

1. Man bringt in einem Gefäß vom Volumen  $V=10$  l genau  $0,1$  mol Iod,  $0,1$  mol Wasserstoff und  $0,1$  mol Iodwasserstoff zusammen und erwärmt auf  $T=698,7$  K. Für das Gleichgewicht
 
$$\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$$
 (alle Stoffe gasförmig) gilt bei dieser Temperatur  $K_C=54,4$ .  
 [Hinweis: Der sogenannte "Massenwirkungsquotient"  $Q_C$  ergibt sich genau wie  $K_C$  aus dem MWG, jedoch gilt er auch außerhalb für Zustände, die sich *nicht* im Gleichgewicht befinden.]
  - a) Berechnen Sie den Wert des Massenwirkungsquotienten  $Q_C$  vor Eintreten der zum Gleichgewicht führenden Reaktion.
  - b) Begründen Sie, welche Reaktionsrate bis zur Einstellung des Gleichgewichts stets größer sein wird, die Rate der Hinreaktion oder die Rate der Rückreaktion?
  
2. In einem Behälter befinden sich bei einer bestimmten Temperatur pro Liter seines Volumens  $0,1$  mol  $\text{NH}_3$ ,  $1,01$  mol  $\text{N}_2$  und  $1,6$  mol  $\text{H}_2$  (alle gasförmig) im Gleichgewicht. Die Gleichgewichtskonstante  $K_{\text{Zerfall}}$  für die Reaktionsrichtung des *Zerfalls* von Ammoniak in die Elemente ist  $413 \text{ mol}^2/\text{l}^2$ 
  - a) Berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante  $K_{\text{Bildung}}$  für die Reaktionsrichtung der *Bildung* von Ammoniak:
 
$$\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3$$
  - b) Geben Sie an, wie die ermittelte Gleichgewichtskonstante  $K_{\text{Bildung}}$  für die Bildung von Ammoniak aus Teilaufgabe a) mit der angegebenen Gleichgewichtskonstante  $K_{\text{Zerfall}}$  für den Zerfall von Ammoniak zusammenhängt.
  
3. Bei einer Temperatur von  $T=271$  K gilt für das Gleichgewicht  $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2 \text{HI}$  (alle gasförmig):  $K_C = 50,3$ . Man bringt Wasserstoff und Iod bei dieser Temperatur mit den Anfangskonzentrationen  $c_0(\text{H}_2)=1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$  und  $c_0(\text{I}_2)=1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$  zusammen.
  - a) Berechnen Sie die Gleichgewichtskonzentration von Iodwasserstoff.
  - b) Welche Masse Iodwasserstoff hat sich gebildet, wenn das Reaktionsgefäß ein Volumen von  $V=5$  l aufweist? (  $c=n/v$  ;  $n=m/M$  ;  $M(\text{HI})=128 \text{ g/mol}$  )
  
4. Molekulares Iod dissoziiert bei höherer Temperatur in atomares Iod. Es gilt:
 
$$\text{I}_2 \rightleftharpoons 2 \text{I}$$

$$K_C = 4,37 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$
 bei einer Temperatur von  $T=1373$  K  
 Die molare Bildungsenthalpie von Iod beträgt  $H(\text{I}_2)_{\text{Bildung}}=-152 \text{ kJ/mol}$ , die molare Zerfallsenthalpie von Iod beträgt  $H(\text{I}_2)_{\text{Zerfall}}=+152 \text{ kJ/mol}$ .  
 (  $n=m/M$  ;  $M(\text{I}_2)=253,8 \text{ g/mol}$  )
  - a) 2 Gramm Iod werden in einem Kolben mit  $V=1$  l auf  $T=1373$  K erhitzt. Berechnen Sie die zu erwartenden Gleichgewichtskonzentrationen  $c(\text{I})$  und  $C(\text{I}_2)$ .
  - b) Begründe, wie sich die Lage des Zerfallsgleichgewichts bei einer weiteren Temperaturerhöhung auf  $T=1393$  K ändert.

