Formelblatt

Konstanten:

Allgemeine Gaskonstante: $R = 8.314\ J\ K^{-1}\ mol^{-1}$

Avogadro-Konstante: $N_A = 6.022 \cdot 10^{23}\ mol^{-1}$

Elementarladung: $e = 1.602 \cdot 10^{-19}\ C$

Erdbeschleunigung: $g = 9.81\ m\ s^{-2}\ (N\ kg^{-1})$

Umrechnungen:

Standarddruck: 1 atm = 101300 Pa = 760 Torr

Standardtemperatur: 298 K = 25°C

Logarithmen: $\log_a x = \log_b x \cdot \log_a b$

Volumen einer Kugel: $V = 4/3\ \pi\ r^3$

Dichte: $\rho = m / V$

Abkürzungen, englische Ausdrücke:

s = solid = feste Phase

l = liquid = flüssige Phase

g = gaseous = gasförmige Phase

comb = combustion = Verbrennung

vap = vaporization = Verdampfen = (l) → (g)

fus = fusion = Schmelzen = (s) → (l)

sub = sublimation = Sublimation (s) → (g)

Lösung einer quadratischen Gleichung (a-b-c-Formel, Mitternachtsformel):

$ax^2 + bx + c$ ➔ $x_{1/2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

Aufgabe 1: Single Choice (30 Punkte)

Bitte beachten Sie folgende Regeln:

- Es gibt für jede Frage nur eine richtige Antwort.
- Bitte kreuzen Sie diese Antwort in einer eindeutigen Weise an.
- Richtige Antwort 3 Punkte, keine Antwort 0 Punkte, falsche Antwort –1 Punkt.
- Sollte nach Aufsummierung aller Punkte aus den Teilaufgaben eine negative Punktezahl resultieren, so erhalten Sie für die gesamte Aufgabe 1 insgesamt 0 Punkte.
- Führen Sie etwaige Berechnungen auf der Rückseite durch.

1.1 Welche Aussage aus dem Bereich der Thermodynamik ist falsch?

3

- ☐ a) Die Temperatur und der Druck sind intensive Größen. ✓
- ☐ b) Innere Energie, Enthalpie, Gibbs'sche Enthalpie sind Zustandsfunktionen. ✓
- ☐ c) Die spezifische Wärmekapazität ist eine intensive Größe. ✓
- ☐ d) Wärme und Arbeit sind keine Zustandsfunktionen. ✓
- ☒ e) Das Volumen ist eine intensive Größe.

1.2 Ein ideales Gas hat bei einer Temperatur von –20°C und einem Druck von 210344 Pa eine Dichte von 3.00 g L^{-1}. Das Gas besteht nur aus Stickstoff- (M = 14 g mol^{-1}) und Sauerstoffatomen (M = 16 g mol^{-1}). Um welches Gas handelt es sich?

0

- X ☐ a) Stickstoffmonoxid NO
- ☐ b) Lachgas N_2O
- ☐ c) Stickstoffdioxid NO_2
- ☐ d) Distickstofftetroxid N_2O_4
- ☐ e) Distickstoffpentoxid N_2O_5

1.3 An einem System wird chemische Arbeit von 14.6 kJ geleistet. Dabei leistet das System selbst eine Volumenarbeit W_{Vol} von 2.6 kJ und gibt zudem 10.9 kJ in Form von Wärme an die Umgebung ab. Wie groß ist die Änderung der inneren Energie (U) des Systems?

3

- ☒ a) + 1.1 kJ
- ☐ b) + 6.3 kJ
- ☐ c) – 1.1 kJ
- ☐ d) – 6.3 kJ
- ☐ e) + 22.9 kJ

1.4 Ein 70 Kilogramm schwerer Mensch ist in den Regen geraten und seine Kleider haben 1,125 kg Wasser aufgesaugt. Beim Trocknen der Kleider wird die gesamte Verdampfungswärme dem Körper entzogen. Um wie viel Kelvin würde die Körpertemperatur absinken, wenn der Körper die für die Verdunstung des Wassers verbrauchte Wärmeenergie nicht aufbringt?

