



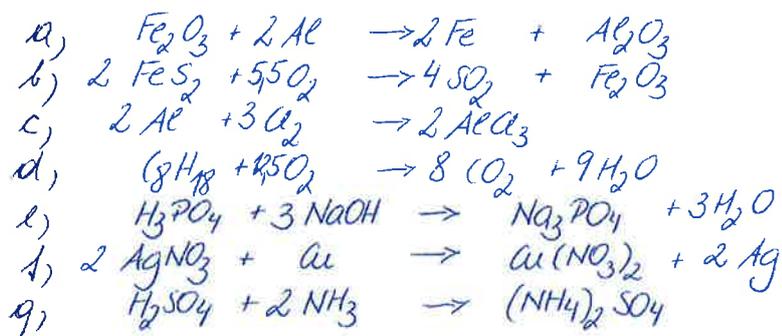
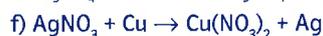
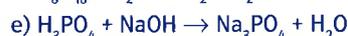
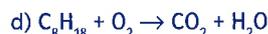
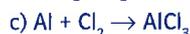
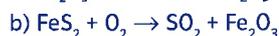
3: Die chemische Reaktion

Lösungen der Übungen

Übung 68.1



Stelle folgende RGL richtig:



Übung 68.2



Erstelle die RGL für folgende Reaktionen:

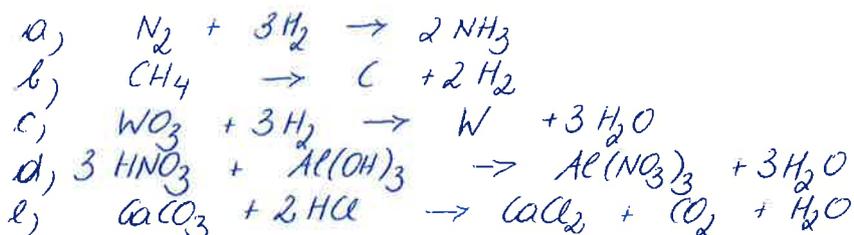
a) Bildung von Ammoniak aus den Elementen

b) Zersetzung von Methan in die Elemente

c) Reaktion von Wolfram(VI)-oxid mit Wasserstoff zu Wolfram und Wasserdampf

d) Reaktion von Salpetersäure mit Aluminiumhydroxid zu Aluminiumnitrat und Wasser

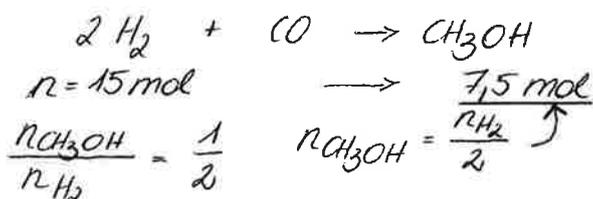
e) Calciumcarbonat und Salzsäure zu Calciumchlorid, Kohlenstoffdioxid und Wasser



Übung 71.1



Wie viel Mol Methanol (CH_3OH) kann man aus 15 mol Wasserstoff erzeugen?



Übung 71.2



Wie viel Mol Sauerstoff benötigt man für die Verbrennung von 10 mol Butan?

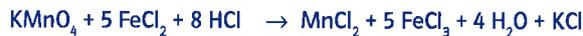


$$n(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 10 \text{ mol} \quad \frac{n_{\text{O}_2}}{n_{\text{C}_4\text{H}_{10}}} = \frac{6,5}{1} \quad n_{\text{O}_2} = 6,5 \cdot n_{\text{C}_4\text{H}_{10}} = \underline{65 \text{ mol}}$$

Übung 71.3



Wie viel mol HCl benötigt man zum Umsatz von 8,5 mol Eisen(II)-chlorid?



$$n(\text{FeCl}_2) = 8,5 \text{ mol} \quad \frac{n(\text{HCl})}{n(\text{FeCl}_2)} = \frac{8}{5} \quad n(\text{HCl}) = \frac{8}{5} \cdot n(\text{FeCl}_2) = \underline{13,6 \text{ mol}}$$

