

Carbonyle

Aldehyd: C-Atom der Carbonylgruppe ist mindestens mit einem Wasserstoffatom verbunden.

Keton: C-Atom der Carbonylgruppe ist mit zwei C-Atomen verbunden.

Carbonylverbindungen sind in der Natur weit verbreitet: Geschmack- und Riechstoffe, partizipieren in Reaktionen mit Enzymen.

Industrie: Reagenzien, Lösungsmittel.

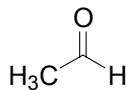
Nomenklatur

Aldehyd hat höhere Priorität als Keton. Einfache Aldehyde und Ketone werden mit Trivialnamen bezeichnet. Bei Ketonen: Reste als Vorsilben und Nachsilbe **-keton**. Phenylketone haben die Endung **-phenon**.

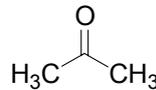
Bsp.:



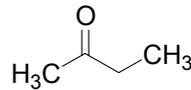
Formaldehyd
(Methanal)



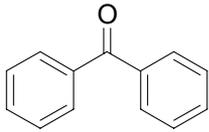
Acetaldehyd
(Ethanal)



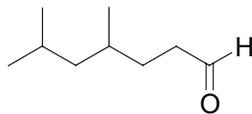
Aceton
(Dimethylketon)



Ethylmethylketon



Benzophenon



4,6-Dimethylheptanal

Formaldehyd entsteht bei der unvollständigen Verbrennung organischer Verbindungen und ist im Holz-Rauch vorhanden. Geräucherte Verbindungen werden durch die antibakteriell wirkende Beschichtung mit Formaldehyd und phenolischen Substanzen im Rauch (wirken als Antioxidantien) konserviert .

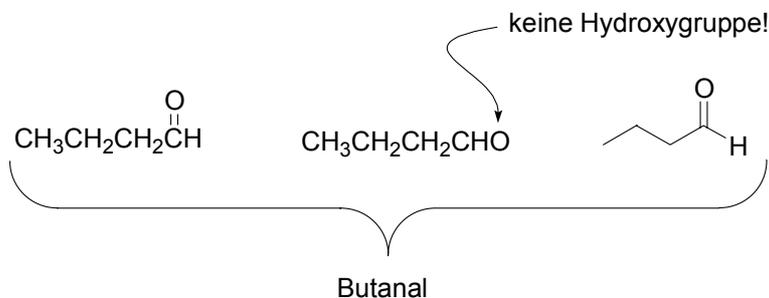
IUPAC

Derivate von Alkanen, Endung **-al** anfügen, Ketone, Endung **-on**.

Zur Schreibweise

Kondensierte Formeln von Aldehyden werden als **RCHO** und nicht RCOH geschrieben!

Bsp.:



Struktur der Carbonylgruppe

Modell: Sauerstoffatom eines Alkens. Wegen der Elektronegativität des Sauerstoffs unterscheiden sich jedoch die Reaktivitäten beträchtlich.

Die Carbonylgruppe enthält eine **kurze, starke und sehr polare Bindung**.

Sowohl C als auch O der Carbonylgruppe sind sp^2 -hybridisiert. Bindungswinkel sind ca. 120° . Am C und O ist jeweils ein p-Atomorbital, die zur π -Bindung überlappen.

Abb.: Molekülorbitalbild der Carbonylgruppe. Die sp^2 -Hybridisierung und die Anordnung der Orbitale sind ähnlich wie im Ethen.

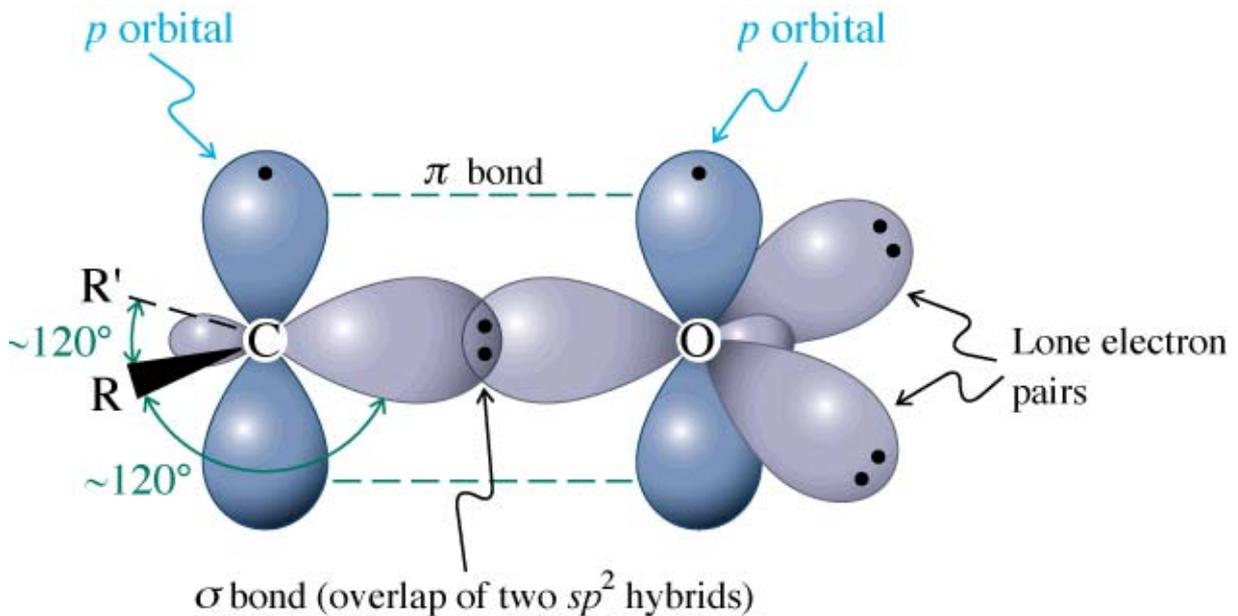
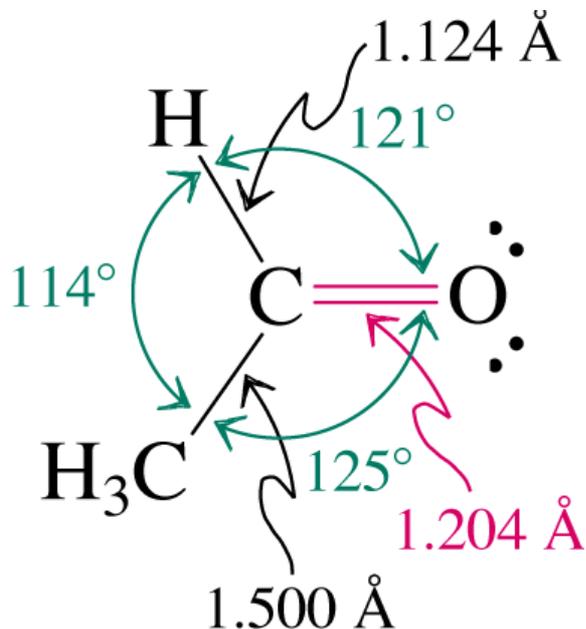
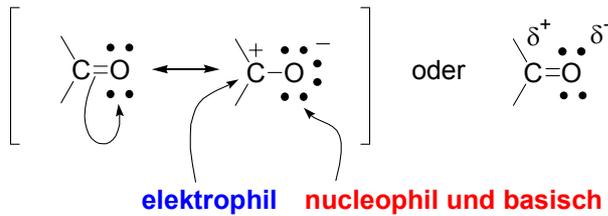


Abb.: Strukturelle Merkmale von Acetaldehyd. Das Molekül ist planar. Relativ kurze C=O-Bindung von 120.4 pm (vgl. C=C: 134 pm).



