

Bis jetzt haben wir die Gesamtreaktionsgleichungen von Additionsreaktionen kennen gelernt. Wir kennen die Ausgangsstoffe und die Produkte der Reaktion. Hier werden wir jetzt erklären, wie die Reaktion mechanistisch auf Molekülebene abläuft. Wir wollen also den **Reaktionsmechanismus** beschreiben. Gemeinsames Merkmal **elektrophiler Additionen** ist, dass die Reaktion durch den Angriff eines elektronenliebenden Teilchens, des **Elektrophils**, an die Doppel- oder Dreifachbindung eingeleitet wird.

Beispiel: Elektrophile Addition von Halogenen an die C=C-Doppelbindung

Video zum Mechanismus:

<https://youtu.be/GeZell59HDY>

- Lesen Sie zuerst den Text. Ergänzen Sie dann in der Abb. 1 an den Atomen  $\delta^+$  und  $\delta^-$ .  
Deuten Sie mit Pfeilen an, wie Bindungen gespalten werden und wo welche entstehen.  
Festigen Sie dann das Gelernte mit dem Lernvideo (siehe rechts):

Molekulare Halogene können in einem zweistufigen Mechanismus an die Doppelbindung von Alkenen addiert werden. Zuerst nähert sich zufällig das Halogenmolekül, beispielsweise ein  $\text{Br}_2$ -Molekül, der großen  $\pi$ -Elektronenwolke der Doppelbindung. Da sich die Ladungsdichten der Doppelbindung und die des Broms gegenseitig abstoßen, verschiebt sich die Ladung im Brommolekül zu dem weiter entfernten Bromatom. Dieses ist dann *negativ polarisiert*, trägt also eine negative Partialladung ( $\delta^-$ ). Das andere Bromatom in unmittelbarer Nachbarschaft zur Doppelbindung ist hingegen *positiv polarisiert* ( $\delta^+$ ). Durch die C=C-Doppelbindung wird also ein Dipol induziert, ähnlich wie bei der Ausbildung von van-der-Waals-Kräften. Durch diese Anziehung entsteht ein lockerer Zusammenschluss beider Moleküle, der  **$\pi$ -Komplex**. Der Ladungsmangel des  $\delta^+$ -Bromatoms macht es besonders reaktiv: Es greift an einem Ort mit großem Elektronenüberschuss an, es ist also ein **Elektrophil**. Allgemein tragen **elektrophile Teilchen** eine positive (Partial-)Ladung oder haben zumindest ein hohes Bestreben, Elektronen aufzunehmen. Nicht nur das eigentliche Elektrophil, das  $\delta^+$ -Br, sondern auch das Ausgangsmolekül, aus dem es sich leicht induziert wird, das  $\text{Br}_2$ , wird deshalb als Elektrophil bezeichnet.

Durch den elektrophilen Charakter des  $\delta^+$ -Br wird die  $\pi$ -Bindung gespalten und die Elektronen statt dessen für neue Bindungen mit dem Brom-Atom genutzt. Gleichzeitig wird die Bindung zwischen den Bromatomen **heterolytisch** gespalten, das heißt, ungleichmäßig: Die beiden Bindungselektronen finden sich anschließend nur bei einem der beiden entstehenden Atome, beim Bromid-Ion ( $\text{Br}^-$ ). Der entstandene cyclische Übergangszustand wird **Bromonium-Ion** genannt. Das Bromatom des Rings trägt jetzt nicht mehr nur eine Teilladung, sondern eine ganze positive Formalladung. Hiervor kann man sich durch Zählen der Außenelektronen überzeugen. Die positive Ladung ist allerdings nicht allein beim Bromatom *lokalisiert*. Sie verteilt sich über den gesamten Ring, sie ist also **delokalisiert**: Es gibt mehrere energetisch gleichwertige **mesomere Grenzformeln** (vgl. Lernvideo und Aufgabe 2!)

Das  $\text{Br}^-$ -Ion kann in einem zweiten Schritt das Bromonium-Ion angreifen, denn es ist negativ geladen und kann Ladungsdichte für Bindungen zur Verfügung stellen. Solche Teilchen werden **Nucleophile** (= „kernliebend“) genannt. Damit sich tatsächlich Produkte bilden und nicht nur eine Rückreaktion zum  $\pi$ -Komplex stattfindet, muss das  $\text{Br}^-$  von der **Rückseite** angreifen. Während sich die neue Bindung zwischen dem Bromid-Ion und einem der C-Atome bildet, wird die Bindung zum anderen Br-Atom gelöst. Es bildet sich das **1,2-Dibromethan**. In Kurzschreibweise und für Alkene verallgemeinernd lautet der Mechanismus also:

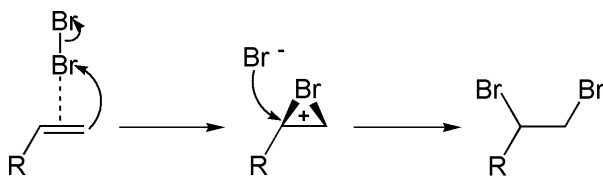


Abb. 2: Mechanismus der Bromierung eines Alkens. (Quelle: www.commonswiki.de Autor: Eschenmoser)

- Notieren Sie den vollständigen Reaktionsmechanismus wie in Abb. 2 mit ausführlichen Strukturformeln und mit den mesomeren Grenzformeln (vgl. Video).
- [Mit Lehrkraft]: Der elektrophilen Angriff bei der Addition von Halogenwasserstoffen führt zur Protonierung des Alkens. Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus.

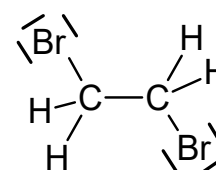
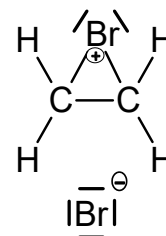
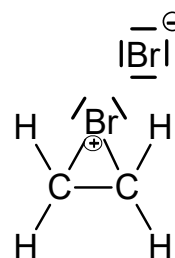
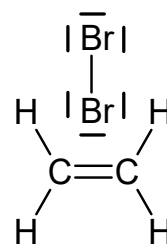
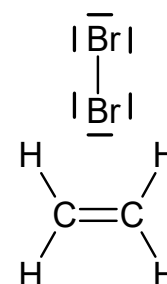


Abb. 1: Momentaufnahmen des Mechanismus (Quelle: e. W.)