$M(H_2O) = 18\ g\ mol^{-1}$, $c_{spez}(Mensch) = 3.57\ kJ\ K^{-1}\ kg^{-1}$, $\Delta_{vap}h\ (Wasser) = 40\ kJ\ mol^{-1}$

0

- ☐ a) ca. 2 K
- ☐ b) ca. 4 K
- ☐ c) ca. 6 K
- ☐ d) ca. 8 K
- X ☐ e) ca. 10 K

1.5 Welche Aussage trifft vollkommen auf ein geschlossenes thermodynamisches System zu?

3

- ☐ a) kein Materie-, Wärme- und Arbeitsaustausch, Systemgrenze isolierend
- ☒ b) kein Materieaustausch, dafür Wärme- und Arbeitsaustausch, Systemgrenze deformierbar ✓
- ☐ c) kein Materie- und Wärmeaustausch, dafür Arbeitsaustausch, Systemgrenze starr ✗
- ☐ d) kein Materieaustausch, dafür Wärme- und Arbeitsaustausch, Systemgrenze permeabel

1.6 Was beschreibt das Henry-Gesetz?

3

- ☐ a) Die Löslichkeit von Wasser in einer gasförmigen Phase.
- ☐ b) Die Gefrierpunktserniedrigung einer Flüssigkeit durch Lösen eines Salzes.
- ☐ c) Die Verteilung eines gelösten Stoffes in zwei nichtmischbaren Flüssigkeiten.
- ☒ d) Die Löslichkeit eines Gases in einer Flüssigkeit.
- ☐ e) Den Dampfdruck der reinen Flüssigkeit als Proportionalitätsfaktor zwischen dem Dampfdruck einer Flüssigkeit in einer Mischung und ihrem Stoffmengenanteil.

1.7 Aus Sicht der Statistik kann die Entropie nach folgender Formel errechnet werden: $S = k \cdot \ln W$
Welche Bedeutung hat k?

3

- ☐ a) Wahrscheinlichkeitskonstante
- ☒ b) Boltzmann-Konstante
- ☐ c) Helmholtz-Konstante
- ☐ d) Bernoulli-Konstante
- ☐ e) Geschwindigkeitskonstante

Aufgabe 2: Volumenarbeit eines idealen Gases (10 Punkte)

Ein thermodynamischer Zylinder enthält 20 Liter komprimiertes Neon bei 10^6 Pa und 25°C. Berechnen Sie die reversible Volumenarbeit, die bei der Expansion des Gases auf einen Druck von 10^5 Pa gewonnen wird. Neon ist ein einatomiges, ideales Gas.

a) Der Prozess wird isotherm geführt. (4 Punkte)

Der Prozess wird adiabatisch geführt. (6 Punkte)

Aufgabe 3: Thermochemie und chemisches Gleichgewicht (18 Punkte)

Distickstofftetroxid steht nach folgender Gleichung im Gleichgewicht mit Stickstoffdioxid:

$N_2O_4\,(g) \rightleftharpoons 2\,NO_2\,(g)$

Es soll die Gleichgewichtslage dieser Reaktion bei Standarddruck und einer Temperatur von 100°C bestimmt werden.

Thermodynamische Daten der beteiligten Komponenten:

N_2O_4 (g): $\Delta_B H^0_{298} = 9.08$ kJ mol^{-1}; $S^0_{298} = 304.38$ J mol^{-1} K^{-1}; $c_p^0 = (34.05 + 2.52 \cdot 10^{-3}\ T/K)$ J mol^{-1} K^{-1}