Die C=O-Bindung ist relativ stark, zwischen 730 und 750 kJ mol^{-1} . Der **Unterschied zum Ethen** sind die 2 Lone-Pairs am O, sowie dessen Elektronegativität. Dies führt zu einer Polarisierung der C=O-Bindung. Infolge dessen trägt das C-Atom eine partiell positive Ladung und eine partiell negative Ladung am O. Das C-Atom ist daher **elektrophil**, das O-Atom **nucleophil** und **schwach basisch**. Die Polarisierung kann durch polare Resonanzstrukturen oder partielle Ladungen zum Ausdruck gebracht werden. Wegen der partiell positiven Ladung am C ist die Carbonylgruppe **elektronenziehend** auf die unmittelbare Umgebung.

Beschreibung der Carbonylgruppe



Physikalische Eigenschaften

Die Polarisierung der Carbonylgruppe **erhöht die Siedepunkte** von Aldehyden und Ketonen im Vergleich zu Kohlenwasserstoffen von vergleichbarem Molekulargewicht (vgl. Tabelle). Außerdem sind die kleinen Carbonylverbindungen (Acetaldehyd und Aceton) komplett mit Wasser mischbar.

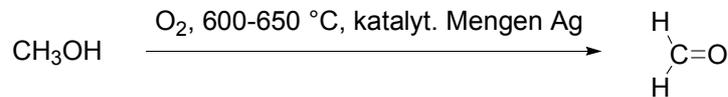
Tabelle.: Siedepunkte von Aldehyden und Ketonen

Formel	Name	Siedepunkt [°C]
HCHO	Formaldehyd	-21
CH ₃ CHO	Acetaldehyd	21
CH ₃ CH ₂ CHO	Propanal	49
CH ₃ COCH ₃	Aceton	56
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CHO	Butanal	76
CH ₃ CH ₂ COCH ₃	Butanon (Ethylmethylketon)	80

Hinweis: Die Carbonylgruppe zeigt in der Spektroskopie charakteristische Eigenschaften. Stichwort: Schwingung im Infrarot. Chemische Verschiebung im ¹H- und ¹³C-NMR.

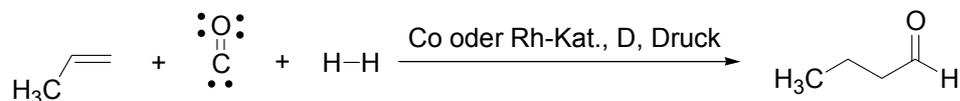
Darstellung von Aldehyden und Ketonen

Formaldehyd und Propanon sind industriell wichtige Chemikalien. Pro Jahr werden in den USA etwa 4 Millionen kg Formaldehyd durch Oxidation von Methanol dargestellt.



Aceton wird durch den sogenannten Cumolhydroperoxid-Prozess dargestellt. USA: 1 Milliarde kg pro Jahr.

Butanal wird durch Hydroformylierung aus Propen und Synthesegas in Gegenwart eines Rhodium oder Cobaltkatalysators dargestellt. Nach diesem Verfahren kann man auch andere Alkene in die verlängerten Aldehyde umwandeln.



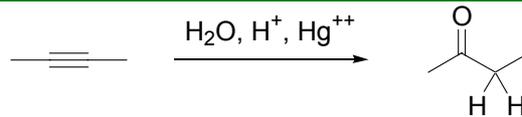
Wichtige Labormethoden

In der nachstehenden Tabelle sind wichtige Labormethoden zur Darstellung von Aldehyden und Ketonen zusammengefasst.

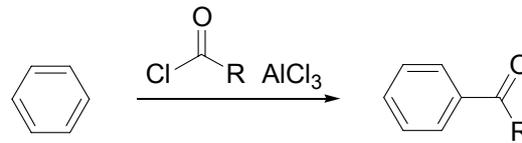
Tabelle: Synthesen von Aldehyden und Ketonen

Reaktion	Prinzip
Oxidation von Alkoholen	$-\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow{\text{PCC, CH}_2\text{Cl}_2} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{CH} \end{array}$
Ozonolyse von Alkenen	$\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagdown \end{array} \xrightarrow[2. (\text{CH}_3)_2\text{S}]{1. \text{O}_3, \text{CH}_2\text{Cl}_2} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} \end{array} + \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} \end{array}$ <p style="text-align: center;"><i>oxidative Spaltung</i></p>

Hydratisierung von Alkinen



Friedel-Crafts-Acylierung



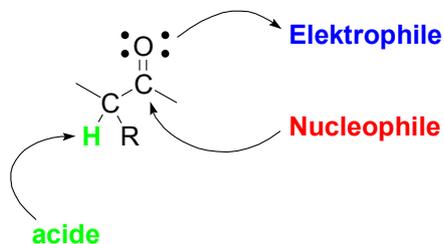
Reaktivität der Carbonylgruppe: Additionsreaktionen

Wegen der Polarisierung kann die C=O-Doppelbindung mit Nucleophilen am C und mit Elektrophilen am O angegriffen werden.

3 wichtige Regionen der Reaktivität in Aldehyden und Ketonen

Man kann bei Aldehyden und Ketonen Zentren der Reaktivität ausmachen: den **Lewis-basischen Sauerstoff**, das **elektrophile Carbonyl-C-Atom** und das zum **Carbonyl-C α -ständige C-Atom**.

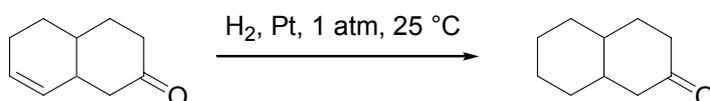
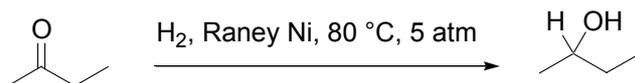
Regionen der Reaktivität in Aldehyden und Ketonen



Hydrierung der Carbonyl π -Bindung

Wie die C=C-Doppelbindung kann die C=O-Doppelbindungen durch katalytische Hydrierung reduziert werden. Man erhält Alkohole. Allerdings reagieren Aldehyde und Ketone träger als Alkene und erfordern daher Druck oder erhöhte Temperatur für die Umsetzung. Diese Tatsache kann für selektive Hydrierungen genutzt werden.