Übung 71.4

Wie viel kg SO₂ entstehen bei der Verbrennung von 10 t Kohle mit einem Schwefelgehalt von 3 %?

$$3\% \text{ von } 1 \text{ t} \hat{=} 300 \text{ kg S}$$



$$n_{\text{S}} = \frac{m_{\text{S}}}{M_{\text{S}}} = \frac{3 \cdot 10^5 \text{ g}}{32,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 9345,8 \text{ mol} = n_{\text{SO}_2}$$

$$m_{\text{SO}_2} = n_{\text{SO}_2} \cdot M_{\text{SO}_2} = 9345,8 \text{ mol} \cdot 64,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 599065 \text{ g} \approx \underline{\underline{600 \text{ kg}}}$$

Übung 71.5



Wie viel kg reines Aluminiumoxid benötigt man zur Herstellung von 1 t Aluminium?



$$n_{\text{Al}} = \frac{m_{\text{Al}}}{M_{\text{Al}}} = \frac{10^6 \text{ g}}{27 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 37037 \text{ mol}$$

$$\frac{n_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{n_{\text{Al}}} = \frac{1}{2} \rightarrow n_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{n_{\text{Al}}}{2} = \frac{37037 \text{ mol}}{2} = 18518,5 \text{ mol}$$

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3} = n_{\text{Al}_2\text{O}_3} \cdot M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 18518,5 \text{ mol} \cdot 102 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 1,89 \cdot 10^6 \text{ g} \approx \underline{\underline{1,89 \text{ t}}}$$



Übung 71.6



Wie viel g Aluminium benötigt man zur Herstellung von 10 g Wasserstoff durch Reaktion mit überschüssiger Salzsäure?



$$n_{\text{H}_2} = \frac{m_{\text{H}_2}}{M_{\text{H}_2}} = \frac{10 \text{ g}}{2 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 5 \text{ mol}$$

$$\frac{n_{\text{Al}}}{n_{\text{H}_2}} = \frac{1}{1,5} \rightarrow n_{\text{Al}} = \frac{n_{\text{H}_2}}{1,5} = \frac{5 \text{ mol}}{1,5} = 3,33 \text{ mol}$$

$$m_{\text{Al}} = n_{\text{Al}} \cdot M_{\text{Al}} = 3,33 \text{ mol} \cdot 27 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 89,9 \text{ g} \sim \underline{90 \text{ g}}$$

Übung 71.7



Die Bläschen, die beim Auflösen einer Brausetablette in Wasser entstehen, werden durch die Reaktion von Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3) mit Citronensäure ($\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) erzeugt:



In einem Experiment reagieren 2,00 g Natriumhydrogencarbonat und 2,00 g Citronensäure.

- Welcher Ausgangsstoff begrenzt die Reaktion?
- Wie viel Gramm Kohlenstoffdioxid werden gebildet?
- Wie viel Gramm des zweiten Ausgangsstoffes bleiben über, wenn der andere Stoff vollständig reagiert hat?



$$a) \quad n_{(\text{NaHCO}_3)} = \frac{m_{(\text{NaHCO}_3)}}{M_{(\text{NaHCO}_3)}} = \frac{2 \text{ g}}{84 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,02 \text{ mol} \quad n_{(\text{HGt})} = \frac{m_{(\text{HGt})}}{M_{(\text{HGt})}} = \frac{2 \text{ g}}{192 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,01 \text{ mol}$$

→ laut Reaktionsgleichung:

$$n_{(\text{NaHCO}_3)} : n_{(\text{HGt})} = 3 : 1$$

⇒ bei 0,01 mol HGt müssten 0,03 mol NaHCO_3 reagieren

⇒ NaHCO_3 = der limitierende Stoff

$$b) \quad \frac{n_{(\text{CO}_2)}}{n_{(\text{NaHCO}_3)}} = \frac{3}{3} = \frac{1}{1} \Rightarrow n_{(\text{CO}_2)} = 0,02 \text{ mol}$$

$$m_{(\text{CO}_2)} = n_{(\text{CO}_2)} \cdot M_{(\text{CO}_2)} = 0,02 \text{ mol} \cdot 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = \underline{0,88 \text{ g}}$$

$$c) \quad \frac{n_{(\text{HGt})}}{n_{(\text{NaHCO}_3)}} = \frac{1}{3} = \frac{x}{0,02 \text{ mol}} \rightarrow x = \frac{0,02 \text{ mol}}{3} = 0,006 \text{ mol}$$

