

Klausur zur 2. Runde des Auswahlverfahrens zur 53. IChO 2021 in Osaka (Japan)

Name, Vorname: _____

Bundesland: _____

Beginnen Sie erst, wenn das Startsignal gegeben wird.

Zeit	3 Zeitstunden
Name	schreiben Sie ihn auf dieses Deckblatt und auf jede Seite der Klausur
Bundesland	Schreiben Sie Ihr Bundesland auf dieses Deckblatt und auf jede Seite der Klausur
Atommassen	benutzen Sie nur das vorgegebene Periodensystem
Konstanten	benutzen Sie nur die Werte aus der Formelsammlung
Berechnungen	schreiben Sie diese in die zugehörigen Kästen, ohne Rechnungen gibt es keine Punkte
Ergebnisse	schreiben Sie nur in die zugehörigen Kästen in der Klausur, nichts Anderes wird gewertet
Ersatzantwortbögen	nutzen Sie ein leeres Blatt und schreiben Sie Namen, Vornamen, Bundesland und Aufgabennummer darauf
Schmierpapier	benutzen Sie die freien Rückseiten, das dort Geschriebene wird nicht bewertet

Viel Erfolg!

FORMELN und DATEN

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T \cdot \Delta S^0 \quad \Delta G^0 = - \Delta E \cdot z \cdot F \quad \Delta G^0 = - R \cdot T \cdot \ln K$$

$$\Delta G = \Delta G^0 + R \cdot T \cdot \ln Q \text{ (mit } Q: \text{ Reaktionsquotient)}$$

$$\Delta U = \Delta H - \Delta(p \cdot V) \text{ wenn nur Volumenarbeit geleistet wird}$$

$$\ln (K_{p1}/K_{p2}) = \frac{-\Delta H^0}{R} \cdot (T_1^{-1} - T_2^{-1})$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad \text{für ideale Gase und osmotischen Druck}$$

$$\text{Lambert-Beer'sches Gesetz: } A = -\log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) = \varepsilon \cdot c \cdot d$$

Geschwindigkeitsgesetze:	0. Ordnung	$c = c_0 - k \cdot t$
	1. Ordnung	$c = c_0 \cdot e^{-k_1 \cdot t}$
	2. Ordnung	$c^{-1} = k_2 \cdot t + c_0^{-1}$

Faradaysche Gesetze: Ladung Q:
 $Q = z \cdot F \cdot n$
 $Q = t \cdot I$

Lichtgeschwindigkeit $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$

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

Absoluter Nullpunkt $T_0 = 0 \text{ K} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$

Faraday-Konstante $F = 96485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$

Avogadro-Konstante $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

$p^0 = 1,000 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ $1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

pico, p: 10^{-12} nano, n: 10^{-9} mikro, μ : 10^{-6} milli, m: 10^{-3} $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$

Alle Gleichgewichtskonstanten (K_c , K_p , K_s , K_L , ...) sind dimensionslos angegeben. In den entsprechenden Rechentermen werden auch nur Zahlenwerte verwendet. Diese erhalten Sie durch Division der jeweiligen Konzentrationen c durch c^0 (= 1 mol/L) bzw. der Drücke p durch p^0 (= $1,000 \cdot 10^5 \text{ Pa}$).

