

# Institut für Physikalische Chemie Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Klausur zur Physikalischen Chemie  
für Studierende der Biologie und Molekularen Medizin  
WS 2013/14 — 08. Februar 2014

PD Dr. Erik Schleicher

Name: \_\_\_\_\_

Vorname: \_\_\_\_\_

Matrikelnummer: \_\_\_\_\_

Aufgabe Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\Sigma$
Punkte	10	10	8	9	10	6	15	9	8	15	100

Ich bin mit der Bekanntgabe des Klausurergebnisses (Matrikelnummer und Punktezahl/  
Note) auf der Internetseite des Instituts und Aushang einverstanden:

Ja  Nein

Unterschrift: \_\_\_\_\_

Hiermit erkläre ich, dass ich die Klausur eigenhändig angefertigt habe.

Unterschrift: \_\_\_\_\_

Die Klausur muss mit Kugelschreiber oder dokumentechter Tinte geschrieben werden.

Erlaubte Hilfsmittel: Taschenrechner (leerer Speicher) und **ein** einseitig, selbstbeschriebenes DIN-A4-Blatt.

Viel Erfolg!

## Standardpotentiale bei 298 K. In alphabetischer Reihenfolge

Reduktions-Halbreaktion	$E^\ominus/V$	Reduktions-Halbreaktion	$E^\ominus/V$
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	+0.80	$\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{I}^-$	+0.54
$\text{Ag}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}^+$	+1.98	$\text{I}_3^- + 2\text{e}^- \rightarrow 3\text{I}^-$	+0.53
$\text{AgBr} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag} + \text{Br}^-$	+0.0713	$\text{In}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{In}$	-0.14
$\text{AgCl} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	+0.22	$\text{In}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{In}^+$	-0.40
$\text{Ag}_2\text{CrO}_4 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Ag} + \text{CrO}_4^{2-}$	+0.45	$\text{In}^{3+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{In}^+$	-0.44
$\text{AgF} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag} + \text{F}^-$	+0.78	$\text{In}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{In}$	-0.34
$\text{AgI} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag} + \text{I}^-$	-0.15	$\text{In}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{In}^{2+}$	-0.49
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	-1.66	$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	-2.93
$\text{Au}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	+1.69	$\text{La}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{La}$	-2.52
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	+1.40	$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$	-3.05
$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ba}$	-2.91	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	-2.36
$\text{Be}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Be}$	-1.85	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}$	-1.18
$\text{Bi}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Bi}$	+0.20	$\text{Mn}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}$	+1.51
$\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Br}^-$	+1.09	$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1.23
$\text{BrO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Br}^- + 2\text{OH}^-$	+0.76	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1.51
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ca}$	-2.87	$\text{MnO}_3^- + \text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_4^{2-}$	+0.56
$\text{Cd}(\text{OH})_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd} + 2\text{OH}^-$	-0.81	$\text{MnO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	+0.60
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	-0.40	$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	-2.71
$\text{Ce}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Ce}$	-2.48	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	-0.23
$\text{Ce}^{4+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ce}^{3+}$	+1.61	$\text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	+0.49
$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$	+1.36	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0.80
$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	+0.89	$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0.96
$\text{ClO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	+1.23	$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$	+0.10
$\text{ClO}_4^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{ClO}_3^- + 2\text{OH}^-$	+0.36	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$	+0.40
$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}$	-0.28	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.23
$\text{Co}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Co}^{2+}$	+1.81	$\text{O}_2 + \text{e}^- \rightarrow \text{O}_2^-$	-0.56
$\text{Cr}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0.91	$\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{HO}_2^- + \text{OH}^-$	-0.08
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	+1.33	$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+2.07
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0.74	$\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{OH}^-$	+1.24
$\text{Cr}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cr}^{2+}$	-0.41	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	-0.13
$\text{Cs}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Cs}$	-2.92	$\text{Pb}^{4+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}^{2+}$	+1.67
$\text{Cu}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	+0.52	$\text{PbSO}_4 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	-0.36
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	+0.34	$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pt}$	+1.20
$\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^+$	+0.16	$\text{Pu}^{4+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Pu}^{3+}$	+0.97
$\text{F}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{F}^-$	+2.87	$\text{Ra}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ra}$	-2.92
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.44	$\text{Rb}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Rb}$	-2.93
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.04	$\text{S} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{S}^{2-}$	-0.48
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	+0.77	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{SO}_4^{2-}$	+2.05
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} + \text{e}^- \rightarrow [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	+0.36	$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	-0.14
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0, per Definition	$\text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}^{2+}$	+0.15
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83	$\text{Sr}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sr}$	-2.89
$2\text{HBrO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+1.60	$\text{Ti}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ti}$	-1.63
$2\text{HClO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+1.63	$\text{Ti}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ti}^{2+}$	-0.37
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.78	$\text{Ti}^{4+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ti}^{3+}$	0.00
$\text{H}_4\text{XeO}_6 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{XeO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$	+3.0	$\text{Tl}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Tl}$	-0.34
$\text{Hg}_2^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Hg}$	+0.79	$\text{U}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{U}$	-1.79
$\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Hg} + 2\text{Cl}^-$	+0.27	$\text{U}^{4+} + \text{e}^- \rightarrow \text{U}^{3+}$	-0.61
$\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Hg}$	+0.86	$\text{V}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{V}$	-1.19
$2\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Hg}_2^{2+}$	+0.92	$\text{V}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{V}^{2+}$	-0.26
$\text{Hg}_2\text{SO}_4 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Hg} + \text{SO}_4^{2-}$	+0.62	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	-0.76