→ 0,006 mol HGt haben reagiert

→ 0,01 mol - 0,006 mol = 0,003 mol bleiben übrig

$$m_{(\text{HGt})} = n_{(\text{HGt})} \cdot M_{(\text{HGt})} = 0,003 \text{ mol} \cdot 192 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = \underline{0,64 \text{ g}}$$



Übung 73.1



Verdünnte Kalilauge

Wie viel Gramm festes KOH benötigt man zur Herstellung von 2 L Kalilauge mit $c = 0,01 \text{ mol/L}$?

$$n = c \cdot V = 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 2 \text{ L} = 0,02 \text{ mol}$$

$$m_{(\text{KOH})} = n \cdot M = 0,02 \text{ mol} \cdot 56,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = \underline{\underline{1,122 \text{ g}}}$$

Übung 73.2



Verdünnte Schwefelsäure

Wie viel Gramm Schwefelsäure befinden sich in 1 L einer Lösung mit $c = 0,02 \text{ mol/L H}_2\text{SO}_4$?

$$n = c \cdot V = 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 1 \text{ L} = 0,02 \text{ mol}$$

$$m_{(\text{KOH})} = n \cdot M = 0,02 \text{ mol} \cdot 56,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = \underline{\underline{1,122 \text{ g}}}$$

Übung 73.3



Verdünnte Ammoniaklösung

Wie viele Milliliter Ammoniaklösung (mit $c = 13 \text{ mol/L}$) werden benötigt, um 200 mL Ammoniaklösung der Konzentration $0,2 \text{ mol/L}$ herzustellen?

$$c_{\text{konz}} \cdot V_{\text{konz}} = c_{\text{verd}} \cdot V_{\text{verd}}$$

$$V_{\text{konz}} = \frac{c_{\text{verd}} \cdot V_{\text{verd}}}{c_{\text{konz}}} = \frac{0,2 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,2 \text{ L}}{13 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = 0,003 \text{ L} = \underline{\underline{3 \text{ mL}}}$$

Übung 73.4



Verdünnte Salpetersäure

Wie viel 65%ige Salpetersäure (Dichte = 1400 g/L) benötigt man zur Herstellung von 1 Liter Salpetersäure mit $c = 2 \text{ mol/L}$?

$$c_{\text{konz}} \cdot V_{\text{konz}} = c_{\text{verd}} \cdot V_{\text{verd}}$$

$$V_{\text{konz}} = \frac{c_{\text{verd}} \cdot V_{\text{verd}}}{c_{\text{konz}}} = \frac{0,2 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,2 \text{ L}}{13 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = 0,003 \text{ L} = \underline{\underline{3 \text{ mL}}}$$

Übung 74.1

10 mL Salpetersäure werden mit Kalilauge ($c = 0,2 \text{ mol/L}$) titriert. Der Verbrauch an KOH beträgt 13,4 mL. Berechne die Konzentration der Salpetersäure.

$$c_{\text{Probe}} \cdot V_{\text{Probe}} = c_{\text{Titer}} \cdot V_{\text{Titer}}$$

$$c_{\text{Probe}} = \frac{c_{\text{Titer}} \cdot V_{\text{Titer}}}{V_{\text{Probe}}} = \frac{0,2 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 13,4 \cdot 10^{-3} \text{ L}}{10 \cdot 10^{-3} \text{ L}} = \underline{\underline{0,268 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}}$$

Übung 76.1



Gasdichte

Reihe die folgenden Gase nach ihrer Gasdichte (gleiche Bedingungen):