1	H	1.0079	2	He	4.0026
3	Li	6.941	5	B	10.811
4	Be	9.0122	6	C	12.011
11	Na	22.990	7	N	14.007
12	Mg	24.305	8	O	15.999
19	K	39.098	9	F	18.998
20	Ca	40.078	10	Ne	20.180
21	Sc	44.956	13	Al	26.982
22	Ti	47.867	14	Si	28.086
23	V	50.942	15	P	30.974
24	Cr	51.996	16	S	32.066
25	Mn	54.938	17	Cl	35.453
26	Fe	55.845	18	Ar	39.948
27	Co	58.933	31	Ga	69.723
28	Ni	58.693	32	Ge	72.61
29	Cu	63.546	33	As	74.922
30	Zn	65.39	34	Se	78.96
37	Rb	85.468	35	Br	79.904
38	Sr	87.62	49	In	114.82
39	Y	88.906	50	Sn	118.71
55	Cs	132.91	51	Sb	121.76
56	Ba	137.33	52	Te	127.60
87	Fr*	223.02	81	Tl	204.38
88	Ra*	226.03	82	Pb	207.2
			83	Bi	208.98
			84	Po*	209.99
			85	At*	210
			86	Rn*	222.02
			27	Cu	63.546
			28	Ni	58.693
			29	Cu	63.546
			30	Zn	65.39
			31	Ga	69.723
			32	Ge	72.61
			33	As	74.922
			34	Se	78.96
			35	Br	79.904
			36	Kr	83.80
			37	Rb	85.468
			38	Sr	87.62
			39	Y	88.906
			40	Zr	91.224
			41	Nb	92.906
			42	Mo	95.94
			43	Tc*	98.906
			44	Ru	101.07
			45	Rh	102.91
			46	Pd	106.42
			47	Ag	107.87
			48	Cd	112.41
			49	In	114.82
			50	Sn	118.71
			51	Sb	121.76
			52	Te	127.60
			53	I	126.90
			54	Xe	131.29
			55	Cs	132.91
			56	Ba	137.33
			57	La	138.91
			58	Ce	140.12
			59	Pr	140.91
			60	Nd	144.24
			61	Pm*	146.92
			62	Sm	150.36
			63	Eu	151.97
			64	Gd	157.25
			65	Tb	158.93
			66	Dy	162.50
			67	Ho	164.93
			68	Er	167.26
			69	Tm	168.93
			70	Yb	173.04
			71	Lu	174.97
			72	Hf	178.49
			73	Ta	180.95
			74	W	183.84
			75	Re	186.21
			76	Os	190.23
			77	Ir	192.22
			78	Pt	195.08
			79	Au	196.97
			80	Hg	200.59
			81	Tl	204.38
			82	Pb	207.2
			83	Bi	208.98
			84	Po*	209.99
			85	At*	210
			86	Rn*	222.02
			87	Fr*	223.02
			88	Ra*	226.03
			89	Ac*	227.03
			90	Th*	232.04
			91	Pa*	231.04
			92	U*	238.03
			93	Np*	237.05
			94	Pu*	244.06
			95	Am*	243.06
			96	Cm*	247.07
			97	Bk*	247.07
			98	Cf*	251.08
			99	Es*	252.08
			100	Fm*	257.10
			101	Md*	258.10
			102	No*	259.10
			103	Lr*	260.11
			104	Uub*	277
			105	Uut*	277
			106	Uuq*	277
			107	Uur*	277
			108	Uus*	277
			109	Uuq*	277
			110	Uur*	277
			111	Uus*	277
			112	Uub*	277
			113	Uut*	277
			114	Uuq*	277
			115	Uur*	277
			116	Uus*	277
			117	Uub*	277
			118	Uut*	277
			119	Uuq*	277
			120	Uur*	277
			121	Uus*	277
			122	Uub*	277
			123	Uut*	277
			124	Uuq*	277
			125	Uur*	277
			126	Uus*	277
			127	Uub*	277
			128	Uut*	277
			129	Uuq*	277
			130	Uur*	277
			131	Uus*	277
			132	Uub*	277
			133	Uut*	277
			134	Uuq*	277
			135	Uur*	277
			136	Uus*	277
			137	Uub*	277
			138	Uut*	277
			139	Uuq*	277
			140	Uur*	277
			141	Uus*	277
			142	Uub*	277
			143	Uut*	277
			144	Uuq*	277
			145	Uur*	277
			146	Uus*	277
			147	Uub*	277
			148	Uut*	277
			149	Uuq*	277
			150	Uur*	277
			151	Uus*	277
			152	Uub*	277
			153	Uut*	277
			154	Uuq*	277
			155	Uur*	277
			156	Uus*	277
			157	Uub*	277
			158	Uut*	277
			159	Uuq*	277
			160	Uur*	277
			161	Uus*	277
			162	Uub*	277
			163	Uut*	277
			164	Uuq*	277
			165	Uur*	277
			166	Uus*	277
			167	Uub*	277
			168	Uut*	277
			169	Uuq*	277
			170	Uur*	277
			171	Uus*	277
			172	Uub*	277
			173	Uut*	277
			174	Uuq*	277
			175	Uur*	277
			176	Uus*	277
			177	Uub*	277
			178	Uut*	277
			179	Uuq*	277
			180	Uur*	277
			181	Uus*	277
			182	Uub*	277
			183	Uut*	277
			184	Uuq*	277
			185	Uur*	277
			186	Uus*	277
			187	Uub*	277
			188	Uut*	277
			189	Uuq*	277
			190	Uur*	277
			191	Uus*	277
			192	Uub*	277
			193	Uut*	277
			194	Uuq*	277
			195	Uur*	277
			196	Uus*	277
			197	Uub*	277
			198	Uut*	277
			199	Uuq*	277
			200	Uur*	277
			201	Uus*	277
			202	Uub*	277
			203	Uut*	277
			204	Uuq*	277
			205	Uur*	277
			206	Uus*	277
			207	Uub*	277
			208	Uut*	277
			209	Uuq*	277
			210	Uur*	277
			211	Uus*	277
			212	Uub*	277
			213	Uut*	277
			214	Uuq*	277
			215	Uur*	277
			216	Uus*	277
			217	Uub*	277
			218	Uut*	277
			219	Uuq*	277
			220	Uur*	277
			221	Uus*	277
			222	Uub*	277
			223	Uut*	277
			224	Uuq*	277
			225		

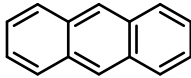


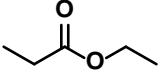

Aufgabe 2-01**Multiple Choice****10 Punkte**

Kreuzen Sie die korrekte/n Antwort/en an. Auch wenn die Fragen so formuliert sind, als wäre nur eine Antwort richtig, kann in jeder Teilaufgabe mehr als eine richtige Antwortmöglichkeit gegeben sein.

a) Welches dieser Elemente hat eine größere Elektronegativität als Schwefel?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
P	Be	O	Cl	Te

b) Welche dieser Verbindungen ist bei Raumtemperatur und Normaldruck flüssig?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				

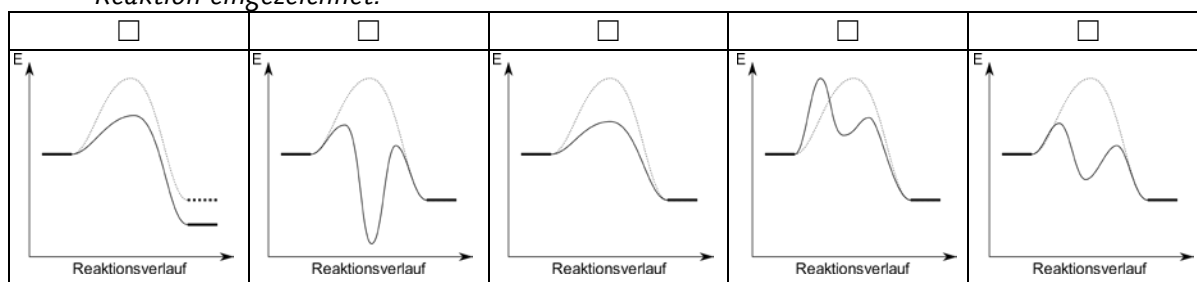
c) Der Massenanteil eines Alkalimetalls in einer binären Verbindung mit Sauerstoff beträgt 59,0 %. Um welches Metall handelt es sich?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Li	Na	K	Rb	Cs