Quelle: P.W. Atkins, „Physikalische Chemie“, dritte, korrigierte Auflage, Wiley-VCH, Weinheim, 2001

$$R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$F = 96\,500 \text{ As mol}^{-1}$$

$$M(\text{H}) = 1,01 \text{ g mol}^{-1}$$

$$M(\text{O}) = 16,00 \text{ g mol}^{-1}$$

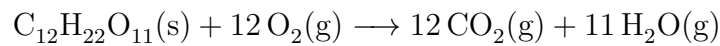
$$M(\text{C}) = 12,01 \text{ g mol}^{-1}$$

# 1 Klettern mit Zucker

vermutete Punkte: 10

Ein Zuckerwürfel hat die Masse 1,5 g.

- Wie groß ist die Verbrennungsenthalpie unter Standardbedingungen?
- Ist die Reaktion exotherm oder endotherm? Bitte begründen Sie.
- Wie hoch kann ein Mensch mit 60 kg mit dieser Energie klettern, wenn Sie annehmen, dass Sie 25 % dieser Energie in Arbeit umsetzen können? Die Erdbeschleunigung beträgt  $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . Tipp: Berechnen Sie erst die molare Masse von Saccharose ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ).



Stoff	$\Delta_{\text{B}}H_{298}^{\ominus} / \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(\text{s})$	-2222,1
$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	-241,8
$\text{O}_2(\text{g})$	0
$\text{CO}_2(\text{g})$	-393,5

## 1.1 Lösung

a) **5 Punkte**

Satz von Hess:

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{R}}H_{298}^{\ominus} &= \sum_i \nu_i \Delta_{\text{B}}H_{298}^{\ominus} \\ \Delta_{\text{R}}H_{298}^{\ominus} &= 11 \cdot \Delta_{\text{B}}H_{298}^{\ominus}(\text{H}_2\text{O}) + 12 \cdot \Delta_{\text{B}}H_{298}^{\ominus}(\text{CO}_2) \\ &\quad - 12 \cdot \Delta_{\text{B}}H_{298}^{\ominus}(\text{O}_2) - \Delta_{\text{B}}H_{298}^{\ominus}(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) \\ \Delta_{\text{R}}H_{298}^{\ominus} &= 11 \cdot -241,8 \text{ kJ/mol} + 12 \cdot -393,5 \text{ kJ/mol} \\ &\quad - 12 \cdot 0 \text{ kJ/mol} - (-2222,1 \text{ kJ/mol})\end{aligned}$$

$$\Delta_{\text{R}}H_{298}^{\ominus} = -5159,7 \text{ kJ/mol}$$

b) **2 Punkte**

Die Reaktion ist exotherm, da die Standardreaktionsenthalpie negativ ist.

c) **3 Punkte**

Molare Masse von Saccharose:

$$M(\text{Saccharose}) = 12 \cdot M(\text{C}) + 22 \cdot M(\text{H}) + 11 \cdot M(\text{O})$$

$$M(\text{Saccharose}) = 342 \text{ g/mol}$$

$$n(\text{Saccharose}) = \frac{m}{M} = \frac{1,5 \text{ g}}{342 \text{ g/mol}} = 4,39 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\Delta W = \Delta_{\text{R}} H_{298}^{\ominus} \cdot n(\text{Saccharose})$$

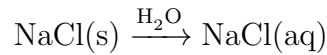
$$\Delta W = \eta \cdot W_{\text{hub}} = m \cdot g \cdot h$$

$$h = \frac{\Delta W \cdot \eta}{m \cdot g} = 9,61 \text{ m}$$

## 2 Lösungsentropie

vermutete Punkte: 10

Wenn NaCl in Wasser gelöst wird, wird eine leichte Abkühlung der Lösung beobachtet:  
 $\Delta_{\text{R}}H_{298}^{\ominus} = 3,887 \text{ kJ/mol}$ .



