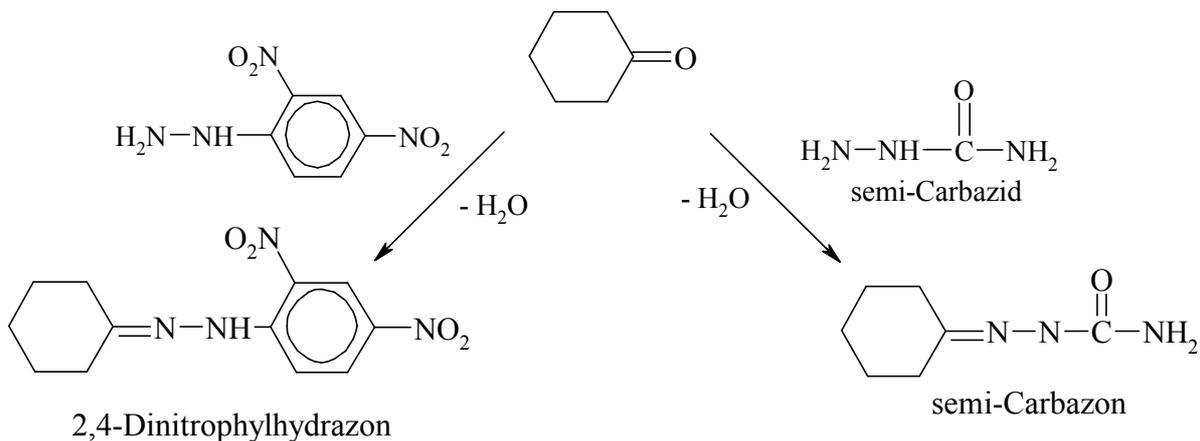
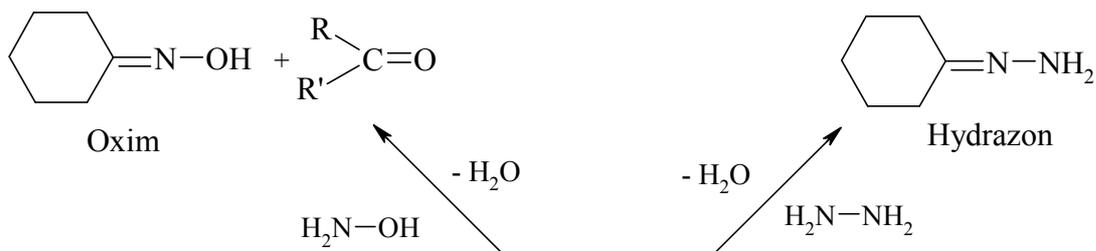
5. Reaktionen mit primären Aminen



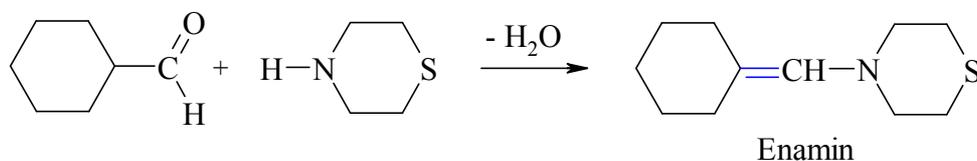
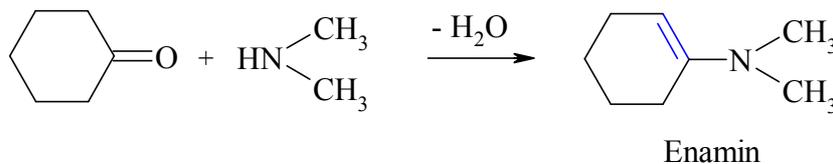
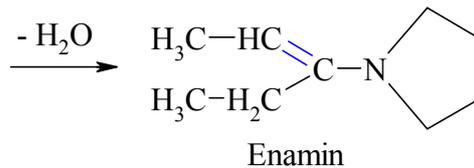
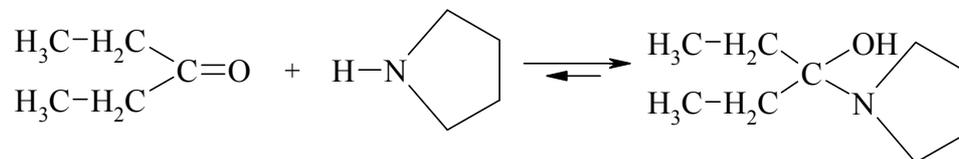
Benzaldehyd mit Ring
in para-Stellung



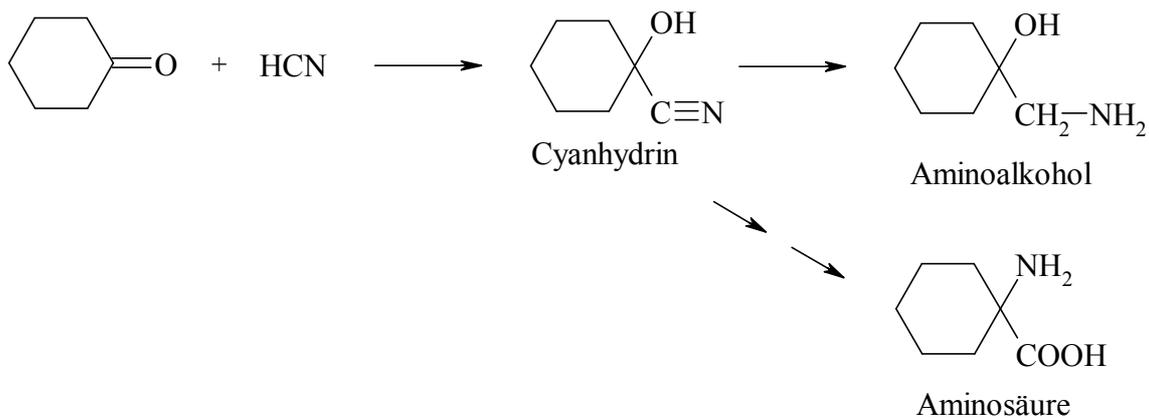
Flüssigkristalle
(Flüssigkeit mit Ordnungsstruktur)



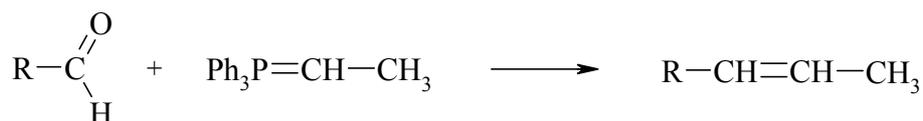
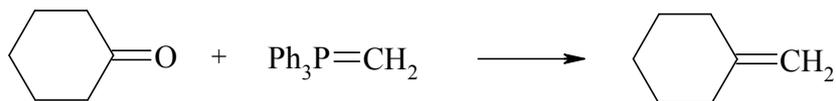
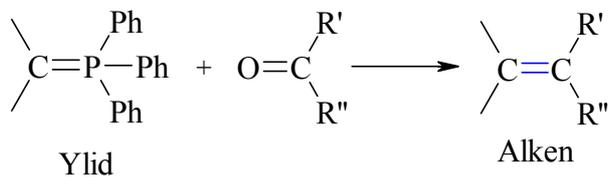
6. Reaktionen mit sekundären Aminen



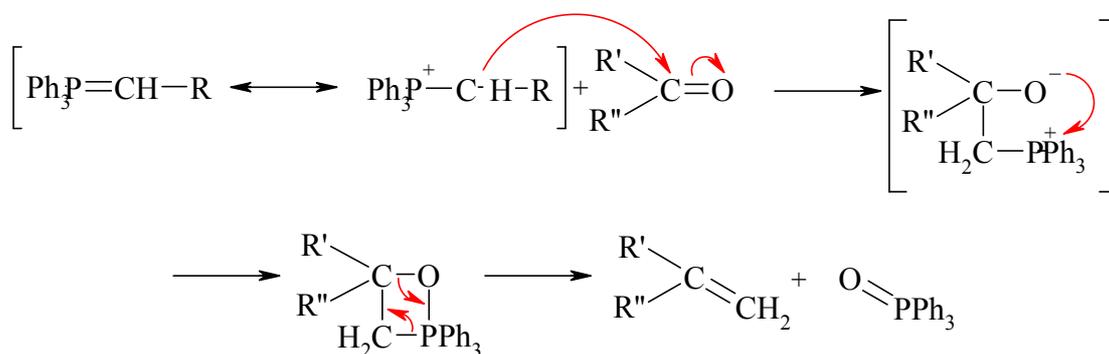
7. Addition von Blausäure



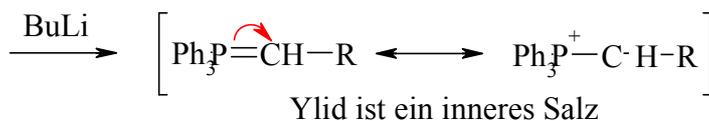
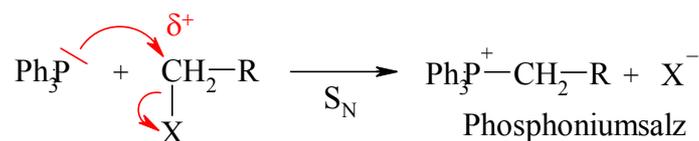
8. Wittig-Reaktion



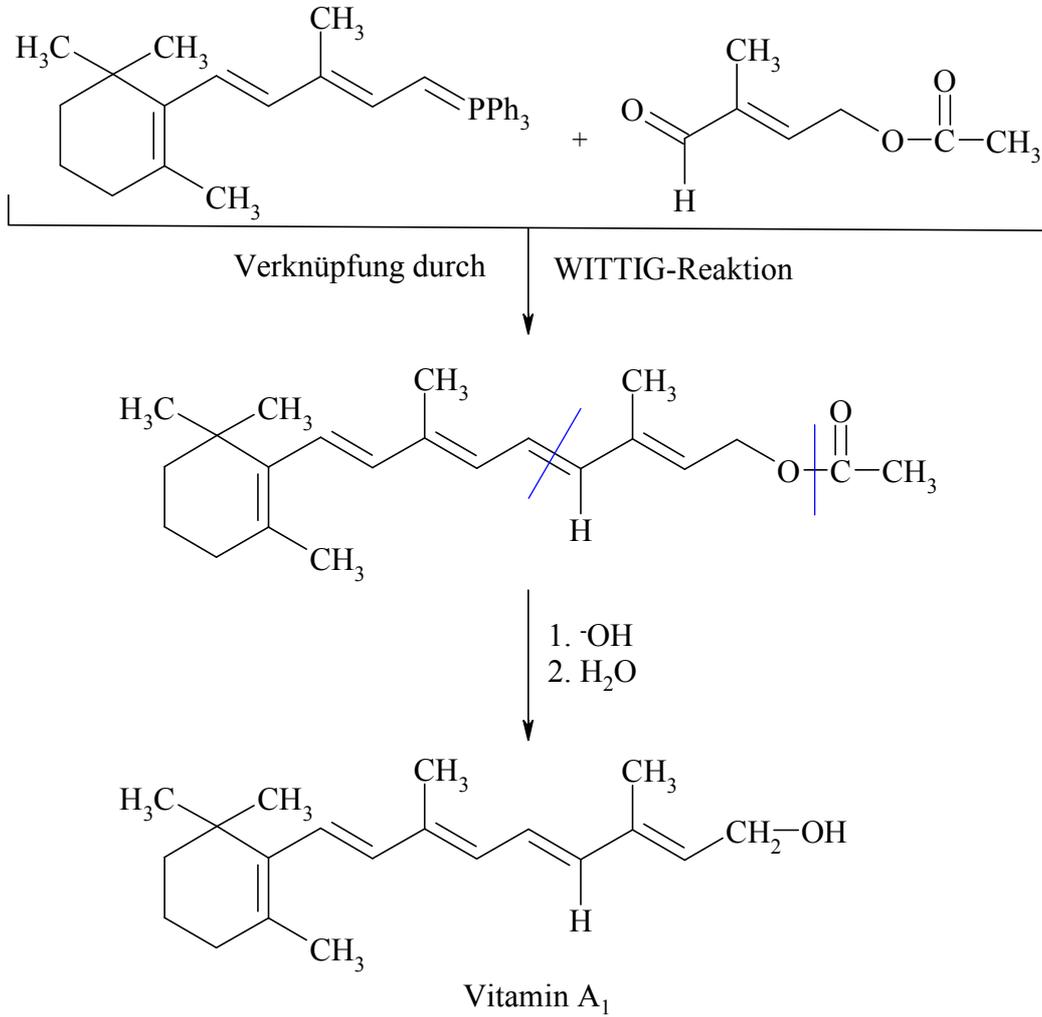
Mechanismus:



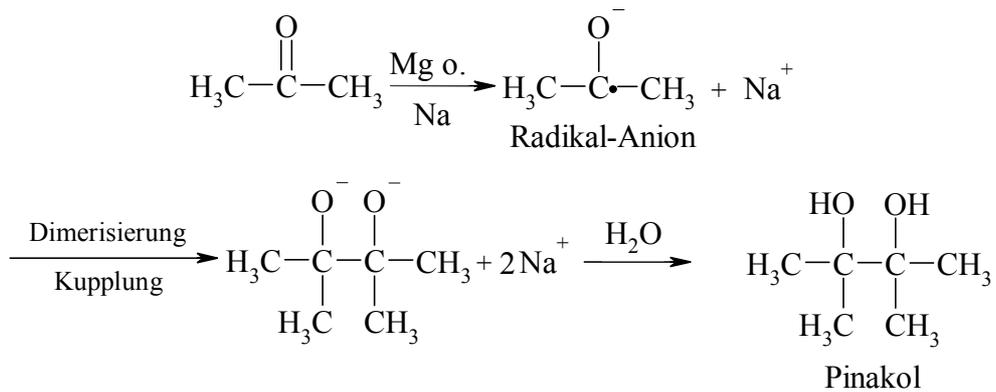
Zur Herstellung des Ylids:



9. Industrielle Vitamin-A₁-Synthese

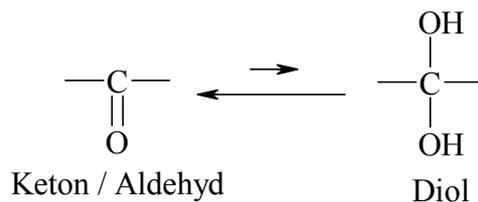


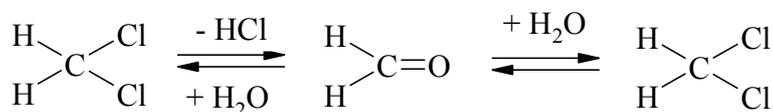
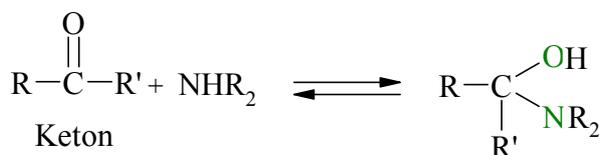
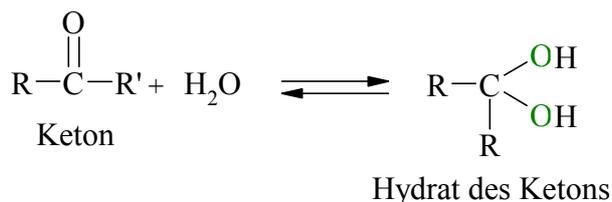
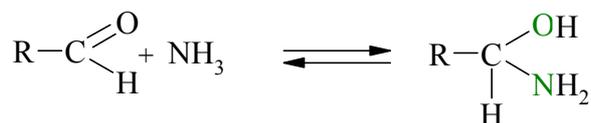
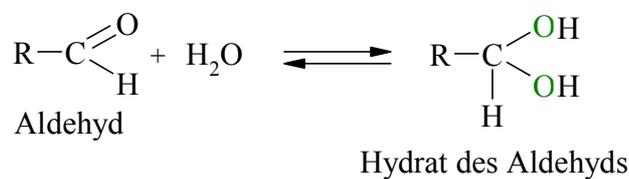
10. Pinakol-Kupplung



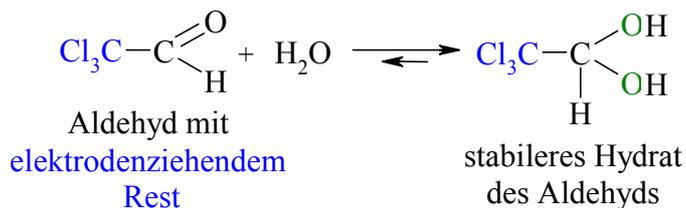
11. Bildung von Hydraten

Aldehyde und Ketone bilden in Wasser geringe Konzentrationen an Diolen.



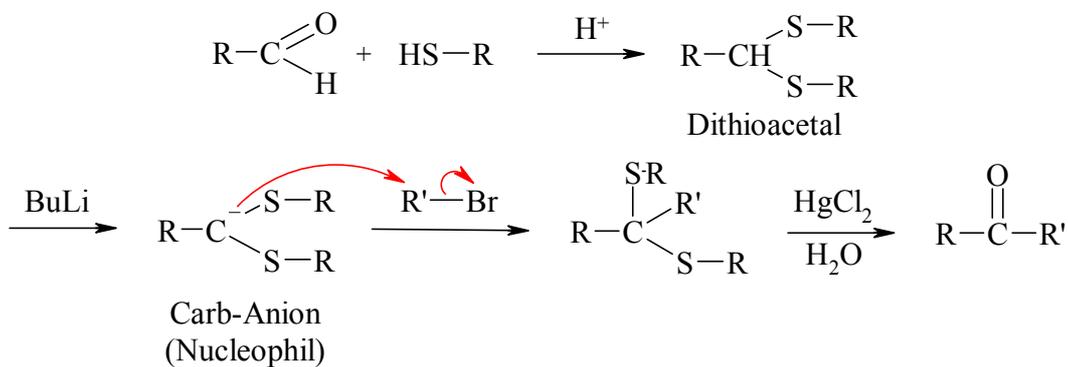


Normalerweise sind die hydratisierten bzw. mehrfach mit **Heteroatomen** substituierten Aldehyde nicht so stabil wie der eigentliche Aldehyd, allerdings gibt es Ausnahmen, falls es sich um einen elektronenziehenden Rest handelt:

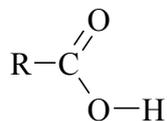


2.11.5 Acetale der Mercaptane

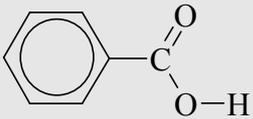
Mercaptane (R-SH) reagieren wie Alkohole (R-OH):

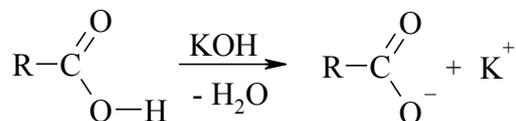
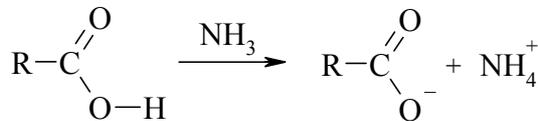
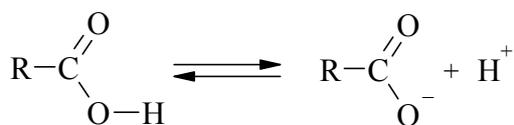


2.12 Carbonsäuren und deren Derivate



2.12.1 Beispiele

Strukturformel	Name
$\text{H}-\text{C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}-\text{H} \end{array}$	Ameisensäure (Methansäure)
$\text{H}_3\text{C}-\text{C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}-\text{H} \end{array}$	Essigsäure (Ethansäure)
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}-\text{H} \end{array}$	Propionsäure
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}-\text{H} \end{array}$	Buttersäure
	Benzoessäure
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}-\text{H} \end{array}$	Acrylsäure



2.12.2 Industrielle Herstellung

Carbonsäuren werden industriell aus

- Kohlenwasserstoffen,
- Aldehyden,
- Alkoholen sowie
- Alkoholen mit Kohlenmonoxid

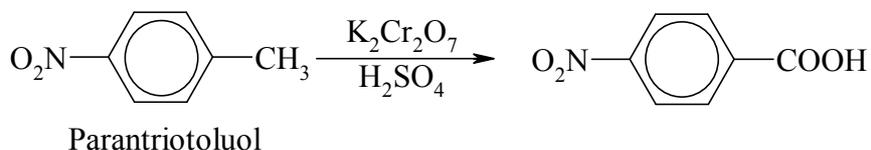
hergestellt.

