Übungsklausur – Musterlösung

zur 2. Runde des Auswahlverfahrens zur 59. IChO 2027

in Taipeh (Taiwan)

	Name:
	Personencode:
	Bundesland:

Bearbeitungshinweise:

- Diese Klausur umfasst **27 Seiten** mit insgesamt **8 Aufgaben**, einer **Formelsammlung** und einem **PSE**. Bitte kontrolliere am Anfang der Bearbeitungszeit, dass diese Angabe vollständig ist.
- Diese Klausur ist **personalisiert**. Kontrolliere am Anfang der Arbeitszeit, dass dein **Name**, **Personencode** und **Bundesland** auf dem Deckblatt sowie dein Personencode und Bundesland auf allen anderen Seiten korrekt eingetragen sind.
- Die **Bearbeitungszeit** für diese Klausur beträgt **180 Minuten**.
- Schreibe deine Ergebnisse ausschließlich in die zugehörigen **Kästen** in dieser Angabe, alles außerhalb der Kästen wird nicht gewertet. Benutze die freien Rückseiten dieser Angabe als **Schmierpapier**.
- Es werden nur Ergebnisse gewertet, bei denen der **Lösungsweg** klar erkennbar ist.

- Wenn in längeren Aufgaben **Zwischenergebnisse** der Form „**Weiter mit: …**" gegeben sind, rechne mit diesen weiter und grundsätzlich **nicht mit deinen eigenen Zwischenergebnissen**.

- Verwende für **Naturkonstanten** und **Atommassen** ausschließlich die Werte aus den gegebenen Hilfsmitteln (Formelsammlung / PSE).

- Bearbeite diese Klausur ausschließlich mit **dokumentenechten Stiften** (z.B. Füller, Kugelschreiber). Antworten mit Bleistift werden nicht gewertet. Verwende keine roten oder grünen Stifte.

- Streiche **falsche Ergebnisse** durch und mache eindeutig kenntlich, welches Ergebnis gewertet werden soll. Verwende **keinen Tintenkiller oder Korrekturmaus**. Bei Ankreuzaufgaben kannst du ein Kreuz ungültig machen, indem du die Ankreuzbox vollständig ausmalst.

- Neben Schreibgeräten, Lineal / Geodreieck ist in dieser Klausur als **Hilfsmittel** ausschließlich ein **nicht grafikfähiger Taschenrechner** zugelassen. Schalte unerlaubte Hilfsmittel ggf. aus, verstaue sie in deiner Tasche und verschließe diese.

- Abgesehen von der Formelsammlung und dem PSE ist das Heraustrennen von Seiten aus dieser Klausur untersagt. Gib am Ende der Arbeitszeit **alle** Seiten dieser Angabe wieder in der richtigen Reihenfolge ab.

- Das Beschriften der QR-Codes, der Eckmarkierungen sowie der Korrekturspalten am rechten Rand der Bearbeitungskästen ist untersagt.

- Kreuze bei **Multiple-Choice-Aufgaben** die korrekte(n) Antwort(en) mit einem Kreuz an. Ein Kreuz kann gestrichen werden, indem das Kästchen vollständig ausgemalt wird. Gestrichene Antworten können durch die unten gezeigte Markierung wieder angekreuzt werden.

☒ ≙ angekreuzt ■ ≙ nicht angekreuzt ×■ ≙ angekreuzt

Formelsammlung

Stöchiometrie und Analytik			
Stoffmenge	$n = \frac{m}{M} = \frac{V}{V_\mathrm{m}} = \frac{N}{N_\mathrm{A}}$	*Licht / Photonen*	$v = \frac{E}{h} = \frac{c}{\lambda}$
Konzentration / Massenkonz.	$c = \frac{n}{V};\quad \beta = \frac{m}{V}$	*Massenanteil* A *in* $\mathrm{A_aB_b}$	$\omega_\mathrm{A} = \frac{a \cdot M_\mathrm{A}}{M_{\mathrm{A_aB_b}}}$
LAMBERT-BEER'sches Gesetz	$A = -\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) = \varepsilon \cdot c \cdot d$		