- a) Welches Vorzeichen hat  $\Delta_{\text{R}}S_{298}^{\ominus}$ ? Bitte begründen Sie.  
b) Berechnen Sie  $\Delta_{\text{R}}S_{298}^{\ominus}$  aus folgenden Daten bei 25 °C:

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{B}}G_{298}^{\ominus} \text{NaCl(s)} &= -384,138 \text{ kJ/mol} \\ \Delta_{\text{B}}G_{298}^{\ominus} \text{NaCl(aq)} &= -393,133 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

- c) Welchen Wert hat die Gleichgewichtskonstante dieser Reaktion bei 25 °C?

### 2.1 Lösung

- a) **3 Punkte**

Da die Lösung von NaCl freiwillig abläuft ( $\Delta_{\text{R}}G_{298}^{\ominus} < 0$ ) und die Lösung endotherm ist ( $\Delta_{\text{R}}H_{298}^{\ominus} > 0$ ), muss die Lösungsentropie  $\Delta_{\text{R}}S_{298}^{\ominus}$  positiv sein. Es gilt:

$$\Delta_{\text{R}}G^{\ominus} = \Delta_{\text{R}}H^{\ominus} - T \cdot \Delta_{\text{R}}S^{\ominus}$$

- b) **5 Punkte**

Die freie Reaktionsenthalpie lässt sich über den Satz von Hess berechnen:

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{R}}G_{298}^{\ominus} &= \sum_i \nu_i \Delta_{\text{B}}G_{298}^{\ominus} \\ \Delta_{\text{R}}G_{298}^{\ominus} &= \Delta_{\text{B}}G_{298}^{\ominus} \text{NaCl(aq)} - \Delta_{\text{B}}G_{298}^{\ominus} \text{NaCl(s)} \\ \Delta_{\text{R}}G_{298}^{\ominus} &= -393,133 \text{ kJ/mol} + 384,138 \text{ kJ/mol} \\ \Delta_{\text{R}}G_{298}^{\ominus} &= -8,995 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

über die Beziehung  $\Delta_{\text{R}}G^{\ominus} = \Delta_{\text{R}}H^{\ominus} - T \cdot \Delta_{\text{R}}S^{\ominus}$  lässt sich die gesuchte Größe ausrechnen:

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{R}}S^{\ominus} &= (\Delta_{\text{R}}H^{\ominus} - \Delta_{\text{R}}G^{\ominus}) \cdot \frac{1}{T} \\ \Delta_{\text{R}}S^{\ominus} &= 43,22 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}\end{aligned}$$

- c) **2 Punkte**

$$K = \exp \frac{-\Delta_{\text{R}}G_{298}^{\ominus}}{R \cdot T} = 37,73$$

### 3 Ideales Gas

vermutete Punkte: 8

- a) Stellen Sie sich vor, dass Sie in ihren kommenden Semesterferien bei schönen 23 °C mit ihren Kommilitonen eine Runde Flunky-Ball spielen. Jeder bekommt dafür eine 0.5 l Bierflasche, gefüllt mit 495 ml Bier. Diesem Bier wurden 5.4 g CO<sub>2</sub> zugesetzt. Ein Wurf des gegnerischen Teams trifft ihre noch ungeöffnete Bierflasche und 1% des gelösten CO<sub>2</sub> werden in die Gasphase überführt. Ist es möglich, dass sich der Kronkorken absprengt, wenn dieser 6.5 bar Druck aushält?
- b) Wieviel Gramm CO<sub>2</sub> müsste in dem Bier mindestens gelöst sein, um bei gleichen Bedingungen den Kronkorken abzusprenge, wenn dieser bei genau 8 bar absprengen würde?