2.12.3 Laborsynthesen

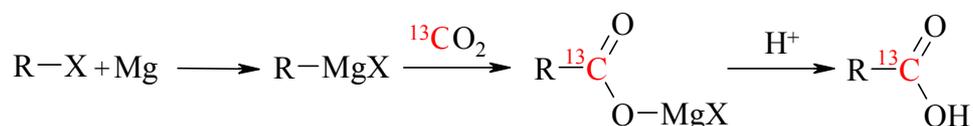
1. Oxidation primärer Alkohole



2. Oxidation von Alkylbenzolen



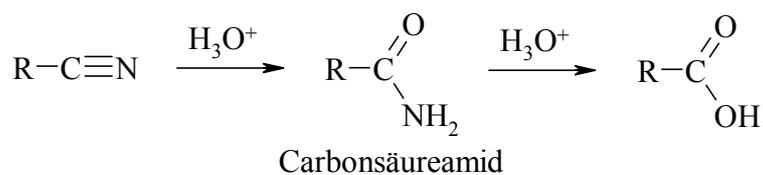
3. Grignard-Verbindungen + CO₂



Dies ist eine wichtige Methode zur Markierung, um zum Beispiel Metabolismen in der Natur zu erforschen.

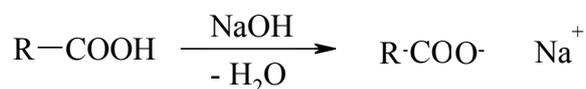


4. Hydrolyse von Nitrilen

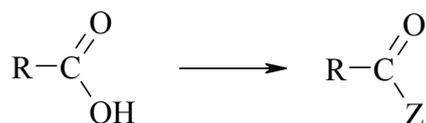


2.12.4 Reaktionen der Carbonsäuren

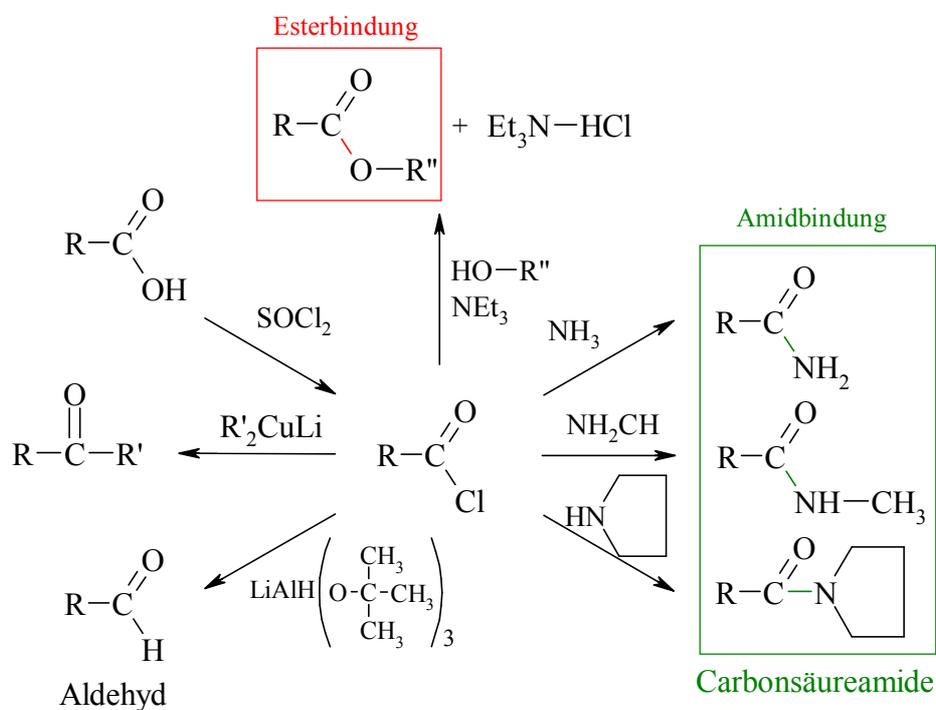
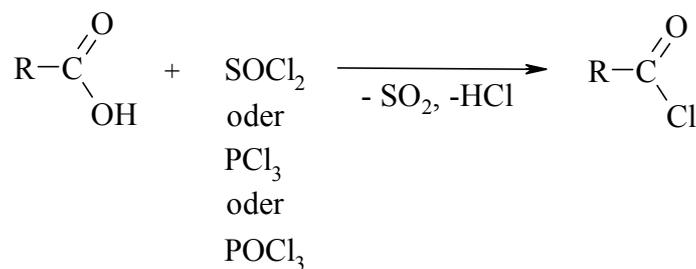
1. Salzbildung



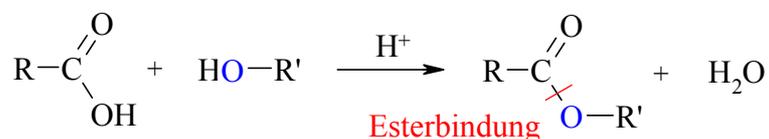
2. Ersatz der OH-Gruppe



Säurechloride

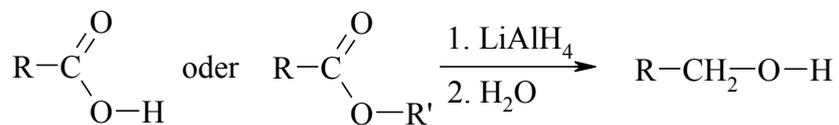


3. Reaktionen mit Estern und Amiden



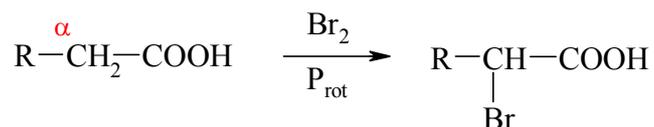
Die Reaktionsgeschwindigkeit nimmt hierbei mit zunehmendem Substitutionsgrad ab:
primär > sekundär > tertiär.

4. Reduktion

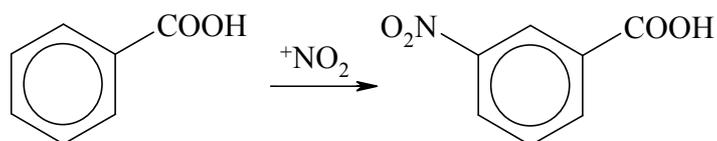


5. Substitutionsreaktionen

a) Halogenierung in α -Stellung

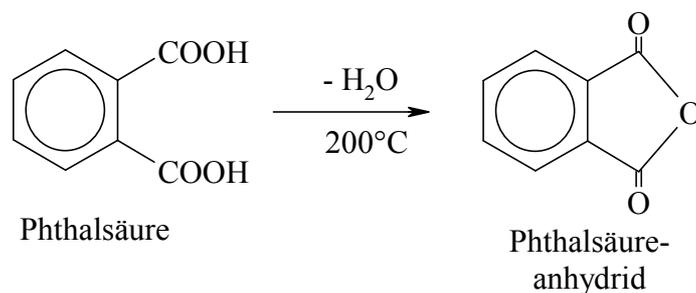
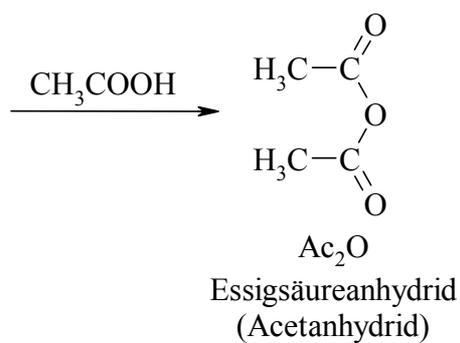
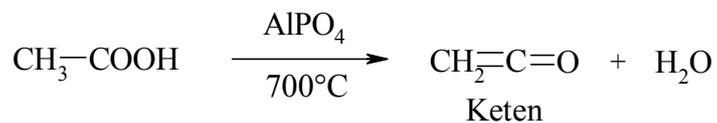


b) aromatische Carbonsäuren

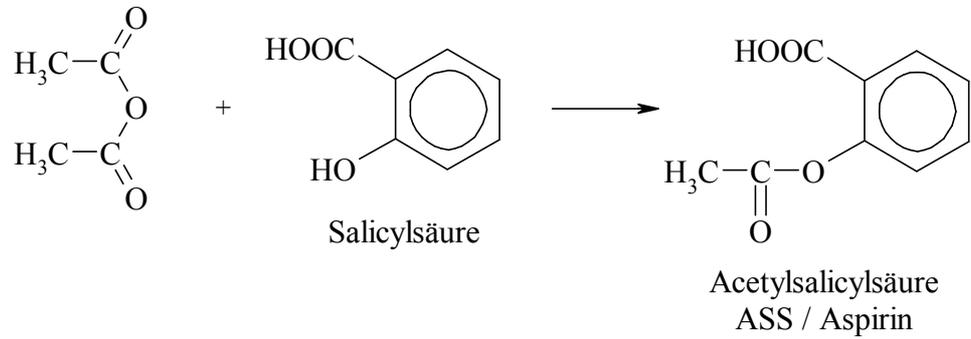


2.12.5 Carbonsäureanhydride

1. Industrielle Herstellung

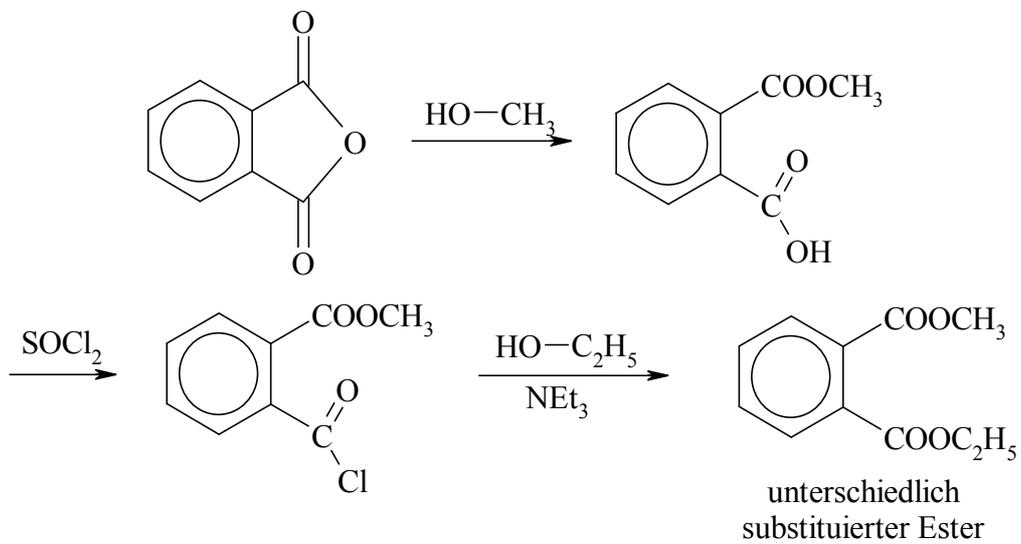
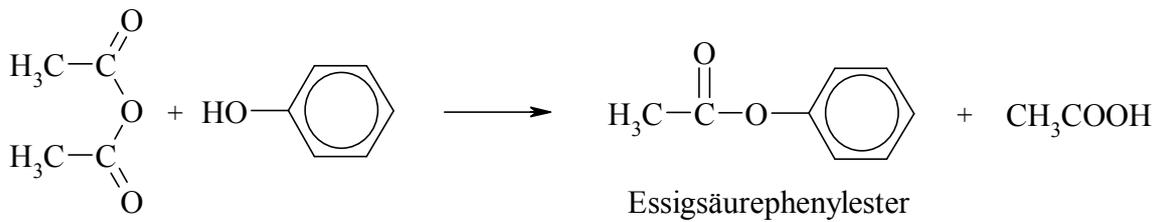


Aspirin®-Herstellung

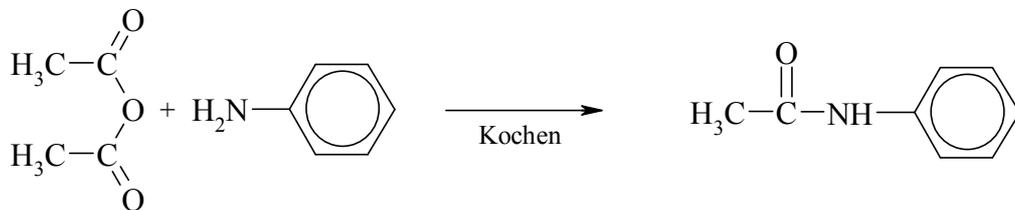


2. Reaktionen

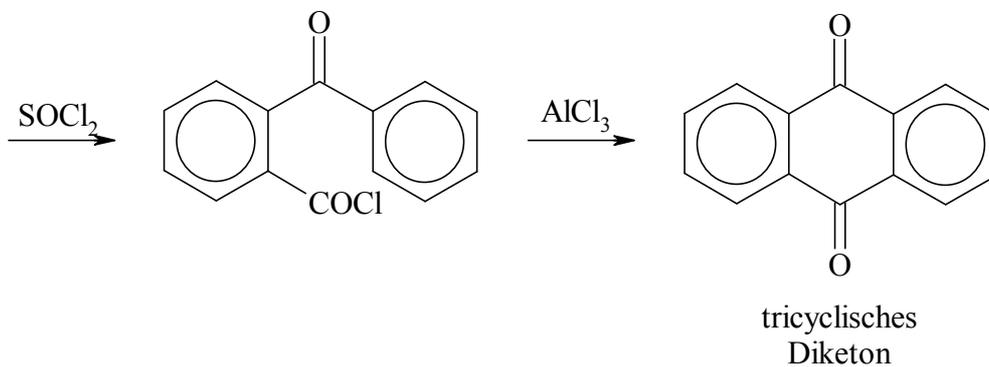
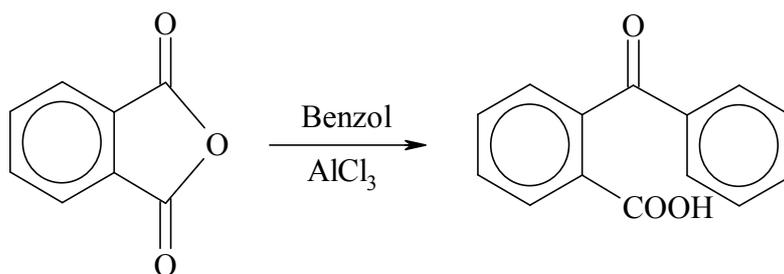
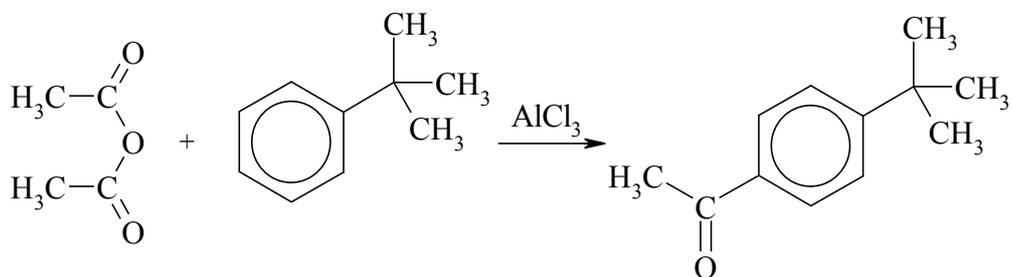
a) Esterbildung



b) Reaktion mit Amiden

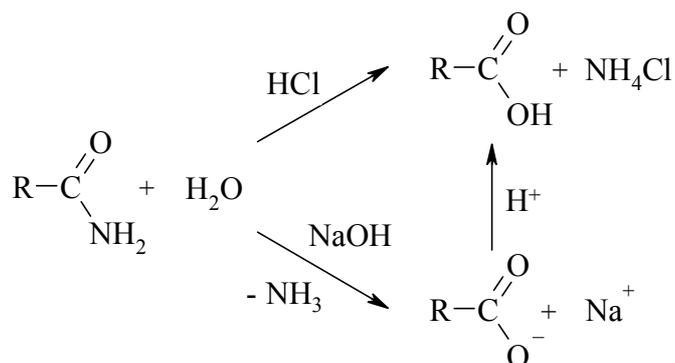


c) Friedel-Crafts-Acylierung



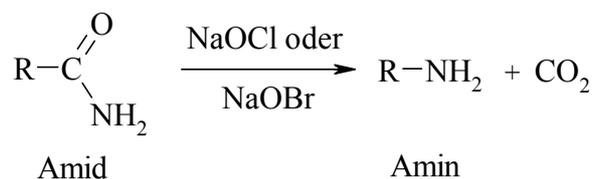
2.12.6 Reaktionen der Carbonsäureamide

1. Hydrolyse



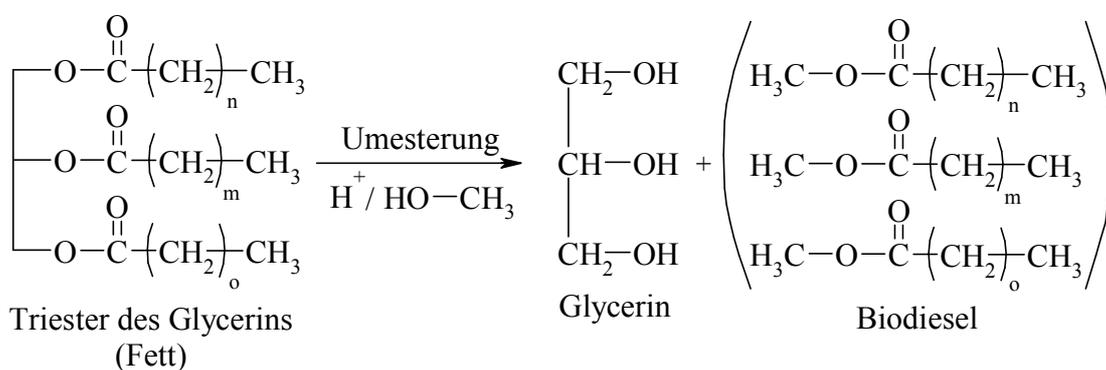
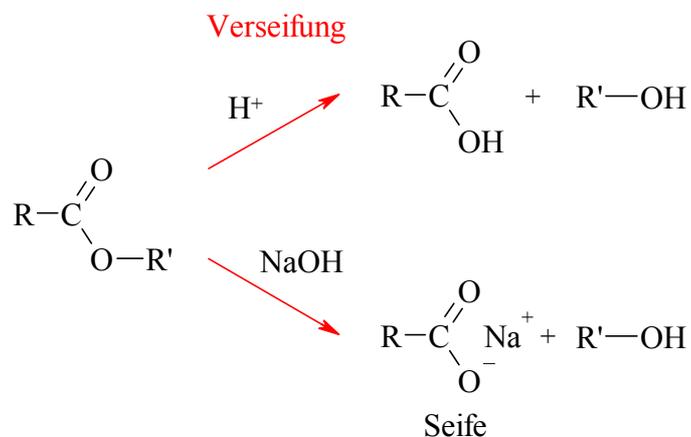
2. Hofmann-Abbau

Die Kohlenstoffkette wird an der funktionellen Gruppe um ein C-Atom verkürzt.



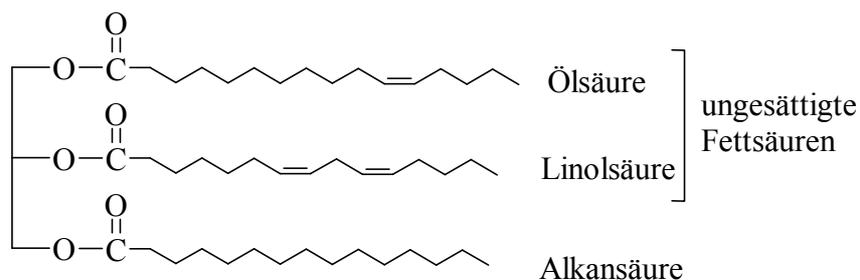
2.12.7 Reaktionen der Ester

1. Hydrolyse



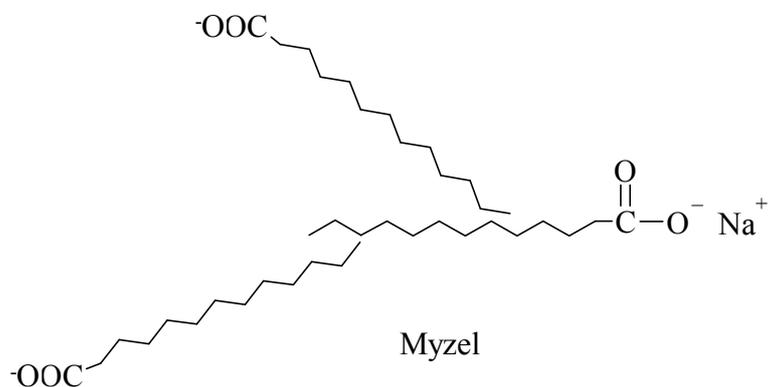
12 < n,m,o < 20
n,m,o gerade

Interessant hierbei ist, dass infolge der vermehrten Erzeugung von Biodiesel der Preis des ‚Nebenproduktes‘ Glycerins von 1 €/kg im Jahre 2003 auf 0,5 €/kg gesunken ist.