Gase			
Ideales Gasgesetz	$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$	*DALTON-Gesetz*	$p_\mathrm{ges} = p_\mathrm{A} + p_\mathrm{B} + \cdots$

Thermodynamik			
Innere Energie	$\Delta U = C_\mathrm{V} \cdot \Delta T$	*Reaktionsenthalpie*	$\Delta_\mathrm{r}H° = \sum \Delta_\mathrm{f}H°_\mathrm{Produkte} - \sum \Delta_\mathrm{f}H°_\mathrm{Edukte}$
Enthalpie	$H = U + pV$ $\Delta H = C_\mathrm{p} \cdot \Delta T$	*Reaktionsentropie*	$\Delta_\mathrm{r}S° = \sum S°_\mathrm{Produkte} - \sum S°_\mathrm{Edukte}$
Freie Enthalpie	$\Delta G° = \Delta H° - T \cdot \Delta S°$	*GIBBS'sche Phasenregel*	$f = K - P + 2$

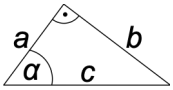
Gleichgewichte			
Massenwirkungsgesetz $\mathrm{a\,A + b\,B \rightleftharpoons c\,C + d\,D}$	$K = \frac{{a_\mathrm{C}}^c \cdot {a_\mathrm{D}}^d}{{a_\mathrm{A}}^a \cdot {a_\mathrm{B}}^b}$	*Löslichkeitsprodukt* $\mathrm{A_aB_b \rightleftharpoons a\,A^{x+} + b\,B^{y-}}$	$K_L = {c_{\mathrm{A}^{x+}}}^a \cdot {c_{\mathrm{B}^{y-}}}^b$
Vereinfachungen für die Aktivität a_X*:*	• *Feststoffe und Flüssigkeiten:* $a_\mathrm{X} = 1$ • *Verdünnte Lösungen:* $a_\mathrm{X} \approx \frac{c_\mathrm{X}}{c_0}; c_0 = 1\,\frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{L}}$ • *Gase:* $a_\mathrm{X} \approx \frac{p_\mathrm{X}}{p_0}; p_0 = 1\ \mathrm{bar}$	*Freie Enthalpie*	$\Delta G° = -R \cdot T \cdot \ln(K)$

Säure-Base-Gleichgewichte			
pH/pOH-Wert	$pH = -\log_{10}(c_{\mathrm{H^+}})$ $pOH = -\log_{10}(c_{\mathrm{OH^-}})$ $pH + pOH = 14$	*Näherungsformel starke Säuren/Basen*	$pH \approx -\log_{10}(c_0)$ $pOH \approx -\log_{10}(c_0)$
Säure- / Basenstärke	$K_\mathrm{S} = \frac{c_{\mathrm{A^-}} \cdot c_{\mathrm{H^+}}}{c_\mathrm{HA}};\ K_\mathrm{B} = \frac{c_{\mathrm{BH^+}} \cdot c_{\mathrm{OH^-}}}{c_\mathrm{B}}$ $pK_{\mathrm{S/B}} = -\log_{10}\left(K_{\mathrm{S/B}}\right)$ $pK_\mathrm{S} + pK_B = 14$	*Näherungsformel schwache Säuren/Basen*	$pH \approx \frac{1}{2} \cdot (pK_\mathrm{S} - \log_{10}(c_0))$ $pOH \approx \frac{1}{2} \cdot (pK_\mathrm{B} - \log_{10}(c_0))$
HENDERSSON-HASSELBALCH-Gleichung	$pH = pK_\mathrm{S} + \log_{10}\left(\frac{c_{\mathrm{A^-}}}{c_\mathrm{HA}}\right)$		

Organische Chemie	
Doppelbindungsäquivalent $\mathrm{C_cN_nH_hO_oX_x}$ *(X = Halogen)*	$DB\ddot{A} = \frac{2 \cdot c + n - h - x + 2}{2}$

