

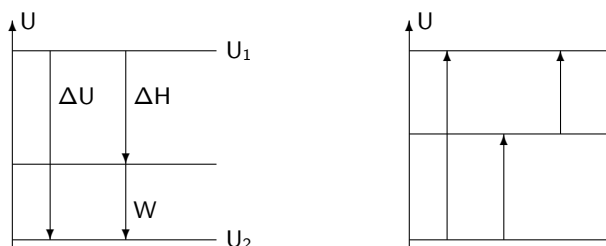
Chemie Klausur 12.1 – 1

21. Oktober 2002

Aufgaben

Aufgabe 1

- 1.1. Definiere: Innere Energie, Enthalpieänderung, Volumenarbeit, Standard-Bildungsenthalpie, molare Standard-Bildungsenthalpie. 4 VP
- 1.2. Stelle für die folgenden vier Reaktionen die Reaktionsgleichungen auf.
- Reaktion von Magnesium mit Salzsäure
 - Synthese von Wasser aus den Elementen
 - Brennen von Kalk (CaCO_3)
 - Oxidation von Stickstoff im Lichtbogen zu Stickstoffdioxid
- 4 VP
- 1.3. Ordne den abgebildeten Diagrammen je eine der genannten Reaktionen zu und vervollständige das zweite Diagramm. 2 VP



- 1.4. Skizziere für die anderen Reaktionen entsprechende Diagramme. 2 VP

Aufgabe 2

Der Erdgaspreis wird in Deutschland nach dem Heizölpreis festgelegt. 1 m^3 Erdgas kostet etwa soviel wie 1 l Heizöl. Erdgas enthält vor allem Methan, Heizöl ist ein Stoffgemisch verschiedener Kohlenwasserstoffe. Seine Eigenschaften lassen sich näherungsweise mit denen des Nonans beschreiben.

- 1.1. Erläutere die Begriffe Heizwert, Brennwert, physiologischer Brennwert. 3 VP
- 1.2. Zeige, dass der Heizwert von 1 m^3 Erdgas etwa dem von 1 l Heizöl entspricht. 10 VP
- 1.3. Welchen Brennwert hat 1 m^3 Erdgas? 3 VP
 $\rho(\text{Methan}) = 0,66 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$; $\rho(\text{Nonan}) = 0,71 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$

Aufgabe 3

In vielen Fällen ist es nicht möglich, die Standard-Bildungsenthalpie einer Verbindung direkt zu bestimmen. Als Ausweg bestimmt man die Verbrennungsenthalpie $\Delta_c H$ und berechnet die Bildungsenthalpie mit Hilfe des Satzes von Hess.

- 3.1. Formuliere den Satz von Hess und erläutere ihn am Beispiel Glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). 2 VP

- 3.2. Beschreibe unter Zuhilfenahme einer Skizze die Bestimmung der Verbrennungsenthalpie von Glucose im Verbrennungskalorimeter.
- 3.3. Berechne aus den angegebenen Verbrennungsenthalpien die molare Standard-Bildungsenthalpie von Glucose ($C_6H_{12}O_6$).
- 3.4. In einem Verbrennungskalorimeter der Wärmekapazität $C_K = 60\text{J/K}$, gefüllt mit 500 g Wasser ($c_W = 4,18 \cdot \text{J g}^{-1} \text{K}^{-1}$) wird eine Stoffportion Glucose der Masse $m = 0,6\text{ g}$ vollständig verbrannt.
Berechne die zu erwartende Temperaturänderung im Kalorimeter. 4 VP

Aufgabe 4

In Wärmepackungen zur *ersten Hilfe bei Unfällen* verwendet man häufig wasserfreies Calciumchlorid ($CaCl_2$), das sich in einer äußeren Verpackung befindet, und rot angefärbtes Wasser in einer inneren Hülle.

Will man Wärme erzeugen, so drückt man so lange, bis der innere Beutel aufplatzt und das Wasser sich mit dem Calciumchlorid mischt. Im allgemeinen werden in handelsüblichen Wärmepackungen 218 g Calciumchlorid mit 170 ml Wasser eingesetzt, deren Umsetzung die Temperaturerhöhung bewirkt.

- 4.1. Beim Lösen von 15 g Calciumchlorid in 100 g Wasser wurde eine Temperaturerhöhung von $\Delta\vartheta = 19,8\text{ K}$ gemessen. ($c_{\text{Lösung}} = 4,18\text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$) 3 VP
Berechne die molare Lösungsenthalpie für diese Reaktion. Vernachlässige die durch das verwendete Kalorimeter verursachte Wärmeverluste. (Teilergebnis: $-70,5\text{ kJ/mol}$) 2 VP
- 4.2. Berechne die Temperaturänderung in den beschriebenen Wärmepackungen. 2 VP
- 4.3. Erkläre die auftretende Enthalpieänderung (mit Diagramm). 2 VP
- 4.4. Die Lösungsenthalpie von Calciumchlorid-Hexahydrat ($CaCl_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) beträgt $-20\text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
Berechne mit Hilfe des Satz von Hess die Reaktionsenthalpie der Reaktion von Calciumchlorid mit Wasser zu Calciumchlorid-Hexahydrat.