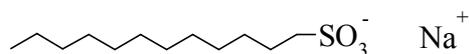


Exkurs - Warum man Seife nicht für die Haare benutzt

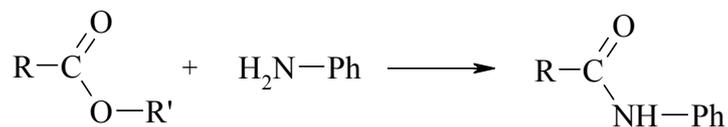
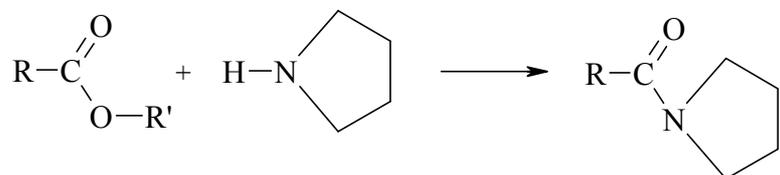
Seife ist zum einen alkalisch (Brennen in den Augen), und bildet außerdem noch wasserunlösliche Calcium- und Magnesiumsalze der Fettsäuren:



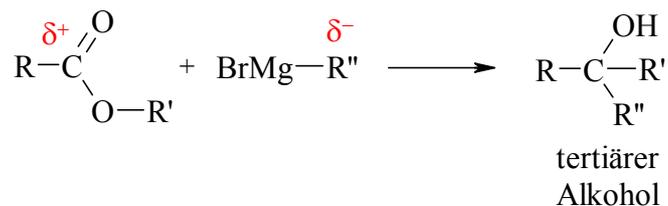
Dies wird bei Emulgatoren zur Homogenisierung von organischen Verbindungen in Wasser benutzt. Statt Fettsäuren bzw. deren Salzen verwendet man stattdessen Alkylsulfonate (Tenside), deren Ca- / Mg- Salze wasserlöslich sind:



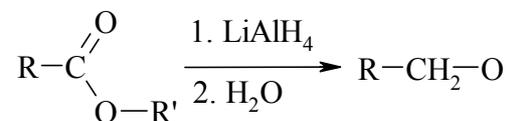
2. Aminolyse



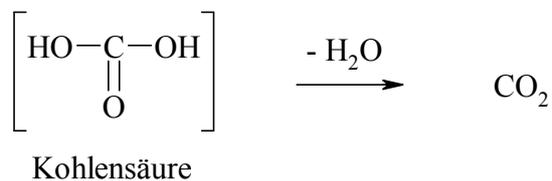
3. Reaktion mit Grignard-Verbindungen



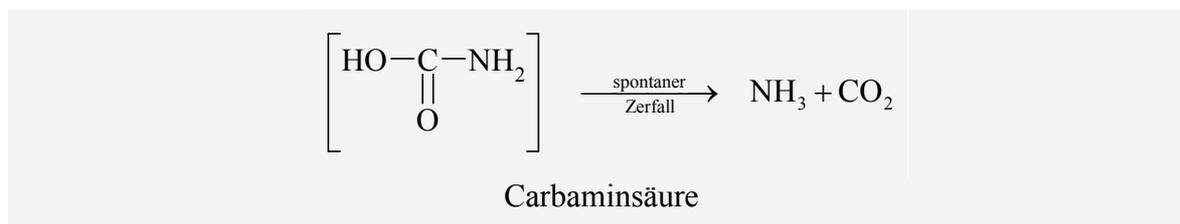
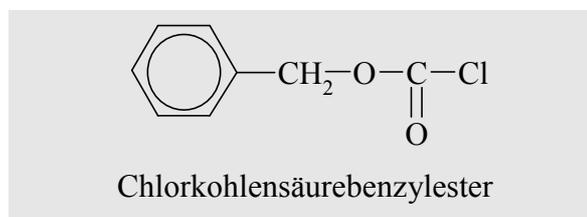
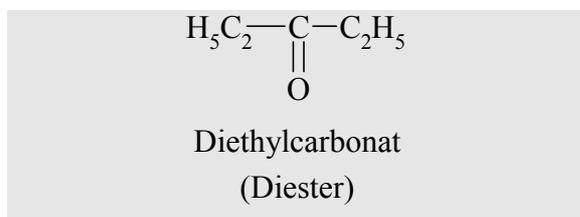
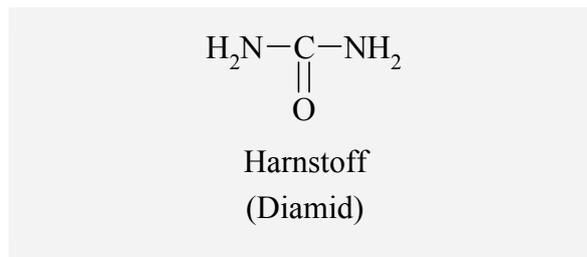
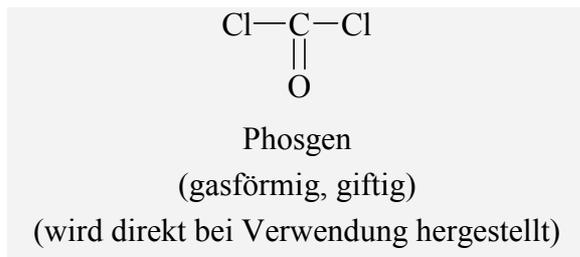
4. Reduktion mit LiAlH_4



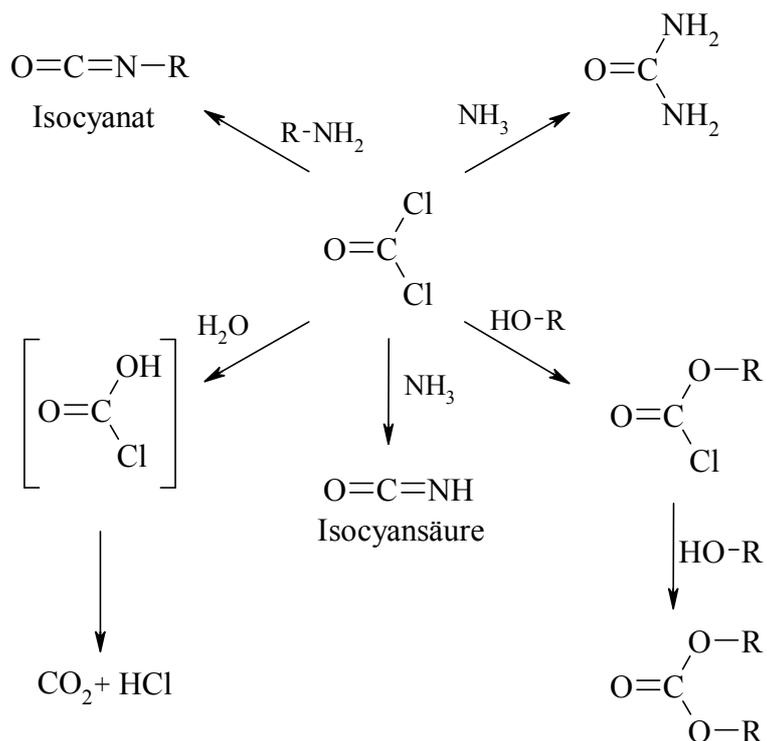
2.12.8 Kohlensäurederivate



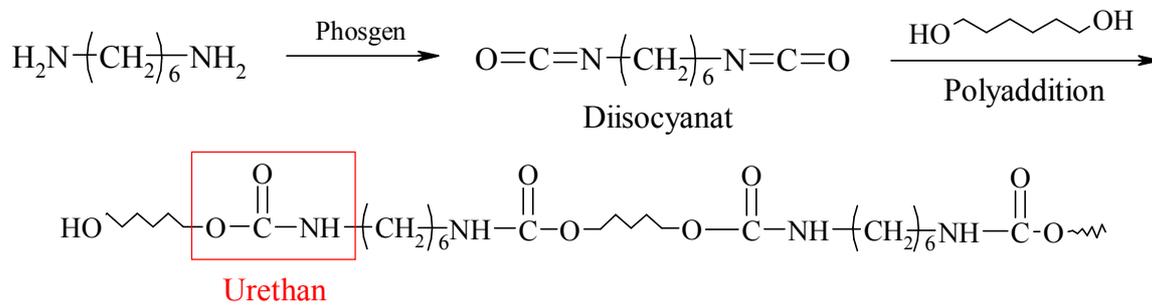
1. Beispiele



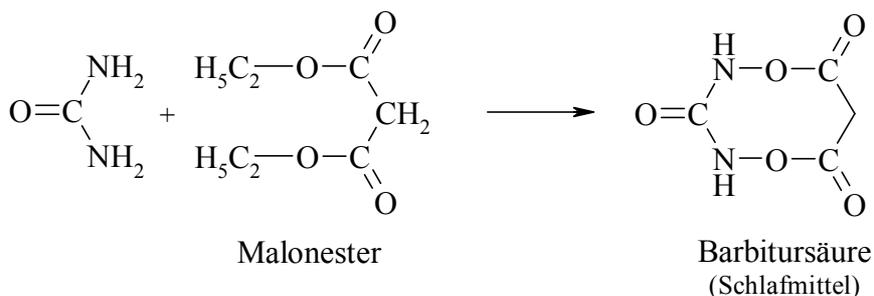
Isocyanat, Isocyansäure



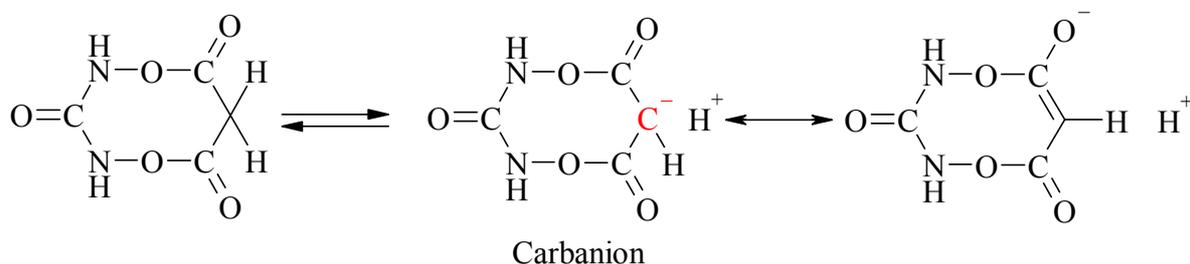
2. Anwendungsbeispiele



Polyurethan
(Verwendung u.a. als Bauschaum)

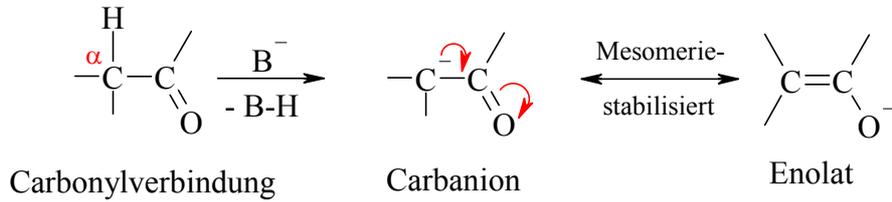


Warum Barbitur-,Säure'? Urethan, Polyurethan, Malonester, Barbitursäure



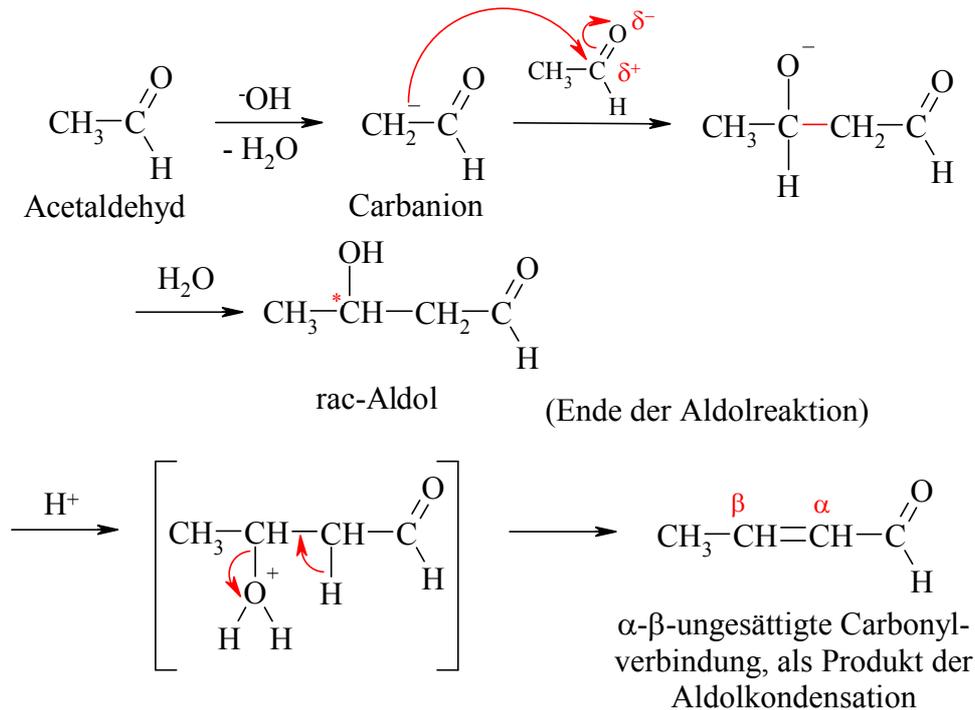
Das rote C-Atom besitzt zwei Carbonylgruppen als Substituenten, wodurch ein (-)-I-Effekt resultiert.

2.13 Carbanionen I

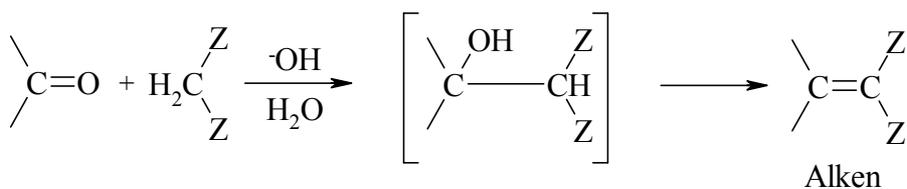


2.13.1 Anwendungen

1. Aldolreaktion, Aldolkondensation



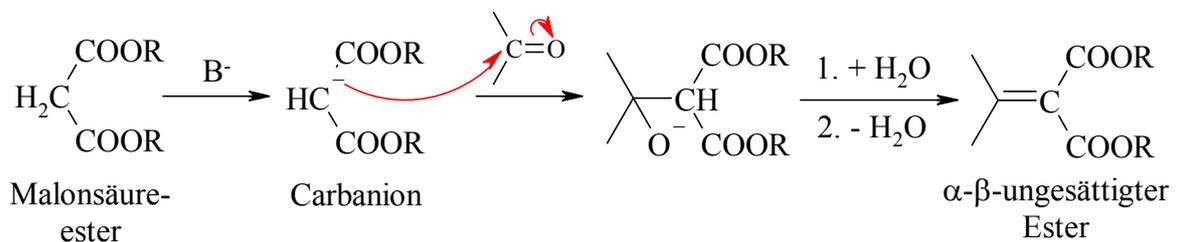
2. Knoevenagel-Kondensation



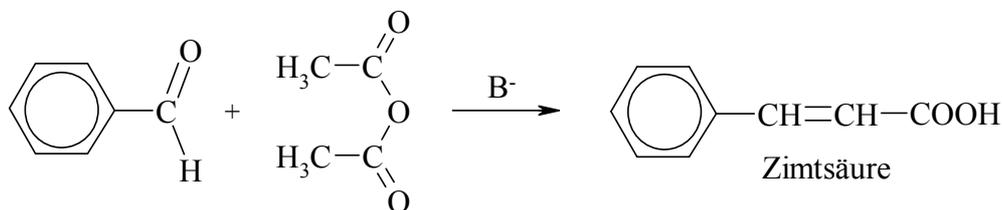
Es entsteht das analoge Reaktionsprodukt des rac-Aldols.

Z ist ein elektronenziehender Substituent wie z.B. $-\text{COOR}$, $-\text{CN}$, $\begin{array}{c} \text{---C---H} \\ || \\ \text{O} \end{array}$, $\begin{array}{c} \text{---C---R} \\ || \\ \text{O} \end{array}$,

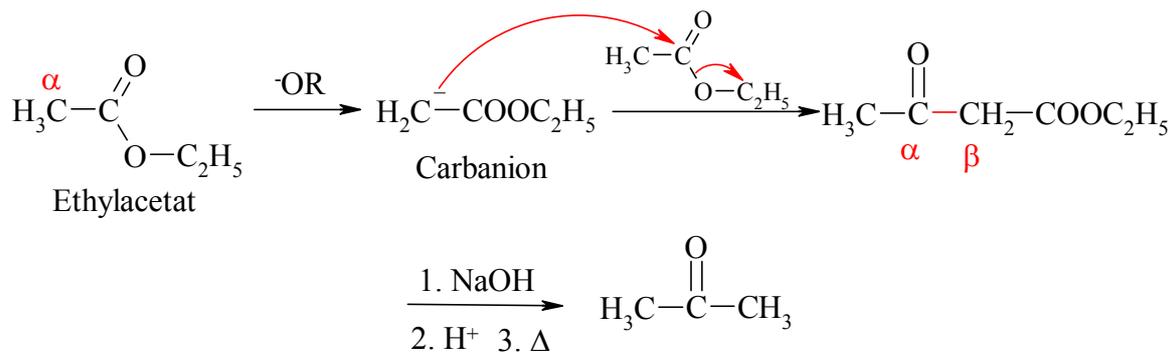
Mechanismus



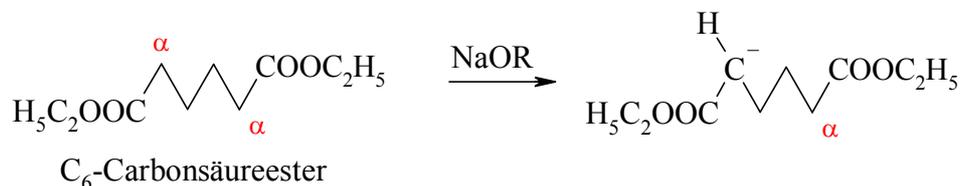
3. Perkin-Kondensation



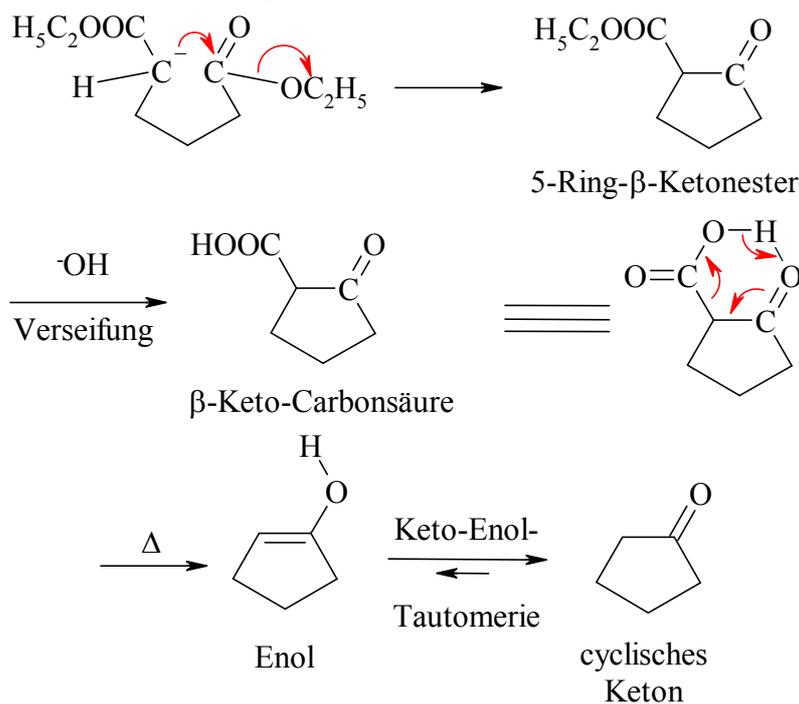
4. Claisen-Kondensation



5. Dieckmann-Kondensation (innermolekulare Claisen-Kondensation)



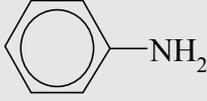
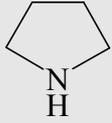
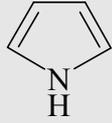
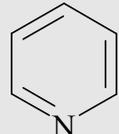
Letzteres Produkt lässt sich auch folgendermaßen aufschreiben:

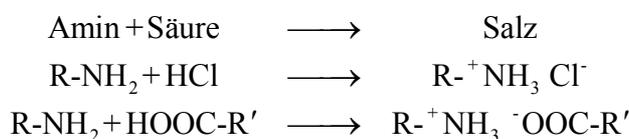


In der Regel sind OH-Gruppen an C-C-Doppelbindungen instabil.