d) Wie lautet die Summenformel von 2-Chlor-1,3-dimethylcyclopentan?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C ₇ H ₉ Cl	C ₇ H ₁₃ Cl	C ₇ H ₁₂ Cl ₂	C ₇ H ₈ Cl ₂	C ₇ H ₁₁ Cl

e) Welches Energiediagramm beschreibt am besten die Wirkung eines Katalysators? In jedem der Graphen ist als hellgraue, gepunktete Linie das Energiediagramm der unkatalysierten Reaktion eingezeichnet.



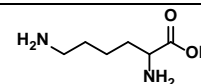
f) Ein Luftballon wird mit 2,5 L Knallgas bei 1,2 bar und 25 °C gefüllt und angezündet. Wie viel Gramm Wasser entstehen bei der vollständigen Reaktion?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0,73	1,09	1,32	1,45	2,18

g) In welcher Verbindung liegt ein Atom mit der Oxidationsstufe +III vor?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NaClO ₂	Fe ₃ O ₄	H ₂ SO ₃	NH ₃	POCl ₃

h) Welche Ladung hat die Mehrheit der Lysinmoleküle (siehe Abbildung) in einer wässrigen Lösung bei pH 7?



<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2+	1+	0	1-	2-

i) Unter welchem Einfluss ändert sich die Gleichgewichtskonstante der endothermen Reaktion $C(s) + CO_2 \rightleftharpoons 2 CO$?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Temperaturverringern	Druckerhöhung	Zugabe eines Katalysators	Abtrennung von Kohlenmonoxid	Hinzufügen von Koks

j) In welcher Verbindung liegt mindestens eine π -Bindung vor?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BCl ₃	BrF ₃	CO ₂	HF	N ₂

Aufgabe 2-02**Aluhüt(t)e****15 Punkte**

Im Jahr 2020 war eine erhöhte Nachfrage nach aus Aluminiumfolie hergestellten Kopfbedeckungen zu verzeichnen, weshalb wir uns hier der Herstellung dieses Metalls widmen wollen.

Aluminium wird großtechnisch durch die Schmelzflusselektrolyse von Aluminiumoxid hergestellt, wobei die Graphitanode zu Kohlenstoffdioxid reagiert. Der Elektrolyt ist dabei eine geschmolzene Mischung von Aluminiumoxid und Kryolith, die einen Schmelzpunkt von 950 °C hat. Reines Aluminiumoxid würde erst bei 2045 °C schmelzen. (Hinweis: Einige Details des Prozesses werden hier zur Vereinfachung außer Acht gelassen)

- a) *Stellen Sie die Reaktionsgleichungen für die Oxidations- und Reduktionsprozesse auf. Formulieren Sie die Gesamtgleichung. Geben Sie für alle Reaktionsteilnehmer den jeweiligen Aggregatzustand an.*

Die Elektrolyse wird bei einer Spannung von 5 V mit einer Stromstärke von 200 kA durchgeführt.

- b) *Berechnen Sie, welche Masse an Aluminium in einer Stunde hergestellt wird.*

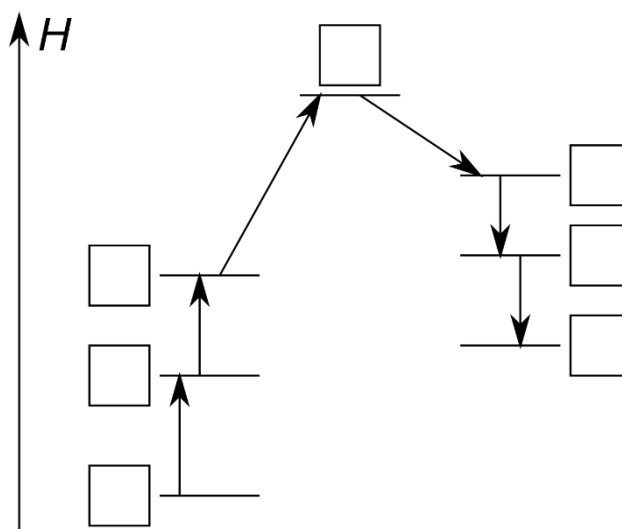
c) Berechnen Sie, nach wie vielen Stunden eine Anode der Masse 5 t verbraucht ist.

Eine Weiterentwicklung der Schmelzflusselektrolyse besteht in der Verwendung von inerten Anoden, an welchen die Sauerstoffionen zu elementarem Sauerstoff reagieren. Vorteilhaft daran ist, dass die Anoden nicht ständig ausgetauscht werden müssen, was die Komplexität der Anlage reduziert. Der Nachteil besteht im erhöhten Bedarf an elektrischer Energie, die zugeführt werden muss.

d) Berechnen Sie, wie viel % mehr elektrische Energie bei der Verwendung von inerten Anoden im Vergleich zu Graphitanoden verbraucht wird. Nehmen Sie an, dass der Vorgang unter Standardbedingungen abläuft. (Benötigte thermodynamische Daten: Al_2O_3 (s): $\Delta G_f^\circ = -1582 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. CO_2 (g): $\Delta G_f^\circ = -394 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)

e) Ordnen Sie die Kästchen (1-7) den Zuständen in untenstehendem Energiediagramm zu, indem Sie die Zahlen eintragen. Zeichnen Sie dort auch die Standardbildungsenthalpie von Aluminiumoxid ein. Hinweis: Das Diagramm ist nicht maßstabsgetreu.

