

Übungsaufgabe

Reaktionsgleichgewicht: Gibbs-Energie,
Gleichgewichtskonstante K , Reaktionsquotient Q
und Temperaturabhängigkeit (Van't Hoff)

Universität: Technische Universität Berlin
Kurs/Modul: Thermodynamik II
Erstellungsdatum: September 6, 2025



Zielorientierte Lerninhalte, kostenlos!
Entdecke zugeschnittene Materialien für deine Kurse:

<https://study.AllWeCanLearn.com>

Thermodynamik II

Aufgabe 1: Reaktionsgleichgewicht – Gibbs-Energie, Gleichgewichtskonstante K , Reaktionsquotient Q und Van't Hoff

Betrachten Sie das Gleichgewicht einer chemischen Reaktion der Form $A \rightleftharpoons B$ sowie die Abhängigkeiten von Gibbs-Energie, Gleichgewichtskonstante und Temperatur.

a) Zusammenhang zwischen Gibbs-Energie, Reaktionsquotient und Gleichgewichtskonstante
Gib die Relation zwischen der Gibbs-Energie der Reaktion ΔG , der Standard-Gibbs-Energie ΔG° und dem Reaktionsquotienten Q an. Schreibe die Gleichungen so, dass sie nacheinander lesbar sind und nicht nebeneinander stehen.

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

$$\Delta G = 0 \Rightarrow Q = K$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$

b) Gleichgewichtskonstante bei 298 K

Für die Reaktion $A \rightleftharpoons B$ sei gegeben $\Delta G^\circ = -25.0 \text{ kJ mol}^{-1}$ bei $T = 298 \text{ K}$. Berechne die Gleichgewichtskonstante K_{298} .

Hinweis: Verwende $\ln K = -\Delta G^\circ / (RT)$ mit $R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

c) Reaktionsquotient Q zu einem gegebenen Stand der Mischung

Angenommen, bei 298 K gilt eine Aktivität $a_A = 0.60$ und $a_B = 0.20$ für die Reaktion $A \rightleftharpoons B$. Bestimme den Reaktionsquotienten

$$Q = \frac{a_B}{a_A}$$

und vergleiche ihn qualitativ mit der Gleichgewichtskonstante K (aus Teil (b)) hinsichtlich Richtung der Verschiebung des Gleichgewichts.

d) Temperaturabhängigkeit – Van't Hoff

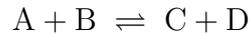
Leite die integrierte Van't-Hoff-Beziehung her und gib eine Formel an, mit der sich K bei einer anderen Temperatur T_2 aus T_1 , K_1 und der Reaktionsenthalpie ΔH° ableiten lässt. Verwende die häufig genutzte Form:

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Gegeben sei $\Delta H^\circ = -40 \text{ kJ mol}^{-1}$ und $T_1 = 298 \text{ K}$ mit einer bekannten K_1 (unspezifiziert). Formuliere die Gleichung so, dass K_2 in Abhängigkeit von K_1 und T_2 ausgedrückt wird. Für $T_2 = 350 \text{ K}$ gib die relationale Form an (ohne numerische Auswertung).

Aufgabe 2: Mehrkomponenten-Gleichgewicht und Temperaturabhängigkeit

Betrachte die Reaktion



mit den folgenden Grundlagenannahmen: Die Reaktionsenthalpie ΔH° ist konstant und bekannt, und die Gleichgewichtskonstante K ändert sich mit der Temperatur gemäß dem Van't-Hoff-Gesetz.

a) Allgemeine Ausdrucksform

Formuliere die allgemeine Ausdrucksform für die Gleichgewichtskonstante eines Mehrkomponenten-Gleichgewichts in Abhängigkeit der beteiligten Aktivitäten. Gib die explizite Form von K für die gegebene Reaktion $A + B \rightleftharpoons C + D$ an:

$$K = \frac{a_C a_D}{a_A a_B}$$

b) Van't-Hoff-Berechnung (symbolisch)

Für die Reaktion $A + B \rightleftharpoons C + D$ sei bekannt, dass $\Delta H^\circ = -20 \text{ kJ mol}^{-1}$ und dass bei $T_1 = 298 \text{ K}$ die Gleichgewichtskonstante K_1 existiert. Verwende

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

um eine relationale Form für K_2 bei $T_2 = 323 \text{ K}$ auszugeben (ausgedrückt durch K_1).

c) Reaktionsquotient bei gegebenen Mischungsaktivitäten

Gegeben seien die Aktivitäten der Spezies bei $T = 298 \text{ K}$: $a_A = 0.50$, $a_B = 0.40$, $a_C = 0.10$, $a_D = 0.05$. Bestimme den Reaktionsquotienten

$$Q = \frac{a_C a_D}{a_A a_B}$$

und diskutiere, ob sich das System nach der gegebenen Mischung eher Richtung Produkte oder Richtung Edukte verschieben würde, falls Q größer bzw. kleiner als K_1 ist (ohne numerische Angabe von K_1).