HCl, Luft, CH_4 , CO, N_2 , O_2 , CO_2 , SO_2 und N_2O

$$M_{\text{HCl}} = 36,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad M_{\text{CO}} = 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad M_{\text{CO}_2} = 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad M_{\text{Luft}} = 28,8 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M_{\text{N}_2} = 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad M_{\text{SO}_2} = 64 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad M_{\text{CH}_4} = 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad M_{\text{O}_2} = 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M_{\text{N}_2\text{O}} = 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$



Übung 77.1



18 mL Wasser (entspricht 18 g), eine sehr geringe Wassermenge, werden verdampft. Welches Volumen nimmt der Wasserdampf bei 100 °C und 1 bar ein?

$$p \cdot V = n \cdot R^* \cdot T \quad n = \frac{m}{M} = \frac{18 \text{ g}}{18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1 \text{ mol}$$

$$V = \frac{n \cdot R^* \cdot T}{p} = \frac{1 \text{ mol} \cdot 0,08314 \frac{\text{L} \cdot \text{bar}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 373 \text{ K}}{1 \text{ bar}} = \underline{\underline{31 \text{ L}}}$$

Übung 77.2



Wie viel Gramm Zink sind erforderlich, um durch Reaktion mit überschüssiger Salzsäure 10 Liter Wasserstoff zu erzeugen?

($p = 1 \text{ bar}$, $T = 298 \text{ K}$) Reaktionsgleichung: $\text{Zn} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$



$$p \cdot V = n \cdot R^* \cdot T \quad n = \frac{p \cdot V}{R^* \cdot T} = \frac{1 \text{ bar} \cdot 10 \text{ L}}{0,08314 \frac{\text{L} \cdot \text{bar}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 298 \text{ K}} = 0,4 \text{ mol H}_2$$

$$n_{\text{H}_2} = n_{\text{Zn}} \rightarrow m_{\text{Zn}} = n_{\text{Zn}} \cdot M_{\text{Zn}} = 0,4 \text{ mol} \cdot 65,4 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = \underline{\underline{26,16 \text{ g}}}$$

Übung 77.3



Wie viel Liter Wasserstoff kann man aus 10 g Aluminium durch Reaktion mit überschüssiger Salzsäure bei 25 °C und 1,01 bar gewinnen?



$$n_{\text{Al}} = \frac{m_{\text{Al}}}{M_{\text{Al}}} = \frac{10 \text{ g}}{27 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,37 \text{ mol} \quad \frac{n_{\text{H}_2}}{n_{\text{Al}}} = \frac{1,5}{1} \rightarrow n_{\text{H}_2} = 1,5 \cdot n_{\text{Al}} = 1,5 \cdot 0,37 \text{ mol} = 0,56 \text{ mol}$$

$$p \cdot V = n \cdot R^* \cdot T \quad V = \frac{n \cdot R^* \cdot T}{p} = \frac{0,56 \text{ mol} \cdot 0,08314 \frac{\text{L} \cdot \text{bar}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 298 \text{ K}}{1,01 \text{ bar}} = \underline{\underline{13,6 \text{ L}}}$$

Übung 78.1



Berechne die Reaktionsenthalpie ΔH_R^\ominus für die folgenden Reaktionen und interpretiere das Ergebnis: Erdgaspaltung von Methan mit Wasserdampf. RGL: $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2$

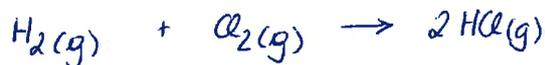


$$\Delta H_R^\ominus = -110,5 + 3 \cdot 0 - [-74,9 + (-241,8)] = \underline{\underline{206,2 \text{ kJ/mol}}}$$

Übung 78.2



Berechne die Reaktionsenthalpie ΔH_R^\ominus für die folgenden Reaktionen und interpretiere das Ergebnis: Bildung von Hydrogenchlorid (alt: Chlorwasserstoff) aus den Elementen. RGL: $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{HCl}(\text{g})$



$$\Delta H_R^\ominus = 2 \cdot (-92,3) = \underline{\underline{-184,6 \text{ kJ/mol}}}$$