- | | | | | | | | |
|---|--|---|--|---|--|---|-------------------------------------|
| 1 | Al_2O_3 (s), 950 °C | 2 | Al_2O_3 (s), RT | 3 | Al (s) + O_2 (g), 660 °C | 4 | Al_2O_3 (l), 950 °C |
| 5 | Al (l) + O_2 (g), 660 °C | 6 | Al (s) + O_2 (g), RT | 7 | Al (l) + O_2 (g), 950 °C | | |



Aufgabe 2-03**Manche mögen's kalt****26 Punkte**

Laura hat einige Freund*innen zu ihrer Geburtstagsparty eingeladen. Zur Erfrischung hat sie kohlenensäurehaltige Getränke eingekauft. Kohlensäure entsteht reversibel beim Einleiten von Kohlenstoffdioxid in wässrige Lösungen.

- a) *Geben Sie eine ausgeglichene Reaktionsgleichung für die Bildung von Kohlensäure in diesem Prozess an.*

- b) *Kreuzen Sie die korrekte/n Aussage/n an: Die Löslichkeit von CO₂ in Wasser...*

- steigt mit zunehmender Temperatur
 - steigt mit abnehmender Temperatur
 - sinkt mit abnehmender Temperatur

Das CO₂-Gas wird unter Druck eingeleitet, wobei sich 7 g CO₂ pro Liter Getränk lösen. Tatsächlich liegt nur ein Teil des eingeleiteten Kohlenstoffdioxids als Kohlensäure vor, der Rest als hydratisiertes CO₂(aq). Die Gleichgewichtskonstante ist $K = c(\text{Kohlensäure}) / c(\text{CO}_2(\text{aq})) = 0,0017$.

- c) *Berechnen Sie die Massenkonzentration (in mg L⁻¹) von Kohlensäure in dem Getränk.*

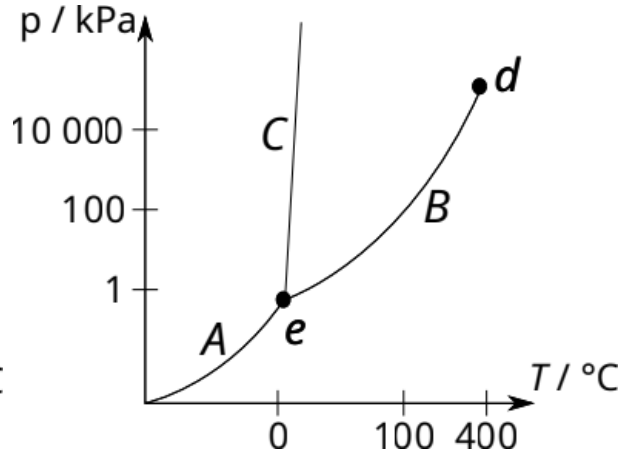
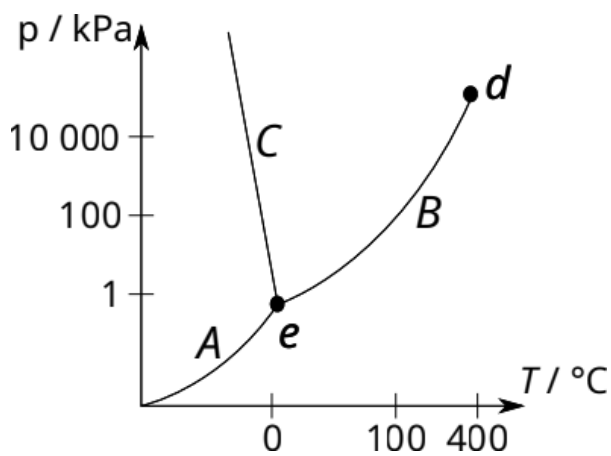
Bei 25 °C und einem Druck von 101,3 kPa beträgt die Löslichkeit von CO₂ nur 1,5 g pro Liter, Lauras Getränk ist also an CO₂ übersättigt.

- d) *Berechnen Sie, welches Gasvolumen bei diesen Bedingungen aus einem Glas mit 250 mL Getränk bis zur Einstellung des Gleichgewichts entweicht.*

Um die Getränke gekühlt zu servieren, hat Laura in ihrem Tiefkühlschrank, in dem es $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ kalt ist, Eiswürfel mit einem Volumen von 5 cm^3 hergestellt. Die Dichte von Eis beträgt bei dieser Temperatur $0,92\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Nachdem sie die Eiswürfel aus dem Tiefkühlschrank herausgeholt hat, muss sie sich aber dringend um andere Vorbereitungen kümmern und vergisst die Eiswürfel in der $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ warmen Küche.

- e) Skizzieren Sie den Temperaturverlauf der Eiswürfel beim Auftauen in einem $T(t)$ -Diagramm. Skalieren Sie, soweit möglich, die Achsen Ihres Diagramms.

