

## Das chemische Gleichgewicht

Wirft man ein Zink-Stückchen in ein Reagenzglas, das mit verdünnter Salzsäure gefüllt ist, entsteht Wasserstoff, der aus dem Reagenzglas entweicht und in einem Messzylinder aufgefangen werden kann. Das entstehende Produkt geht dem System verloren, es handelt sich daher um ein **offenes System**. Diese Reaktion wäre auch umkehrbar (Bedingung 1), wenn man die Produkte Wasserstoff und Zinkchlorid bei hohen Temperaturen und unter hohem Druck in einen abgeschlossenen Behälter sperren würde. Man erhält dann ein **geschlossenes System** (Bedingung 2). Bei geschlossenen Systemen stellt sich nach einiger Zeit ein chemisches Gleichgewicht ein.

**Offene und geschlossene Systeme**

© Thomas Seilnacht

Offenes System:	Geschlossenes System:
keine Rück-Reaktion möglich	Rück-Reaktion möglich
$2 \text{HCl} + \text{Zn} \rightarrow \text{H}_2 + \text{ZnCl}_2$	$2 \text{HCl} + \text{Zn} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{ZnCl}_2$

**Der Apfelkrieg**

Beide Spieler hatten am Anfang je 9 Äpfel in ihrem Feld.

© Thomas Seilnacht

Feld des Großvaters nach 1 Minute: 12 Äpfel

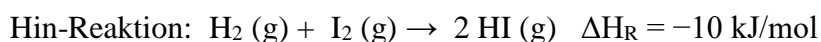
Feld des Enkels nach 1 Minute: 6 Äpfel

Konstantes dynamisches Gleichgewicht nach einer Minute:

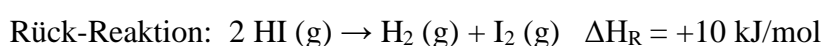
$$K = \frac{\text{Apfelmenge Großvater}}{\text{Apfelmenge Enkel}} = \frac{12}{6}$$

Dieses Phänomen soll zunächst anhand des Modellbeispiels „Apfelkrieg“ erläutert werden: Ein Großvater spielt gegen seinen Enkel im Garten ein merkwürdiges Spiel. Jeder Spielteilnehmer erhält zu Beginn 9 Äpfel. Ziel des Spiels ist es, in das gegnerische Feld möglichst viele Äpfel zu werfen. Nach einiger Zeit lässt sich feststellen, dass sich ein konstantes, dynamisches Gleichgewicht einstellt. Im Feld des Großvaters befinden sich mehr Äpfel als im Feld des Enkels.

Nun lässt sich auch die Gleichgewichts-Reaktion zwischen Iod und Wasserstoff besser verstehen. Ein Gemisch zwischen gasförmigem Iod und gasförmigem Wasserstoff reagiert in einem abgeschlossenen System bei erhöhter Temperatur teilweise zu Iodwasserstoff.



Die Reaktion erfolgt jedoch nicht vollständig, da Iodwasserstoff bei der gleichen Temperatur teilweise wieder zu Iod und Wasserstoff zerfällt:



Es stellt sich ein chemisches Gleichgewicht ein, bei dem alle an der chemischen Reaktion beteiligten Stoffe in einem bestimmten Mengenverhältnis vorliegen ( $c = \text{const.}, c \neq 0$ ). Dabei spielt es keine Rolle, ob man mit den Ausgangsstoffen oder mit den Produkten startet, stets stellt sich der gleiche Gleichgewichtszustand ein.



Der Doppelpfeil kennzeichnet die Gleichgewichts-Reaktion. Bei der Hin-Reaktion nimmt die Konzentration der Ausgangsstoffe ständig ab, dadurch verringert sich die Geschwindigkeit der Hin-Reaktion. Gleichzeitig nimmt die Konzentration der Produkte zu, somit vergrößert sich die Geschwindigkeit der Rück-Reaktion. Ist die Reaktionsgeschwindigkeit von Hin- und Rück-Reaktion gleich, ist das chemische Gleichgewicht eingestellt (Abb.1).

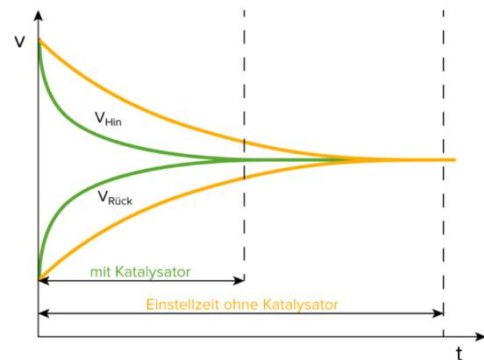


Abbildung 1: Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm

Obwohl die Stoffmengenkonzentrationen makroskopisch konstant sind, finden Hin- und Rückreaktion immer noch parallel statt; man spricht von einem **dynamischen Gleichgewicht**.

Katalysatoren beeinflussen die Lage des Gleichgewichts nicht, sie verkürzen nur die Einstellzeit bis zum Gleichgewicht (siehe Abb.1).

Die Lage des Gleichgewichts hängt immer von der Reaktion selbst ab. Es gibt unterschiedliche Lagen:

<p>Die Lage des GG ist ausgeglichen.</p>	<p>Die Lage des GG liegt auf Seiten der Produkte.</p>
	<p>Die Lage des GG ist auf Seiten der Edukte.</p>

## Zusammenfassung:

### Voraussetzungen des chemischen Gleichgewichts

- **Geschlossenes oder abgeschlossenes System:** Reversible Reaktionen können nur dann ablaufen, wenn keiner der beteiligten Stoffe entweichen kann.
- **Umkehrbare (reversible) Reaktion:** Wenn die Reaktion begonnen hat und die ersten Produkte entstanden sind, schließt sich sofort und unmittelbar die Rückreaktion an, so dass die Produkte wieder in ihre Ausgangsstoffe zerlegt werden. Durch das Hin- und Herpendeln der Reaktionen gleichen sich die Reaktionsgeschwindigkeiten der Reaktionspartner an, bis nach einer gewissen Zeit ein konstantes Verhältnis dieser entstanden ist.

### Merkmale des chemischen Gleichgewichts

- Hin- und Rückreaktion laufen parallel ab, dynamisches Gleichgewicht
- Identische Reaktionsgeschwindigkeit [ $V_{\text{Hin}} = V_{\text{Rück}}$ ]
- Von beiden Seiten einstellbar
- Ausgangsstoffe und Reaktionsprodukte liegen gleichzeitig und in festem Konzentrationsverhältnis vor
- Unvollständiger Stoffumsatz
- Stoffumwandlung nur noch auf Teilchenebene feststellbar aufgrund der gleichbleibenden Stoffkonzentrationen
- Es gilt:  $C_{\text{RP}} / C_{\text{AS}} = \text{konstant}$
- Katalysatoren beeinflussen die Lage des Gleichgewichts nicht, verkürzen aber die Einstellzeit des Gleichgewichts