#### 3.1 Lösung

- a) **Punkte: 4**

Gegeben sind folgende Werte:

Volumen 5 ml =  $5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

Masse CO<sub>2</sub> = 5.4 g

Temperatur 23 °C  $\hat{=}$  296 K

Zuerst wird die Stoffmenge  $n$  des CO<sub>2</sub> ausgerechnet mit:

$$n = \frac{m}{M}$$

$$n = \frac{5.4 \text{ g}}{44 \text{ g mol}^{-1}} = 0.1227 \text{ mol}$$

Davon 1%:

$$0.1227 \text{ mol} \times 0,01 = 0.001 227 \text{ mol}$$

Gesucht wird der Druck  $p$ , mithilfe der idealen Gasgleichung

$$pV = nRT$$

Aufgelöst nach  $p$

$$p = \frac{nRT}{V}$$

$$p = \frac{0.001\,227\text{ mol} \times 8.314\text{ Jmol}^{-1} \times 296\text{ K}}{5 \times 10^{-6}\text{ m}^3}$$

$$p = 603\,915\text{ Pa} \hat{=} 6.04\text{ bar}$$

In diesem Fall wird der Deckel nicht abgesprengt.

b) **Punkte: 4**

Hier muss die ideale Gasgleichung nach  $n$  aufgelöst werden:

$$\frac{pV}{RT} = n$$

$$n = \frac{8 \times 10^5\text{ pa} \times (5 \times 10^{-6}\text{ m}^{-3})}{8.314\text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}} = 0.000\,162\,5\text{ mol}$$

Anschließend muss noch die Masse bestimmt werden.

$$n \times M = m$$

$$n = 0.000\,162\,5\text{ mol} \times 44\text{ gmol}^{-1}$$

$$n = 0.0715\text{ g}$$

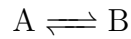
Da hier ja nur 1% der Gesamtkohlendioxidmenge ausgetreten sind, muss dies noch hochgerechnet werden.

$$0.0715\text{ g} \times 100 = 7.15\text{ g}$$

## 4 Prinzip von Le Chatelier

vermutete Punkte: 9

Gegeben sei die Gleichgewichtsreaktion:

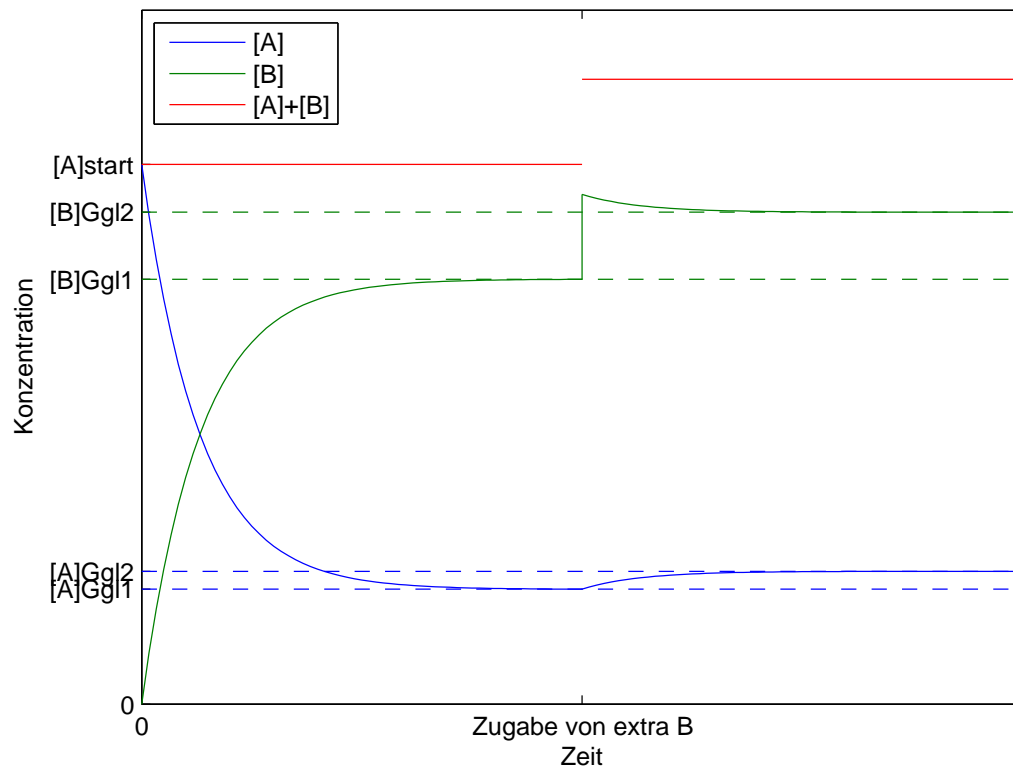


Zu Beginn der Reaktion gilt  $[A] = [A]_0$  und  $[B] = 0$ .