Lösungen

Lösung zu Aufgabe 1

a) Zusammenhang zwischen Gibbs-Energie, Reaktionsquotient und Gleichgewichtskonstante

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

$$\Delta G = 0 \quad \Rightarrow \quad Q = K$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$

b) Gleichgewichtskonstante bei 298 K

Gegeben: $\Delta G^\circ = -25.0 \text{ kJ mol}^{-1}$, $T = 298 \text{ K}$.

Berechnung:

$$\ln K = -\frac{\Delta G^\circ}{RT} = -\frac{-25,000 \text{ J mol}^{-1}}{8.314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1} \cdot 298 \text{ K}} \approx 10.09$$

$$K_{298} = \exp(10.09) \approx 2.4 \times 10^4$$

Hinweis: Die Zahlenwerte können je nach verwendeter R-Genauigkeit leicht variieren; der Wertebereich ist jedoch eindeutig.

c) Reaktionsquotient Q zu gegebenem Stand der Mischung

Gegeben: $a_A = 0.60$, $a_B = 0.20$.

$$Q = \frac{a_B}{a_A} = \frac{0.20}{0.60} = \frac{1}{3} \approx 0.333$$

Qualitative Zuordnung zur Richtung (vergleiche mit K aus Teil (b)):

- Da $Q \ll K$ ($K \approx 2.4 \times 10^4$), liegt das Gleichgewicht noch stark in Richtung Produkte. Die Reaktion wird daher tendenziell nach rechts (zur Bildung von B) verschoben, um Q an K heranzuführen. - Falls $Q > K$ wäre, würde die Verschiebung in Richtung Edukte erfolgen.

d) Temperaturabhängigkeit – Van't-Hoff

Stammform der integrierten Van't-Hoff-Beziehung (wie vorgegeben):

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Aus dieser Gleichung folgt die äquivalente Form, in der K_2 direkt aus K_1 , ΔH° und den Temperaturen bestimmt wird:

$$K_2 = K_1 \exp\left(-\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)\right)$$

Gegeben sei $\Delta H^\circ = -40 \text{ kJ mol}^{-1}$ und $T_1 = 298 \text{ K}$ mit einer bekannten K_1 (unspezifiziert). Formuliere die Gleichung so, dass K_2 in Abhängigkeit von K_1 und T_2 ausgedrückt wird. Für $T_2 = 350 \text{ K}$ gib die relationale Form an (ohne numerische Auswertung).

$$K_2(T_2 = 350 \text{ K}) = K_1 \exp\left(-\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{350} - \frac{1}{298}\right)\right)$$

mit $\Delta H^\circ = -40,000 \text{ J mol}^{-1}$.

Hinweis: Falls gewünscht, lässt sich der exponentielle Faktor numerisch bestimmen; hier wird nur die relationale Form angegeben.

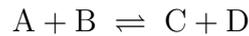
Lösung zu Aufgabe 2

a) Allgemeine Ausdrucksform

Für das Mehrkomponenten-Gleichgewicht gilt allgemein

$$K = \prod_i a_i^{\nu_i}$$

wobei ν_i die stöchiometrischen Koeffizienten der beteiligten Spezies im Gleichgewicht darstellen. Für die gegebene Reaktion



ist die explizite Form

$$K = \frac{a_C a_D}{a_A a_B}$$

b) Van't-Hoff-Berechnung (symbolisch)

Gegeben: $\Delta H^\circ = -20 \text{ kJ mol}^{-1}$, $T_1 = 298 \text{ K}$, K_1 bekannt.

Die relationale Form lautet

$$K_2 = K_1 \exp\left(-\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\right)$$

Für $T_2 = 323 \text{ K}$ erhält man damit eine relationale Form in Abhängigkeit von K_1 .

Konkrete numerische Einschätzung (optional):

$$\frac{K_2}{K_1} = \exp\left(-\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{323} - \frac{1}{298}\right)\right) = \exp\left(-\frac{-20,000}{R} \left(\frac{1}{323} - \frac{1}{298}\right)\right)$$

mit $R = 8.314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$. Daraus folgt numerisch ungefähr

$$K_2 \approx 0.53 K_1$$

(Anmerkung: Zahlenwerte dienen hier der Orientierung; die explizite relationale Form ist die oben angegebene.)

c) Reaktionsquotient bei gegebenen Mischungsaktivitäten

Gegeben: $a_A = 0.50$, $a_B = 0.40$, $a_C = 0.10$, $a_D = 0.05$.

$$Q = \frac{a_C a_D}{a_A a_B} = \frac{0.10 \cdot 0.05}{0.50 \cdot 0.40} = \frac{0.005}{0.20} = 0.025$$

Diskussion zur Verschiebung des Gleichgewichts (in Abhängigkeit von K_1):

- Falls $Q < K_1$: Verschiebung nach rechts (Hin zu Produkten). - Falls $Q > K_1$: Verschiebung nach links (Hin zu Edukten). - Falls $Q = K_1$: Gleichgewicht erreicht.

Da $Q = 0.025$ ist, hängt die Richtung von der Größe von K_1 ab; ohne numerische Angabe von K_1 lässt sich die Richtung nur qualitativ so beschreiben.