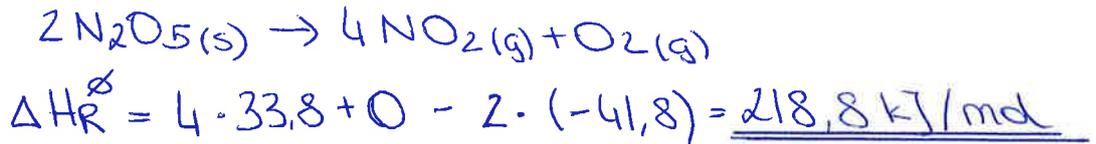


Übung 78.3



Berechne die Reaktionsenthalpie ΔH_R^\ominus für die folgenden Reaktionen und interpretiere das Ergebnis:

Zersetzung von Distickstoffpentoxid. RGL: $2 \text{N}_2\text{O}_5(\text{s}) \rightarrow 4 \text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$

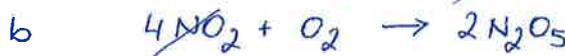
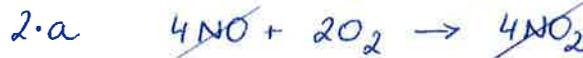
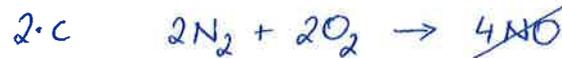
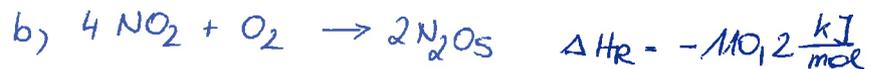


Übung 79.1



Der Satz von Hess

Berechne die Standardbildungsenthalpie von N_2O_5 aus folgenden Angaben:



1:2 um 1 mol N_2O_5 zu berechnen

$$\rightarrow \Delta H_B = \frac{2 \cdot \text{c} + 2 \cdot \text{a} + \text{b}}{2} = \frac{2 \cdot 180,5 + 2 \cdot (-114,1) + (-110,2)}{2}$$

$$= \underline{\underline{11,3 \text{ kJ/mol}}}$$

Übung 79.2



Der Heizwert: Berechne den Heizwert von Ethanol.



$$\Delta H_R^\ominus = [2 \cdot (-393,5) + 3 \cdot (-241,8)] - (-277,6) = -1234,8 \text{ kJ/mol}$$

$$n = \frac{1000 \text{ g}}{46 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 21,74 \text{ mol} \rightarrow H = 21,74 \text{ mol} \cdot 1234,8 \text{ kJ/mol}$$

$$= \underline{\underline{26844,55 \text{ kJ pro kg}}}$$



Übung 79.3



Der Heizwert: Berechne den Heizwert und den Brennwert von Benzen (C_6H_6)! Um wieviel % lässt sich die Energieausbeute bei Benützung eines Brennwertgerätes steigern?



$$\begin{aligned} \text{Heizwert: } \Delta H_R^\ominus &= 6 \cdot (-393,5) + 3 \cdot (-241,8) - 83 = \\ &= -3169,4 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

*

$$n = \frac{1000 \text{ g}}{84 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 11,9 \text{ mol} \quad H = 11,9 \text{ mol} \cdot 3169,4 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = \underline{\underline{37730,95 \text{ kJ pro kg}}}$$

$$\begin{aligned} \text{Brennwert: } \Delta H_R^\ominus &= 6 \cdot (-393,5) + 3 \cdot (-285,8) - 83 = \\ &= -3301,4 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$H = 11,9 \text{ mol} \cdot 3301,4 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = \underline{\underline{39286,66 \text{ kJ pro kg}}}$$

$$39287 \text{ — } 100\%$$

$$37731 \text{ — } 96\% \rightarrow \text{um } 4\%$$

Übung 84.1



Berechne die Reaktionsentropie ΔS_R^\ominus für die folgenden Reaktionen und interpretiere das Ergebnis: Erdgasspaltung von Methan mit Wasserdampf. RGL: $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3 H_2$



$$\begin{aligned} \Delta S_R^\ominus &= (0,198 + 3 \cdot 0,131) - (0,186 + 0,189) = \\ &= \underline{\underline{0,216 \text{ kJ/K}}} \end{aligned}$$