- Zeichnen Sie schematisch den Verlauf der Konzentrationen von A und B als Funktion der Zeit bis ins Gleichgewicht. Nehmen Sie hierfür an, dass die Gleichgewichtskonstante der Reaktion von A nach B größer als 1 sei.
- Zeichnen Sie die Gleichgewichtskonzentrationen  $[A]_{\text{Ggl1}}$  und  $[B]_{\text{Ggl1}}$  ins Diagramm ein.
- Im Gleichgewicht wird B von Außen zugegeben, so dass sich die Konzentration von B sprunghaft um etwa 20% erhöht. Zeichnen Sie schematisch den weiteren Kurvenverlauf für A und B nach Zugabe von B in die Grafik ein, und zwar bis sich wiederum ein Gleichgewicht eingestellt hat.
- Zeichnen Sie ebenfalls die Gleichgewichtskonzentrationen von diesem zweiten Gleichgewicht  $[A]_{\text{Ggl2}}$  und  $[B]_{\text{Ggl2}}$  ins Diagramm ein.
- Unterscheidet sich das Verhältnis der Gleichgewichtskonzentrationen vor  $\left(\frac{[A]_{\text{Ggl1}}}{[B]_{\text{Ggl1}}}\right)$  und nach Zugabe  $\left(\frac{[A]_{\text{Ggl2}}}{[B]_{\text{Ggl2}}}\right)$  von B?



## 4.1 Lösung



a) **2 Punkte**

b) **1 Punkte**

c) **2 Punkte**

d) **2 Punkte**

e) **2 Punkte**

Nein, das Verhältnis bleibt gleich, da die Gleichgewichtskonstante für eine Reaktion unabhängig von der Anfangskonzentrationen ist.

## 5 Kinetik

vermutete Punkte: 10

Die Geschwindigkeitskonstante für die Zersetzung einer Substanz beträgt  $k_1 = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$  bei  $30^\circ\text{C}$  und  $k_2 = 1,38 \cdot 10^{-2} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$  bei  $50^\circ\text{C}$ . Berechnen Sie den Arrheniusparameter  $k_0$  für diese Reaktion.

### 5.1 Lösung

10 Punkte

$$k = k_0 \cdot \exp \left\{ \frac{-E_A}{R \cdot T} \right\}$$
$$\ln(k) = \ln(k_0) - \frac{E_A}{R \cdot T}$$
$$\ln \left( \frac{k_0}{k} \right) \cdot R \cdot T = E_A$$

Die Aktivierungsenergie ist für die Reaktion bei beiden Temperaturen gleich.

$$\ln \left( \frac{k_0}{k_1} \right) \cdot R \cdot T_1 = \ln \left( \frac{k_0}{k_2} \right) \cdot R \cdot T_2$$
$$T_1 \cdot \ln(k_0) - T_2 \cdot \ln(k_0) = T_1 \cdot \ln(k_1) - T_2 \cdot \ln(k_2)$$
$$\ln(k_0) \cdot (T_1 - T_2) = T_1 \cdot \ln(k_1) - T_2 \cdot \ln(k_2)$$
$$\ln(k_0) = \frac{T_1 \cdot \ln(k_1) - T_2 \cdot \ln(k_2)}{T_1 - T_2}$$
$$k_0 = \exp \left\{ \frac{T_1 \cdot \ln(k_1) - T_2 \cdot \ln(k_2)}{T_1 - T_2} \right\}$$
$$T_1 = 303 \text{ K}$$
$$T_2 = 323 \text{ K}$$
$$k_0 = 2,319 \cdot 10^{-9} \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

## 6 Elektrochemie

vermutete Punkte: 6

Ein elektrisches Bauteil benötigt für den Betrieb eine Spannung von 2,1 V.