2.14 Amine

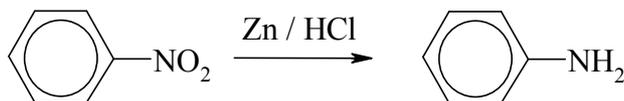
2.14.1 Beispiele

$\text{CH}_3\text{-NH}_2$ Methylamin (primär)	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ Dimethylamin (sekundär)	$(\text{CH}_3)_3\text{N}$ Trimethylamin (tertiär)	$(\text{CH}_3)_4\text{N}^+ \text{Cl}^-$ Tetramethyl- ammoniumchlorid (quartär)
 Anilin	 Pyrrolidin	 Pyrrol	 Pyridin

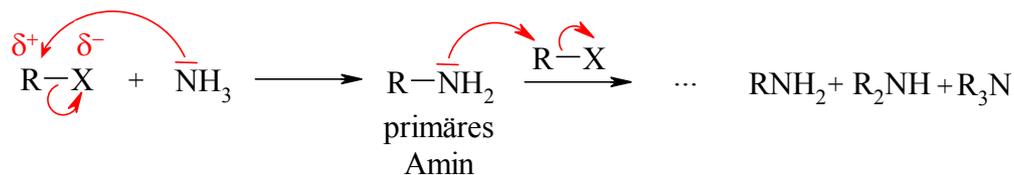


2.14.2 Darstellung der Amine

1. Reduktion von Nitroverbindungen

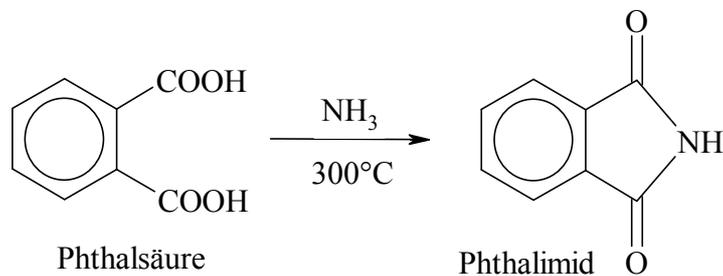


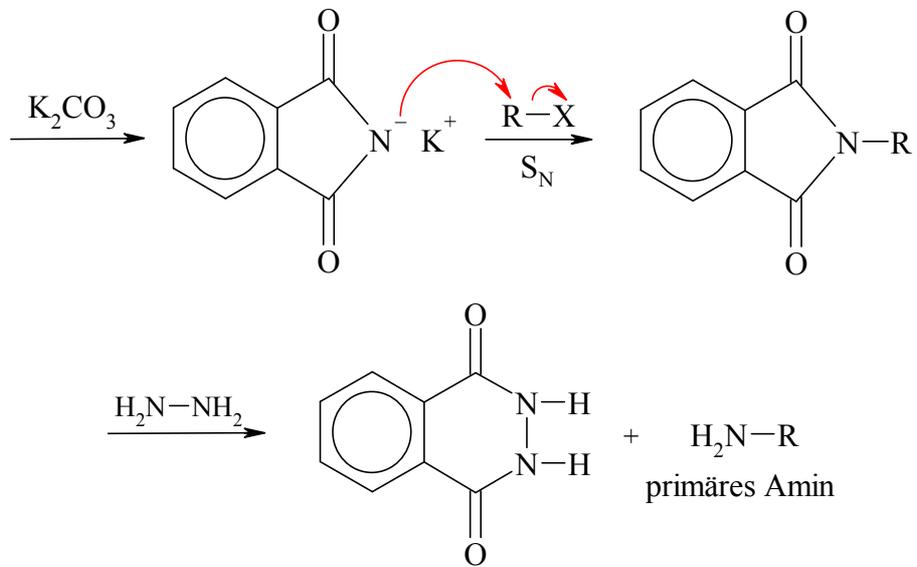
2. Alkylhalogenide + NH_3 (ergibt Gemische)



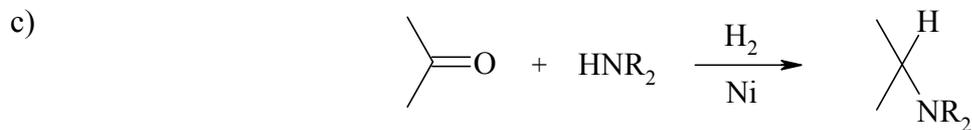
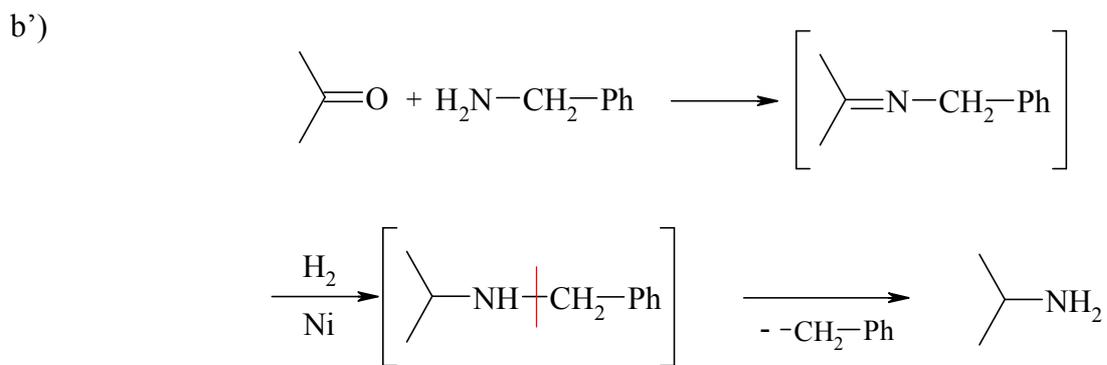
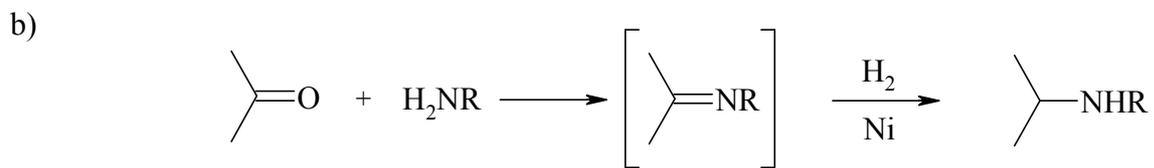
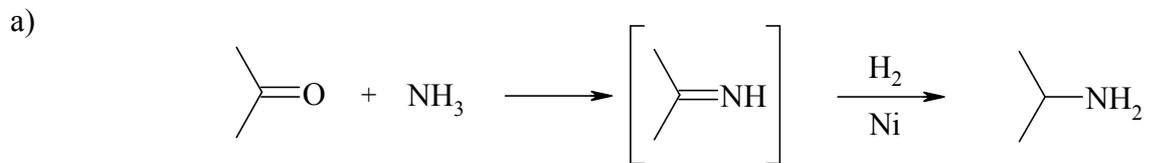
Das Stickstoffatom ist hierbei durch den (+)-I-Effekt elektronenreicher.

gezielte Herstellung primärer Amine durch Gabriel-Synthese

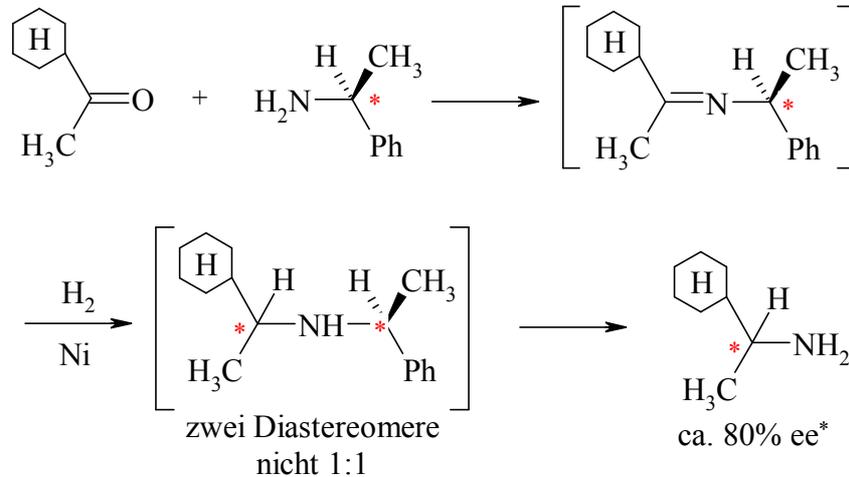




3. Reduktive Aminierung

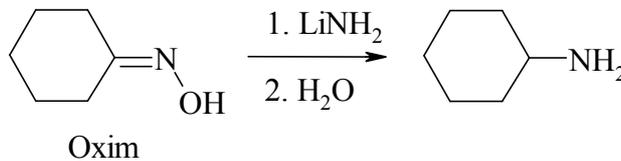


Modernes Beispiel für b').

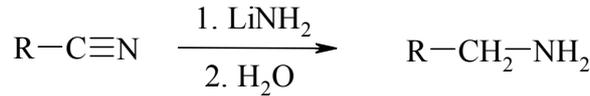


*ee = Enantiomerenüberschuss

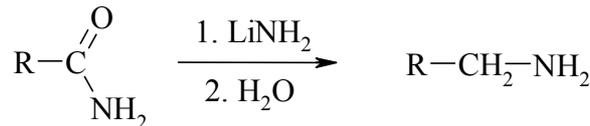
4. Reduktion von Oximen



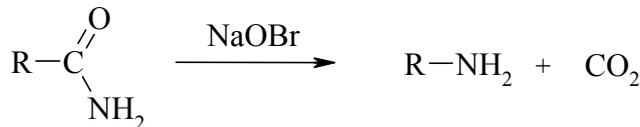
5. Reduktion von Nitrilen



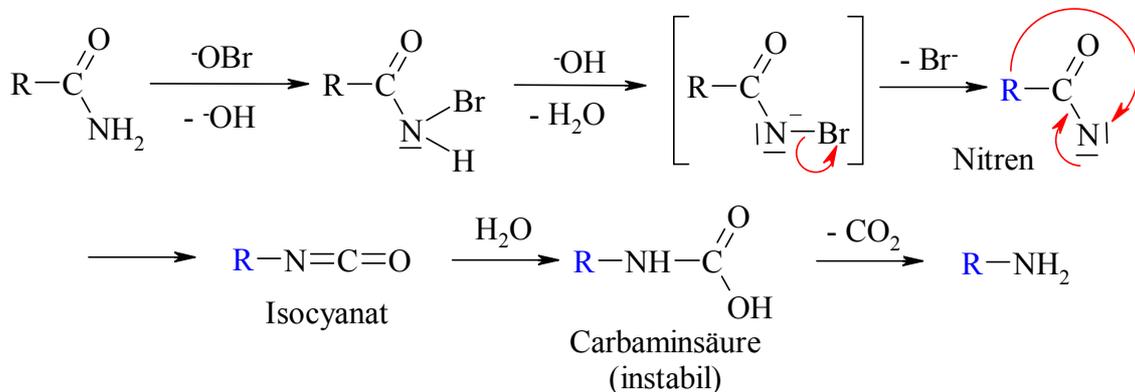
6. Reduktion von (Carbonsäure-) Amiden



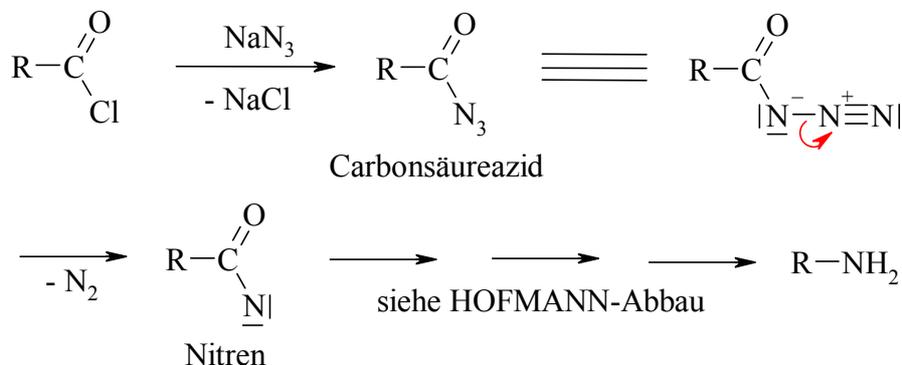
7. Hofmann-Abbau



Mechanismus

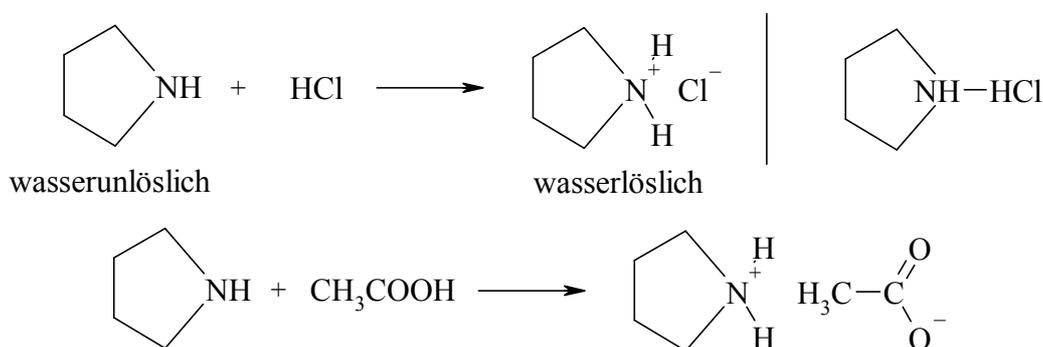


8. Curtius-Abbau



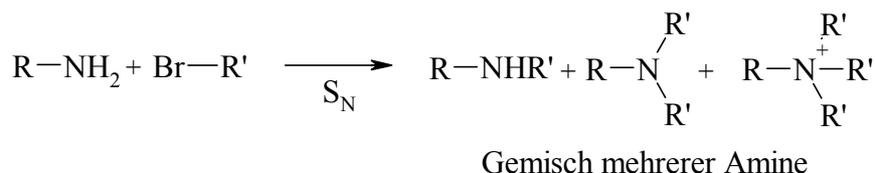
2.14.3 Reaktionen der Amine

1. Salzbildung



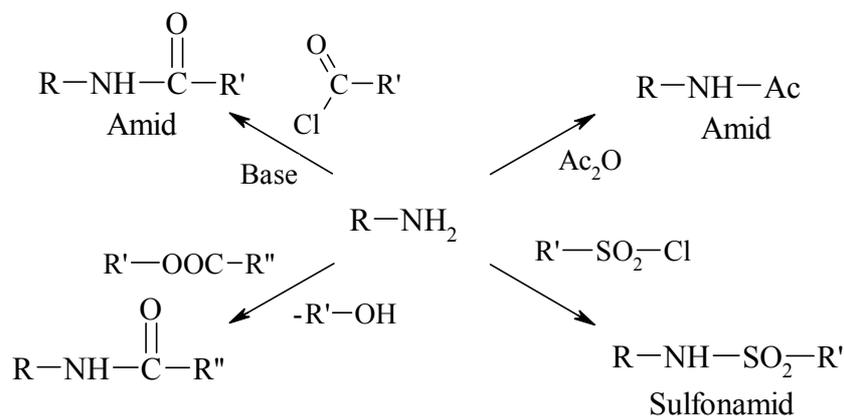
Diese Salzbildung wird bei Pharmazeutika ausgenutzt, um an sich wasserunlösliche Stoffe durch ihre Salze in Wasser lösen zu können.

2. Alkylierung

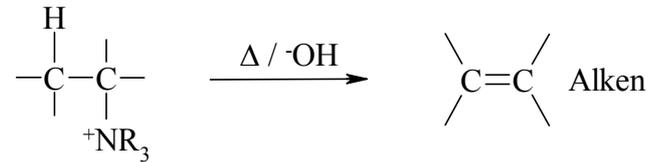


Bei großen Resten können manche der entstehenden Amine aufgrund sterischer Hinderung nicht gebildet werden.

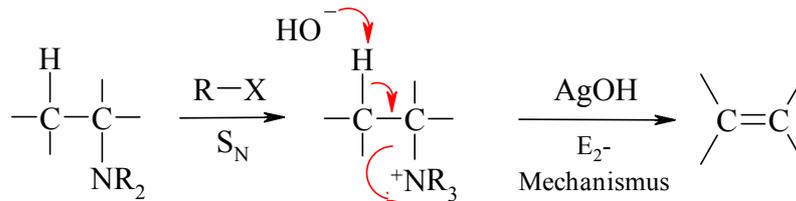
3. Umwandlung zu Amiden



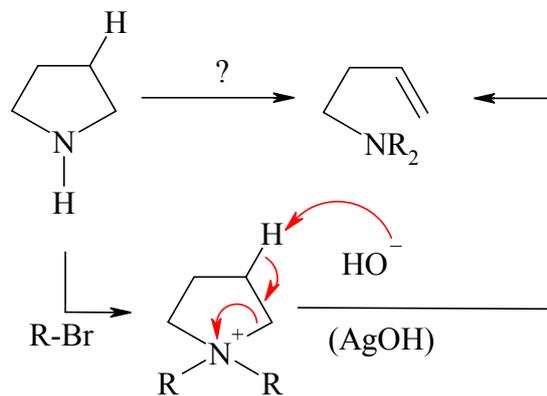
4. Hofmann-Eliminierung quartärer Ammoniumsalze



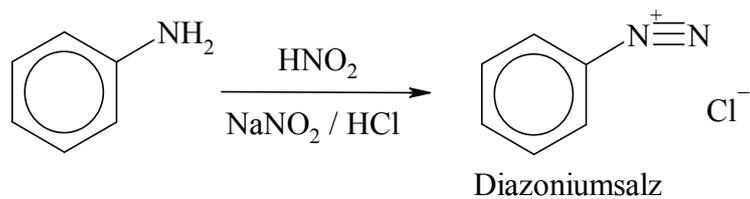
Details



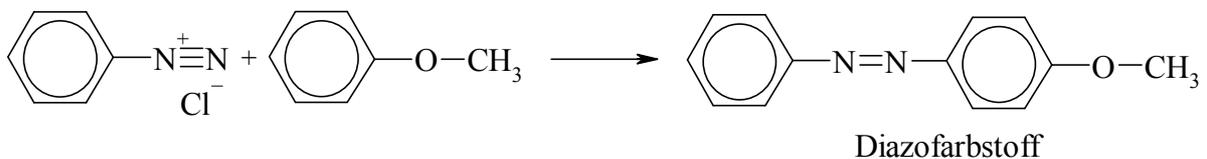
Beispiel



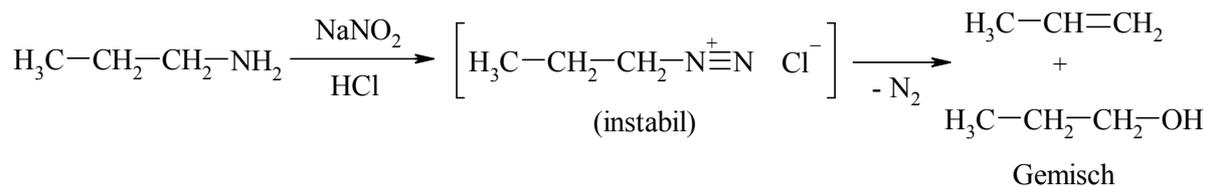
5. Reaktion mit HNO₂



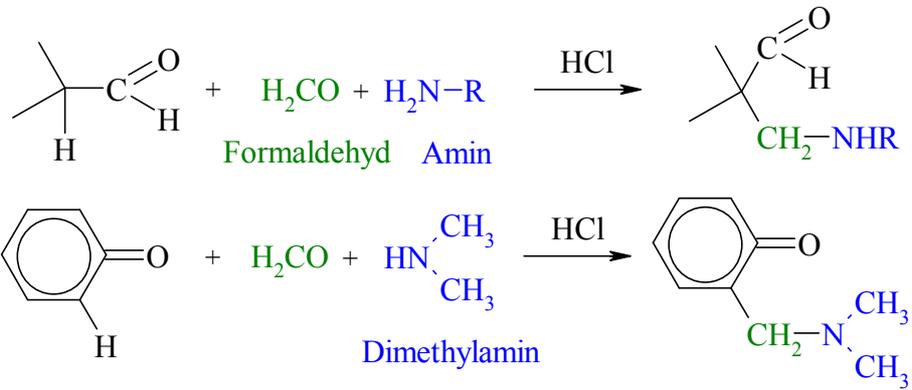
Normalerweise sind Diazoniumsalze instabil, allerdings ist dieses spezielle Salz durch den Aromaten mesostabilisiert und ist daher bei Temperaturen unter 0°C stabil.