- f) Begründen Sie, welches der folgenden Phasendiagramme das von Wasser ist, und zeichnen Sie mit einem Pfeil den Verlauf des Schmelzvorgangs der Eiswürfel ein.



g) Ordnen Sie den drei Linien (A, B, C) und den beiden Punkten (d, e) im Phasendiagramm den jeweils passenden der folgenden Begriffe zu:

- | | |
|---------------------|---------------------|
| • kritischer Punkt | • Tripelpunkt |
| • Gefrierpunkt | • Sublimationskurve |
| • Verdampfungskurve | • Schmelzkurve |
| • Isochore | • Flammpunkt |

Gerade rechtzeitig bevor ihre Gäste kommen, hat Laura neue Eiswürfel hergestellt, von denen sie nun einige in genau 250 mL eines wässrigen Getränks gibt, das seit mehreren Stunden in der Küche stand. Die spezifische Wärmekapazität von Eis ist $2,09 \text{ kJ kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, die von Wasser und dem Getränk $4,19 \text{ kJ kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, die spezifische Schmelzwärme von Eis beträgt $334 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Das Getränk gefriert bei $-3 \text{ }^\circ\text{C}$.

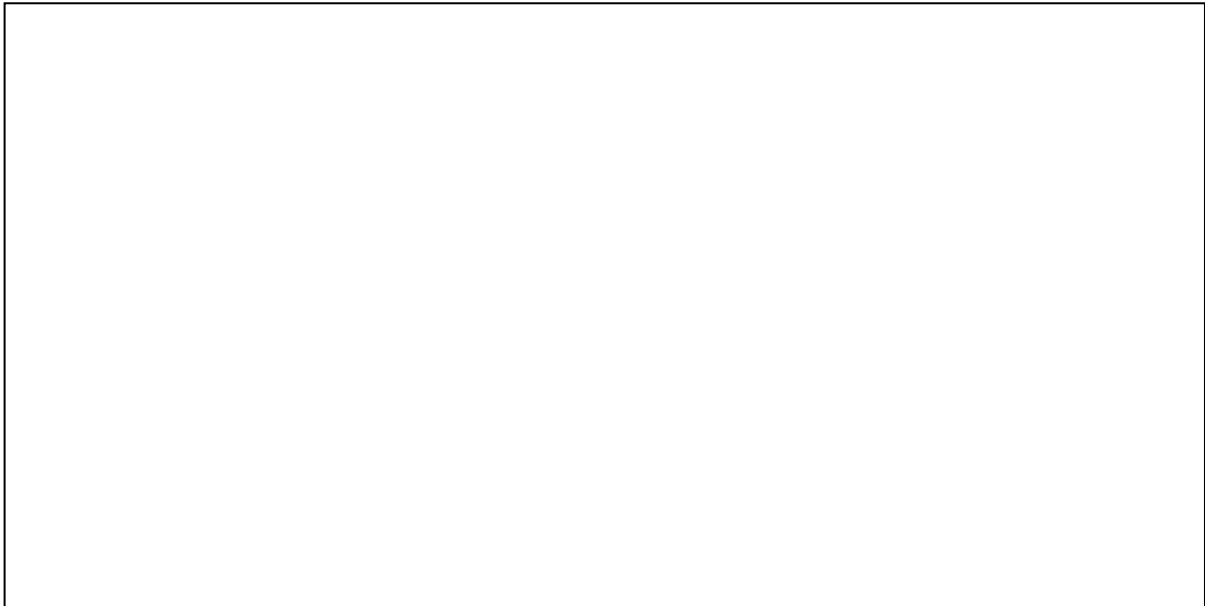
h) Erklären Sie, wann die niedrigste Temperatur des Getränks erreicht wird, indem Sie beschreiben, in welchem Zustand die Eiswürfel dann vorliegen.

i) Berechnen Sie, wie viele Eiswürfel mindestens notwendig sind, um das Getränk auf weniger als $10 \text{ }^\circ\text{C}$ abzukühlen. Vernachlässigen Sie Wärmeaustausch mit der Umgebung.

Name, Vorname: _____

Bundesland: _____

- j) Bestimmen Sie das maximale Massenverhältnis von Getränk und Eis, sodass das Getränk vollständig gefriert. Vernachlässigen Sie Wärmeaustausch mit der Umgebung.*



Aufgabe 2-04**Backtriebmittel****15 Punkte**

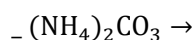
Weihnachten steht vor der Tür und in vielen Familien heißt das: Plätzchenbacken ist angesagt! Dabei darf häufig das Backtriebmittel nicht fehlen. Neben dem klassischen Backpulver gibt es noch viele weitere Arten von Backtriebmitteln, die man allgemein in chemische, biologische und physikalische Backtriebmittel einteilen kann. Gemeinsam ist allen, dass im Verlauf des Backprozesses Gase entstehen, die den Teig auflockern.

Bei chemischen Backtriebmitteln beruht die Gasbildung immer auf einer Reaktion. In diese Kategorie gehören z.B. Backpulver, Hirschhornsalz und Pottasche.

Backpulver ist meist eine Mischung aus Natriumhydrogencarbonat und Dinatriumdihydrogendiphosphat. In wässriger Lösung reagiert Letzteres mit Wasser unter Bildung von Natriumdihydrogenphosphat. Dieses reagiert dann mit dem Natriumhydrogencarbonat. Hirschhornsalz enthält unter anderem Ammoniumhydrogencarbonat, Ammoniumcarbonat und Ammoniumcarbamat ($\text{NH}_4\text{NH}_2\text{CO}_2$), wohingegen Pottasche ein Trivialname für Kaliumcarbonat ist. Um eine Gasentwicklung anzuregen, muss bei der Verwendung von Pottasche dem Teig noch eine Säure hinzugegeben werden. Dazu verwendet man beim Backen in der Regel Apfelessig oder Zitronensaft.

a) Folgende Reaktionen chemischer Backtriebmittel finden in einem Teig (also näherungsweise in wässriger Lösung) unter Hitzeeinwirkung statt.