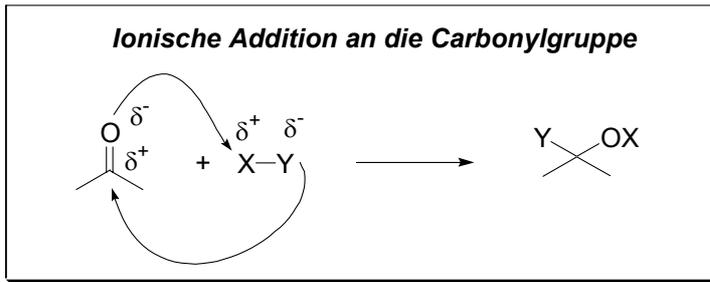
Bsp.:



selektive Hydrierung des Alkens

Ionische Additionen an die Carbonylgruppe

Entsprechend dem Coulomb'schen Gesetz addieren polare Reagenzien an die dipolare Carbonylgruppe. Typische Reagenzien sind metallorganische Verbindungen und Hydrid-Reagenzien (NaBH_4 , LiAlH_4).



Stark basische und nucleophile Reagenzien addieren sich **irreversibel**. Weniger basische Nucleophile Nu-H, wie Wasser, Alkohole, Thiole und Amine sind weniger exotherm und bilden Gleichgewichte. Diese Gleichgewichte können mit geeigneten Reaktionsbedingungen entsprechend verschoben werden.

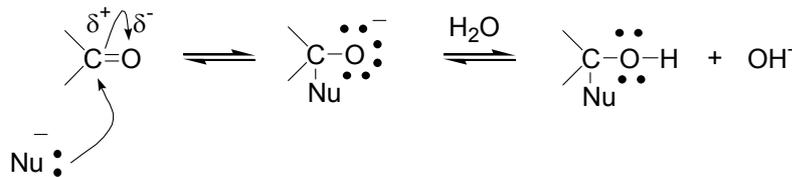
Mechanismus derartiger Additionen:

2 Varianten

- a) nucleophile Addition, gefolgt von Protonierung
- b) elektrophile Protonierung, gefolgt von einem nucleophilen Angriff

Variante a: bevorzugt unter neutralen bzw. basischen Bedingungen. Im Zuge des nucleophilen Angriffs kommt es zu einer **Rehybridisierung** des C-Atoms, das Elektronenpaar der π -Bindung wird zum O-Atom verschoben, wodurch ein Alkoxid-Ion entsteht. Anschließende Protonierung durch ein protisches Lösungsmittel (Wasser oder Alkohol) ergibt das Produkt.

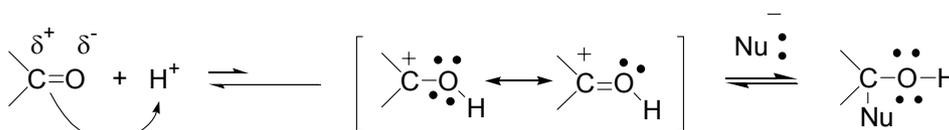
Nucleophile Addition - Protonierung (basische Bedingungen)



Variante b: bevorzugt unter sauren Bedingungen. Im ersten Schritt erfolgt Protonierung des O-Atoms, begünstigt durch die Polarisierung der C=O-Bindung. Zwar ist das O nur schwach basisch (pK_a der konjugierten Säure = -7 bis -8). Das heißt, nur ein geringer Anteil der Carbonylgruppe ist protoniert. Allerdings ist die protonierte Form extrem elektrophil. Nucleophile, auch schwache, vervollständigen die Addition und verschieben letztendlich das Gleichgewicht auf die Produktseite. Diese Reaktionsbedingungen sind nicht kompatibel mit stark basischen Nucleophilen (Protonierung der Nucleophile).

Hinweis: anstelle von Protonen werden oft Lewis-Säuren zur Aktivierung der Carbonylgruppe eingesetzt. Basis vieler moderner organischer Transformationen.

Elektrophile Protonierung - Addition (saure Bedingungen)

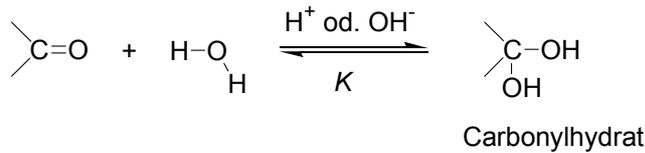


resonanzstab. Carbokation

Addition von Wasser ergibt Hydrate

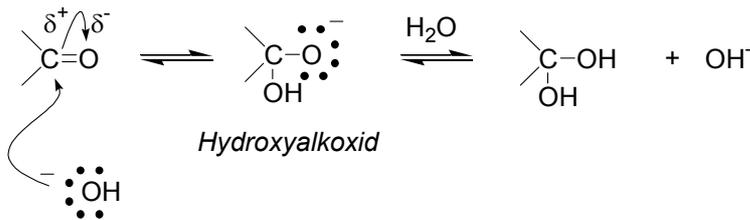
Wasser kann die Carbonylgruppe von Aldehyden und Ketonen angreifen. Diese Transformation kann sowohl mit Säure als auch Base erfolgen und führt zum Gleichgewicht mit den **geminalen Diolen**, $R^1C(OH)_2R^2$, die auch als **Carbonylhydrate** bezeichnet werden.

Hydratisierung der Carbonylgruppe



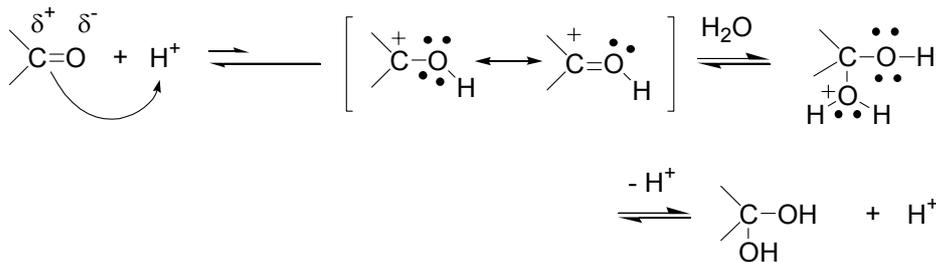
Basenkatalysierte Hydratisierung: Ein Hydroxid fungiert als Nucleophil. Danach wird das Alkoxid durch Wasser protoniert, wobei der Katalysator regeneriert wird.

Mechanismus der basenkatalysierten Hydratisierung



Säurekatalysierte Hydratisierung: Reihenfolge der Events ist umgekehrt. Zunächst erfolgt Protonierung und dann Angriff von Wasser und schließlich Deprotonierung.