Elektrochemie	
Zellspannung $\Delta E = E_{Kathode} - E_{Anode}$	*NERNST-Gleichung* $\mathrm{Ox + z\,e^- \rightleftharpoons Red}$ $E = E^\circ + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln\left(\frac{\prod a_{\mathrm{Ox}}}{\prod a_{\mathrm{Red}}}\right)$
Freie Enthalpie $\Delta G^\circ = -E \cdot z \cdot F$	*FARADAY-Gesetz* $Q = I \cdot \Delta t = z \cdot F \cdot n$
Elektrische Leistung $P_{\mathrm{el}} = U \cdot I$	*Elektrische Energie* $E_{\mathrm{el}} = U \cdot I \cdot \Delta t = U \cdot Q$

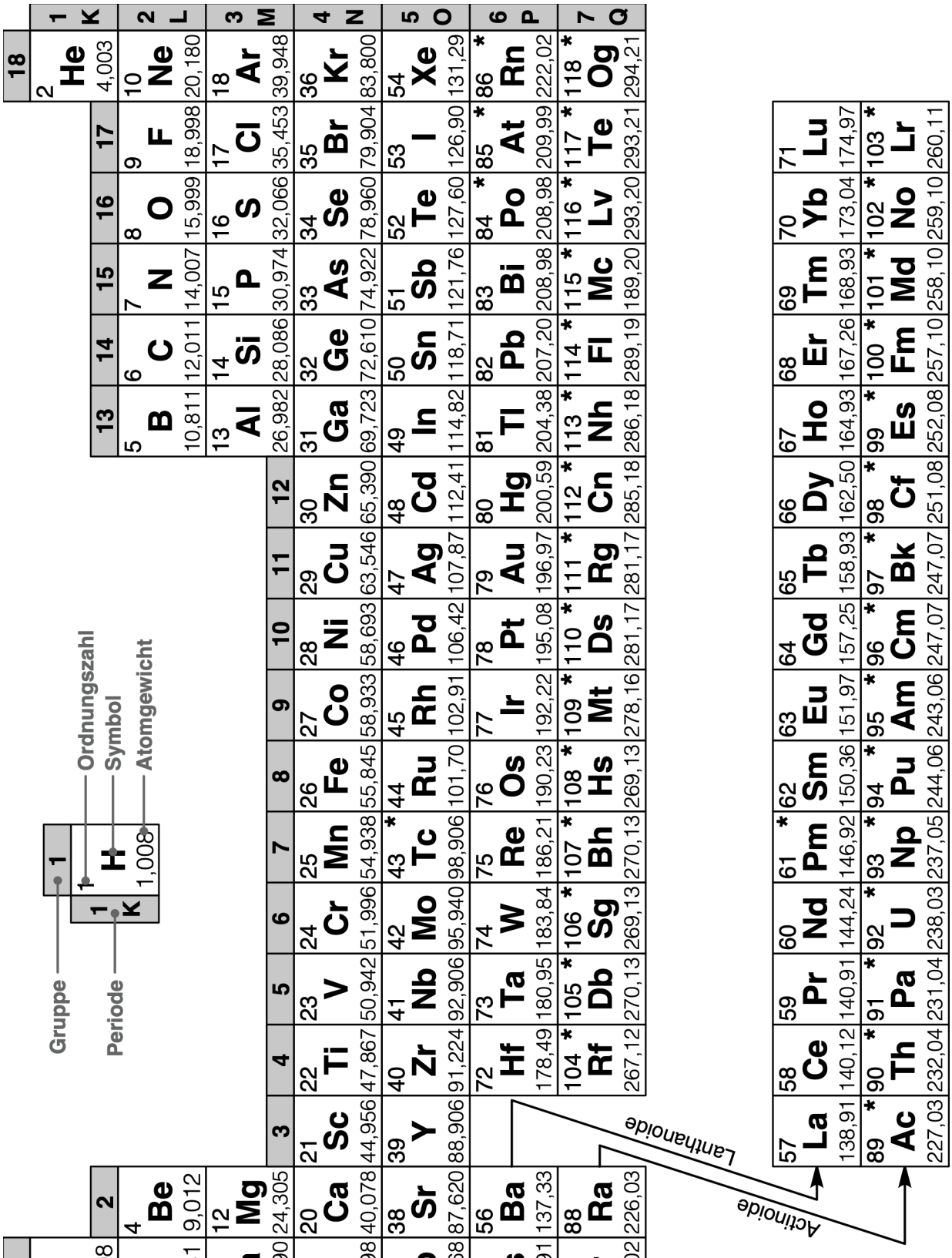
Kinetik	
Reaktions-geschwindigkeit $r = \frac{1}{\nu_{\mathrm{i}}} \frac{dc_{\mathrm{i}}}{dt}$	*Zeitgesetze:*
Geschwindigkeitsgesetz $r = k \cdot c_{\mathrm{A}}^x \cdot c_{\mathrm{B}}^y \cdot \ldots$	• *0. Ordnung* $c = c_0 - k \cdot t$ • *1. Ordnung* $c = c_0 \cdot e^{-k \cdot t}$ • *2. Ordnung* $c^{-1} = c_0^{-1} + k \cdot t$
ARRHENIUS-Gleichung $k = A \cdot e^{-\frac{E_{\mathrm{A}}}{R \cdot T}}$	