- a) Wie können Sie aus folgender Liste von Standardreduktionspotentialen eine Zelle zusammensetzen, die mindestens diese Spannung liefert, aber 2,3 V nicht übersteigt?
- b) Was würden Sie tun, wenn Ihnen nur das System  $\text{Cu}|\text{Cu}^{2+}||\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}$  zur Verfügung stehen würde?

$$\text{Au}/\text{Au}^{3+} = 1,42 \text{ V}$$

$$\text{Pt}/\text{Pt}^{2+} = 1,18 \text{ V}$$

$$\text{Cu}/\text{Cu}^{2+} = 0,34 \text{ V}$$

$$\text{Pb}/\text{Pb}^{2+} = -0,13 \text{ V}$$

$$\text{Cd}/\text{Cd}^{2+} = -0,40 \text{ V}$$

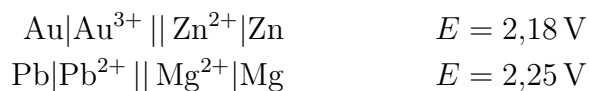
$$\text{Zn}/\text{Zn}^{2+} = -0,76 \text{ V}$$

$$\text{Mg}/\text{Mg}^{2+} = -2,38 \text{ V}$$

### 6.1 Lösung

a) **3 Punkte**

Es gibt zwei Möglichkeiten:



b) **3 Punkte**

$\text{Cu}|\text{Cu}^{2+}||\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}$  liefert nur  $E = 1,1 \text{ V}$ . Zwei Daniell-Elemente können hintereinander geschaltet werden. Die Spannung steigt dadurch auf  $E = 2,2 \text{ V}$ .

# 7 Elektrochemie

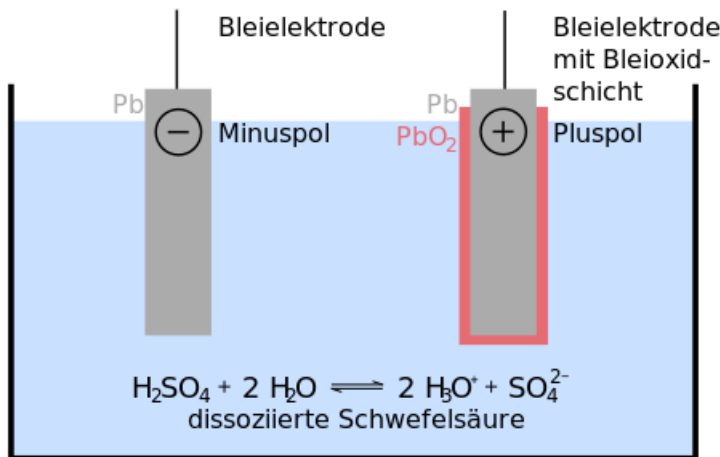
vermutete Punkte: 15

Die Elektroden eines Bleiakкумуляtors bestehen aus Blei und Bleidioxid. Der Elektrolyt ist wässrige Schwefelsäure und hydratisiertes Bleisulfat.

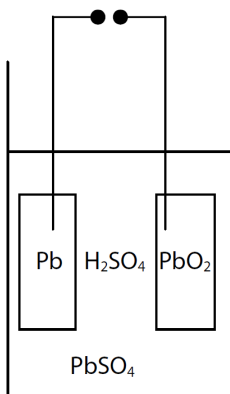
- a) Skizzieren Sie schematisch den Aufbau eines Bleiakкумуляtors.
- b) Beschriften Sie die einzelnen Bauteile, ermitteln Sie in welche Richtung die Elektronen fließen und bestimmen Sie die Vorzeichen der Elektroden. Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen (Halbzellenreaktionen und Gesamtreaktion) für den Fall der Entladung des Bleiakкумуляtors und berechnen Sie die Standard EMK für dieses Element.
- c) Stellen Sie die Nernst-Gleichung für die Gesamtreaktion des Bleiakкумуляtors auf. Von der Konzentration welcher Substanz hängt die EMK ab?

## 7.1 Lösung

a) 4 Punkte



Auch akzeptierte Lösung:



b) **4 Punkte**

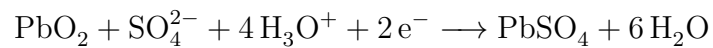
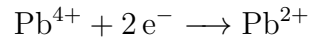
Anode: Oxidation

Standardreduktionspotential =  $-0,36\text{ V}$



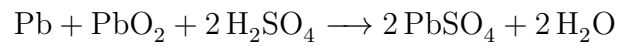
Kathode: Reduktion

Standardreduktionspotential =  $+1,67\text{ V}$



Gesamtreaktion

Standard EMK:  $1,67\text{ V} - (-0,36\text{ V}) = 2,04\text{ V}$



c) **7 Punkte**

Nernstgleichung:

$$E = E_0 - \frac{RT}{zF} \ln \left( \frac{X^2(\text{PbSO}_4) \cdot X^2(\text{H}_2\text{O})}{X(\text{Pb}^0) \cdot X(\text{PbO}_2) \cdot a^2(\text{H}_2\text{SO}_4)} \right)$$