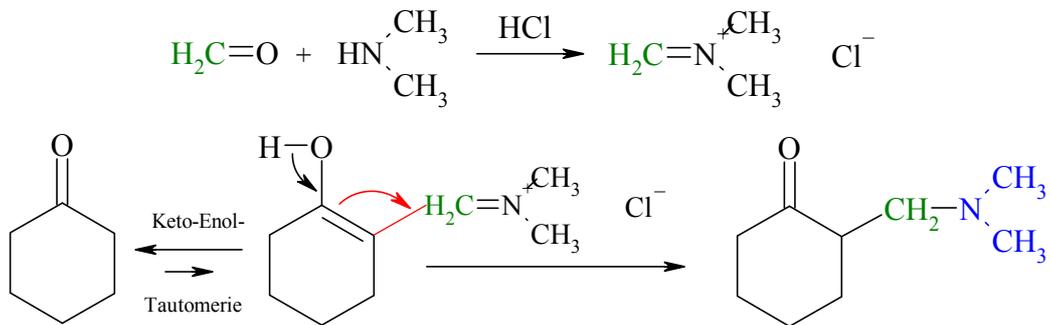
Diazofarbstoffe werden zur Färben von Textilien und Leder verwendet, wobei eine breite Vielfalt an Farben durch unterschiedliche Substituenten an den beiden Ringsystemen möglich ist. Allerdings stehen diese Stoffe auch im Verdacht krebserregend zu sein und wurden deshalb, zumindest in Deutschland, verboten.



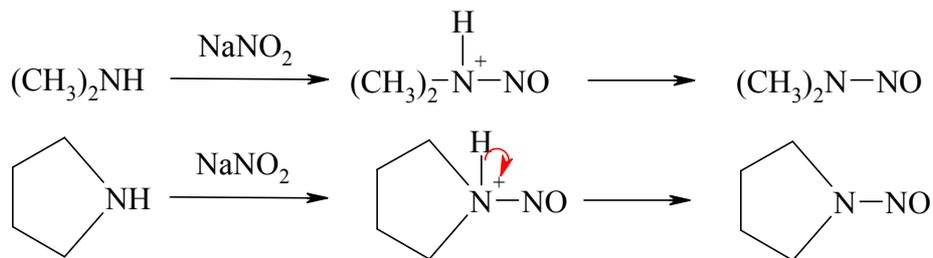
6. Mannich-Reaktion



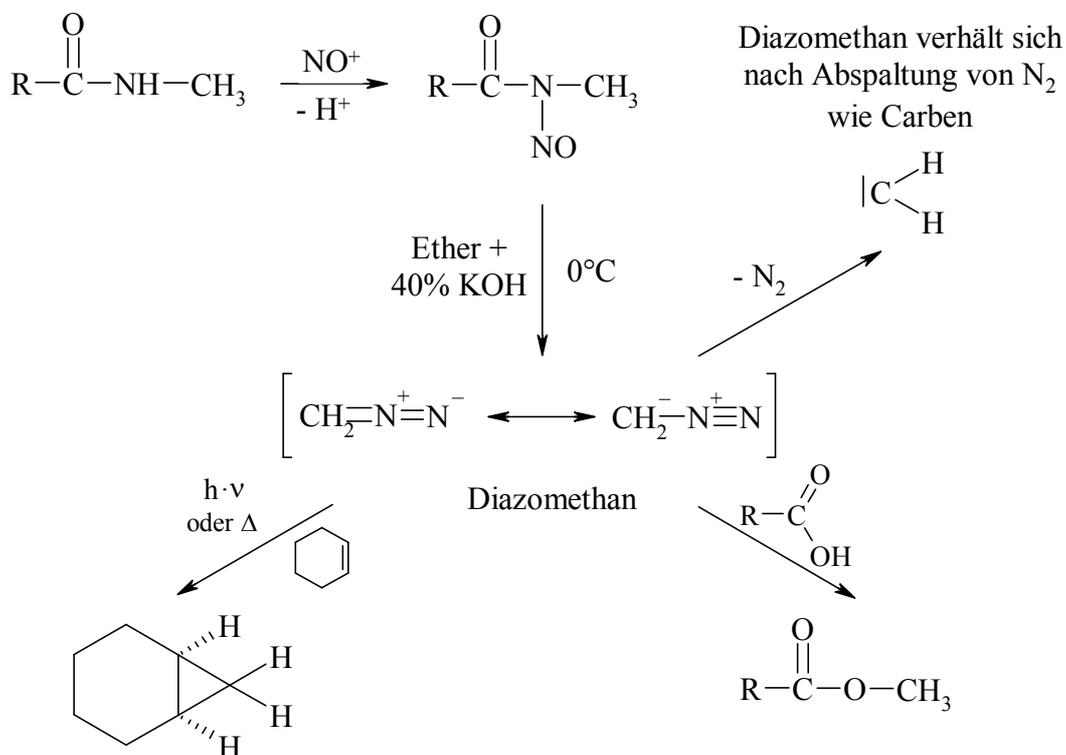
Mechanismus



7. Nitrosamine

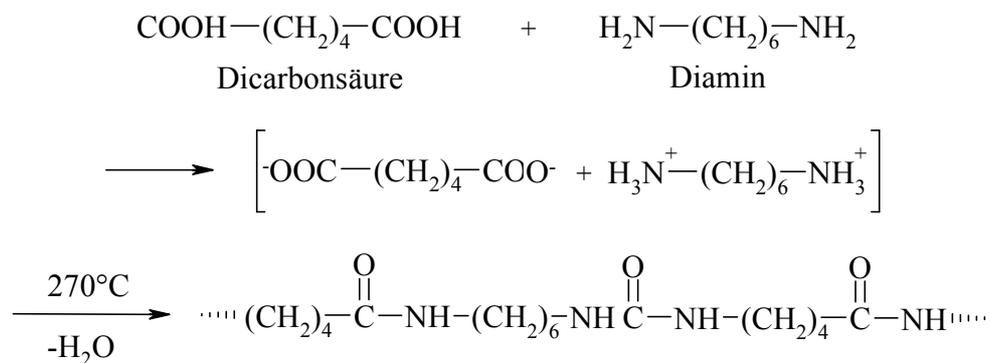


Beide Endprodukte sind krebserregend, und tauchen teilweise in Lebensmitteln wie z.B. gebratenem Fleisch auf.

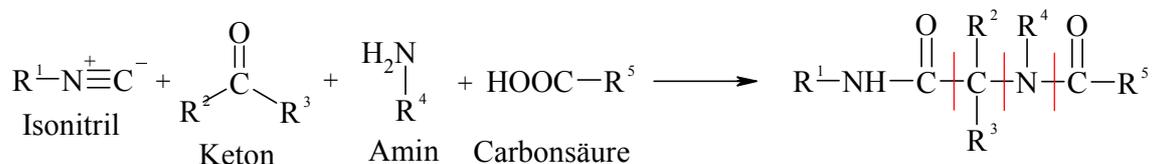


Die hier dargestellte Estersynthese ist eine besonders ‚milde‘ Variante, da sie ohne starke Säuren und Hitze auskommt.

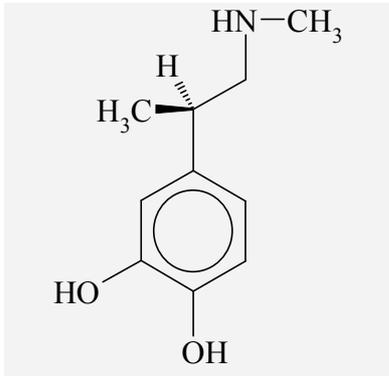
8. Herstellung von Nylon 66 (Polyamid)



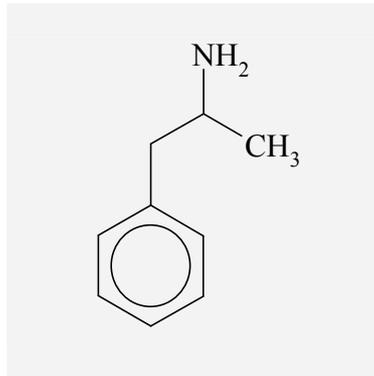
9. UGI-Reaktion



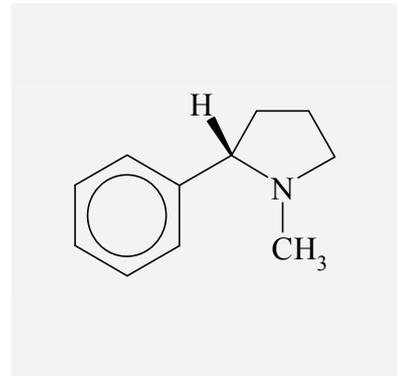
2.14.4 Physiologisch wichtige Amine



Adrenalin



Amphetamin
(Verwendung als
Dopingmittel)

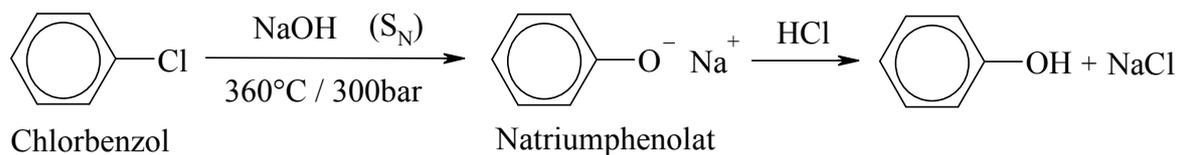


Nikotin
(ein Alkaloid, reagieren
schwach basisch)

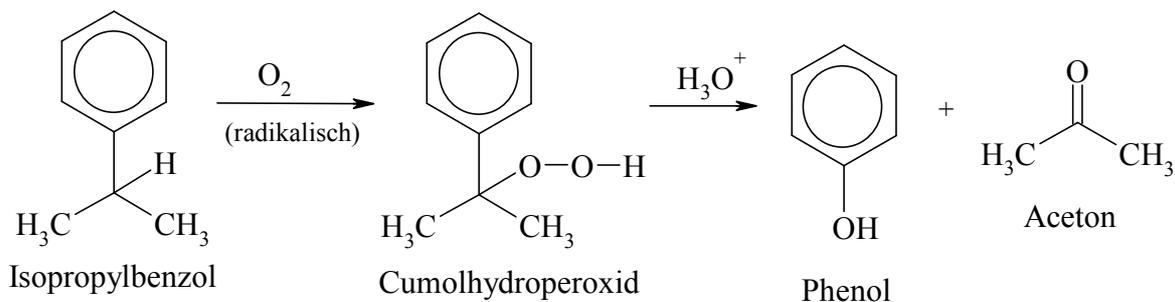
2.15 Phenole

2.15.1 Synthesen

1.

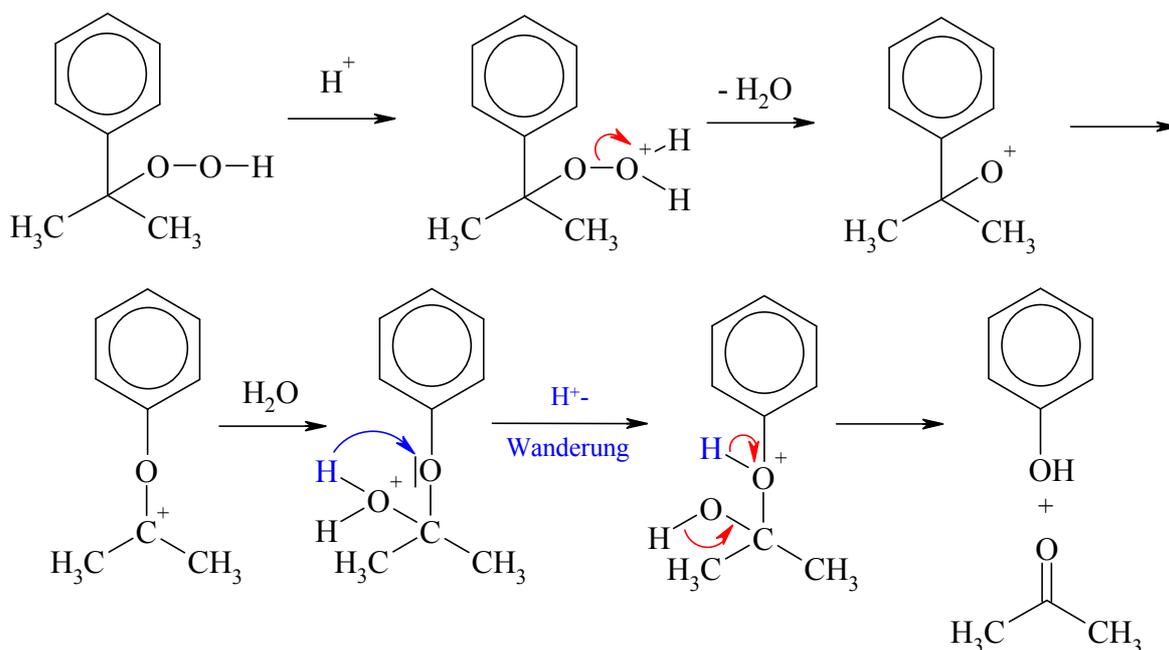


2. Cumol-Verfahren

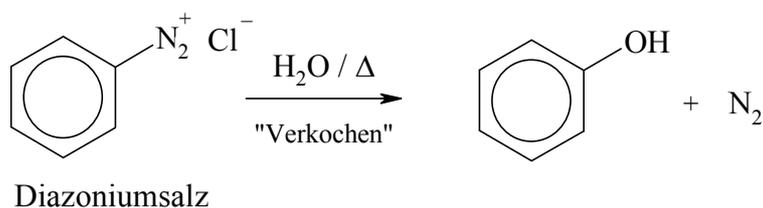


Das hierbei entstehende Kopplungsprodukt Aceton deckt ca. 90% des Bedarfs in Laboratorien.

Mechanismus

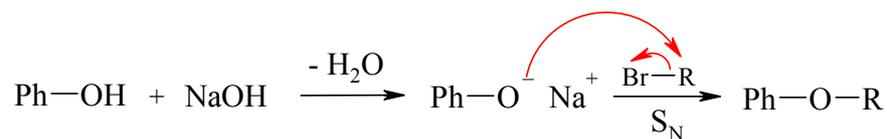


3. Hydrolyse von Diazoniumsalzen

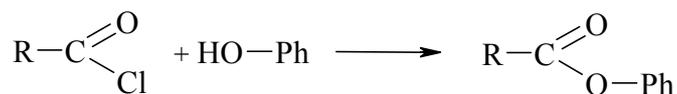
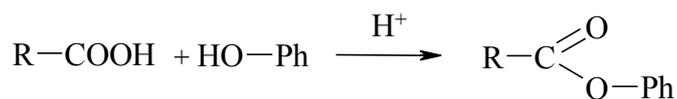


2.15.2 Reaktionen der Phenole

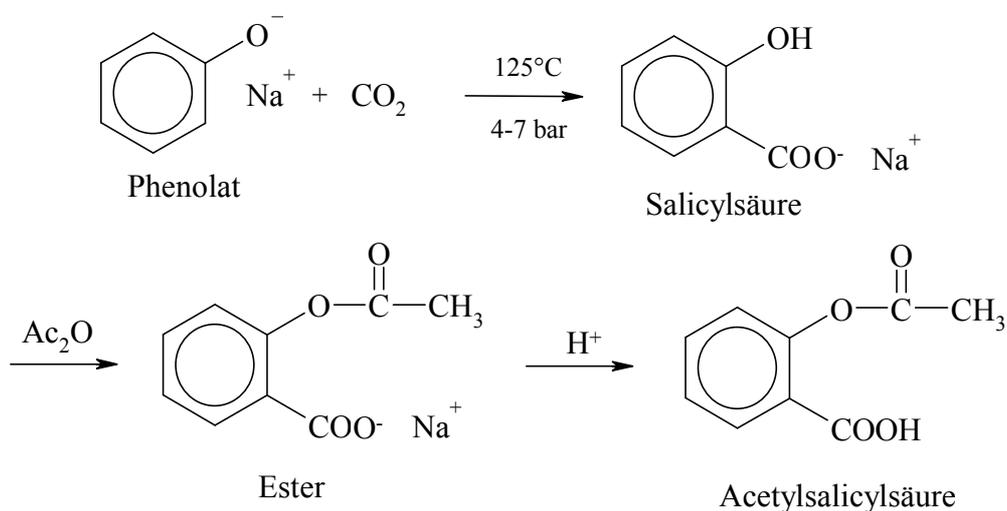
1. Salzbildung



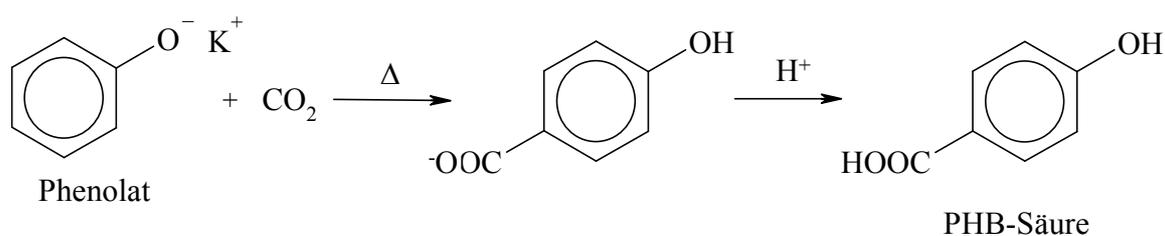
2. Esterbildung



3. Ringsubstitution

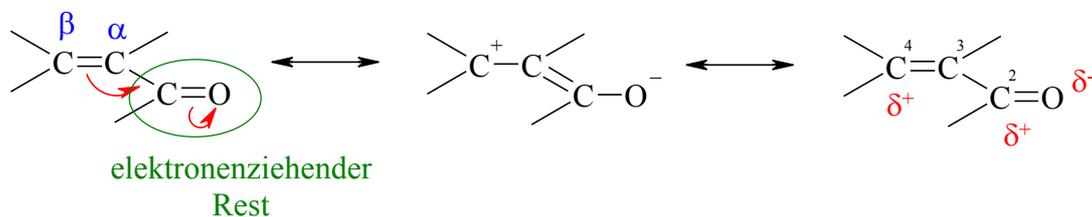


Die OH-Gruppe dirigiert in diesem Fall in ortho- bzw. para-Stellung. Ersteres wird zum Beispiel durch Kaliumionen sterisch verhindert.

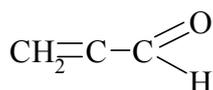


Die PHB-Säure wird weiter zu PHB-Estern umgewandelt, die als Konservierungsmittel verwendet werden.