NO_2 (g): $\Delta_B H^0_{298} = 33.10$ kJ mol^{-1}; $S^0_{298} = 240.04$ J mol^{-1} K^{-1}; $c_p^0 = (16.11 + 0.74 \cdot 10^{-3}\ T/K)$ J mol^{-1} K^{-1}

a) Berechnen Sie die Enthalpieänderung $\Delta_R H^0_{373}$ der Reaktion bei 100°C! (4 Punkte)

b) Berechnen Sie die Entropieänderung $\Delta_R S^0_{373}$ der Reaktion bei 100°C! (4 Punkte)

ufgabe 4: Phasengleichgewicht (12 Punkte)

ie Mitglieder einer Expedition zum Mount Everest kommen in einem Basislager an und stellen beim affeekochen fest, dass reines Wasser bereits bei 82°C siedet. Mit Hilfe dieser Siedetemperatur können sie auf die Höhe schließen, in der sich das Lager befindet. Nachfolgend sind die Clapeyron-Gleichung, die barometrische Höhenformel und die Verdampfungsenthalpie des Wassers angegeben.

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta_U h}{T \cdot \Delta_U v} \quad , \quad \frac{dp}{dh} = -\frac{p \cdot M \cdot g}{R \cdot T} \quad , \quad \Delta_{vap} h\,(\mathrm{H_2O}) = 40.7\ \mathrm{kJ\ mol^{-1}}$$

Zudem wird die Luft als ein ideales Gas mit der einheitlichen Molmasse von $M = 29\ \mathrm{g\ mol^{-1}}$ angenommen, die Lufttemperatur ist unabhängig von der Höhe 0°C und der Luftdruck in Meereshöhe ($h = 0$ m) beträgt 1.0 bar.

a) Entwickeln Sie aus der Clapeyron-Gleichung die Clausius-Clapeyron-Gleichung. (2 Punkte)

b) Berechnen Sie den Luftdruck aus der gemessenen Siedetemperatur des Wassers? (5 Punkte)

c) *Berechnen Sie die Höhe, in der sich die Bergsteiger befinden? Falls Sie Aufgabe b) nicht lösen konnten, nehmen Sie 0.5 bar als Luftdruck an.* (5 Punkte)

Aufgabe 5: Elektrochemie (14 Punkte)

Es liegt eine galvanische Zelle mit folgendem Phasenschema vor:

$Zn\ (s)\ |\ ZnSO_4\ (aq,\ c = 0.01\ mol/L)\ ||\ H^+\ (aq,\ a = 0.01)\ |\ H_2\ (g,\ p_{H2} = p_0)\ |\ Pt\ (s)$

$E^0\ (Zn^{2+}/Zn) = -0.761\ V$; Aktivitätskoeffizient $\gamma\ (ZnSO_4,\ 0.01\ mol/L) = 0.387$

a) Wie heißt die rechte Halbzelle des Phasenschemas? Geben Sie deren Redoxgleichung und Standardpotenzial an. Berechnen Sie mit der Nernst-Gleichung das Potenzial dieser Halbzelle unter den im Phasenschema angegebenen Bedingungen bei 25°C. (4 Punkte)

b) Formulieren Sie die Redoxgleichung sowie die Nernst-Gleichung für die Zink-Halbzelle. Berechnen Sie die reversible Zellspannung ΔE der galvanischen Zelle bei 25°C. Berücksichtigen Sie dabei den Aktivitätskoeffizienten der Zinksulfat-Lösung. (5 Punkte)

c) *Der Elektrolyt der rechten Halbzelle wird durch eine Lösung mit anderer Säurekonzentration ausgetauscht. Die gemessene reversible Zellspannung beträgt* $\Delta E = 0.595$ V. Berechnen Sie den pH-Wert dieser neuen Lösung bei 25°C. (5 Punkte)

Aufgabe 6: Reaktionskinetik (16 Punkte)

Formaldehyd (FA) setzt sich mit H_2O_2 (WP) zu Ameisensäure (AS) in einer Reaktion zweiter Ordnung um, wobei die Reaktion jeweils erster Ordnung in Formaldehyd und Wasserstoffperoxid verläuft.

$$HCHO\ (FA) + H_2O_2\ (WP) \rightarrow HCOOH\ (AS) + H_2O$$

Die Konzentration der beiden Ausgangsstoffe beträgt zum Start der Reaktion jeweils 0.5 mol L^{-1}.