Mechanismus der säurekatalysierten Hydratisierung

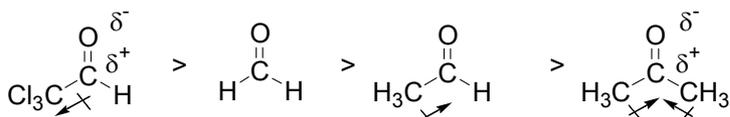


Hydratisierung ist reversibel

Die Hydratisierung ist reversibel. Das Gleichgewicht liegt weit links für Ketone und weit rechts für Formaldehyd und Aldehyde mit induktiv ziehenden Substituenten. Für normale Aldehyde beträgt das Gleichgewicht ungefähr 1.

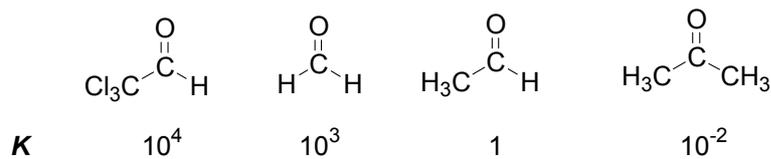
Erklärung: Alkylgruppen stabilisieren Carbokationen, somit auch die dipolare Resonanzform der C=O-Gruppe. Umgekehrt, erhöhen elektronenziehende Gruppen, wie CCl₃ und CF₃ die positive Ladung am Carbonyl-C und destabilisieren letztendlich Carbonylverbindungen. Die Stabilitäten der Hydrate sind weit weniger durch Substituenten beeinflusst.

Relative Reaktivitäten der Carbonylgruppe



elektropositive Reste reduzieren die positive Ladung am Carbonyl-C

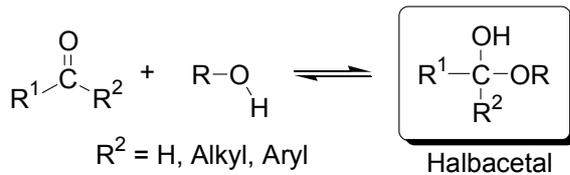
Gleichgewichtskonstanten K für die Hydratisierung typischer Carbonylverbindungen:



Addition von Alkoholen ergibt Halbacetale und Acetale

Alkohole können sich nach einem praktisch identischen Mechanismus an Aldehyde und Ketone addieren. Die Addukte werden als **Halbacetale** bezeichnet, da sie Intermediate en route zu **Acetalen** sind.

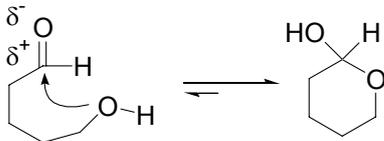
Halbacetal-Bildung



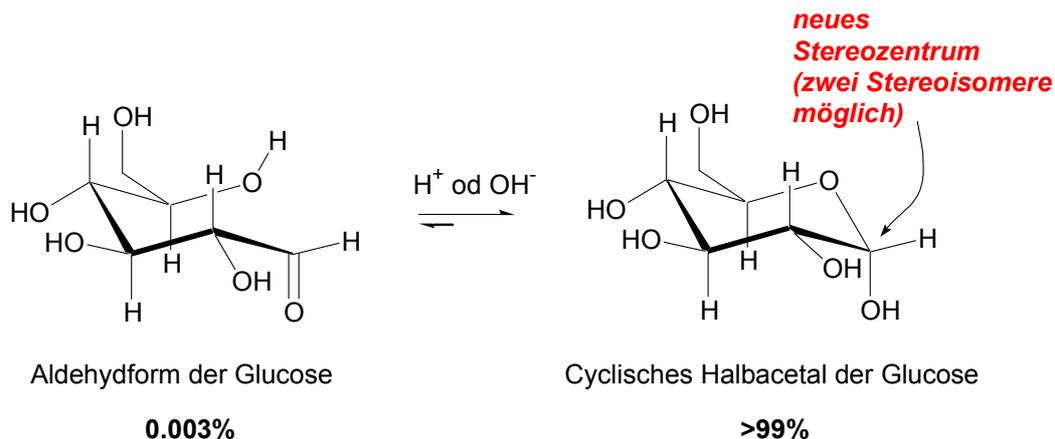
Wie bei der Hydratisierung sind diese Additionsreaktionen durch Gleichgewichte bestimmt, die in der Regel die Carbonylverbindung begünstigen.

Ausnahmen sind reaktive Carbonylverbindungen (z.B. 2,2,2-Trichloracetaldehyd). **Halbacetale** sind ebenfalls **begünstigt**, wenn Hydroxyaldehyde relativ ungespannte 5- und 6-gliedrige Ringe bilden können.

Intramolekulare Halbacetal-Bildung



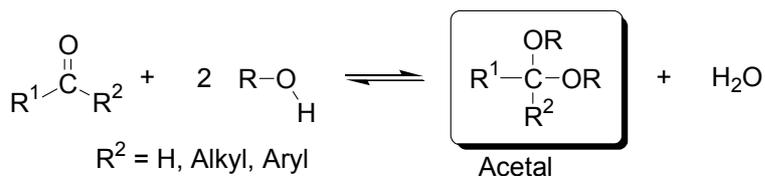
Dieses Phänomen ist bekannt von den Kohlenhydraten (sind in freier Form cyclische Halbacetale). Glucose liegt in wässriger Lösung zu mehr als 99% in der Halbacetal-Form vor!



Säuren katalysieren die Acetalbildung

Mit einem **Überschuss an Alkohol** bleibt die säure-katalysierte Reaktion von Aldehyden und Ketonen nicht auf der Halbacetalstufe stehen. Unter diesen Bedingungen wird die Hydroxygruppe durch eine weitere Alkoxy-Einheit ersetzt. Die resultierenden Verbindungen werden als **Acetale** bezeichnet. Früher wurden Acetale, abgeleitet von Ketonen als Ketale bezeichnet. Bei der Reaktion entsteht Wasser.