1. Vervollständigen Sie untenstehende Reaktionsgleichungen in der Ionenschreibweise.
2. Ergänzen Sie, um welche Art von Reaktion es sich bei allen Reaktionen handelt.



Reaktionstyp:

b) Zeichnen Sie die Strukturformeln vom Dihydrogendiphosphat-Dianion und vom Hydrogencarbonat-Anion.

Natron ist ein weiteres chemisches Backtriebmittel und entspricht Natriumhydrogencarbonat. Ähnlich wie bei Pottasche muss bei der Verwendung von Natron dem Teig noch eine Säure zugegeben werden, um die Gasentwicklung anzuregen.

- c) Für ein Plätzchenrezept werden 4,00 g Natron benötigt. Berechnen Sie das Volumen an Haushaltsessig ($\omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = 5\%$) in mL, das dem Rezept hinzugefügt werden muss, damit das gesamte Natron reagiert. Verwenden Sie $\rho = 1,00 \text{ g cm}^{-3}$ für die Dichte des Essigs.

- d) Kreuzen Sie die korrekte(n) Aussage(n) zum Säure-Base-Konzept nach Brønsted an.

- Brønsted-Säuren sind immer Protonenakzeptoren.
 - Brønsted-Säuren sind immer Protonendonatoren.
 - Starke Säuren dissoziieren nahezu vollständig.
 - Je höher der pKs-Wert, desto stärker die Säure.

Sie möchten das Plätzchenrezept mit dem Natron ausprobieren, stellen jedoch fest, dass Sie nur noch Essigessenz zu Hause haben. Auf dem Etikett ist die Konzentration der Essigessenz leider nicht mehr zu erkennen. Zum Glück enthält Ihr Chemiebaukasten auch eine Flasche Natronlauge ($c = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$). Sie verdünnen 5,00 mL der Essigessenz auf 50,00 mL. Davon entnehmen Sie 5,00 mL und titrieren diese gegen Ihre Natronlauge. Der Verbrauch der Natronlauge beträgt dabei 20,90 mL.

- e) Berechnen Sie die Konzentration der Essigessenz in mol/L und geben Sie den Faktor an, um den Sie die Essigessenz verdünnen müssen, um eine 5%ige Lösung (in Massenprozent) zu erhalten.

Aufgabe 2-05 Vom Leitungswasser zur Flusssäure – Gruppe-II-Elemente 30 Punkte

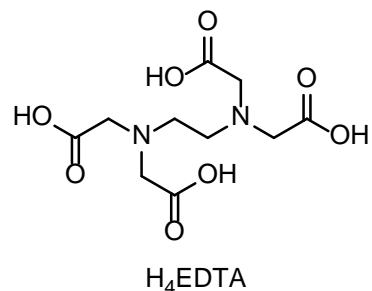
Die Elemente der zweiten Hauptgruppe, auch Erdalkalimetalle genannt, kommen weit verbreitet in der Natur vor und sind integraler Bestandteil von Gesteinen und Gewässern, aber auch von Lebewesen. Gruppe-II-Elemente befinden sich ebenfalls in unserem alltäglichen Leitungswasser. Sie sind für die „Härte“ des Wassers verantwortlich.

- a) Nennen Sie die beiden Elemente, die für die Härte des Leitungswassers hauptverantwortlich sind.

Diese Elemente treten in Form ihrer Ionen auf.

- b) Geben Sie die jeweilige vollständige Elektronenkonfiguration der beiden Ionen an.

Viele zweiwertige Kationen können mithilfe einer komplexometrischen Titration quantitativ bestimmt werden. Als Chelatliganden werden meist Natriumsalze der H_4EDTA (Ethylendiamintetraessigsäure, siehe Struktur rechts) verwendet.



