

Alkene: Reaktionen

Eine kurze Darstellung für die Stufe Q1

von Ulrich Helmich, Mai 2023

Die Alkene sind eine wichtige Stoffgruppe der Organischen Chemie. Es handelt sich um Kohlenwasserstoffe, die eine C=C-Doppelbindung enthalten. Die charakteristische Reaktion der Alkene ist die **elektrophile Addition**, bei der sich im ersten Reaktionsschritt ein **Elektrophil**, also ein positives Ion oder ein positiv polarisiertes Molekül, an die C=C-Doppelbindung anlagert. Es gibt viele verschiedene Arten dieser Elektrophile und entsprechend viele verschiedene Typen der elektrophilen Addition.

Hydrierung

Die Addition von **Wasserstoff** an ein Alken führt allgemein zu dem entsprechenden **Alkan**; aus Buten wird zum Beispiel Butan. Allerdings kann das Alken nicht einfach mit gasförmigen Wasserstoff in Verbindung bringen, sondern es sind spezielle Katalysatoren notwendig, damit die Addition von H₂ stattfinden kann. Das liegt an der recht hohen Aktivierungsenergie der Hydrierung.

Halogenierung

Die Addition von **Chlor** oder **Brom** erfolgt bereits bei Raumtemperatur. Der Mechanismus der Bromierung eines Alkens ist relativ komplex und wird in dieser kurzen Darstellung nicht behandelt. Auf der folgenden Seite wird die Reaktion aber eingehend dargestellt:

<https://u-helmich.de/che/Sek2/Organik/Mechanismen/AE/Bromierung.html>

Die **Bromierung** wird im Schulunterricht gerne eingesetzt, um C=C-Doppelbindungen nachzuweisen, meistens wird dafür Hexen oder Cyclohexen genommen.

Das Ergebnis der Halogenierung sind sogenannte **vicinale Dihalogenalkane**. Das Wort "vicinal" (lat. vicinus = Nachbar) bedeutet dabei, dass die beiden Halogen-Atome an direkt benachbarten Kohlenstoff-Atomen sitzen. Bei der Bromierung von 2-Buten entsteht also stets 2,3-Dibrom-butan und nicht etwa 2,2-Dibrom-butan oder 1,3-Dibrom-butan.

Hydrohalogenierung

Setzt man zur Addition nicht elementares Brom oder Chlor ein, sondern stattdessen **Bromwasserstoff** oder **Chlorwasserstoff**, so erhält man Monobrom- bzw. Monochloralkane. Der Mechanismus dieser Reaktion ist etwas einfacher als der der Bromierung oder Chlorierung, weil HBr bzw. HCl bereits **Dipol-Moleküle** sind, daher kann der Wasserstoff leicht als Proton abgespalten werden. Das Proton setzt sich dann an die C=C-Doppelbindung, wobei ein Carbenium-Ion entsteht.

Beim Ethen gibt es nur eine Möglichkeit zur Bildung eines **Carbenium-Ions**, weil die beiden C-Atome des Ethens gleichwertig sind (beides sind primäre C-Atome). Beim Propen allerdings ist eines der C-Atome primär, das andere jedoch sekundär. Da

sekundäre Carbenium-Ionen stabiler sind als primäre, setzt sich das Proton meistens an das primäre C-Atom, dann entsteht nämlich ein sekundäres Carbenium-Ion (**Regel von MARKOWNIKOW**).

Weitere Einzelheiten zur Hydrobromierung auf dieser Seite:

<https://u-helmich.de/che/Sek2/Organik/Mechanismen/AE/Hydrobromierung.html>

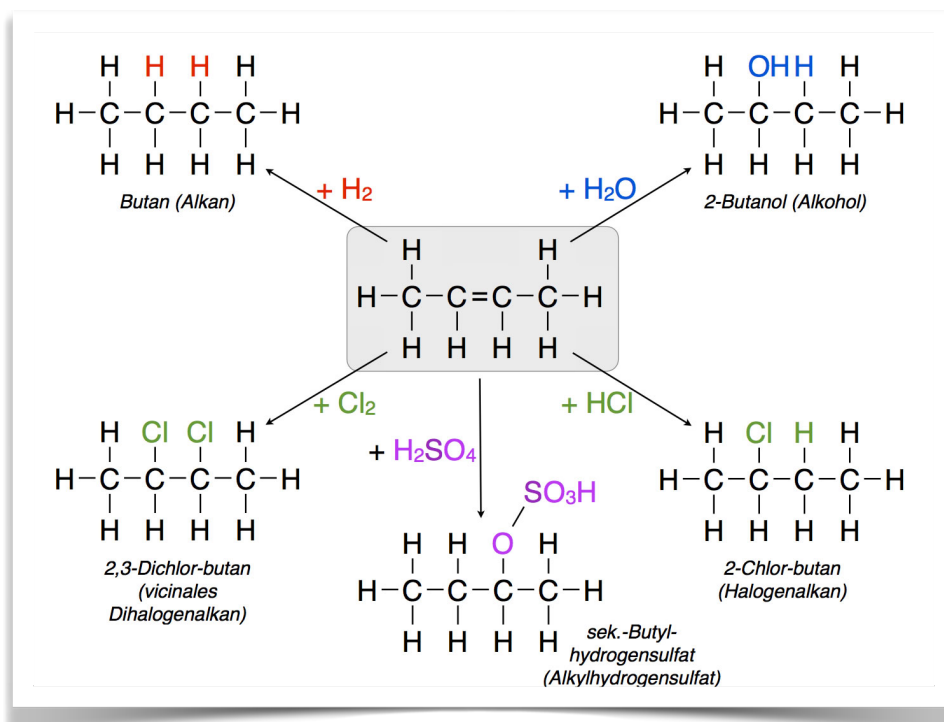
Hydratisierung

Die Hydratisierung ist die Addition von **Wasser** an ein Alken. Auch hier lagert sich zunächst ein Proton an die C=C-Doppelbindung an, wobei wieder die MARKOWNIKOW-Regel wirkt. In der Industrie ist die direkte Addition von Wasser an Alkene ein Hauptverfahren zur Herstellung von **Alkoholen**. Alkene können leicht aus Erdgas oder Erdöl gewonnen werden, entweder durch direkte Isolierung aus den Rohstoffen, oder durch Cracken längerer Alkane.

Addition von Schwefelsäure

Eine Reaktion, die im normalen Schulunterricht nicht besprochen wird, ist die Addition von **Schwefelsäure** an die C=C-Doppelbindung. Lässt man ein Alken mit kalter konzentrierter Schwefelsäure reagieren, entsteht ein **Alkylhydrogensulfat**. Flüssige Alkene werden einfach mit der Schwefelsäure vermischt, gasförmige Alkene werden durch die Schwefelsäure geleitet.

Überblick: Elektrophile Additionen an ein Alken

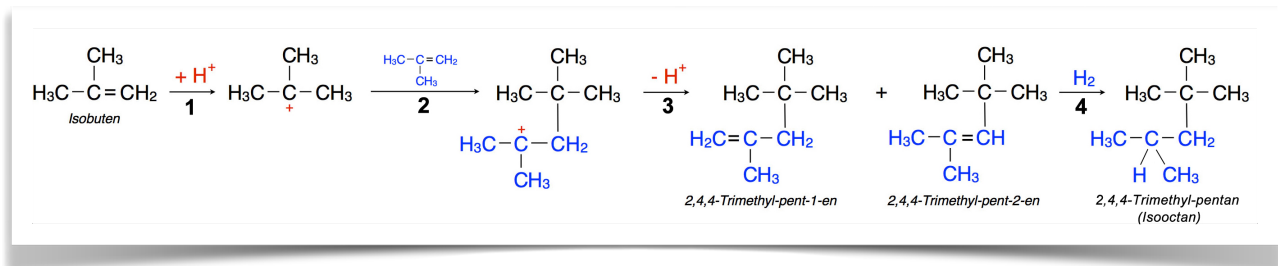


Weitere Einzelheiten zu den Reaktionen der Alkene finden Sie hier:

<https://u-helmich.de/che/Sek2/Organik/Klassen/Alkene/Alkene-06-Reaktionen.html>

Addition von Alkenen

Wenn sich ein Proton an die Doppelbindung eines Alkens setzt, entsteht als Zwischenprodukt ein **Carbenium-Ion**. Nun ist ein Carbenium-Ion *positiv* geladen und somit ein **Elektrophil**. Es kann sich also an die C=C-Doppelbindung eines anderen Alken-Moleküls setzen.