Acetal-Bildung

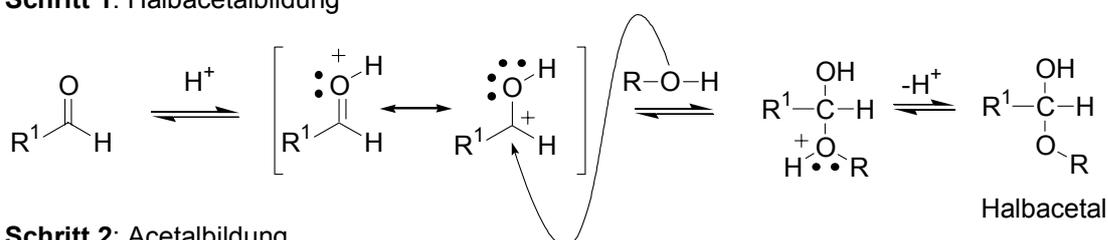


Mechanismus

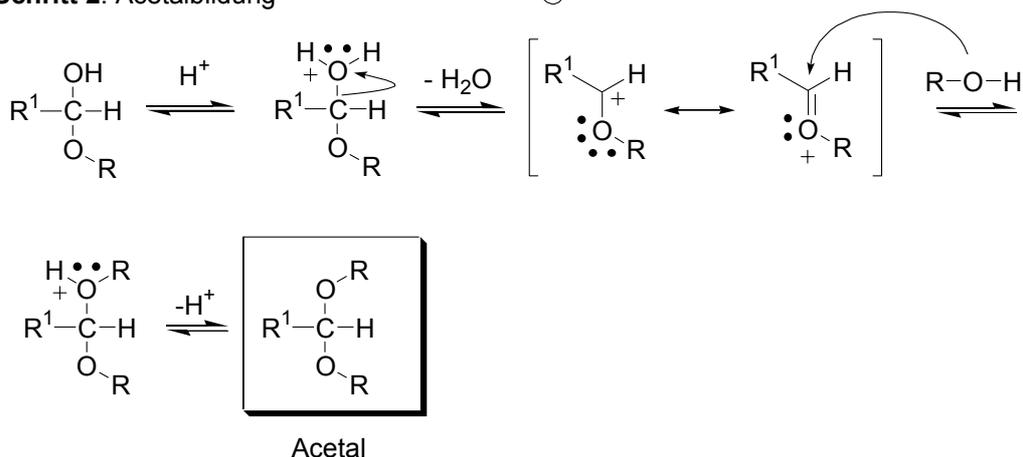
Zu Beginn findet eine gewöhnliche Addition eines Alkohols statt. Das resultierende Halbacetal kann an der Hydroxygruppe protoniert werden, wobei eine gute Abgangsgruppe entsteht. Der Austritt des Wassers ist begünstigt durch Resonanzstabilisierung durch den benachbarten Sauerstoff. Nun addiert sich ein weiteres Alkoholmolekül an das Carbokation. Unter Deprotonierung entsteht das Acetal.

Mechanismus der Acetalbildung

Schritt 1: Halbacetalbildung



Schritt 2: Acetalbildung



Jeder Schritt ist reversibel. Durch geeignete Reaktionsbedingungen kann man das Gleichgewicht entsprechend verschieben. Zum Acetal: durch Überschuss an Alkohol, oder durch Entfernung von Wasser. Umgekehrt kann man Acetale durch Überschuss an Wasser (Spuren von Säure) hydrolysieren.

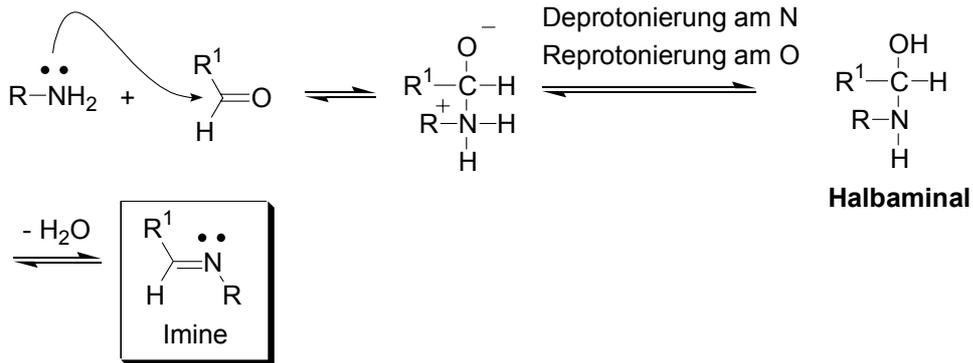
Hinweis: In der Chemie werden Acetale oft als Schutzgruppen (ohne weiteres keine Reduktion möglich) verwendet.

Nucleophile Addition von Ammoniak und Aminen

Ammoniak und Amine können als Stickstoff-Analoga von Wasser und Alkoholen aufgefasst werden. In der Tat bilden sich Produkte, die den Halbacetalen und Acetalen entsprechen. Mit einem Unterschied: Diese Additionsprodukte verlieren sehr leicht Wasser. Es entstehen **Imine** und **Enamine**. Zunächst bilden sich **Halbaminale**, die Stickstoffanaloga der Halbacetale. Halbaminale aus primären Aminen verlieren leicht Wasser wobei sich eine relativ stabile $\text{C}=\text{N}$ -Doppelbindung ausbildet. Die funktionelle Gruppe wird als **Imin** bezeichnet (älterer Name: Schiff'sche¹ Base).

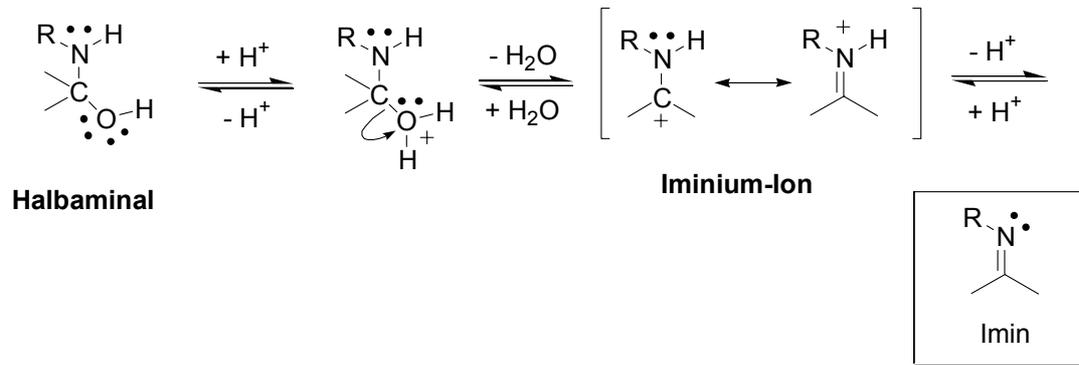
¹ Hugo Schiff (1834-1915), Universität Florenz, Italien

Imin-Bildung aus Aminen und Carbonylverbindungen



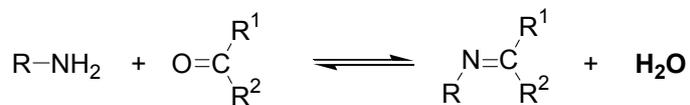
Der **Mechanismus der Imin-Bildung** ist derselbe wie bei der Zersetzung eines Halbacetals zur Carbonylverbindung und Alkohol. Er beginnt mit der Protonierung der Hydroxygruppe. Zwar findet auch Protonierung des stärker basischen N-Atoms statt, doch führt dies zur Carbonylgruppe (in diesem Zusammenhang nicht produktiv). Unter Dehydratisierung bildet sich ein **Iminium-Ion**, welches deprotoniert wird.