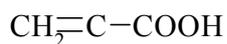
2.16 $\alpha - \beta$ ungesättigte Carbonylverbindungen



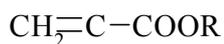
2.16.1 Beispiele



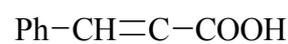
Acrolein



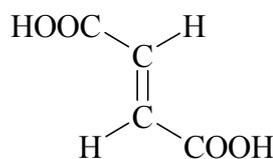
Acrylsäure



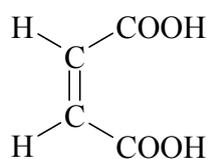
Acrylsäureester



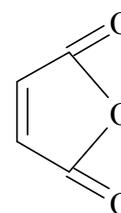
Zimtsäure



Fumarsäure



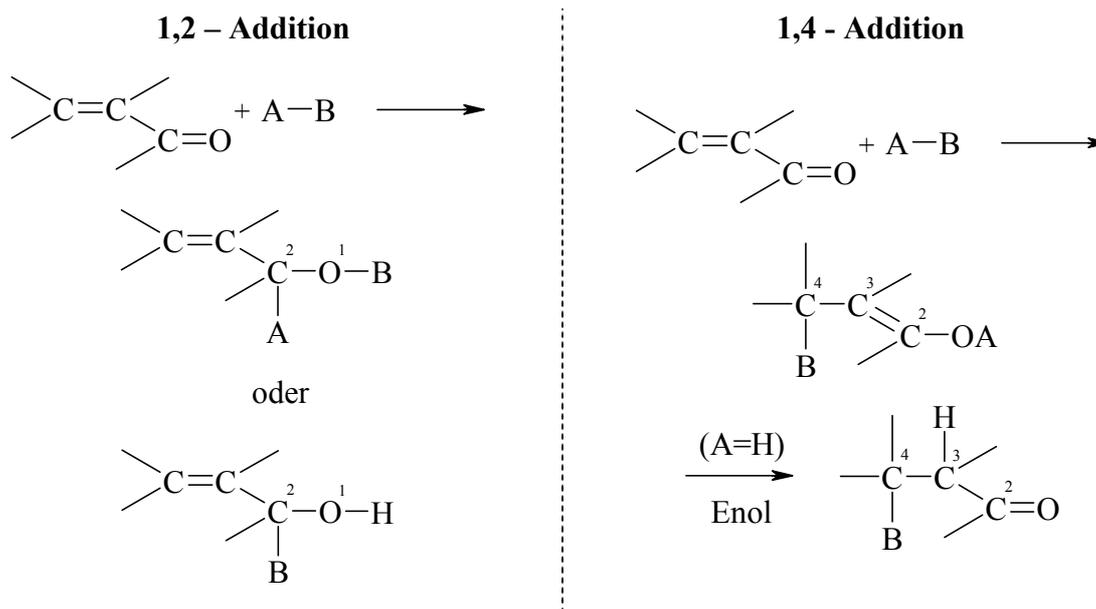
Maleinsäure



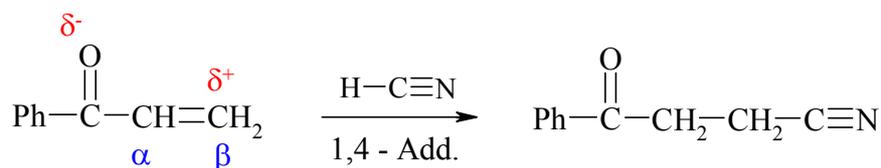
Maleinsäureanhydrid

2.16.2 Reaktionen von $\alpha - \beta$ ungesättigten Carbonylverbindungen

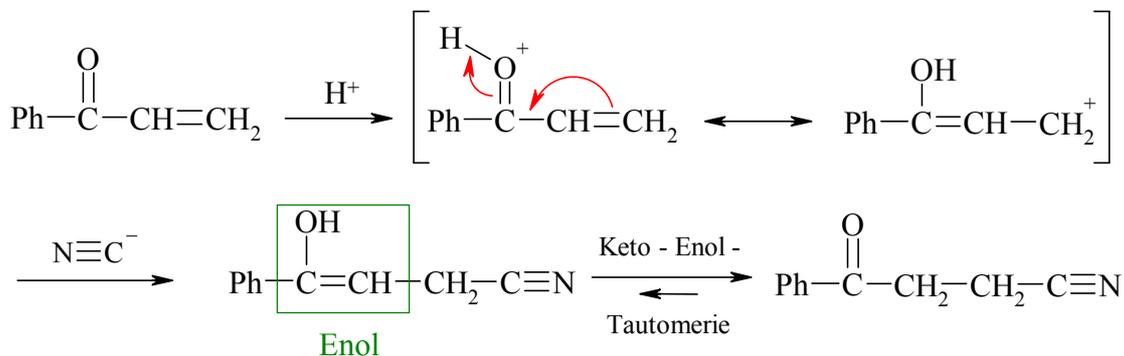
Konkurrenz zwischen 1,2- und 1,4- Addition



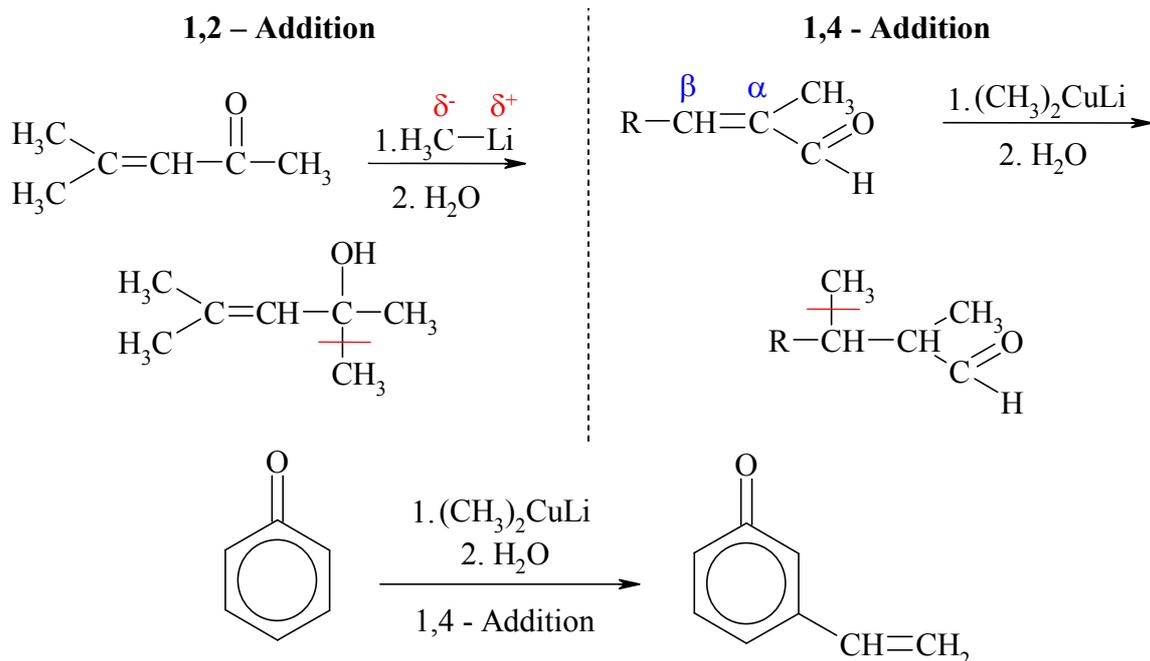
1. Blausäureaddition



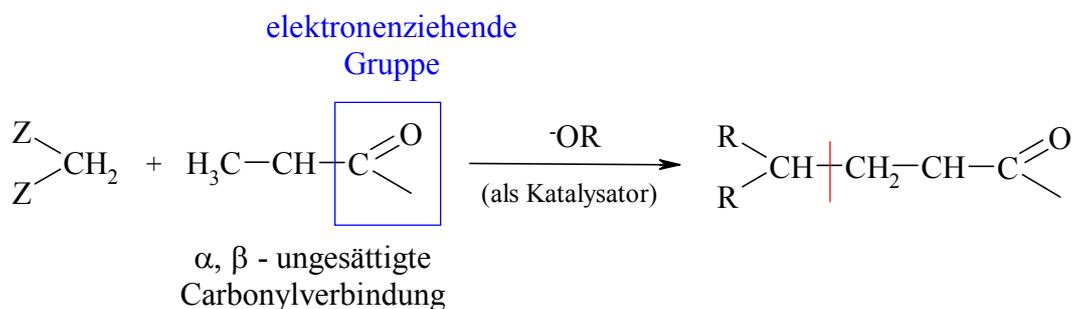
Mechanismus



2. Metallorganische Reagenzien

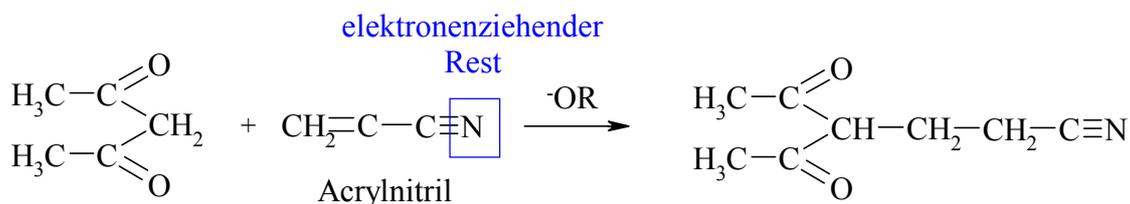


4. Michael-Addition

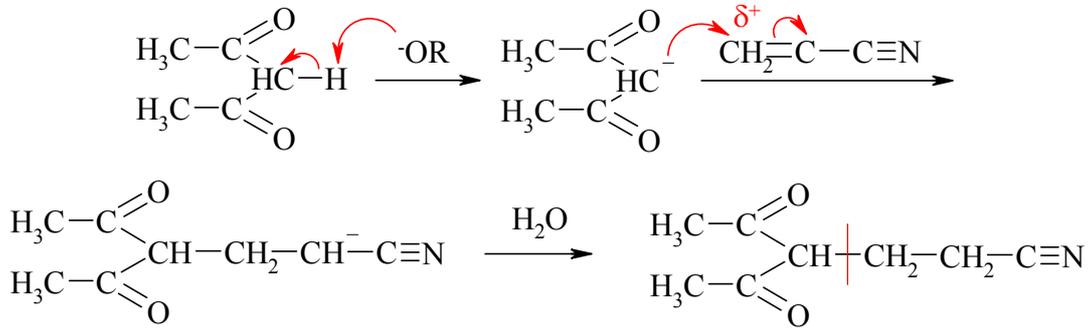


Beim Z₂CH₂ kann leicht ein Proton abgespalten werden, wodurch sich leicht ein Carbanion bilden kann.

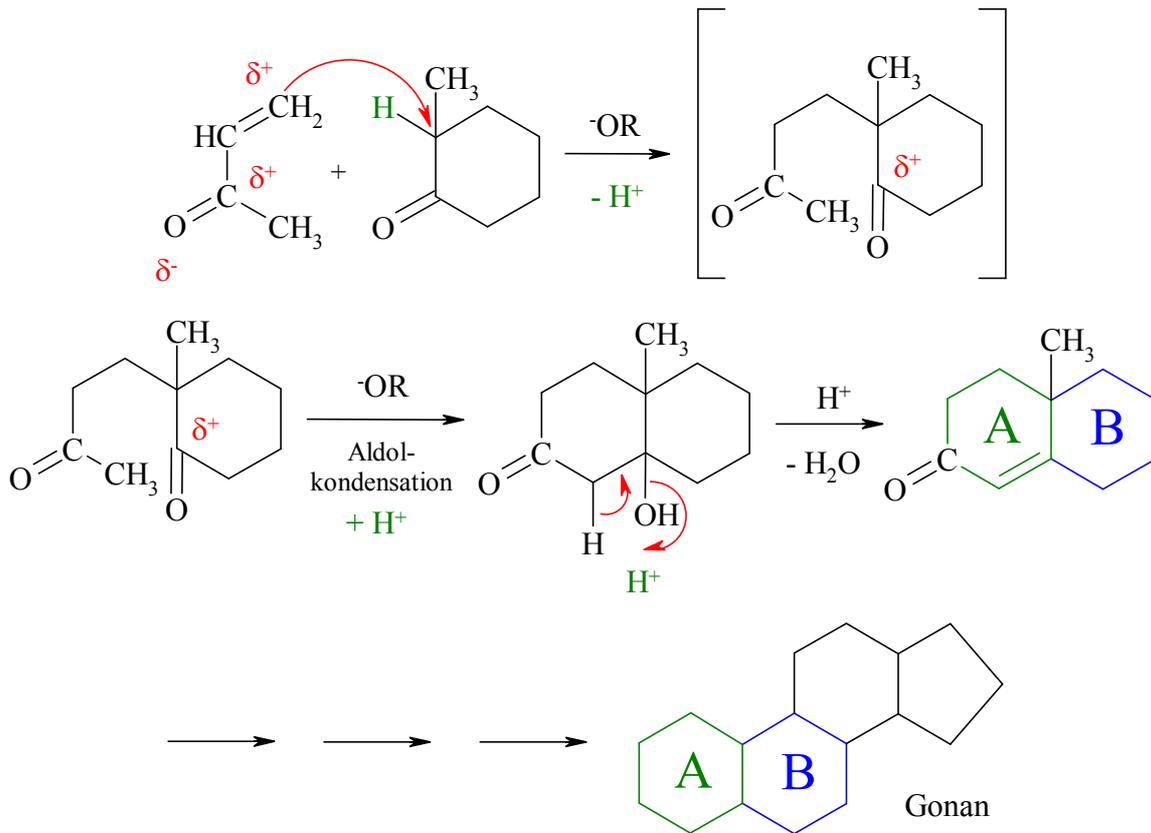
Beispiele



Mechanismus



5. Robinson-Anelierung

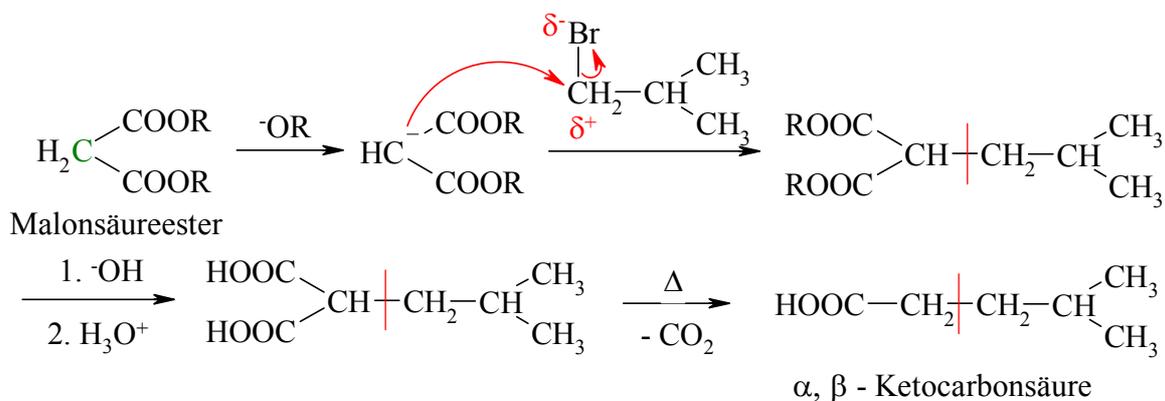


Gonan ist Grundgerüst mancher Hormone, unter Anderem von Sexualhormonen (Steroiden). Bei dieser Art von Synthese entstehen Diastereomere, bei gezielter Synthese verwendet man einen optisch aktiven Katalysator.

2.17 Carbanionen II

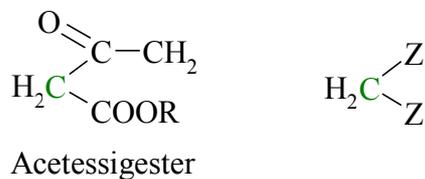
2.17.1 Reaktionen

1. Decarboxylierung

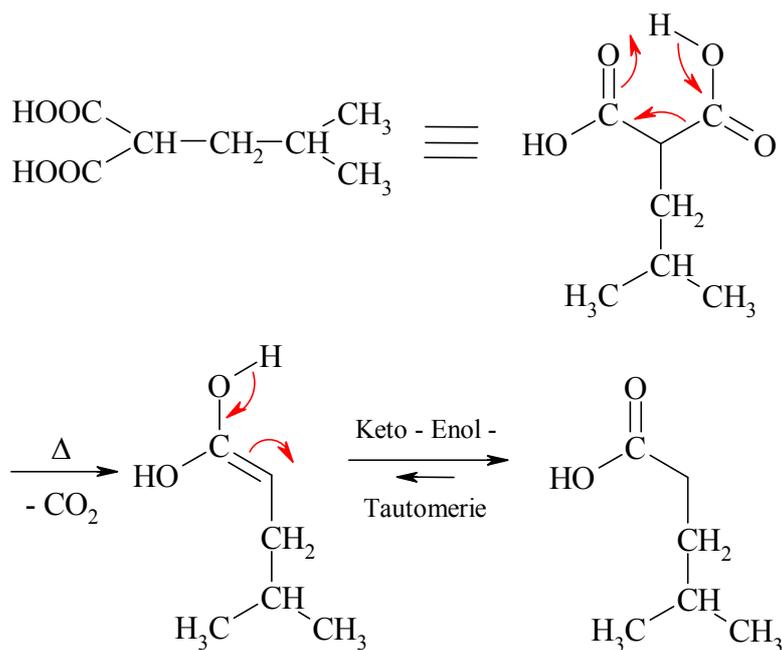


Es erfolgt also eine Verseifung der Estergruppe COOR mit anschließender Abspaltung von CO_2 (Decarboxylierung) von der Malonsäure durch das Erhitzen.