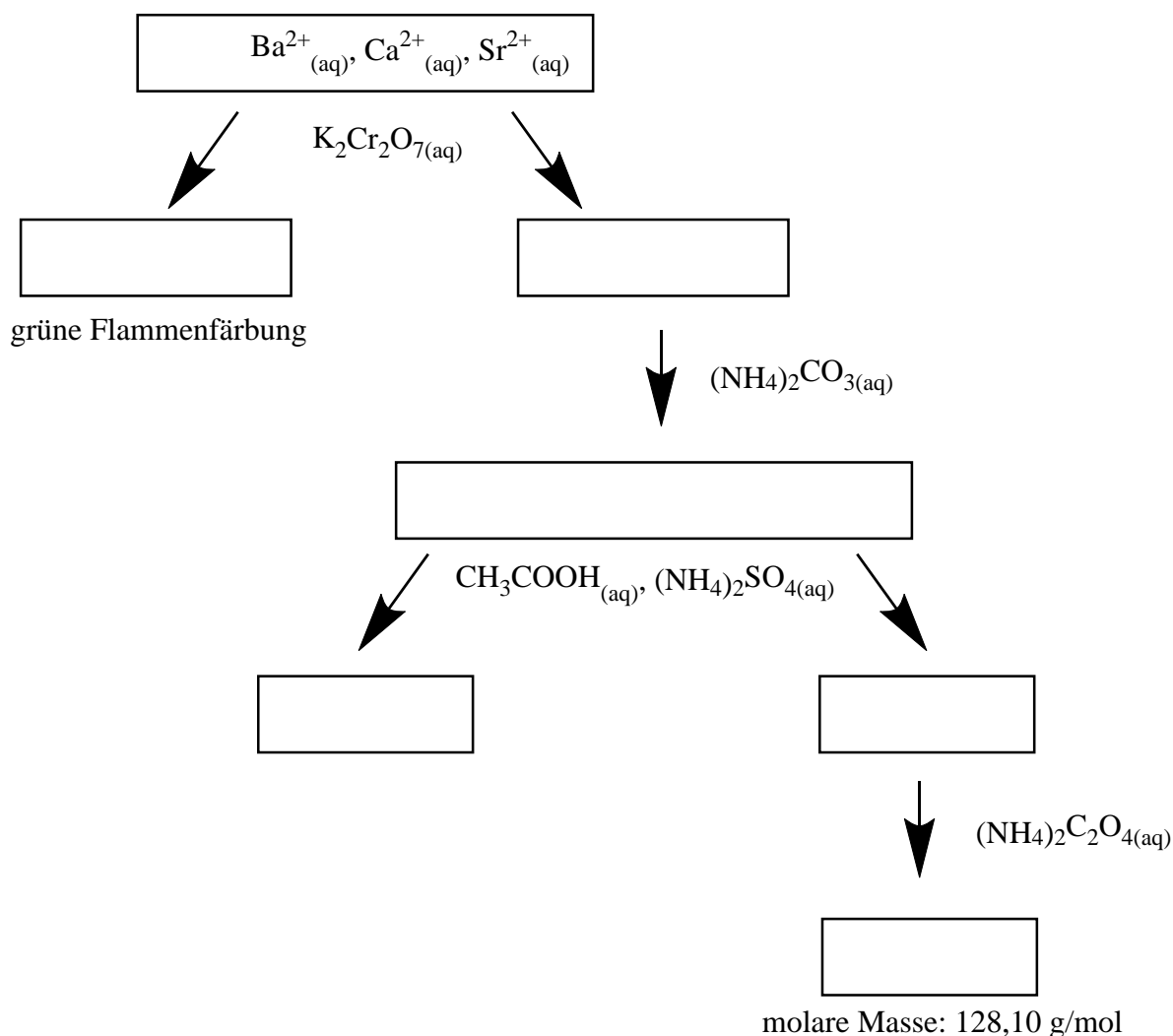
- c) Erklären Sie, warum Chelatkomplexe thermodynamisch stabiler und deren Dissoziation kinetisch stärker gehemmt ist, als bei entsprechenden Komplexen, die Cl^- , OH^- oder CN^- als Liganden haben.

Für einen anderen Versuch soll ein H_4EDTA/NaH_3EDTA -Puffer mit pH-Wert 4 hergestellt werden. Dafür werden 100 ml einer 0,1 M H_4EDTA -Lösung mit 0,1 M Natronlauge versetzt.

- d) Berechnen Sie das Volumen der $NaOH$ -Lösung, die der $EDTA$ -Lösung hinzugegeben werden muss, um einen pH-Wert von 4 zu erreichen. Betrachten Sie dabei ausschließlich die erste Protolysestufe von H_4EDTA ($pK_s = 2$).

Bevor man eine quantitative Analyse wie die Titration von bestimmten Ionen durchführt, ist es wichtig zu wissen, welche Ionen in einer Probe vorhanden sind. Dafür ermittelt man anhand einer Reihe von qualitativen Nachweisreaktionen die Präsenz der Ionen. Ein Schema zur Trennung und für den Nachweis von Ionen wird Trennungsgang genannt. Die zu trennenden Ionen werden aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften in verschiedene Gruppen eingeordnet. Im Folgenden wird der Trennungsgang der sogenannten Ammoniumcarbonatgruppe betrachtet.

Ionenlotto - Ammoniumcarbonatgruppe:



- e) Vervollständigen Sie das obenstehende Schema mit den Verhältnisformeln der zugehörigen Ionen bzw. Präzipitate, in denen die gesuchten Metalle vorkommen. Markieren Sie dabei jeweils den Aggregatzustand bzw. Lösungszustand, wie im Schema gezeigt.

Wird zu wässrigen Lösungen der Verbindungen BeCl_2 , MgCl_2 , CaCl_2 und SrCl_2 verdünnte wässrige Natronlauge hinzugegeben, so wird die Bildung eines weißen Niederschlags beobachtet. Bei Zugabe konzentrierter Natronlauge löst sich nur einer der Niederschläge wieder auf.

- f) Formulieren Sie eine exemplarische Reaktionsgleichung der Fällungsreaktion mit Angabe des Aggregatzustands/der Solvation, und geben Sie an, welcher der Niederschläge sich in konz. NaOH löst.

Nicht nur in Leitungswasser oder in Analyseproben für den Trennungsgang, sondern auch im menschlichen Körper kommen Erdalkalitionen vor. Calciumionen haben im Körper einige wichtige Aufgaben, wie beim Aufbau der Knochen und der Blutgerinnung. Berühmt-berüchtigt in Laboren ist der Umgang mit einer wässrigen Lösung von Fluorwasserstoff, „Flusssäure“ genannt, die bei unvorsichtigem Gebrauch die gefährliche Eigenschaft besitzt, Ca^{2+} -Ionen aus dem menschlichen Körper zu fällen.

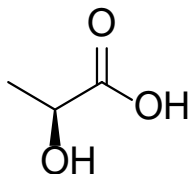
- g) Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Fällung von Ca^{2+} -Ionen mit verdünnter Flusssäure mit Angabe des Aggregatzustands/der Solvation.