Molare Standard-Bildungsenthalpien $\Delta_f H_m$ und molare Verbrennungsenthalpien $\Delta_c H_m$:

Stoff	$\Delta_f H_m$ in $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\Delta_c H_m$ in $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
CO_2 (gasförmig)	-393	
H_2O (gasförmig)	-242	
H_2O (flüssig)	-286	
C (Graphit)		-393
H_2 (gasförmig)		-286
CH_4 (gasförmig)	-75	
C_9H_{20} (flüssig)	-279,5	
$C_6H_{12}O_6$ (fest)		-2.808

Lösungen

Aufgabe 1

1.1. **Innere Energie** Summe aller Energien, über die ein System im Inneren verfügt.

Enthalpieänderung (ΔH) Wärmeenergie, die bei konstantem Druck von einem System abgegeben wird oder aufgenommen wird.

Volumenarbeit ($W = -p \Delta V$) Bei Volumenänderung vom System an der Umgebung geleistete Arbeit bzw. am System geleistete Arbeit.

Standard-Bildungsenthalpie ($\Delta_f H^0$) Enthalpieänderung bei der Bildung einer Verbindung aus den Elementen bei Standardbedingungen.

Molare Standard-Bildungsenthalpie ($\Delta_f H_m^0$) Wie d aber bezogen auf die Stoffmenge 1 mol gebildeter Stoff.

- 1.2. a) $\text{Mg}_{(s)} + 2 \text{HCl}_{(aq)} \longrightarrow \text{MgCl}_{2(aq)} + \text{H}_{2(aq)}$ (Volumen vergrößert; exotherm)
b) $2 \text{H}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} \longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O}_{(g)}$ (Volumen verkleinert; exotherm)
c) $\text{CaCO}_{3(s)} \longrightarrow \text{CaO}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)}$ (Volumen vergrößert; endotherm)
d) $\text{N}_{2(g)} + 2 \text{O}_{2(g)} \longrightarrow 2 \text{NO}_{2(g)}$ (Volumen verkleinert; endotherm)

1.3. Erstes Diagramm gehört zu Reaktion a; zweites gehört zu d.

1.4. Diagramme....

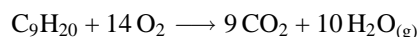
Aufgabe 2

2.1. **Heizwert** Bei vollständiger Verbrennung frei werdende Wärmemenge, wenn Wasserdampf gebildet wird.

Brennwert Bei vollständiger Verbrennung frei werdende Wärmemenge, wenn Wasser flüssig gebildet wird. (Kondensationswärme wird zusätzlich frei; Heizwert < Brennwert)

physiologischer Brennwert Energiegewinn bei der Verwertung von Nährstoffen im Körper. Bei unvollständiger Verwertung (z.B. Proteine) ist der physiologische kleiner als der physikalische Brennwert.

2.2. Für die Verbrennung von Heizöl gilt näherungsweise



Die Reaktionsenthalpie berechnet sich allgemein nach der Formel

$$\Delta_r H_m^0 = - \sum_i m_i \Delta_f H_{m, \text{Edukt}_i}^0 + \sum_j m_j \Delta_f H_{m, \text{Produkt}_j}^0$$

also bei dieser Reaktion

$$\begin{aligned} \Delta_c H_{m, \text{C}_9\text{H}_{20}} &= - \Delta_f H_{m, \text{C}_9\text{H}_{20}} + 9 \cdot \Delta_f H_{m, \text{CO}_2} + 10 \cdot \Delta_f H_{m, \text{H}_2\text{O}_{(g)}} \\ &= -(-279,5 \text{ kJ/mol}) + 9 \cdot (-393 \text{ kJ/mol}) + 10 \cdot (-242 \text{ kJ/mol}) \\ &= -5.677,5 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Ein Liter Nonan hat die Masse

$$m = V \rho = 11 \cdot 0,71 \text{ g/ml} = 710 \text{ g}$$

Die molare Masse von Nonan beträgt

$$M(\text{C}_9\text{H}_{20}) = 128 \text{ g/mol}$$

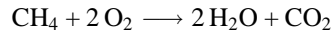
Dementsprechend enthält ein Liter Nonan

$$n = \frac{m}{M} = \frac{710 \text{ g}}{128 \text{ g/mol}} = 5,55 \text{ mol}$$

Der Heizwert von einem Liter Nonan beträgt also

$$\Delta_c H_{C_9H_{20}} = \frac{n}{V} \cdot \Delta_c H_{m,C_9H_{20}} = \frac{5,55 \text{ mol}}{1 \text{ l}} \cdot (-5.677,5 \text{ kJ/mol}) = \underline{\underline{-31,5 \text{ MJ/l}}}$$