Anwendungsbeispiel: Synthese von Isooctan

1. Das schwarz gezeichnete Isobuten-Molekül wird protoniert (die Reaktion läuft unter Säure-Katalyse ab), es bildet sich ein Carbenium-Ion.
2. Das Carbenium-Ion reagiert als Elektrophil mit der C=C-Doppelbindung eines zweiten Isobuten-Moleküls (blau). Es bildet sich ein neues, doppelt so großes Carbenium-Ion.
3. Durch Abspaltung eines Protons entstehen die beiden Verbindungen 2,4,4-Trimethylpent-1-en und 2,2,4-Trimethylpent-2-en. Einen solchen Zusammenschluss von zwei Molekülen bezeichnet man auch als Dimerisierung; ein Dimer ist ein Gebilde, das aus zwei Molekülen besteht.
4. Durch Hydrierung der beiden Reaktionsprodukte entsteht das gewünschte **Isooctan**, wichtiger Treibstoffzusatz für Benzin.

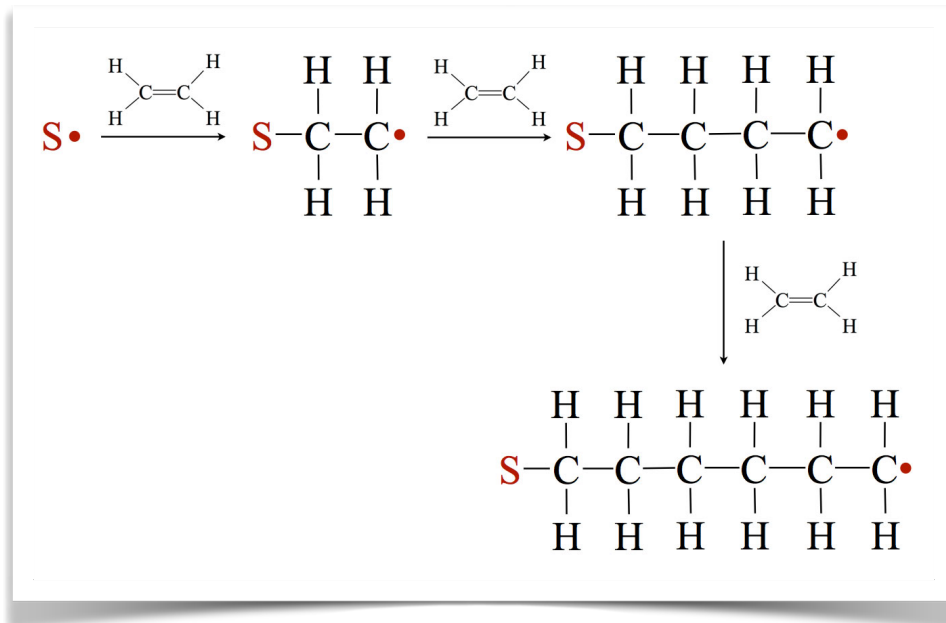
Weitere Einzelheiten zur Addition von Alkenen finden Sie hier:

<https://u-helmich.de/che/Sek2/Organik/Klassen/Alkene/Alkene-07-Dimerisierungen.html>

Polymerisierungen

Alkene können nicht nur dimerisieren, sondern auch polymerisieren. Allerdings ist der Mechanismus, nach dem Alkene polymerisieren, meistens kein kationischer (elektrophile Addition), sondern ein radikalischer.

Das einfachste Polymer auf Alkenbasis ist das **Polyethen** (PE).



Ein radikalisches **Startermolekül**, das dem Ethen hinzugefügt werden muss, lagert sich an ein Ethen-Molekül an.

Die Doppelbindung wird dabei "aufgeklappt", das eine Elektron der pi-Bindung paart sich mit dem einsamen Elektron des Starter-Radikals, und das andere Elektron der pi-Bindung bleibt erst mal für sich allein. Das heißt, aus dem Ethen-Molekül ist ein **Ethyl-Radikal** geworden, das mit dem Starter verbunden ist.

Dieses Ethyl-Radikal lagert sich an ein zweites Ethen-Molekül. Auch hier "klappt" die Doppelbindung auf, das eine Pi-Elektron paart sich mit dem einsamen Elektron des Ethyl-Radikals, und das andere Pi-Elektron bleibt zunächst ungepaart. Es ist jetzt ein **Butyl-Radikal** entstanden.

Und so geht das weiter, bis sich ein langes **Polymer** aus vielen Tausend (bis zu 10.000) Ethen-Molekülen gebildet hat.

Weitere Einzelheiten zur Polymerisierung finden Sie auf dieser Seite:
<https://u-helmich.de/che/Sek2/Organik/Klassen/Alkene/Alkene-08-Polymerisierungen.html>