----- Lösungen (gekürzt) ∞-----

1. a)  $Q_C = c(\text{HI})^2 / (c(\text{I}_2) \cdot c(\text{H}_2)) = (0,1 \text{ mol/l})^2 / (0,1 \text{ mol/l} \cdot 0,1 \text{ mol/l}) = 1$   
 b)  $Q_C = 1$  ;  $K_C = 54,4$   
 Der Wert von  $Q_C$  muss bis zur Einstellung des Gleichgewichts von 1 auf 54,4 zunehmen. Der Zähler wird größer, der Nenner muss kleiner werden; die Konzentration des Produkts HI muss zunehmen, die Konzentration der Edukte  $\text{H}_2$  und  $\text{I}_2$  müssen abnehmen.  
 Die Rate der Hinreaktion wird bis zur Einstellung des Gleichgewichts größer sein als die Rate der Rückreaktion (im Gleichgewicht sind dann beide Raten gleich groß!!!)
2. a)  $K_C = c(\text{NH}_3)^2 / (c(\text{N}_2) \cdot c(\text{H}_2)^3) = ((0,1 \text{ mol/l})^2) / (1,01 \text{ mol/l} \cdot (1,6 \text{ mol/l})^3) = 2,42 \cdot 10^{-3} \text{ l}^2/\text{mol}^2$   
 b)  $K_{\text{Zerfall}} = 1/K_{\text{Bildung}}$  bzw.  $K_{\text{Bildung}} = 1/K_{\text{Zerfall}}$   
 Es handelt sich also um den Kehrwert.  
 (Vgl. Definition des Massenwirkungsgesetzes!)
3. a)  $c(\text{H}_2)_{\text{GG}} = c(\text{H}_2)_0 - \frac{1}{2} \cdot c(\text{HI})_{\text{Gebildet}}$  ;  $c(\text{I}_2)_{\text{GG}} = c(\text{I}_2)_0 - \frac{1}{2} \cdot c(\text{HI})_{\text{Gebildet}}$   

$$K_C = \frac{c(\text{HI})^2}{(c(\text{I}_2) - 0,5 c(\text{HI})) \cdot (c(\text{H}_2) - 0,5 c(\text{HI}))}$$

$$K_C = \frac{c(\text{HI})^2}{(c(\text{I}_2) - \frac{1}{2} c(\text{HI}))^2}$$

$$50,3 = \frac{c(\text{HI})^2}{(10^{-3} - \frac{1}{2} c(\text{HI}))^2}$$
  
 $c(\text{HI})_{\text{GG}} = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$   
 Im Gleichgewicht wird eine Konzentration von Iodwasserstoff von  $1,56 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$  vorliegen.  
 b)  $n(\text{HI}) = c(\text{HI}) \cdot V(\text{HI}) = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \cdot 5 \text{ l} = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$   
 $m(\text{HI}) = n(\text{HI}) \cdot M(\text{HI}) = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 128 \text{ g/mol} = 0,9984 \text{ g}$   
 Im Reaktionsgefäß mit dem Volumen 5 l befindet sich im Gleichgewichtszustand ca. 1 g Chlorwasserstoff.
4. a)  $n(\text{I}_2)_0 = m(\text{I}_2) / M(\text{I}_2) = 2 \text{ g} / 253,8 \text{ g/mol} = 7,88 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$   
 $c(\text{I}_2)_0 = n(\text{I}_2) / V(\text{I}_2) = 7,88 \cdot 10^{-3} \text{ mol} / 1 \text{ l} = 7,88 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$   
 $c(\text{I}_2)_{\text{GG}} = c(\text{I}_2)_0 - \frac{1}{2} \cdot c(\text{I})_{\text{Gebildet}}$   

$$4,37 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} = \frac{c(\text{I})^2}{7,88 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} - \frac{1}{2} c(\text{I})}$$
  
 $c(\text{I}) = x$   
 $x^2 + 4,37 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \cdot x - 4,37 \cdot 7,88 \cdot 10^{-6}$   
 $\Rightarrow$  Quadratische Lösungsformel s. Formelsammlung  
 $x_1 = 4,88 \cdot 10^{-3}$  ;  $x_2$  ergibt als negative Zahl keinen Sinn!  
 $c(\text{I})_{\text{GG}} = 4,88 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$   
 $c(\text{I}_2)_{\text{GG}} = 7,88 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} - \frac{1}{2} \cdot c(\text{I})_{\text{GG}} = 7,88 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} - \frac{1}{2} \cdot 4,88 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} = 5,44 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$   
 Das molekulare Iod wird im Gleichgewicht mit der Konzentration  $c(\text{I}_2) = 5,44 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$  vorliegen.  
 b) Da es sich bei dem Zerfall um eine endotherme Reaktion handelt, dies ist erkennbar am positiven Vorzeichen der Reaktionsenthalpie, bewirkt eine Temperaturerhöhung um  $20^\circ\text{C}$  eine Verschiebung des Gleichgewichts nach rechts in Richtung der Produkte.