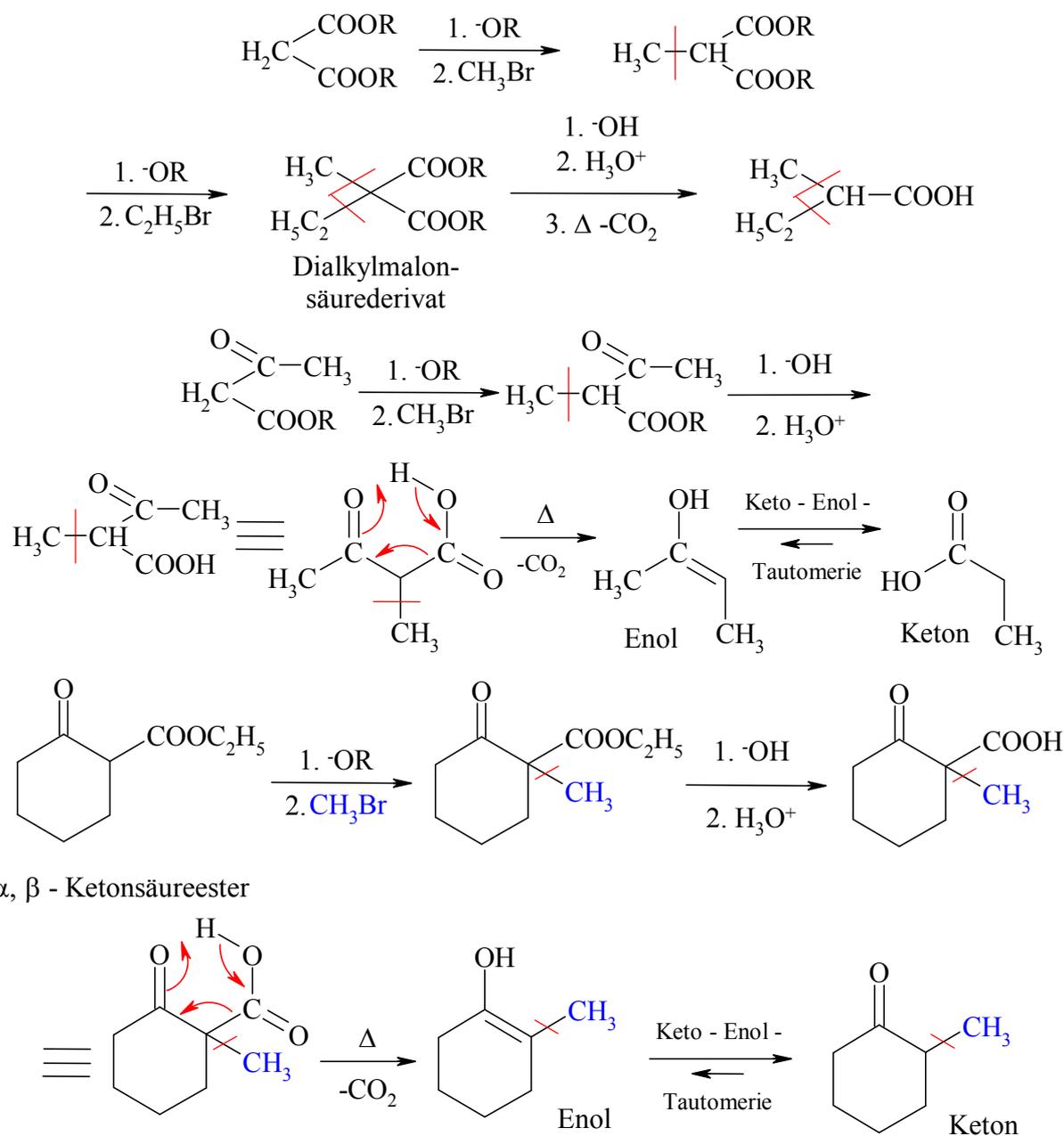
Weitere Verbindungen, bei denen sich leicht Protonen substituieren lassen, sind



Mechanismus der Decarboxylierung

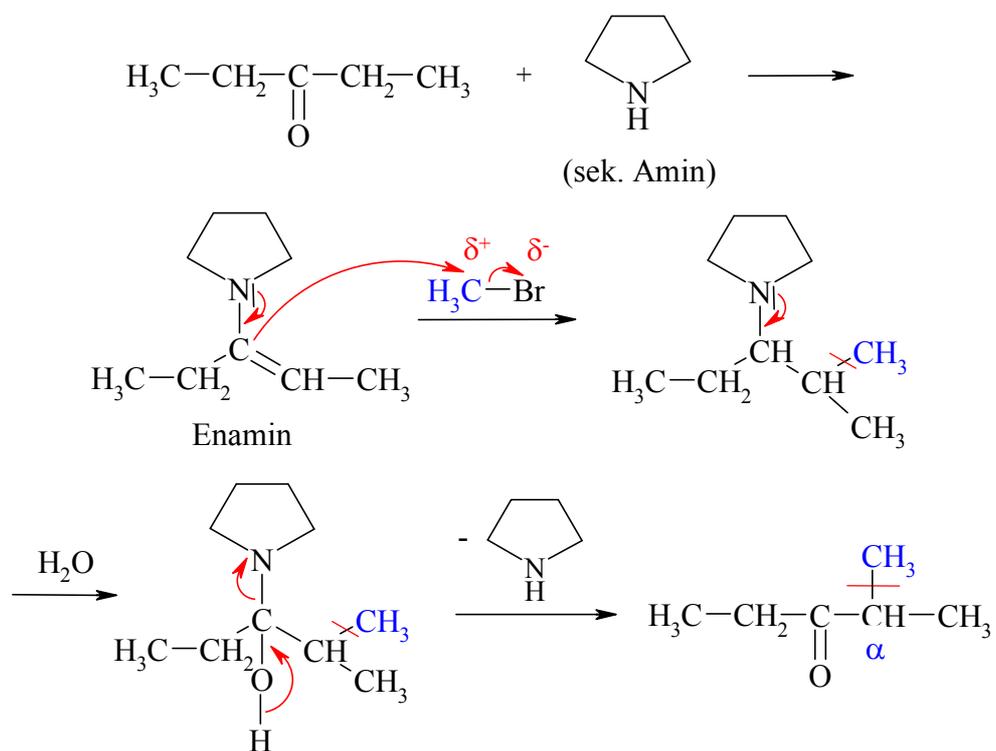


Beispiele

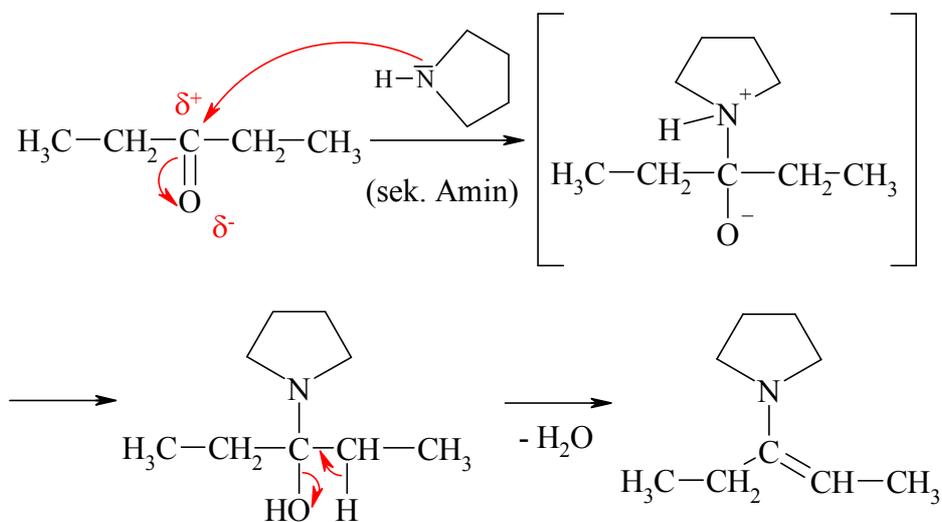


Die Bezeichnung des α - Kohlenstoffatoms richtet sich nach der am höchsten oxidierten Carbonylgruppe der jeweiligen α - β ungesättigten Carbonylverbindung.

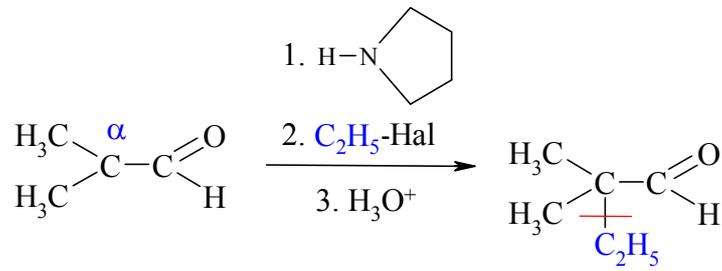
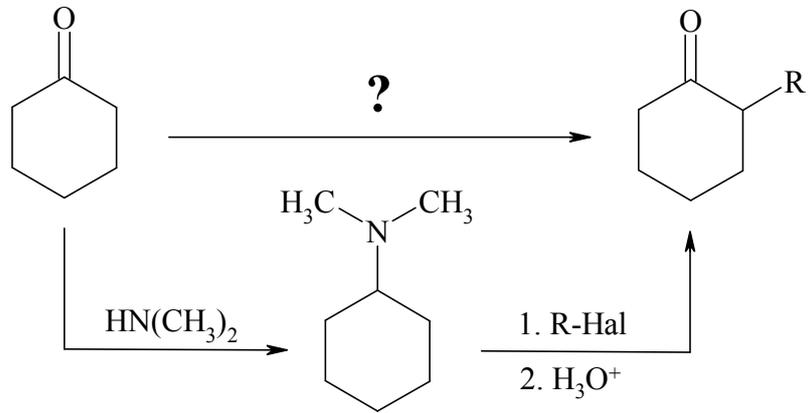
2. α - Alkylierung von Ketonen in α - Stellung über Enamine
(Storck-Verfahren)



Mechanismus



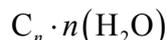
Beispiele



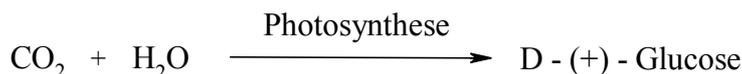
2.18 Zucker / Kohlenhydrate

2.18.1 Allgemeines

Die allgemeine Summenformel für Kohlenhydrate bzw. Zucker lautet:



Ein C-6-Zucker wäre demnach $C_6(H_2O)_6$. Zucker werden in der Natur bei Pflanzen durch Photosynthese hergestellt:



Reagieren diese Produkte weiter in Form von Polymerisation, können Stärke oder Cellulose entstehen.

2.18.2 Einteilungsmöglichkeiten

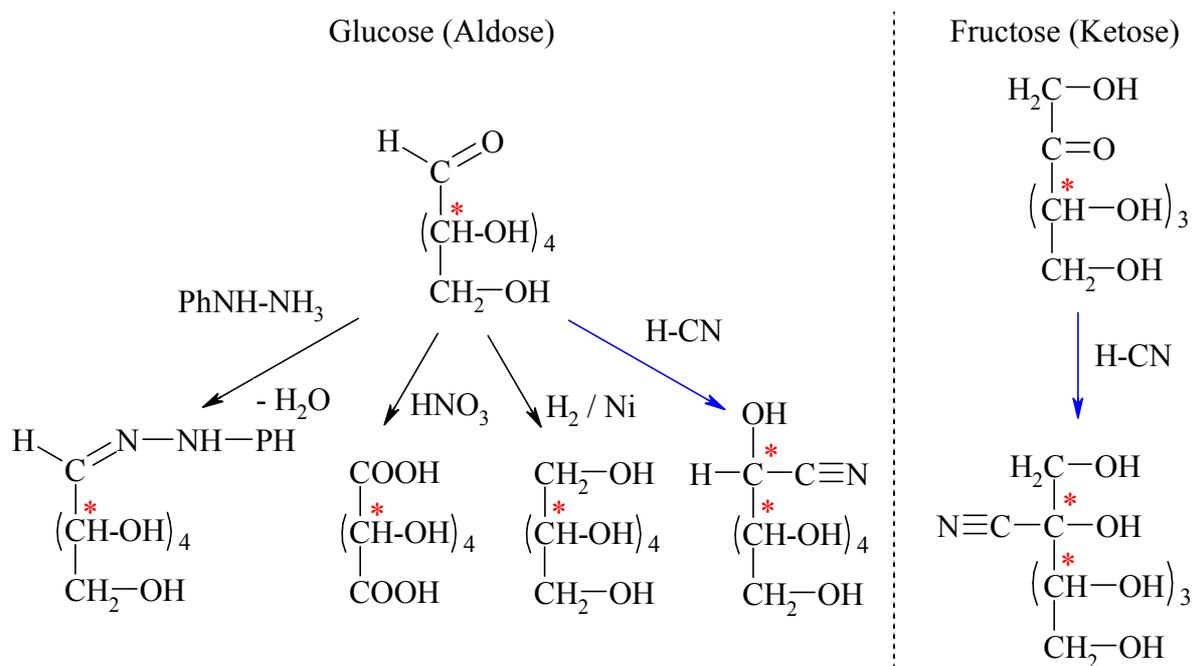
a) Nach Anzahl der Kohlenstoffatome

Tetrosen, Pentosen, Hexosen, Heptosen, usw.

b) Anzahl der Zuckereinheiten

Mono-, Di-, Trisaccharide

c) Aldosen / Ketosen



Es handelt sich hier bei beiden Kohlenhydraten Glucose und Fructose um Monosaccharide mit 6 Kohlenstoffatomen (Hexosen).

Die Reaktionen mit den blauen Pfeilen wurden von Emil Fischer untersucht.

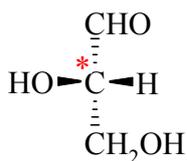
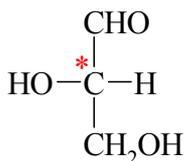
d) Ringgrößen

Anzahl C-Atome	5	6
Name des Rings	Furanoid	Pyranoid

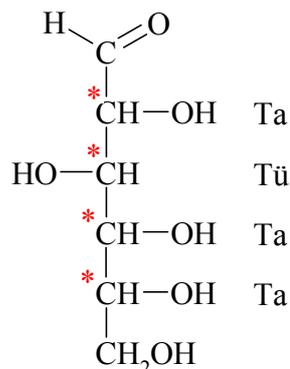
2.18.3 Stereochemie für Glucose

Fischer-Projektion (nach Emil Fischer)

Das höchst oxidierte Kohlenstoffatom wird in der der Strukturformel ganz oben geschrieben, das mit dem niedrigsten Oxidationsgrad unten.



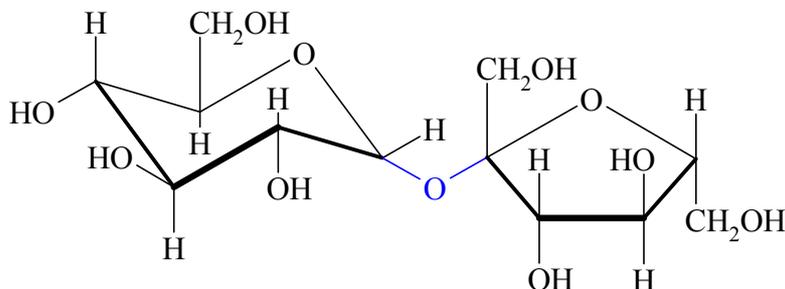
Glycerinaldehyd
(Triose)



D – (+) - Glucose

2.18.4 Bildung von Polysacchariden

Bei einem Disaccharid haben sich zwei Monosaccharide unter Wasserabspaltung über eine Sauerstoffbrücke verbunden, in diesem Fall der Saccharose („Zucker“):



α - (D) – Glucopyranosil – β - (D) - Fructofuranosid

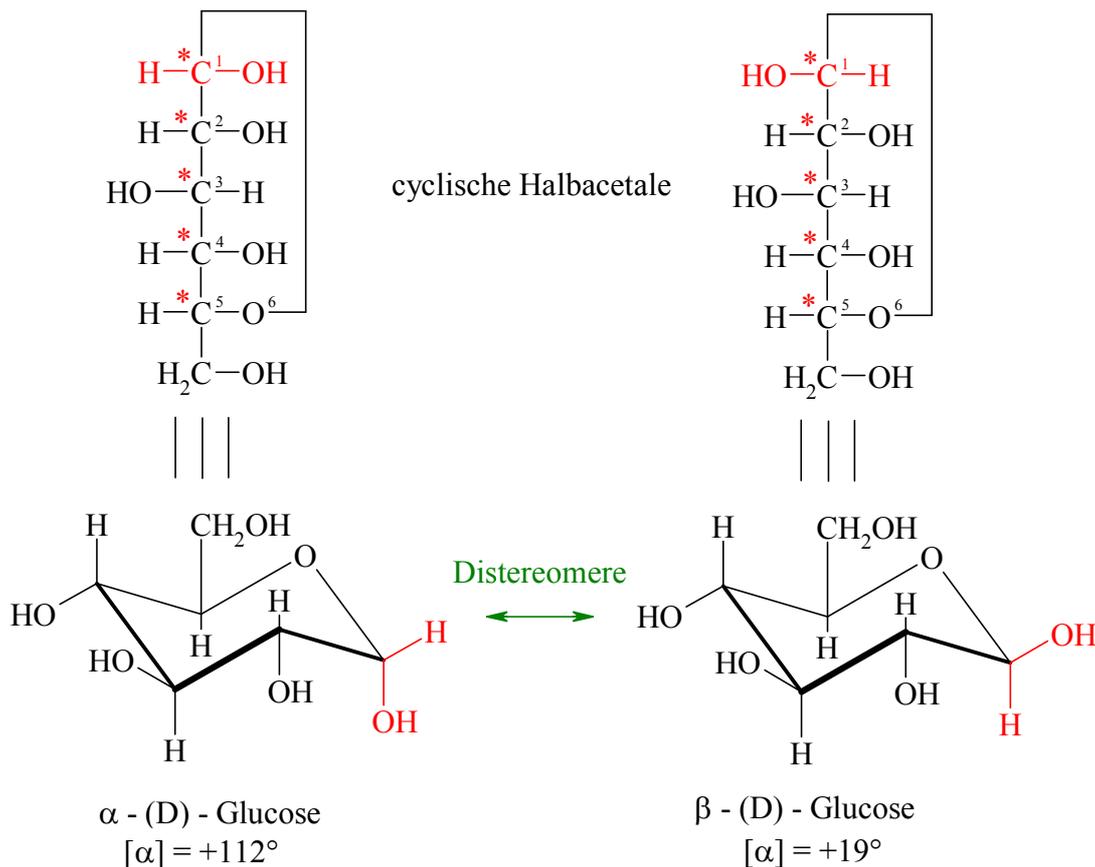
2.18.5 Spezielle Reaktionen der Zucker

Bei Betrachtung der Zucker fällt auf, dass

manche typischen Aldehydreaktionen nicht ablaufen

Es gibt α - (D)- Glucose und β - (D) - Glucose, d.h. es gibt Diastereomere durch eine innermolekulare Halbacetalbildung

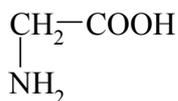
Es bilden sich dabei zwei isomere Methyl-D-Glucoside



Durch diesen, als *Mutarotation* bezeichnete Gleichgewichtsreaktion zwischen α - und β -Glucose ist zu sehen, dass beide Zucker in Form von Halbacetalen keine Carbonylfunktion mehr besitzen.

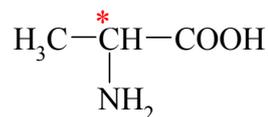
2.19 Aminosäuren, Peptide und Proteine

2.19.1 Einteilung und Beispiele



Glycin (Gly)

Aminoessigsäure (nicht chiral)

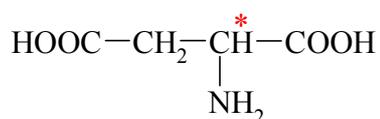


Alanin (Ala)

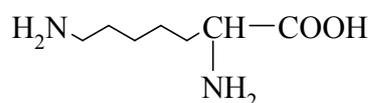
1. *essentielle / nichtessentiell*

Während nichtessentielle Aminosäuren vom Körper selbst hergestellt werden können, ist er auf eine Aufnahme von nicht selber synthetisierbaren essentiellen Aminosäuren angewiesen.