Mathematik	
Kugel $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3$ $A = 4\pi \cdot r^2$	*Quadratische Gleichung* $a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0$ $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$
Rechtwinkliges Dreieck  $a^2 + b^2 = c^2$ $\sin(\alpha) = \frac{b}{c};\ \cos(\alpha) = \frac{a}{c};\ \tan(\alpha) = \frac{b}{a}$	*Logarithmen* $\log_x(a \cdot b) = \log_x a + \log_x b$ $\log_x(a^n) = n \cdot \log_x a$

Einheiten	
Druck $1\ \mathrm{atm} = 1{,}013 \cdot 10^5\ \mathrm{Pa}$ $1\ \mathrm{bar} = 10^5\ \mathrm{Pa}$	*Volumen* $1\ \mathrm{L} = 10^{-3}\ \mathrm{m^3}$
Temperatur $\vartheta/^\circ\mathrm{C} = T/\mathrm{K} - 273{,}15$	*Masse* $1\ \mathrm{u} = 1{,}6605 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}$
Längen $1\ \text{Å} = 10^{-10}\ \mathrm{m}$	*Vorsätze* pico/p: 10^{-12}; nano/n: 10^{-9} mikro/µ: 10^{-6}; milli/m: 10^{-3}

Naturkonstanten	
Lichtgeschwindigkeit $c = 3{,}00 \cdot 10^8 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$	*FARADAY-Konstante* $F = 96485 \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{mol}}$
Gaskonstante $R = 8{,}314 \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol} \cdot \mathrm{K}}$	*Elementarladung* $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C}$
AVOGADRO-Konstante $N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\mathrm{mol}}$	*PLANCK'sches Wirkungsquantum* $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$

PSE


Gruppe
Periode
1
K
1
H
1,008
Ordnungszahl
Symbol
Atomgewicht
Actinoide
Lanthanoide

2-01 Multiple Choice 15Pt

Kreuze *für jede der folgenden Teilaufgaben jeweils alle richtigen Antworten* ***an****.*
Hinweis: Es können immer auch mehrere Antworten richtig sein, selbst wenn die Frage so formuliert ist, als wäre nur eine Antwort richtig.

a) Welches Nuklid enthält die meisten Neutronen?

☐	☐	☐	✗	☐
^{40}Ca	^{37}Cl	^{34}S	^{39}Ar	^{41}Ti

☐0 ☐ ☐1

b) In welcher Anordnung sind die Elemente nach steigender Elektronegativität sortiert?