Die Verbrennung von Erdgas lässt sich durch die Reaktionsgleichung



beschreiben lässt, deren Reaktionsenthalpieänderung

$$\begin{aligned} \Delta_c H_m^0 &= -\Delta_f H_{m,\text{CH}_4}^0 + 2 \cdot \Delta_f H_{m,\text{H}_2\text{O}_{(g)}}^0 + \Delta_f H_{m,\text{CO}_2}^0 \\ &= -(75 \text{ kJ/mol}) + 2 \cdot (-242 \text{ kJ/mol}) + (-393 \text{ kJ/mol}) \\ &= -802 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Bei einer Dichte von $\rho_{\text{CH}_4} = 660 \text{ g/m}^3$ und einer molaren Masse von

$$M(\text{CH}_4) = 16 \text{ g/mol}$$

enthält 1 m^3

$$n = \frac{m}{M} = \frac{660 \text{ g}}{16 \text{ g/mol}} = 41,25 \text{ mol}$$

woraus sich ein Heizwert von

$$\Delta_c H_{\text{CH}_4} = \frac{n}{V} \cdot \Delta_c H_{m,\text{CH}_4}^0 = \frac{41,25 \text{ mol}}{1 \text{ m}^3} \cdot (-802 \text{ kJ/mol}) = \underline{\underline{-33,1 \text{ MJ/m}^3}}$$

Beide Brennwerte sind also annähernd gleich groß.

- 2.3. Der Brennwert unterscheidet sich vom Heizwert nur darin, dass statt Wasserdampf, flüssiges Wasser gebildet wird. Folglich gilt für den Brennwert eines Mol Methans

$$\begin{aligned} \Delta_c H_{m,\text{CH}_4}^0 &= -\Delta_f H_{m,\text{CH}_4}^0 + 2 \cdot \Delta_f H_{m,\text{H}_2\text{O}_{(l)}}^0 + \Delta_f H_{m,\text{CO}_2}^0 \\ &= -(75 \text{ kJ/mol}) + 2 \cdot (-286 \text{ kJ/mol}) + (-393 \text{ kJ/mol}) \\ &= -890 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Der Brennwert eines Kubikmeters beträgt entsprechend

$$\Delta_c H_{\text{CH}_4} = \frac{n}{V} \cdot \Delta_c H_{m,\text{CH}_4}^0 = \frac{41,25 \text{ mol}}{1 \text{ m}^3} \cdot (-890 \text{ kJ/mol}) = \underline{\underline{-36,7 \text{ MJ/m}^3}}$$

Aufgabe 3

- 3.1. Die Enthalpieänderung ist nur vom Endzustand und Anfangszustand, nicht jedoch vom Reaktionsweg abhängig. Anwendung auf Bildungsenthalpie von Glukose aus Verbrennungsenthalpien. Man zerlegt die Verbrennungsreaktion in Teilschritte.

- Zerlegung von Glukose in die Elemente C, H₂ und O₂ (ΔH entspricht $-\Delta_f H_{m,C_6H_{12}O_6}$).
- Verbrennung der Elemente direkt zu CO₂ und H₂O (Standardbildungsenthalpien von 6 CO₂ und 6 H₂O).

Die Gesamtenthalpie dieser beiden Schritte ist dann gleich der Verbrennungsenthalpie von Glukose $\Delta_c H_{m,C_6H_{12}O_6}^0$ (Dreieck-Diagramm).

- 3.2. Skizze wie im Chemie-Buch Seite 111. Beschreibung: Vollständige Verbrennung der Glukose mit Sauerstoff im Kalorimeter. Die Verbrennungswärme wird im Idealfall vollständig vom Kalorimeter mit dem enthaltenen Wasser aufgenommen. Es gilt

$$Q_{\text{abgegeben}} = Q_{\text{aufgenommen}}$$

- 3.3. $\Delta_f H_{m,C_6H_{12}O_6} = -1.268 \text{ kJ/mol}$ (Wasser flüssig)

- 3.4. $\Delta\vartheta = 4,35 \text{ K}$

Aufgabe 4

4.1. s.o.

4.2. $\Delta\vartheta = 85,4 \text{ K}$

4.3. Zur Lösung der Ionen aus dem Gitter muss die Gitterenthalpie aufgewendet werden. Bei der Lösung der einzelnen Ionen wird die Hydratationsenthalpie frei. Die Summe aus Gitterenthalpie (positiv) und Hydratationsenthalpie (negativ) ergibt die Lösungsenthalpie.

4.4. $\Delta_r H_m^0 = -50,5 \text{ kJ/mol}$