2. *neutral / sauer / basisch*

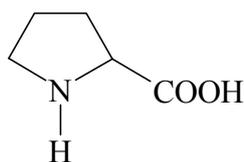


Asparaginsäure (Asp) (sauer)



Lysin (Lys) (basisch)

3. *offenkettige / cyclische*



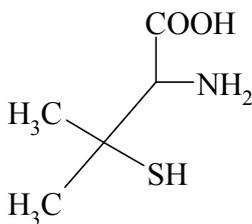
Prolin (Pro)



Zwitterion (Betain)

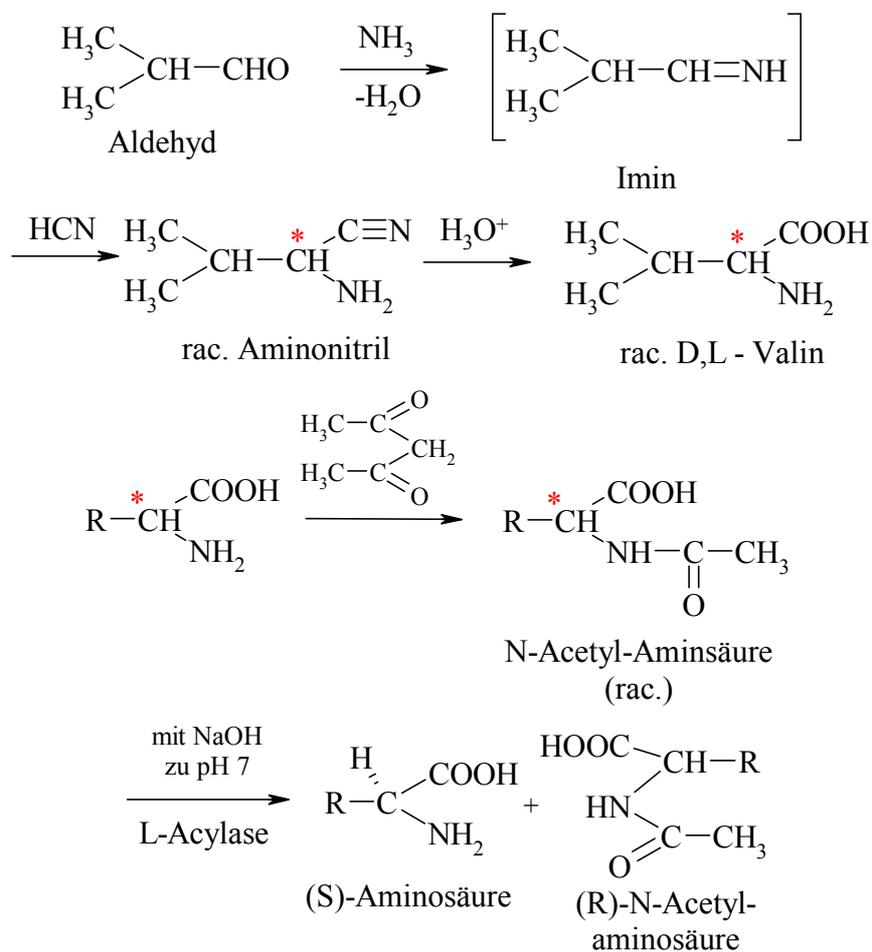
4. *proteinogene / nichtproteinogene*

Es gibt ca. 20 proteinogene Aminosäuren, aus denen die Proteine in der Natur aufgebaut sind. Ein Beispiel für eine nichtproteinogene Aminosäure ist das Penicillamin

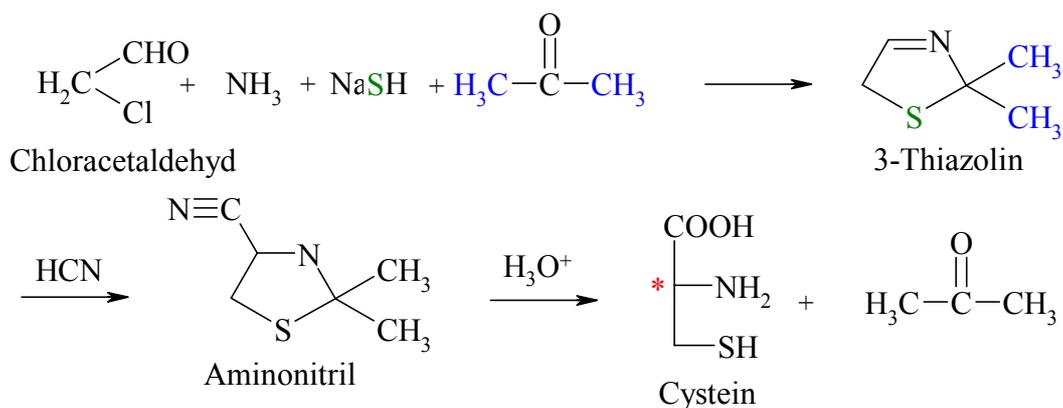


2.19.2 Synthesen

1. Strecker-Synthese

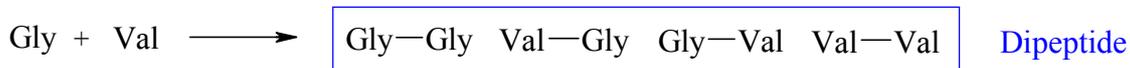


2. Cystein-Synthese



Cystein wird insbesondere in der Tierfutterindustrie benötigt, und wurde früher aus Haaren gewonnen.

3. Peptidsynthese



Tripeptid

Zur Unterscheidung bei der Reihenfolge hat man sich auf folgende Nomenklatur geeinigt:

(links) N-terminal

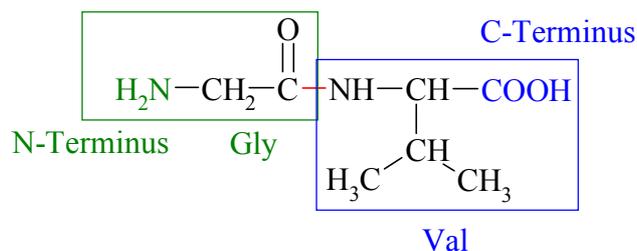
C-terminal (rechts)

Val

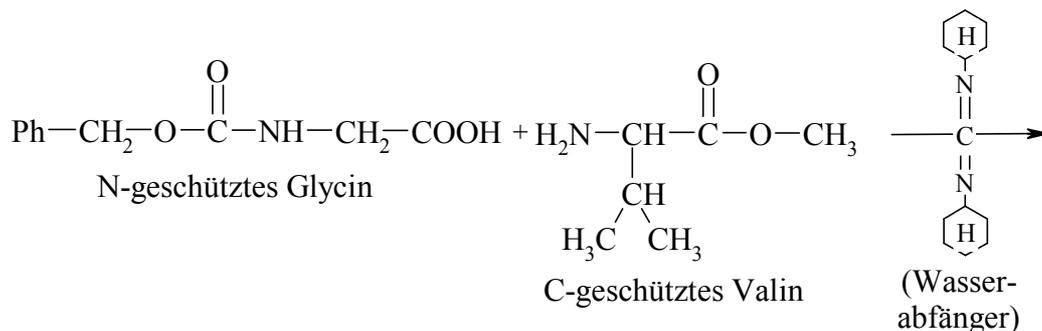
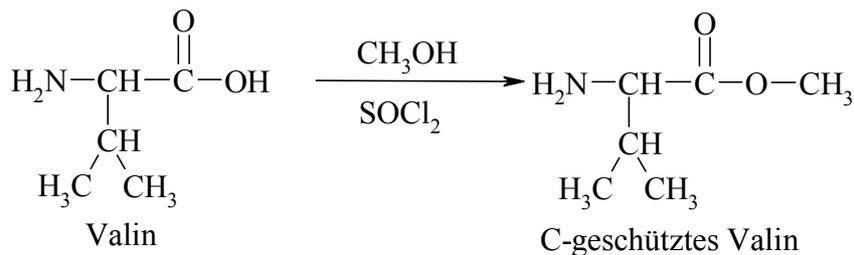
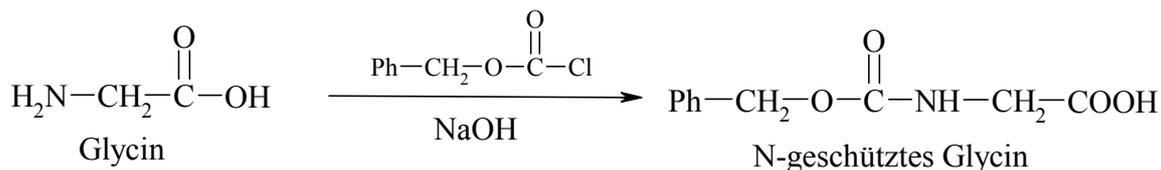
-

Gly

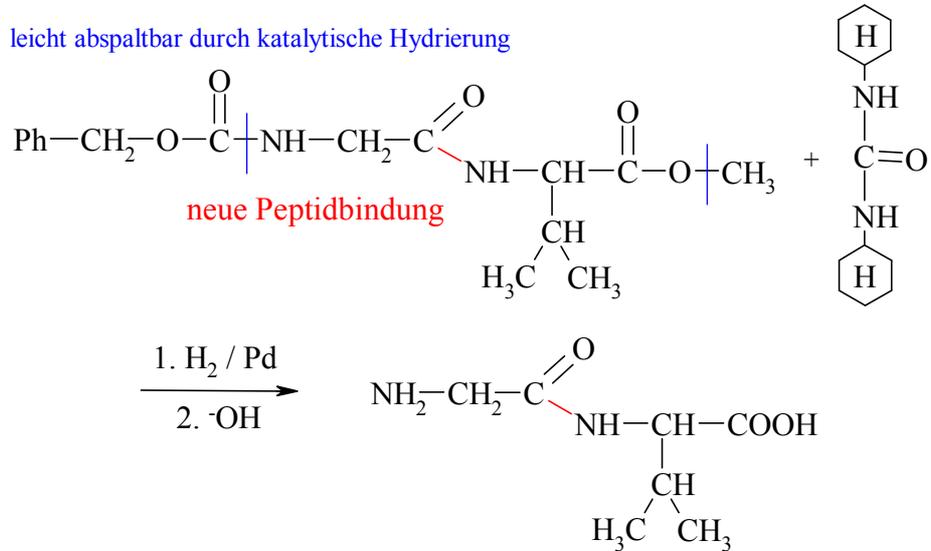
Peptidbindung



Beispiel - Anwendung der Schutzgruppenchemie zur Peptidsynthese

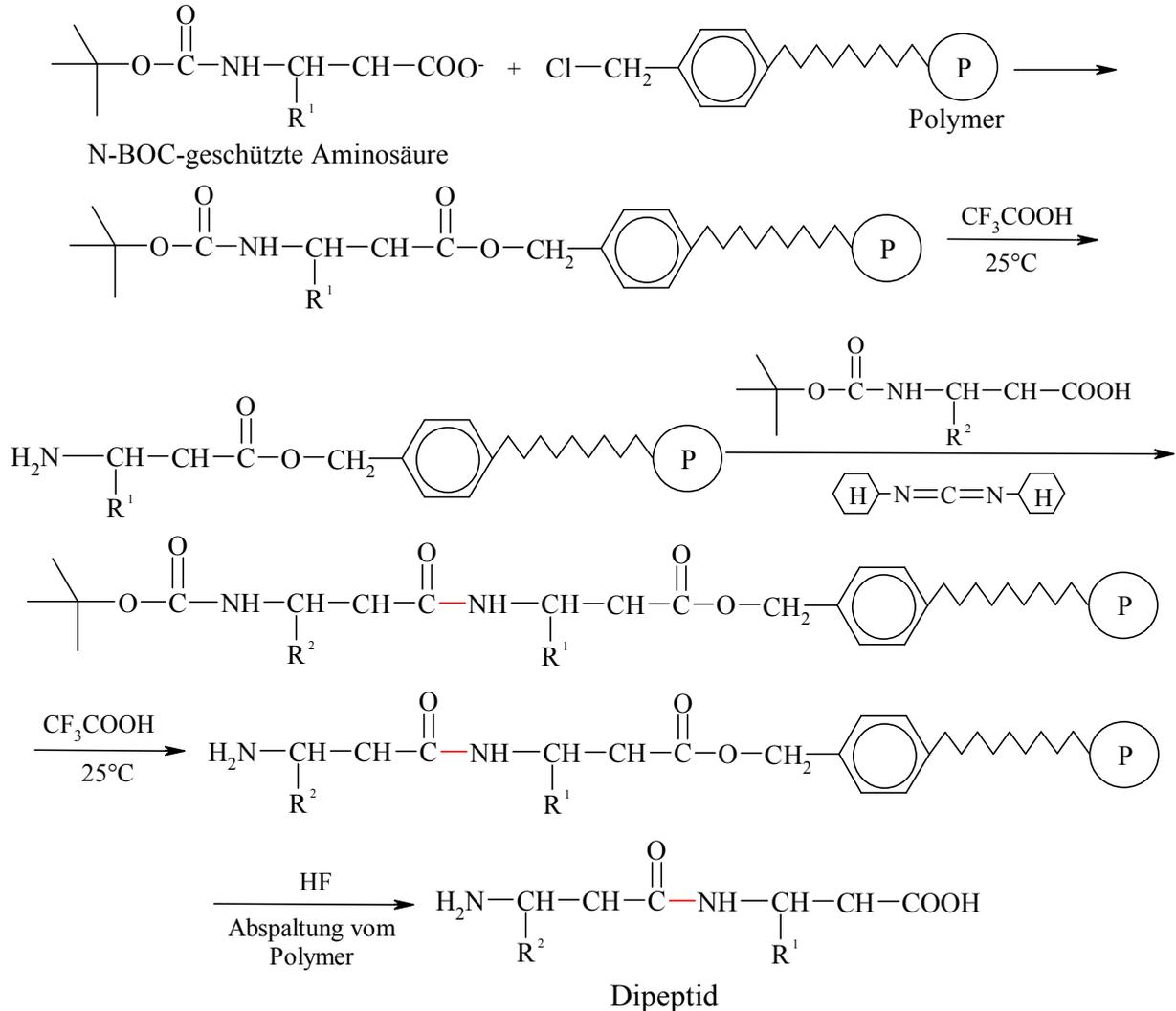


leicht abspaltbar durch katalytische Hydrierung

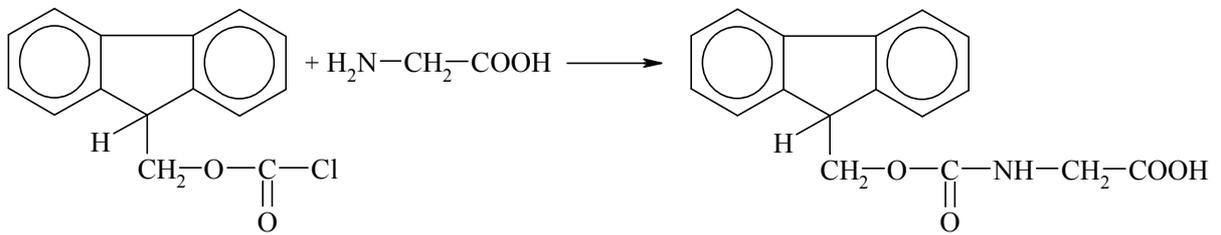


Auf diese Art und Weise erreicht man Ketten mit Längen mit bis zu 120 Aminosäuren.

Festphasensynthese eine Dipetids nach Merrifield



Bei der Festphasensynthese erhält man hohe Ausbeuten, bis zu 99,9%, wegen dem vielfachen Abtrennens des CF₃COOH durch das Abspülen mit Wasser.

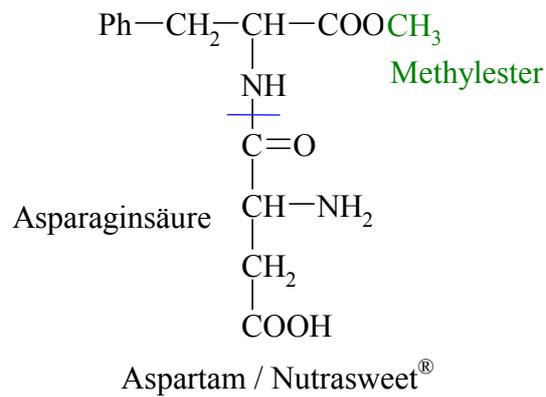


Das hier verwendete Fmoc-Cl ist besonders leicht wieder abspaltbar, sogar unter basischen Bedingungen.

2.19.3 Anwendungen

1. Süßstoff

Phenylalanin



A1 - Index

- A**
- Acetale.....84, 90
 Acetessigestersynthese81
 Addition.17, 29, 31, 32, 33, 34, 40, 42, 66, 71, 87, 113, 114
 Aldehyde 2, 79, 82, 83, 89, 90, 92
 Aldehydnachweis83
 Aldolkondensation..... 52, 101
 Aldolreaktion.....101
 Aliphate.....10
 Alkane .2, 4, 10, 13, 14, 15, 18, 28, 49, 51
 Alkene .2, 4, 10, 14, 17, 23, 24, 26, 28, 36, 41, 69
 Alkine..... 2, 4, 10, 17, 18, 24, 65, 66
 Alkohole .2, 16, 17, 22, 24, 28, 49, 54, 56, 57, 60, 79, 80, 83, 90, 92
 Alkoholische Gärung.....50
 Alkylanz64
 Alkylbenzole77, 92
 Allylstellung34, 41
 Amide..... 93, 95, 105, 106
 Amine..... 2, 18, 86, 87, 103, 106, 110
 Aminonolyse98
 Aminosäuren2, 6, 123, 126
 Aromat... 2, 10, 68, 69, 70, 71, 72, 107
 axial.....12
- B**
- Bindungspolarität4
 Blausäureaddition113
- C**
- Carbaminsäure99
 Carbanion114
 Carbanionen..... 2, 22, 101, 114, 116
 Carbonsäureamide96
 Carbonsäureanhydride94
 Carbonsäuren2, 36, 91, 92, 93, 94, 105
 Chlorierung.....14
 CIP-Nomenklatur7
 Claisen-Kondensation.....102
 Cumol-Verfahren.....111
 Curtius-Abbau106
 Cycloalkane12, 15
 Cystein-Synthese124
- D**
- Decarboxylierung116
 Diastereomere..... 8, 9, 115, 122
 Diazoniumsalze107, 111
 Dieckmann -Kondensation102
 Diene41, 42
 Diethylcarbonat99
 Diethylether58
 Doppelbindung38, 41, 43, 102
- E**
- elektrophil.....36
 Eliminierungsreaktion.....25, 27
 E₁ 25, 26, 27
 E₂ 25, 26, 27
 Enantiomere.....6
 Epoxidation37, 38
 Epoxide / Oxirane..... 2, 36, 37, 62, 63
 equatorial.....12
 Ester..... 18, 52, 93, 97, 112
 Esterbildung..... 95, 112
 Ether..... 2, 18, 57, 58, 59, 60
- F**
- Festphasensynthese nach Merrifield126
 Fischer-Projektion121
 Friedel-Crafts-Acylierung....76, 81, 96
 Friedel-Crafts-Alkylierung76
 Fries'sche Verschiebung.....81
- G**
- Gabriel-Synthese103
 Grignard-Verbindungen 14, 21, 52, 64, 85, 92, 98
- H**
- Halbacetale84, 85, 122
 Halogenalkan 2, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 26, 59
 Halogenierung 8, 30, 34, 75, 78, 94
 Harnstoff.....99
 Heterolyse.....4
 Hofmann-Abbau96, 105
 Hofmann-Eliminierung107
 Homolyse.....4
 Hückel-Regel69
 Hybridisierung.....4
 Hydratisierung.....83
 basenkatalysiert.....83
 säurekatalysiert.....83
 Hydrierung..... 14, 29, 71, 77, 82
 Hydrolyse14, 92, 96, 97, 111
 Hydroxymercurierung.....50
- I**
- innermolekulare Halbacetalbildung122
 Isomerie5
- K**
- Keto-Enol-Tautomerie.....66, 102
 Ketone 2, 79, 80, 82, 89, 118
 Knoevenagel-Kondensation101
 Kohlenhydrate 2, 50, 85, 120, 121, 122
 Kohlensäurederivate99
 Kriterien des aromatischen Zustandes69
- M**
- Makromolekül2, 44, 64
 Mannich-Reaktion108
 Markownikow-Regel38
 MARKOWNIKOW-Regel38
 Mercaptane 18, 61, 90
 Metallacetylde65, 67
 Metallorganische Reagenzien114
 Methylamin103
 Michael-Addition.....114
 Monomere44, 45, 46
 Monoterpene.....45
 Mutarotation122
- N**
- Newman-Projektion11
 Nitrierung75
 Nitrile 18, 92, 105
 Nitrosamine108
 Nucleophil18, 27, 60
 Nucleophile Substitution.....18, 53
 SN1.....19, 20, 27
 SN2.....19, 20, 27
- O**
- optische Aktivität.....5, 6
 Oxidation36, 50, 56, 61, 71, 77, 79, 80, 83, 92
- Oxime105
- P**
- Peptide2, 123
 Peptidsynthese125
 Percarbonsäuren.....36, 38, 62
 Perkin-Kondensation102
 Phenole2, 72, 111, 112
 Phosgen99
 Photohalogenierung15, 17
 Pinakol-Kupplung.....89
 Polyaddukte44, 48
 Polykondensate44, 48
 Polymere44, 45
 Polymerisation44, 47, 120
 ionische.....47
 radikalische.....46
 Proteine.....2, 44, 123
- R**
- R, S - Nomenklatur7
 Racemate6, 8, 20
 Racematspaltung9
 Radikalkettenreaktion.....15
 Reduktion ... 14, 24, 52, 80, 82, 94, 98, 103, 105
 Reduktive Aminierung.....104
 Reimer-Thiemann-Reaktion80
 Retrosynthetische Analyse.....53
 Ringöffnung.....63
 Robinson-Anelierung.....115
- S**
- Sägebockschreibweise11, 25
 Säurechloride.....80, 81, 93
 Saytzeff-Regel28
 Schutzgruppenchemie.....125
 Sesselkonformation12
 Stereochemie2, 6, 25, 121
 Storck-Verfahren118
 Strecker-Synthese124
 Sulfide18, 60, 61
 Sulfochlorierung15
 Sulfonierung75
 Synthesen.....53
 Harnstoff.....3
- T**
- Twistkonformation13
- U**
- UGI-Reaktion109
- V**
- Veresterung55
- W**
- Walden'sche Umkehr19
 Wannenkonformation13
 Wittig-Reaktion24, 88
 Wöhler3
 Wurtz-Synthese14
- Z**
- Ziegler-Natta-Katalyse /
 Koordinationspolymerisation.....48
 Zucker..... 2, 50, 85, 120, 121, 122
- A**
- α - Alkylierung.....118
 α - β ungesättigte
 Carbonylverbindungen.....2, 113