a) Formulieren Sie das allgemeine Geschwindigkeitsgesetz für diese Reaktion. (1 Punkt)

b) Entwickeln Sie daraus das differenzielle und das integrale Zeitgesetz der Änderung der Konzentration an Formaldehyd unter den Bedingungen gleicher Konzentrationen. (3 Punkte)

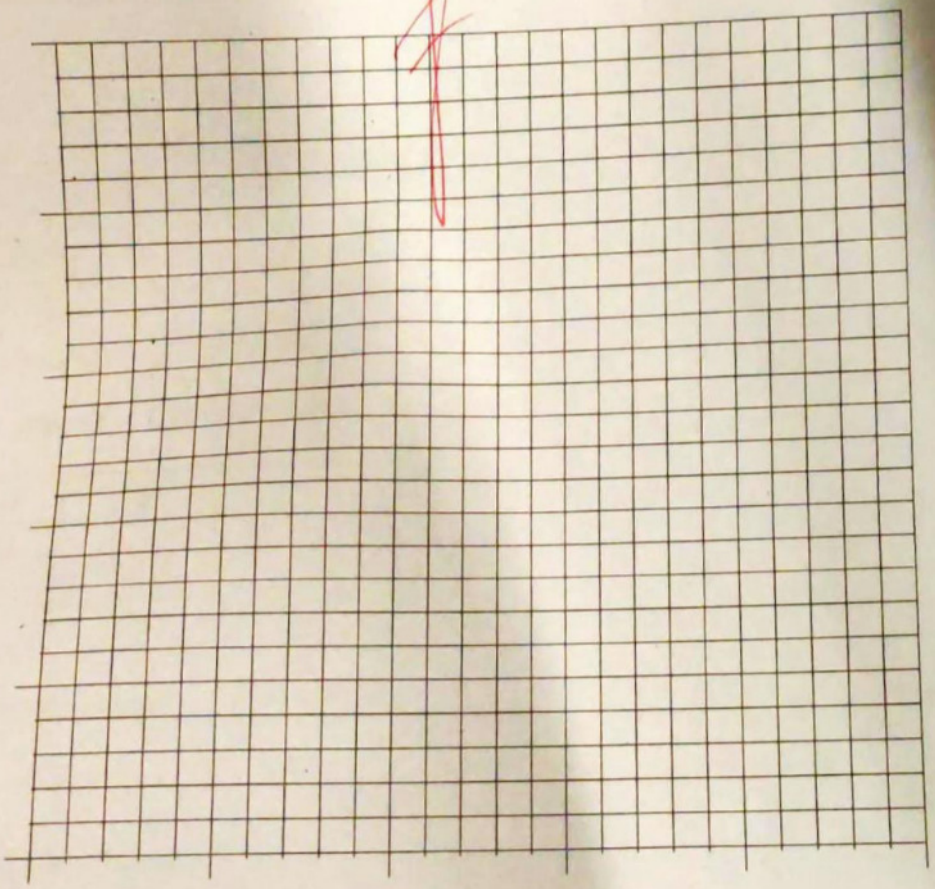
c) Die Konzentration an Ameisensäure beträgt nach einer Reaktionsdauer von 168 min 0.086 mol L^{-1}. Berechnen Sie die Geschwindigkeitskonstante der Reaktion. Geben Sie das Ergebnis auf 4 Nachkommastellen an und achten Sie auf die Einheit! (3 Punkte)

d) Nach welcher Zeit sind 80% der Ausgangsstoffe umgesetzt? (3 Punkte)

e) Für die Temperaturabhängigkeit der Reaktion wurden folgende Daten erhalten. **Bestimmen Sie** die Aktivierungsenergie E_a der Reaktion mit Hilfe einer geeigneten graphischen **Auftragung.**

Arrhenius-Gleichung: $$k(T) = k_0 \cdot \exp\left[-\frac{E_a}{RT}\right]$$

Tragen sie die dafür benötigen Größen in die leeren Zeilen der Tabelle ein. **(6 Punkte)**

θ / °C	60	70	80	90
k / L mol^{-1} min^{-1}	0.058	0.084	0.119	0.169
$1/T$ / K				
E_a				

0