Mechanismus der Halbaminal-Dehydratisierung

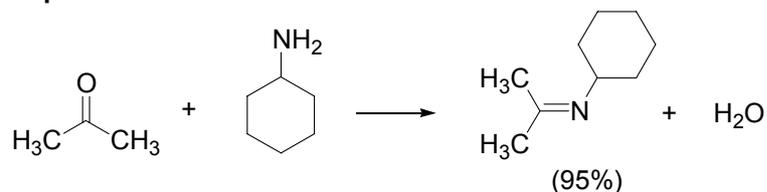


Prozesse, wie Imin-Bildung aus einem primären Amin und einem Aldehyd oder Keton, in dem zwei Moleküle unter Abspaltung von Wasser vereinigt werden, nennt man **Kondensation**. Die Iminbildung ist reversibel und man muss geeignete Massnahmen ergreifen um das Gleichgewicht in die gewünschte Richtung zu verschieben.

Kondensation eines Ketons mit einem primären Amin



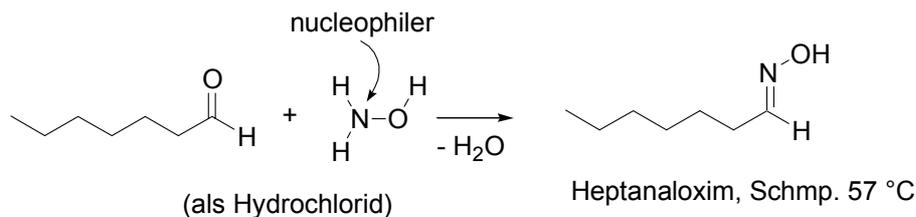
Bsp.:



Spezielle Imine für die Identifizierung von Aldehyden und Ketonen

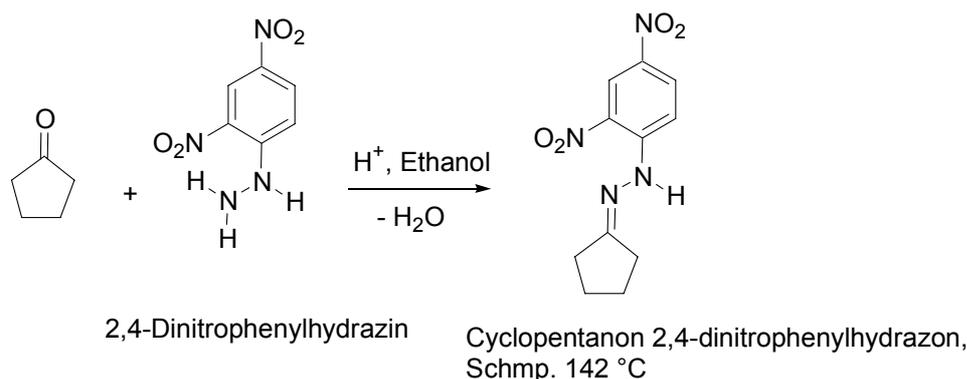
Manche Aminderivate reagieren mit Carbonylverbindungen zu Iminen, die leicht kristallisieren und oft scharfe Schmelzpunkte aufweisen.

Beispiel: Oxime, die aus Hydroxylamin und Aldehyden entstehen.



Beispiel: Derivate von Hydrazin ergeben **Hydrazone**.

Bildung eines 2,4-Dinitrophenylhydrazons aus einem Keton

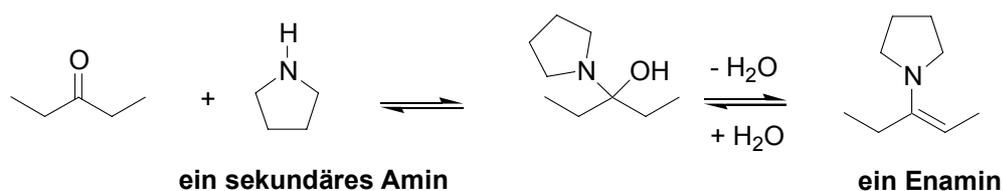


Von derartigen Derivaten sind Tausende von Schmelzpunkten tabelliert bzw. in Datenbanken enthalten. Vor der Verbreitung spektroskopischer Verfahren war der Vgl. von Schmelzpunkten ein wichtiges Mittel bei der Strukturaufklärung.

Kondensation mit sekundären Aminen ergibt Enamine

Die vorstehenden Kondensationen sind nur für primäre Amine möglich, da das Amin beide H-Atome für die Bildung von Wasser liefern muss. Die Umsetzung mit einem **sekundären Amin** nimmt daher einen etwas anderen Verlauf. Nach der Primäraddition erfolgt Deprotonierung am C-Atom unter Bildung eines **Enamins**. Diese Reaktion ist ebenfalls reversibel.

Enamin-Bildung



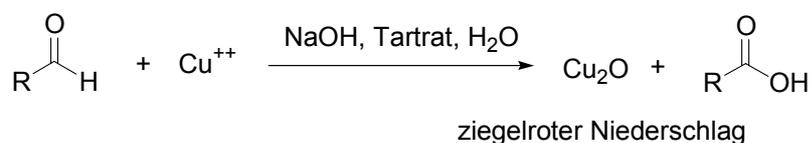
Oxidative Nachweisreaktionen für Aldehyde

Zwei Tests auf Aldehyde nutzen deren leichte Oxidierbarkeit zu Carbonsäuren.

Fehling-Nachweis²

Kupferionen dienen als Oxidans. In basischem Medium zeigt ein Niederschlag von **rotem Kupferoxid** die Anwesenheit einer Aldehydfunktion.

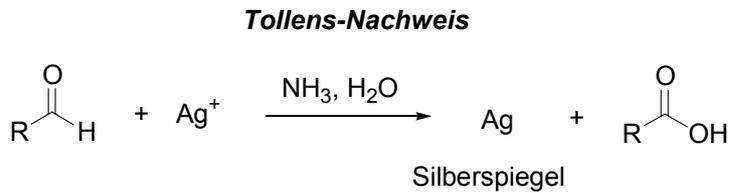
Fehling-Nachweis



² Hermann C. Fehling, 1812-1885, Universität Stuttgart

Tollens-Nachweis

Eine Lösung von Silberionen (werden reduziert) bildet einen Silberniederschlag bei Zugabe eines Aldehyds.



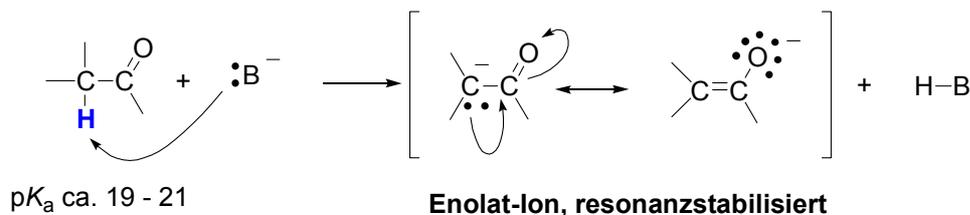
Enole und Enone

Aufgrund des elektronenziehenden Effekts der Carbonylgruppe sind die H-Atome in der α -Position relativ acide. Abspaltung eines α -H-Atoms kann zu zwei elektronenreichen Spezies führen. a) ungesättigte Alkohole, genannt **Enole** oder b) deren korrespondierende Anionen, **Enolate**.