$$E = E_0 - \frac{RT}{2 \cdot F} \ln \left( \frac{1}{c^2(\text{H}_2\text{SO}_4)} \right)$$

$$E = E_0 + \frac{RT}{F} \ln (c(\text{H}_2\text{SO}_4))$$

## 8 Spektroskopie

vermutete Punkte: 9

- a) Eine örtliche Brauerei hat herausgefunden, wieso ihr Bier nicht so gut schmeckt. Der Hefestamm, welcher dort benutzt wird, sondert ein Protein ab, welches bei hohen Konzentrationen den schlechten Geschmack ausmachen kann. Durch eine Literaturrecherche haben Sie herausgefunden, dass es sich um das Protein Gan1 handelt. Dieses besitzt einen dekadischen Extinktionskoeffizienten von  $\epsilon_{280 \text{ nm}} = 2.28 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ . Sie nehmen eine aufgereinigte Probe, überführen diese in eine Küvette mit 1 cm Länge und stellen diese in das UV-Vis Spektrometer. Sie erhalten eine Absorbanz von 0,29. Welche Konzentration an Protein liegt vor?
- b) Ihr Spektrometer ist so aufgebaut, dass der Lichtstrahl, der auf die Küvette trifft, eine Auftrittsfläche von  $0.3 \text{ cm}^2$  hat. Die Lichtintensität, die vom Protein in der Lösung absorbiert wird beträgt  $I_{\text{abs}} = 0.35 \text{ W cm}^{-2}$ . Wie viel Energie wird in 10 Sekunden in der Küvette absorbiert?
- c) Wie viele Photonen werden in diesen 10 Sekunden absorbiert?

### 8.1 Lösung

- a) **Punkte 3**

Gegeben sind folgende Werte:

$$\epsilon = 2.28 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

Durchmesser  $d=1 \text{ cm}$

Absorption  $A = 0,29$

Die Lambert-Beersche Formel wird nach  $c$  umgeformt:

$$c = \frac{A}{\epsilon \times d}$$

$$c = \frac{0,29}{2.28 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1} \times 1 \text{ cm}}$$

$$c = 1.272 \times 10^{-6} \text{ M}$$

- b) **Punkte 3**

$$E_{\text{abs}} = I_{\text{abs}} \cdot A \cdot t$$

$$E_{\text{abs}} = 0.35 \text{ W cm}^{-2} \cdot 0.3 \text{ cm}^2 \cdot 10 \text{ s}$$

$$E_{\text{abs}} = 1.05 \text{ J}$$

c) Punkte 3

Energie eines Photons bei 280 nm

$$E_{\text{phot}} = h \cdot \nu$$

$$E_{\text{phot}} = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Gesamte Absorbierte Energie dividiert durch die Energie eines Photons ergibt die Anzahl an absorbierten Photonen:

$$N_{\text{phot}} = \frac{E_{\text{abs}}}{E_{\text{phot}}}$$

$$N_{\text{phot}} = \frac{I_{\text{abs}} \cdot A \cdot t}{h \cdot \frac{c}{\lambda}}$$

$$N_{\text{phot}} = \frac{1.05 \text{ J}}{7.07 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

$$N_{\text{phot}} = 1,4 \cdot 10^{18}$$

## 9 Löslichkeit von Stickstoff

vermutete Punkte: 8

Die Henry-Konstante für die Löslichkeit von Stickstoff in Wasser ist bei 25 °C ist  $K_H = 8,7 \cdot 10^4$  bar. Wie groß ist die Konzentration von Stickstoff (Angabe in mol/l) in Wasser bei 25 °C bei einem Luftdruck von 1 bar? Nehmen Sie an, dass Luft zu 80 % aus Stickstoff und zu 20 % aus Sauerstoff besteht.

### 9.1 Lösung

a) 8 Punkte

$$p_{N_2} = \chi \cdot K_H$$
$$\chi_{N_2} = \frac{n_{N_2}}{n_{N_2} + n_{H_2O}}$$

$$n_{N_2} = c_{N_2} \cdot V$$
$$n_{H_2O} = c_{H_2O} \cdot V$$

$$\chi_{N_2} = \frac{c_{N_2} \cdot V}{(c_{H_2O} + c_{N_2}) \cdot V} = \frac{c_{N_2}}{c_{H_2O} + c_{N_2}}$$

$$p_{N_2} = \frac{c_{N_2}}{c_{H_2O} + c_{N_2}} \cdot K_H$$

$$c_{N_2} = \frac{c_{H_2O}}{\frac{K_H}{p_{N_2}} - 1}$$

$$c_{H_2O} = 55,5 \text{ mol/l}$$

$$p_{N_2} = 0,8 \text{ bar}$$

$$c_{N_2} = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$$



## 10 Verständnisaufgaben

vermutete Punkte: 15

Kurze Fragen – kurze Antworten (eine Gleichung mit bzw. oder zwei bis drei Sätzen)

