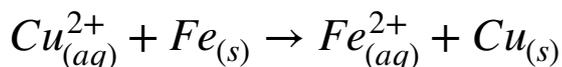


# Freie Enthalpie bei Redoxreaktionen

Wenn man einen Eisennagel in eine Kupfersulfatlösung stellt, bildet sich schnell eine dünne Kupferschicht um den Eisennagel herum. Die Reaktionsgleichung dazu kennen Sie aus dem Unterricht:



Diese Redoxreaktion läuft bei Zimmertemperatur freiwillig und exotherm ab. Wir wollen diese Reaktion nun unter energetischen Aspekten näher analysieren.

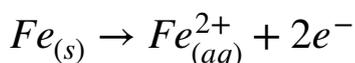
Metall	Sublimationsenthalpie*	Ionisierungsenthalpie*	Hydrationsenthalpie*	Redoxpotenzial in V
Lithium	2 * 128	2 * 522	2 * -510	-3,04
Magnesium	114	2193	-1905	-2,36
Zink	95	2643	-2025	-0,76
Eisen	358	2326	-1910	-0,44
Kupfer	300	2708	-2080	0,35
Silber	2 * 247	2 * 738	2 * -478	0,80
Gold	2 * 305	2 * 893	2 * -606	1,68

## 1. Oxidation der Eisen-Atome

Damit aus Eisen-Atomen  $\text{Fe}_{(s)}$  hydratisierte Eisen-Ionen  $\text{Fe}^{2+}_{(aq)}$  werden, müssen folgende Teilreaktionen ablaufen:

1. **Sublimation** der Eisen-Atome. Das feste Eisen  $\text{Fe}_{(s)}$  muss in gasförmiges  $\text{Fe}_{(g)}$  überführt werden. Dafür ist ein Energiebetrag von 358 kJ/mol notwendig, die sogenannte **Sublimationsenthalpie**.
2. **Ionisierung** der Eisen-Atome. Die gasförmigen Eisen-Atome besitzen zwei Außenelektronen. Diese müssen nun entfernt werden. Diese Reaktion ist ebenfalls endotherm und kostet 2326 kJ/mol an **Ionisierungsenthalpie**.
3. **Hydratisierung** der Eisen-Ionen. Kommen die so entstandenen  $\text{Fe}^{2+}_{(g)}$ -Ionen mit Wasser in Berührung, bildet sich eine **Hydrathülle** um die Eisen-Ionen. Dabei entstehen Bindungen zwischen den Eisen-Ionen und den Wasser-Molekülen. Immer dann, wenn neue Bindungen entstehen, wird ein gewisser Energiebetrag freigesetzt. Im Falle der Bindung von Wasser-Molekülen spricht man auch von der **Hydrationsenthalpie**. Beim Eisen hat diese den Wert -1910 kJ/mol.

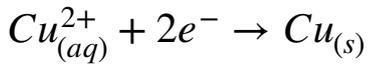
Rechnen wir nun alles zusammen. Die Sublimation und die Ionisierung des Eisens verschlingen zusammen 2684 kJ/mol, bei der Hydratisierung werden allerdings 1910 kJ/mol freigesetzt. Insgesamt „kostet“ die Teilreaktion



einen Betrag von 774 kJ/mol; es handelt sich also um eine endotherme Reaktion.

## 2. Reduktion der Kupfer-Ionen

Rechnen wir das Ganze jetzt für die Reduktion



durch. Allerdings müssen wir hier genau umgekehrt vorgehen. Zunächst müssen wir die hydratisierten Kupfer-Ionen „enthdratisieren“. Das kostet einen Energiebetrag von 2080 kJ/mol. Die so erhaltenen „nackten“ Kupfer-Ionen müssen nun ihre Außenelektronen zurück erhalten. Hierbei wird ein Energiebetrag freigesetzt (die Entfernung der Elektronen kostete Energie, das Zurückbringen der Elektronen liefert also entsprechend Energie), nämlich -2708 kJ/mol. Schließlich müssen die gasförmigen Kupfer-Atome in feste Kupfer-Atome zurückverwandelt werden (Resublimation). Auch hierbei wird Energie freigesetzt, nämlich 300 kJ/mol.

Rechnen wir wieder alles zusammen, dann kommen wir auf -928 kJ/mol. Die Reduktion ist also stark exotherm.

## 3. Gesamtreaktion

Nun müssen wir die Gesamtreaktion der Umsetzung von Eisen mit Kupfersulfat-Lösung betrachten. Die Oxidation des Eisens kostete 774 kJ/mol, die Bildung der Kupfer-Atome aus den Kupfer-Ionen lieferte 928 kJ/mol. Insgesamt wird also mehr Energie bei der Reduktion freigesetzt, als bei der Oxidation aufgewandt wurde. Die Gesamtreaktion liefert genau -154 kJ/mol an Reaktionsenthalpie, ist also exotherm.

## 4. Aufgaben

Wenn Sie das Ganze nun verstanden haben, berechnen Sie bitte mit Hilfe der Tabelle auf Seite 1 die Reaktionsenthalpien folgender Redoxreaktionen aus:

1. Umsetzung von Eisen mit Silber-Ionen  $\text{Ag}^{+}$ .
2. Umsetzung von Zink mit Eisen-Ionen  $\text{Fe}^{2+}$ .
3. Umsetzung von Zink mit Silber-Ionen  $\text{Ag}^{+}$ .
4. Umsetzung von Lithium mit Gold-Ionen  $\text{Au}^{+}$ .

## 5. Expertenaufgabe

Wenn man sich so die verschiedenen Metalle anschaut, fragt man sich natürlich, wieso eigentlich ist Silber edler als Eisen, und Eisen edler als Zink? Kann man aus den in der Tabelle genannten Enthalpien vorhersagen, wie „edel“ ein Metall ist bzw. welches Standard-Redoxpotenzial es ungefähr hat? Versuchen Sie, einen solchen Zusammenhang aufzuzeigen oder zu widerlegen, indem Sie die in der Tabelle genannten Enthalpiewerte mit den Redoxpotenzialen der Metalle in Bezug setzen.

Es kann auch sein, dass man bei zwei oder drei Metallen einen solchen Zusammenhang eindeutig erkennen kann, bei anderen Metallen aber nicht. Auch in diesem Fall sollten Sie aufzeigen, wo das der Fall ist bzw. wo nicht.

### \*Unterschied Energie / Enthalpie

Unter **Enthalpie**  $H$  versteht man die Summe aus der **inneren Energie**  $U$  eines Systems und dem Produkt aus **Druck**  $p$  und **Volumen**  $V$  des Systems:  $H = U + pV$ .

Bei einfachen chemischen Reaktionen im Reagenzglas kann man Druck und Volumen vernachlässigen, in diesem Fall sind Enthalpie und Energie nahezu identisch. Verändert sich während der Reaktion jedoch der Druck oder das Volumen, so sollte man die Enthalpiewerte angeben.