Übung 84.2



Berechne die Reaktionsentropie ΔS_R^\ominus für die folgenden Reaktionen und interpretiere das Ergebnis: Bildung von Hydrogenchlorid (alt: Chlorwasserstoff) aus den Elementen. RGL: $H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2 HCl_{(g)}$



$$\Delta S_R^\ominus = 2 \cdot 0,187 - (0,131 + 0,223) = \underline{\underline{0,02 \text{ kJ/K}}} \text{ (für 2 mol HCl)}$$

Übung 84.3



Berechne die Reaktionsentropie ΔS_R^\ominus für die folgenden Reaktionen und interpretiere das Ergebnis: Zersetzung von Distickstoffpentoxid. RGL: $2 N_2O_{5(s)} \rightarrow 4 NO_{2(g)} + O_{2(g)}$



$$\Delta S_R^\ominus = (4 \cdot 0,24 + 0,205) - 2 \cdot 0,153 = \underline{\underline{0,859 \text{ kJ/K}}} \text{ (für 2 mol } N_2O_5)$$



Übung 85.1



Berechne die freie Reaktionsenthalpie ΔG_R^\ominus für die folgenden Reaktionen und interpretiere das Ergebnis:
Erdgasspaltung von Methan mit Wasserdampf. RGL: $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2$

$$\Delta G_R^\ominus = 206,2 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 298 \text{K} \cdot 0,216 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} = \underline{\underline{141,83 \text{ kJ/mol}}}$$

→ endergon

Übung 85.2



Berechne die freie Reaktionsenthalpie ΔG_R^\ominus für die folgenden Reaktionen und interpretiere das Ergebnis:
Bildung von Hydrogenchlorid (alt: Chlorwasserstoff) aus den Elementen. RGL: $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{HCl}(\text{g})$

$$\Delta G_R^\ominus = -184,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 298 \text{K} \cdot 0,02 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} = \underline{\underline{-190,56 \text{ kJ/mol}}}$$

→ exergon

Übung 85.3



Berechne die freie Reaktionsenthalpie ΔG_R^\ominus für die folgenden Reaktionen und interpretiere das Ergebnis:
Zersetzung von Distickstoffpentoxid. RGL: $2 \text{N}_2\text{O}_5(\text{s}) \rightarrow 4 \text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$

$$\Delta G_R^\ominus = 218,8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 298 \text{K} \cdot 0,859 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} = \underline{\underline{-37,18 \text{ kJ/mol}}}$$

→ exergon

Übung 87.1



„Die Chloratmer“

In einem Science-Fiction-Roman wollten Außerirdische die Erde erobern.

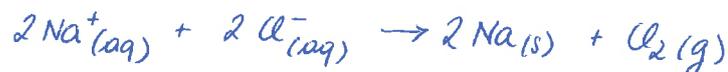
Ihr Stoffwechsel funktioniert mit Chlor statt mit Sauerstoff als Oxidationsmittel.

Die „Chloratmer“ entwickelten daher einen Katalysator, der das Natriumchlorid des Meerwassers in Natrium und Chlor zerlegt. Dieser sollte, in großen Mengen ins Meer geworfen, unsere Atmosphäre zu einer Chloratmosphäre umwandeln.

Untersuche, ob dieses Unterfangen vom chemischen Aspekt her möglich ist.

Thermodynamische Daten:

	Enthalpie (kJ/mol)	Entropie (kJ/mol·K)
$\text{Cl}_2(\text{g})$	0	0,223
$\text{Na}(\text{s})$	0	0,051
$\text{Na}^+(\text{aq})$	-240,3	0,058
$\text{Cl}^-(\text{aq})$	-167,1	0,057



$$\Delta H_R^\ominus = 0 - [2 \cdot (-240,3) + 2 \cdot (-167,1)] = 814,8 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta S_R^\ominus = (2 \cdot 0,051 + 0,223) - (2 \cdot 0,058 + 2 \cdot 0,057) = 0,095 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta G_R^\ominus = 814,8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 298 \text{K} \cdot 0,095 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} = 786,49 \text{ kJ/mol}$$

→ endergone Reaktion: nicht möglich