Acidität von Aldehyden und Ketonen: Enolat-Ionen

Die pK_a -Werte der α -H-Atome von Aldehyden und Ketonen reicht von **19 – 21**, sehr viel niedriger als die von Ethen (44) oder Ethin (25), aber höher als die der Alkohole (15-18). Mit starken Basen kann man daher im nichtwässrigen Medium ein α -H-Atom abstrahieren.

Deprotonierung einer Carbonylverbindung



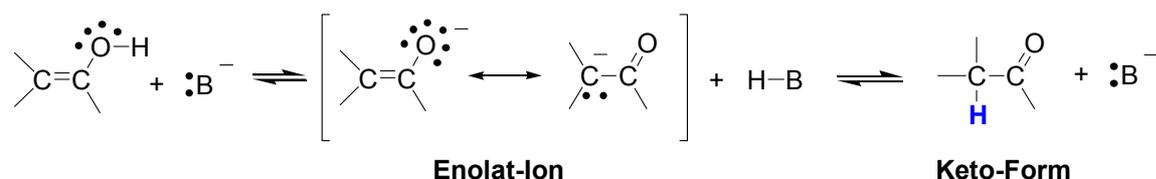
Stabilisierung des Enolats ist durch **Resonanz** gewährleistet, wobei in einer der Grenzformen die negative Ladung am O zu liegen kommt (recht günstig). Das Resonanzhybrid weist **partiell negative Ladungen** sowohl am **C** als auch **O** auf. Als Konsequenz kann ein Elektrophil prinzipiell beide Positionen angreifen. Eine Spezies, die zwei reaktive Zentren aufweist, wird als **ambident** („zweizählig“) bezeichnet. **Das Enolat ist ein ambidentes Anion**. Protoniert man ein Enolat am Sauerstoff entsteht ein ungesättigter Alkohol, ein **Alkenol** bzw. **Enol**.

Keto-Enol-Gleichgewichte

Keto-Enol Tautomerien verlaufen entweder unter Säure- oder Basenkatalyse. Base entfernt das Proton vom Enol-Sauerstoff, und ergibt das Enolat.

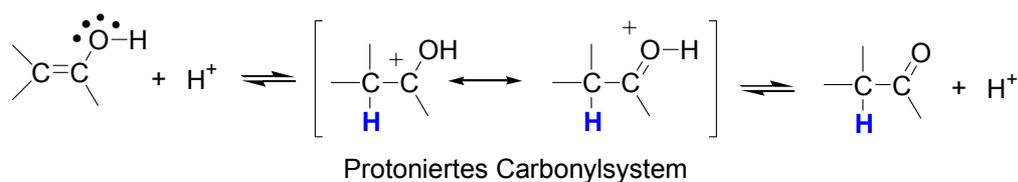
Tautomerie: Umwandlung zweier Formen eines Moleküls durch gleichzeitigen Proton und Doppelbindungs-Shift (*tauto*, griech. der gleiche; *meros*, griech. Teil).

Basen-katalysiertes Enol-Keto-Gleichgewicht



Im **Säure-induzierten Prozess** wird das **Enol** an der Doppelbindung protoniert, wobei ein resonanzstabilisiertes Carbokation entsteht (stabilisiert durch freie Elektronenpaare am O-Atom).

Säure-katalysiertes Enol-Keto-Gleichgewicht

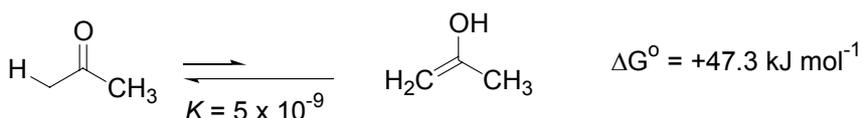
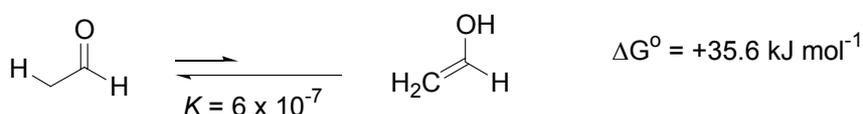


Beide dieser Prozesse sind in Lösung sehr schnell, sofern Spuren einer Base oder Säure zugegen sind.

Substituenten können das Keto-Enol-Gleichgewicht beeinflussen

Für normale Aldehyde und Ketone sind die **Gleichgewichtskonstanten sehr klein**; es sind nur Spuren des Enols anwesend. Allerdings ist das Enol von Acetaldehyd ungefähr 100 mal stabiler als das Enol von Aceton, da das weniger substituierte Aldehyd-Carbonyl weniger stabil ist, als das höher substituierte Keton-Carbonyl.

Keto-Enol-Gleichgewichte

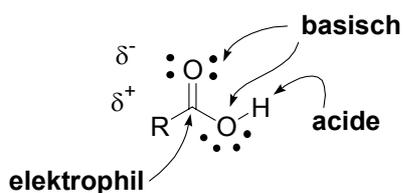


Hinweis: Enole und Enolate sind wichtige Zwischenstufen bei Isomerisierungen und Reaktionen (Enolate können alkyliert werden, d.h. sie sind Nucleophile). Enolate können mit Aldehyden unter C-C-Knüpfung reagieren.

Carbonsäuren

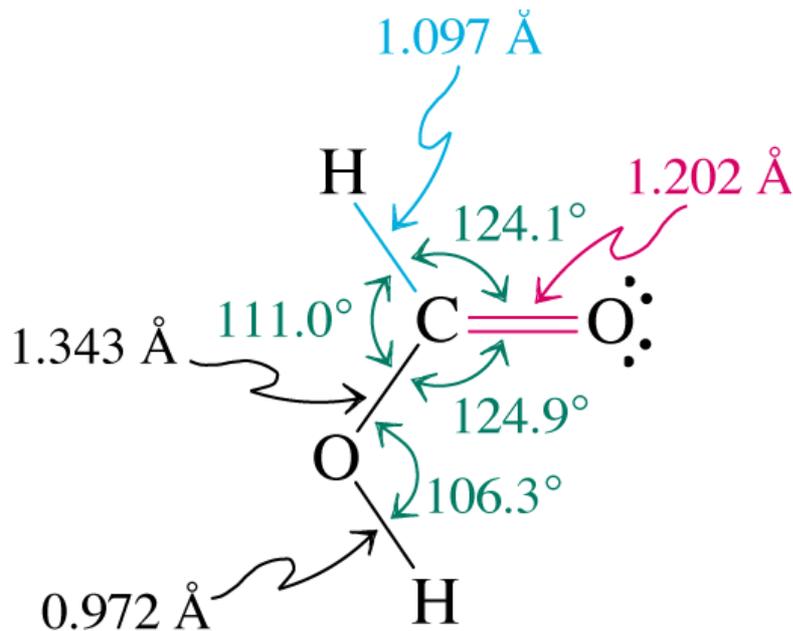
Carbonsäuren bilden sich leicht unter oxidierenden Bedingungen (vgl. Wein unter Luftzufuhr, wird zu Essig). Essigsäure, $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$, ist der wichtigste Baustein in der Biosynthese von Naturstoffen.