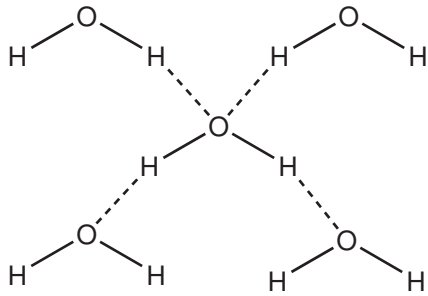
- a) Was bedeutet die Rate  $k_0$  in der Arrhenius Gleichung anschaulich?
- b) Der Siedepunkt von Wasser liegt unter Standardbedingungen bei  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Wie verändert sich der Siedepunkt, wenn man Kochsalz in Wasser löst?. Wie erklärt man sich das? Wie verändert sich der Gefrierpunkt von Wasser durch Salzzugabe?
- c) Zeichnen Sie alle möglichen H-Brücken eines  $\text{H}_2\text{O}$  Moleküls in Wasser.
- d) Die Faltung eines Proteins scheint aus thermodynamischer Sicht erstmals ein energetisch ungünstiger Prozess zu sein, da die Entropie des Proteins bei der Faltung stark abnimmt, während die Enthalpie nur leicht abnimmt. Das heißt die Bilanz der freien Enthalpie für das Protein ist durch die Faltung  $\Delta_{\text{R}}G^\ominus > 0$ . Trotzdem falten sich Proteine spontan. Wie erklären Sie sich das?
- e) Wie viel Freiheitsgrade hat Methanol  $\text{CH}_3\text{OH}$ ? Wie viele davon können Schwingungen sein?
- f) Mit welchen beiden Erweiterungen gegenüber dem idealen Gasgesetz versucht die Van-der-Waals-Gleichung das reale Verhalten von Gasen zu beschreiben?
- g) Skizzieren Sie ein Phasendiagramm (z.B. von Wasser) und kennzeichnen Sie die relevanten Punkte bzw. Phasen.

### 10.1 Lösungen

je 2 Punkte, außer g) mit 3 Punkten

- a) Die Stoßzahl zwischen den Reaktionspartnern. Die Geschwindigkeitskonstante bei  $T \rightarrow \infty$ . Die Geschwindigkeitskonstante bei  $E_{\text{A}} \rightarrow 0$
- b)
  - Da die Dampfphase (bzw. feste Phase) und die flüssige Phase im Gleichgewicht sind muss das chemische Potential für beide gleich sein. Beim Zumischen eines Stoffes wird die flüssige Phase zu einer Mischphase in der gilt  $\mu_{\text{F}} = \mu_{\text{F}}^\ominus + RT \ln \chi$ . Da das Gleichgewicht immer noch aufrechterhalten wird, muss sich der Dampfdruck der flüssigen Phase erniedrigen. Dies führt zu einer Siedepunkterhöhung und einer Gefrierpunkterniedrigung.
  - Der Siedepunkt wird erhöht und der Schmelzpunkt erniedrigt. Grund dafür ist die Erniedrigung des Dampfdrucks des Lösungsmittels, sprich Wassers. Der gelöste Stoff besetzt einen Teil der Lösungsmittelpplätze. So könne bei gleicher Fläche pro Zeit im Gleichgewicht weniger Lösungsmittelmoleküle verdampfen und kondensieren.

c) Wasserstoffbrücken:



d) Die treibende Kraft der Faltung ist die starke Entropiezunahme des umgebenden Wassers. Protein und Wasser müssen als gesamtes System betrachtet werden. Die Entropiezunahme des Wassers bewirkt ein  $\Delta_R G_{\text{sys}}^\ominus < 0$ , so dass der Prozess spontan abläuft.

e)  $3N \Rightarrow 3 \cdot 6 = 18$ , davon  $3N - 6 = 12$  Schwingungen.

f) Parameter a: Anziehungskräfte zwischen den Teilchen  
Parameter b: Eigenvolumen der Teilchen

g) Phasendiagramm Wasser:

