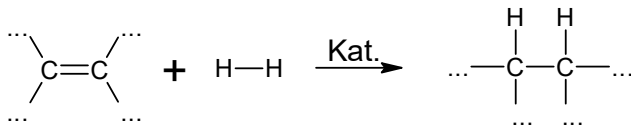


Ungesättigte Kohlenwasserstoffe sind deutlich reaktiver als die Alkane: Die C=C-Doppelbindung und C≡C-Dreifachbindung sind Orte mit ausladenden Elektronenwolke. Hier können sich verschiedene Reaktionspartner anlagern. Bei diesen **Additionsreaktionen** werden zwei Moleküle zu einem vereinigt, wobei eine Mehrfachbindung aufgespalten wird

**1. Hydrierung:** Die Addition von Wasserstoff findet an einem festen Katalysator statt

Die Anlagerung von Wasserstoff an eine Mehrfachbindung, zumeist eine Doppelbindung, wird **Hydrierung** genannt. Die Reaktion ist so wichtig, dass 1912 der Nobelpreis in Chemie für die Entdeckung und systematische Erforschung vergeben wurde: Das Nobelpreiskomitee ehrte damit den Franzosen PAUL SABATIER „für seine Methode, organische Verbindungen bei Gegenwart fein verteilter Metalle zu hydrieren, wodurch der Fortschritt der organischen Chemie in den letzten Jahren in hohem Grad gefördert worden ist“. Aus dieser Ehrung geht deutlich hervor, dass es sich um eine Reaktion an einem festen Katalysator handelt. Die allgemeine Reaktionsgleichung für die Hydrierung eines Alkens lautet:



1.1 Beschreiben Sie anhand Abb. 1 (siehe rechts) den Mechanismus der Hydrierung

.....

.....

.....

.....

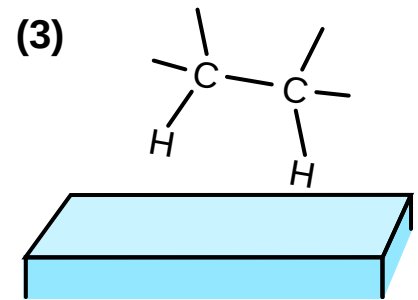
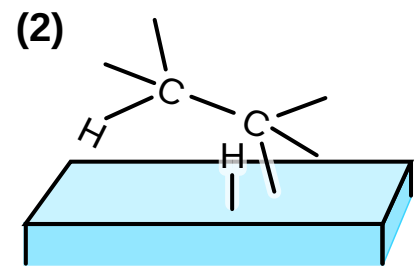
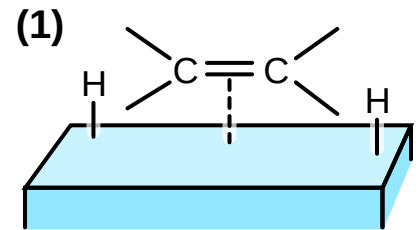
.....

.....

.....

.....

.....



**Abb. 1:** Mechanismus der katalytischen Hydrierung. (Quelle: wikimedia commons. Autor: Michael Schmid)

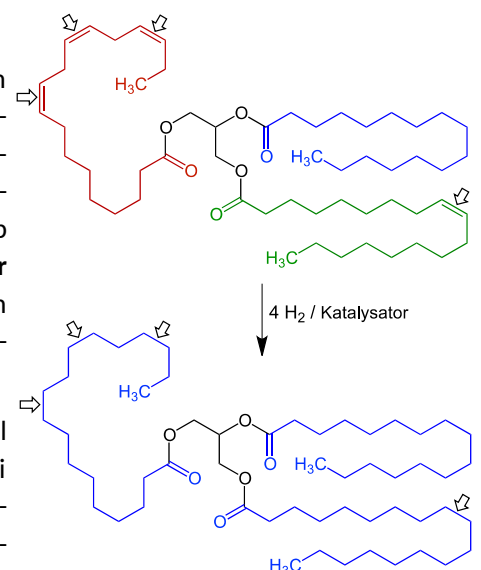
1.2 a) Zeichnen Sie ein beschriftetes Energiediagramm und erklären Sie die Wirkungsweise des Katalysators

1.2 b) Das Nobelpreiskomitee erwähnt, dass der Katalysator als fein verteiltes Metall vorliegt. Worin liegt der Sinn des hohen Zerteilungsgrades?

**Beispiel für aus der Lebensmittelindustrie: Die Härtung von Fetten**

Die Fettsäuren von Fettmolekülen sind häufig einfach oder mehrfach ungesättigt. In der Natur liegen diese Stellen in *cis*-Konfiguration (*Z*-Konfiguration) vor, die Alkylreste knicken an diesen Stellen ab (vgl. Abb. 2). Durch die Knicke können sich benachbarte Moleküle räumlich nicht so gut aneinander lagern und sich nahe kommen. Eine zufällige Ungleichverteilung der Ladung (**spontaner Dipol**) kann deshalb im benachbartem Fettsäurerest nur erschwert ein Dipol induzieren (**induzierter Dipol**). Die van-der-Waals-Wechselwirkungen sind deshalb gering. Fette die reich an ungesättigten Fettsäuren sind, besitzen deshalb einen relativ niedrigen Schmelzbereich und liegen bei Raumtemperatur eher flüssig vor. Man spricht von Ölen.

Bei der Fetthärtung wird ein gewisser Anteil der Doppelbindungen an festem Nickel als Katalysator hydriert. Dadurch steigt der Schmelzbereich des Fetts. Dies wird bei der Herstellung von Margarine genutzt. Bei der partiellen Härtung von Sonnenblumenöl kann man so ein streichfähiges Produkt erhalten, die Sonnenblumenmargarine. Ungesättigte Fettsäuren sind allerdings ernährungsphysiologisch wertvoll, da einige von ihnen der Organismus nicht selbst herstellen kann. Deshalb wird gerade nur in dem Ausmaß gehärtet, wie es für die Streichfähigkeit erforderlich ist.



**Abb.2:** Hydrierung von Fetten. Quelle: wikimedia commons. Autor: Jü

Margarine ist deshalb immer noch relativ reich an ungesättigten Fettsäuren.

Auf der anderen Seite ist Butter ein Produkt der Massentierhaltung und seine Herstellung mit Leid für Tiere verbunden. Der Anbau von Soja als Tiernahrung für die Massentierhaltung zerstört darüber hinaus Regenwaldflächen. Wer auf Butter bewusst verzichtet und statt dessen Margarine nutzt, schont Tier und Natur. Allerdings wird bei „**Pflanzenmargarine**“ nicht deklariert, aus welchen pflanzlichen Fetten sie hergestellt ist. Weil es billiger ist, besteht sie meistens zu großen Teilen aus Palmfett, das ebenfalls häufig auf Flächen

angebaut wird, die durch Abholzung von Regenwald entstanden sind. Die ökologisch bessere Alternative ist **Sonnenblumenmargarine**, auch wenn sie 5-10 Cent mehr kostet als *Pflanzenmargarine*.

Mit **Dehydrierung** bezeichnet die Abspaltung von Wasserstoff aus einer chemischen Verbindung. Es handelt sich um die Umkehrreaktion zur Hydrierung. Allgemein wird die Spaltung einer Verbindung unter Bildung einer Doppelbindung als **Eliminierungsreaktion** bezeichnet. Es handelt sich um das Gegenteil einer *Additionsreaktion*.

**1.3** *n*-Pentan lässt sich katalytisch dehydrieren. Benennen Sie die Hauptprodukte der Reaktion und geben Sie exemplarisch eine Reaktionsgleichung an.

## 2. Weitere Additions- und Eliminierungsreaktionen

Es gibt viele weitere Additionsreaktionen, die im Unterschied zur Hydrierung jedoch keinen Feststoffkatalysator benötigen. Wie auch die Hydrierung sind die reversibel. Das heißt, es ist auch hier die Rückreaktion möglich, die Eliminierungsreaktion.

### Halogenierungen und Dehalogenierungen

An die Mehrfachbindung können Halogenmoleküle addieren. Solche **Halogenierungen** sind mit Chlor ( $\text{Cl}_2$ ), mit Brom ( $\text{Br}_2$ ) und mit Iod ( $\text{I}_2$ ) möglich. Fluor ( $\text{F}_2$ ) hingegen ist hochreaktiv und würde unselektiv C-C- und C-H-Bindungen angreifen.

**2.1** Notieren Sie die Reaktionsgleichungen für die einfache und die doppelte Bromierung von Ethen.

### Hydrohalogenierung und Dehydrohalogenierung

An die Mehrfachbindung können Halogenwasserstoffmoleküle addieren, also HCl, HBr und HI. Die entsprechenden Eliminierungsreaktionen aus Halogenalkanen werden **Dehydrohalogenierungen** genannt.

**2.2** Notieren Sie die Reaktionsgleichung für die Hydrochlorierung von (2Z)-But-2-en (cis-But-2-en).

**2.3** Geben Sie die denkbaren Reaktionsprodukte für die Dehydrobromierung von 2-Brom-3-methylpentan an.

### Hydratisierung und Dehydratisierung

An die Mehrfachbindung können Wassermoleküle ( $\text{H}_2\text{O} = \text{H}-\text{OH}$ ) addieren.

**2.4** So kann man aus Ethen den Alkohol Ethanol herstellen ( $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{OH}$ ). Formulieren Sie die Reaktionsgleichung.