Verständnis der Reaktivität: Betrachtung als Hydroxy-Carbonyl-Derivate.



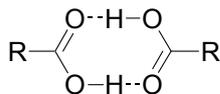
Strukturelle und Physikalische Eigenschaften von Carbonsäuren

Ameisensäure ist im Prinzip planar mit einem trigonalen Carbonyl-C-Atom.



Die Carboxylgruppe ist polar und bildet Dimere durch Ausbildung von H-Brücken

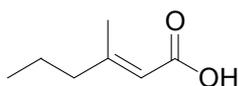
Polar wegen der C=O-Gruppe und der Hydroxygruppe. Letztere bildet H-Brücken zu anderen polarisierten Molekülen aus. Wegen der Polarität sind die niedrigen Carbonsäuren (bis Buttersäure) vollständig in Wasser löslich. In konzentrierter Form und in aprotischen LM existieren Carbonsäuren als Dimere. Jede der H-Brücken bringt etwa 25 – 34 kJ mol⁻¹.



Die Tabelle zeigt, dass Carbonsäuren relativ hohe Schmelz- und Siedepunkte besitzen (wegen der H-Brücken).

Derivat	Schmelzpunkt [°C]	Siedepunkt [°C]
CH ₄	-182.5	-161.7
CH ₃ Cl	-97.7	-24.2
CH ₃ OH	-97.8	65
H ₂ CO	-92.0	-21.0
HCOOH	8.4	100.6
CH ₃ CH ₃	-183.3	-88.6
CH ₃ CH ₂ Cl	-136.4	12.3
CH ₃ CH ₂ OH	-114.7	78.5
CH ₃ CHO	-121.0	20.8
CH₃CO₂H	16.7	118.2

Carbonsäuren mit niedrigem Molekulargewicht und vergleichsweise hoher Volatilität zeigen starken Geruch (Buttersäure; Hexansäure: Ziegengeruch). (*E*)-3-Methyl-2-hexensäure ist die Hauptkomponente im menschlichen Schweiß.

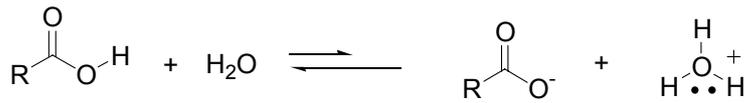


(*E*)-3-Methyl-2-hexensäure

Carbonsäuren sind relativ starke Säuren

Da die Hydroxyfunktion an eine Carbonylgruppe gebunden ist, übt die Carbonylgruppe einen starken elektronenziehenden, induktiven Effekt aus.

Dissoziation von Carbonsäuren

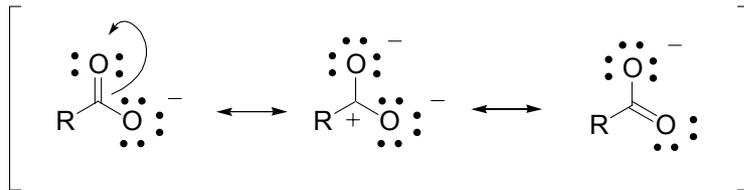


$$K_a = 10^{-4} - 10^{-5}$$

$$\text{p}K_a = 4 - 5$$

Hinzu kommt die Stabilisierung des Carboxylat-Anions durch Resonanz.

Resonanzstabilisierung im Carboxylat-Ion



Elektronenziehende Substituenten erhöhen die Acidität von Carbonsäuren

Elektronenziehende Reste in der Nachbarschaft zur Carboxylgruppe erhöhen die Acidität.

Tabelle: $\text{p}K_a$ -Werte einiger Carbonsäuren

Verbindung	$\text{p}K_a$
$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$	4.76
$\text{ClCH}_2\text{CO}_2\text{H}$	2.87
$\text{Cl}_2\text{CHCO}_2\text{H}$	1.25
$\text{Cl}_3\text{CCO}_2\text{H}$	0.65
$\text{F}_3\text{CCO}_2\text{H}$	0.23

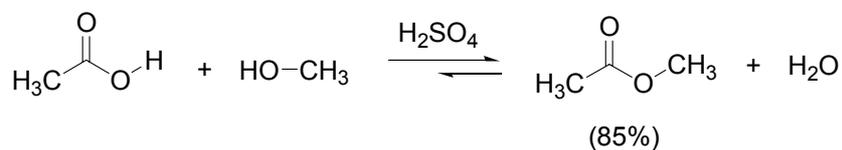
Die Salze der Säuren können leicht durch Behandlung mit Base erhalten werden (Carboxylate). Bsp.: Lithiumacetat. Diese Salze sind weitaus besser in Wasser löslich als die Säuren, da die anionische Gruppe leicht solvatisiert wird.

Wichtige Reaktion: Veresterung

Unter sauren Bedingungen reagieren Carbonsäuren mit Alkoholen unter Bildung von Estern. Das Gleichgewicht der Reaktion wird durch Überschuss von Alkohol, Entfernung des Esters oder des Wassers aus dem Gemisch verschoben.

Bsp.:

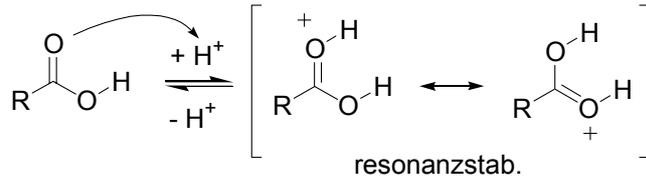
Säurekatalysierte Veresterung



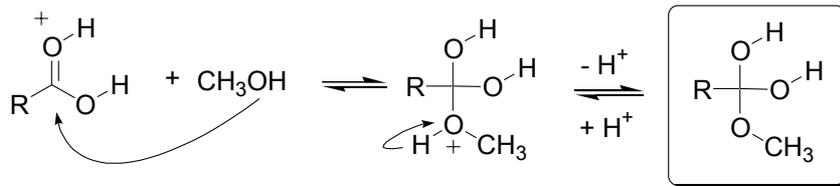
Methylacetat

Mechanismus der Säure-katalysierten Veresterung (und Hydrolyse)

Schritt 1: Protonierung der Carboxylgruppe (an der C=O-Gruppe!)



Schritt 2: Angriff von Methanol



kann von hier aus in beide Richtungen gehen

Schritt 3: Eliminierung von Wasser

