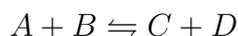


0.1 Das Massenwirkungsgesetz



$$RG = k_1 c(A)c(B) = k_2 c(C)c(D)$$

$$k_1 c(A)c(B) = k_2 c(C)c(D)$$

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{c(C)c(D)}{c(B)c(A)} \Rightarrow \frac{k_1}{k_2} = K_c$$

$$K_c = \frac{c(C)c(D)}{\underbrace{c(A)c(B)}_{Q_c}}$$



$$K_c = \frac{c(C)c(C)}{c(A)c(B)} = \frac{c^2(C)}{c(A)c(B)}$$

Ein System im Gleichgewicht besitzt die Gleichgewichtskonstante K_c . Der Quotient Q_c aus dem Massenwirkungsprodukt der Produkt-Seite und dem der Edukt-Seite hat bei konstanter Temperatur einen konstanten Wert.

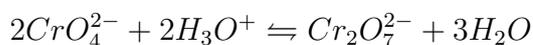
0.1.1 Anwendung im Labor



$$K_c = \frac{c(Fe(SCN)_3)}{c(Fe^{3+})c^3(SCN^-)}$$

Da K_c konstant bleibt, muss eine Erhöhung der Konzentration der Fe^{3+} -Ionen im Nenner des Massenwirkungsgesetzes eine Erhöhung der Konzentration der Eisenthioocyanat-Ionen im Zähler und eine Erniedrigung der Konzentration der SCN^- -Ionen nach sich ziehen.

Versuch: Chromat/Dichromat-Gleichgewicht:



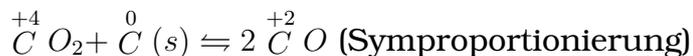
$$K_c = \frac{c(Cr_2O_7^{2-})c^3(H_2O)}{c^2(CrO_4^{2-})c^2(H_3O^+)}$$

In verdünnten wässrigen Lösungen ist die Konzentration von Wasser praktisch konstant und wird deshalb bereits in den Wert von K_c aufgenommen.

$$\Rightarrow K_c = \frac{c(Cr_2O_7^{2-})}{c^2(CrO_4^{2-})c^2(H_3O^+)}$$

Anwendungen in der Technik

Boudouard-Gleichgewicht:



$$\text{MWG: } K_c = \frac{c^2(CO)}{c(CO_2)c(C)} \Rightarrow K_c = \frac{c^2(CO)}{c(CO_2)} \quad \Delta H_R = +173 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Die Konzentration n eines Feststoffes lässt sich nicht angeben, und wird deswegen als konstant angesehen. Ihr wird der einheitenlose Wert 1 zugewiesen.

Berechnungen des konstanten K_c

1. Im Boudouard-Gleichgewicht liegen bei $T = 700^\circ\text{C}$, 25% Volumenprozent an CO_2 vor. Das molare Volumen beträgt $V_M = 75 \frac{\text{l}}{\text{mol}}$. Berechne K_c .

$$K_c = \frac{c^2(CO)}{c(CO_2)} = \frac{n^2(CO)V}{V^2 n(CO_2)} = \frac{V^2(CO)V_M}{V_M^2 V V(CO_2)} = \frac{(75\%)^2 V^2}{V_M V \cdot 25\% V} = \frac{(75\%)^2}{25\%} \frac{1}{V_M} = 0,03 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

$$K_c > 1$$

Gleichgewicht liegt auf der Seite der Produkte

$$K_c < 1$$

Gleichgewicht liegt auf der Seite der Edukte

2. Berechne für das Iod-Wasserstoff-Gleichgewicht

- a) das Volumen des Gases bei $p = 20\text{MPa}$ und $T = 500^\circ$ und
- b) die Gleichgewichtskonstante K_c bei Vol.-%(HI) = 64%, Vol.-%(Iod) = 23%, Vol.-%(Wasserstoff) = 13%.

$$\text{a) } \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

$$V_1 = \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2} V_2 = 0,32\text{l}$$

$$\text{b) } V = 0,32\text{l}$$

$$K_c = \frac{c^2(HI)}{c(H_2)c(I_2)}$$

$$c = \frac{n}{V}$$

$$c(HI) = \frac{0,64\text{mol}}{0,32\text{l}} = 2 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

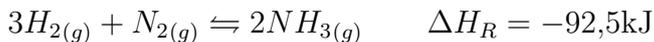
$$c(I_2) = \frac{0,23\text{mol}}{0,32\text{l}} = 0,72 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

$$c(H_2) = \frac{0,73\text{mol}}{0,32\text{l}} = 0,4 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

$$K_c = 13,9$$

0.1.2 Die großtechnische Anwendung des Massenwirkungsgesetzes

Haber-Bosch-Verfahren



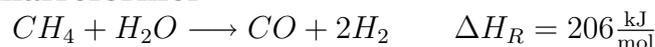
Optimierung der Reaktionsbedingungen:

- Hohe **Konzentration** der Ausgangsstoffe
- **Temperaturerniedrigung**, da Reaktion exotherm ist; Temperatur muss aber hoch genug sein, um genug Aktivierungsenergie für reaktionsträgen Stickstoff aufzubringen, darf aber nicht zu hoch sein, da sonst der Zerfall von Ammoniak begünstigt wird (400°C-500°C)
- **Druckerhöhung** begünstigt Hinreaktion (250bar-350bar) (Le Chatelier)
- Ammoniak immer aus dem Gasgemisch entfernen (gut da Siedepunkte weit auseinander liegen)
- Verhältnis: Wasserstoff : Stickstoff = 3 : 1
- Katalysator: Poröse Eisenkörner, denen zur Aktivierung Oxide von Calcium, Kalium und Aluminium zugesetzt werden

Großtechnische Verwirklichung:

- Synthesegas:

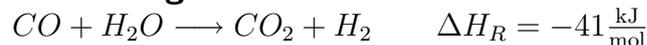
Primärreformer



Sekundärreformer



Konvertierung



- Kreisprozess:

Die Synthese wird im Kreislauf betrieben, der entstandene Ammoniak wird durch Kühlung abgetrennt, das Synthesegas wird wieder in den Synthesereaktor zurückgeführt.

Verwendung von Ammoniak:

- Sprengstoffe
- Düngemittel
- Farbstoffe
- Arzneimittel
- Kunststoffe
- Salpetersäure