Blutplasma eines gesunden Menschen enthält Ca^{2+} -Ionen. Kommt Flusssäure auf die menschliche Haut, diffundiert sie hindurch und fällt Ca^{2+} -Ionen aus. Nehmen Sie an, dass die Konzentration an Ca^{2+} -Ionen $c(\text{Ca}^{2+}) = 1,00 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ beträgt und nicht unterschritten werden darf. Nehmen Sie für die Permeabilität der F^- -Ionen durch die Haut $r_{\text{F}^-} = 2,00 \mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ an. Das Löslichkeitsprodukt von CaF_2 beträgt $K_{\text{L}}^0(\text{CaF}_2) = 3,90 \cdot 10^{-11}$.

- h) Berechnen Sie den Radius eines kreisrunden $\text{HF}(\text{aq})$ -Flecks auf der Haut, sodass die Konzentration der Ca^{2+} -Ionen innerhalb von 10 Minuten unterschritten wird. Betrachten Sie das Blutplasma des Menschen als homogene, durchmischende Flüssigkeit mit einem Volumen von 5,25 L.*

Aufgabe 2-06**Milchsäure****15 Punkte**

Milchsäure ist ein Bestandteil zahlreicher Lebensmittel wie z.B. Sauerkraut oder Joghurt. In den meisten Lebensmitteln liegt Milchsäure als Racemat vor. Ein Enantiomer der Milchsäure, die sogenannte Fleischmilchsäure, wird als Produkt der Milchsäuregärung erhalten.

**Fleischmilchsäure**

- a) Benennen Sie das in der Abbildung dargestellte Enantiomer nach der IUPAC-Nomenklatur unter Verwendung der Cahn-Ingold-Prelog Nomenklatur zur Angabe der Konfiguration.

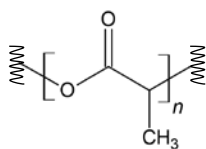
Milchsäure kann in Wasser protolysieren, wobei ein mesomeriestabilisiertes Anion entsteht. Die Hybridisierung des Kohlenstoffatoms der Carbonsäuregruppe beeinflusst hierbei die Stabilität des Anions.

- b) Zeichnen Sie alle mesomeren Grenzstrukturen des protolysierten Milchsäure-Anions und geben Sie die Hybridisierung aller Kohlenstoffatome an.

Milchsäure ist eine polyfunktionale Verbindung, die auf unterschiedliche Arten mit sich selbst reagieren kann. Eine Möglichkeit ist die säurekatalysierte Dimerisierung unter wasserfreien Bedingungen.

- c) Zeichnen Sie das Reaktionsprodukt der Dimerisierung von Milchsäure ohne Berücksichtigung der Stereochemie.

Eine andere Möglichkeit ist die Bildung von Polymeren mit der allgemeinen Struktur:



Polymilchsäure wird häufig im Gartenbau oder der Landwirtschaft eingesetzt (z.B. als Mulchfolie oder Müllbeutel).

d) Begründen Sie anhand der strukturellen Unterschiede, warum Polymilchsäure, im Gegensatz zu Polyethylen, besonders gut für oben genannte Anwendungen geeignet ist.

e) Nennen Sie die Art der Reaktion, die zur Bildung von Polymilchsäure führt.

Ein Zwischenprodukt der Polymilchsäureherstellung sind Oligomere. Die Kettenlänge eines unbekanntes Oligomers wurde mittels Elementaranalyse bestimmt. Bei der vollständigen Verbrennung der Probe sind 5,384 mg Wasser und 16,91 mg CO₂ entstanden.

- f) Berechnen Sie die Summenformel der Verbindung und bestimmen Sie anhand derer die Kettenlänge des Milchsäureoligomers. Stellen Sie dazu die allgemeine Summenformel für Polymilchsäure auf.

Aufgabe 2-07**Pyridin****30 Punkte**

Pyridin ist eine heterocyclische Verbindung mit unangenehmem Geruch, die in großem Umfang als Synthesebaustein für verschiedene Arzneistoffe und Herbizide verwendet wird.



a) Begründen Sie, ob Pyridin aromatisch ist.

b) Zeichnen Sie fünf sinnvolle mesomere Grenzformeln des Pyridins (mit allen freien Elektronenpaaren). Markieren Sie die elektronenreichsten Kohlenstoffatome des Pyridins.

Mit elementarem Brom reagiert Pyridin unter Verwendung von Eisen(III)-bromid als Katalysator, wobei das Produkt **A** erhalten wird.

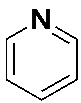
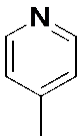
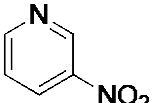
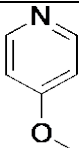
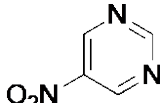
c) Geben Sie die Struktur von Verbindung **A** an.

In vielen organischen Reaktionen reagiert Pyridin als Base.

d) Geben Sie die Struktur der konjugierten Säure **B** von Pyridin an. Begründen Sie, ob **B** in der oben beschriebenen Reaktion mit Brom reaktiver oder weniger reaktiv als Pyridin ist.

Die Basenstärke von Pyridinderivaten ist stark abhängig von Art und Position von Substituenten am Pyridinring.

e) Sortieren Sie die folgenden Verbindungen nach absteigender Basizität (1: am basischsten, 5: am wenigsten basisch).

Das folgende Syntheschema zeigt einige Reaktionen von Pyridin und Pyridinderivaten, die in der organischen Synthese Verwendung finden.

f) Vervollständigen Sie das abgebildete Syntheschema, indem Sie die Strukturen der Verbindungen C–L angeben. Hinweis: Bei Verbindung K handelt es sich um ein Salz.