☐	✗	☐	☐	✗
C < H < F	Si < C < N	S < F < Ne	Mg < Al < Li	P < S < O

☐0 ☐ ☐1

c) Wie lautet die Verhältnisformel der ungeladenen Verbindung Cuprospinell?

☐	☐	✗	☐	☐
$CuFeO_4$	Cu_2FeO_4	$CuFe_2O_4$	$Cu_2Fe_3O_4$	$CuFe_4O_4$

☐0 ☐ ☐1

d) Wie viele Elektronen mit der Hauptquantenzahl 3 kann es in einem Atom maximal geben?

☐	☐	☐	☐	✗
2	8	9	16	18

☐0 ☐ ☐1

e) Welches der Salze ist unlöslich in Wasser (< 1 g/L bei Raumtemperatur)?

✗	☐	☐	✗	☐
$BaCO_3$	KNO_3	$CaCl_2$	AgBr	$KHCO_3$

☐0 ☐ ☐1

f) Welches Element verursacht eine rote Flammenfärbung?

☐	✗	☐	✗	☐
Cu	Li	K	Sr	Ba

☐0 ☐ ☐1

g) Welche der Säuren ist die stärkste?

☐	☐	✗	☐	☐
HCl	HF	$HClO_4$	HOCl	NH_4^+

☐0 ☐ ☐1

h) Welche Verbindung besitzt den höchsten Siedepunkt?

☐	✗	☐	☐	☐
CH_4	HF	HBr	NH_3	H_2S

☐0 ☐ ☐1

i) Wie lautet die Summenformel der Verbindung 3-Ethyl-4-methylheptan?

☐	☐	☐	☐	✗
C_7H_{14}	C_7H_{16}	$C_{10}H_{16}$	$C_{10}H_{20}$	$C_{10}H_{22}$

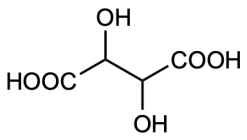
☐0 ☐ ☐1

j) Welche Verbindungen entstehen formal bei der Reaktion eines Ketons mit einem Alkohol?

☐	☐	☐	✗	✗
Ester	Ether	Aldehyde	Ketale	Acetale

☐0 ☐ ☐1

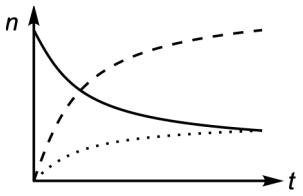
k) Wie viele verschiedene Stereoisomere von Weinsäure (siehe Abbildung) gibt es?



☐	☐	✗	☐	☐
1	2	3	4	6

☐0 ☐ ☐1

l) Die Abbildung zeigt die zeitabhängigen Verläufe der Stoffmengen der Edukte und Produkte einer chemischen Reaktion. Wie lautet die zugehörige Reaktionsgleichung?



☐	☐	✗	☐	☐
2 A ⟶ 2 B + C	A ⟶ 2 B + C	2 A ⟶ 3 B + C	3 A ⟶ 3 B + C	A ⟶ 3 B + C

☐0 ☐ ☐1

m) Welche thermodynamische Bedingung muss für eine spontane Reaktion erfüllt sein?

☐	☐	☐	☐	✗
$\Delta_r H < 0$	$\Delta_r S < 0$	$\Delta_r S > 0$	$\Delta_r G > 0$	$\Delta_r G < 0$

☐0 ☐ ☐1

n) Welche Gesetzmäßigkeit beschreibt eine Kinetik 1. Ordnung?

✗	☐	☐	☐	✗
$\frac{dc}{dt} = -k \cdot c$	$c(t) = c_0 - k \cdot t$	$\frac{dc}{dt} = -k$	$\frac{1}{c(t)} = \frac{1}{c_0} - k \cdot t$	$\ln(c(t)) = \ln(c_o) - k \cdot t$

☐0 ☐ ☐1

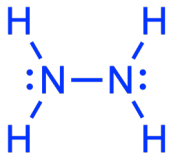
o) Welche Naturkonstante beschreibt die molare Ladungsmenge von Elektronen?

☐	✗	☐	☐	☐
e	F	h	k_B	m_e

☐0 ☐ ☐1

2-02 **Kurzfragen** **15Pt**

a) ***Zeichne*** *die LEWIS-Formel von Hydrazin (N_2H_4) und* ***gib die*** *die Oxidationszahl der Stickstoffatome* ***an****.*



Oxidationszahl: –2 / –II

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

b) ***Vervollständige*** *die vorgegebene Elektronenkonfiguration eines Fluoratoms im Grundzustand, indem du die fehlenden Zahlen in die Lücken schreibst.*

$$1s^2\ 2s^2\ 2p^5$$

☐0 ☐ ☐1

c) ***Nenne*** *ein Element, das bei Standardbedingungen flüssig ist.*

Brom / Quecksilber

☐0 ☐ ☐1

d) *Bei der Schmelzflusselektrolyse von Aluminiumoxid läuft folgende Reaktion ab:*

$$2\ Al_2O_3 + 3\ C \rightarrow 4\ Al + 3\ CO_2$$

Berechne *die Masse m_C des Kohlenstoffs, der zur Herstellung von $m_{Al} = 1$ t Aluminium benötigt wird.*

Verhältnis der Stoffmengen aufstellen und (molare) Massen einsetzen:

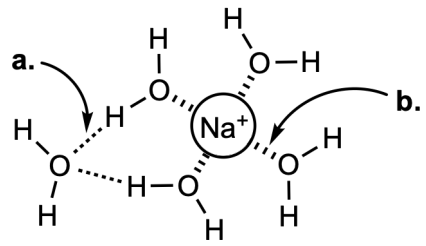
$$\frac{3}{4} = \frac{n_C}{n_{Al}} = \frac{m_C \cdot M_{Al}}{M_C \cdot m_{Al}}$$

Umformen, Werte einsetzen und Ergebnis berechnen:

$$m_C = \frac{3 \cdot M_C \cdot m_{Al}}{4 \cdot M_{Al}} = \frac{3 \cdot 12{,}011 \frac{g}{mol} \cdot 1\ t}{4 \cdot 26{,}982 \frac{g}{mol}} = 0{,}334\ t$$

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

*e) Die Abbildung zeigt schematisch die Hydrathülle eines hydratisierten Natriumions. **Benenne** jeweils die Art der intermolekularen Wechselwirkung, die bei **a.** und **b.** vorliegt.*



a. Wasserstoffbrückenbindung

b. Ion-Dipol-Wechselwirkung

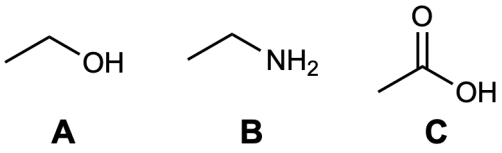
☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

*f) Beim Rösten von Eisen(II)-disulfid (FeS_2) an Luftsauerstoff wird Eisen(III)-oxid und Schwefeldioxid gebildet. **Gib** für diese Reaktion eine ausgeglichene Reaktionsgleichung mit Aggregatzuständen **an**.*

$$4\ FeS_2(s) + 11\ O_2(g) \rightarrow 2\ Fe_2O_3(s) + 8\ SO_2(g)$$

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

*g) **Gib** jeweils **an**, welche der Verbindungen **A**, **B** und **C** die stärkste Säure bzw. die stärkste Base ist.*



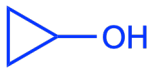
A **B** **C**

Stärkste Säure: **C**

Stärkste Base: **B**

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

*h) **Zeichne** jeweils die Strukturformel desjenigen Isomers mit der Summenformel C_3H_6O, das zu der entsprechenden Beschreibung passt.*

Strukturformel			
Beschreibung	Bei diesem Isomer handelt es sich um ein sehr gängiges **Lösungsmittel**, das zur Gruppe der **Ketone** gehört.	Der systematische Name dieses Isomers lautet **(*E*)-Prop-1-en-1-ol**.	Dieses Isomer ist **cyclisch** und besitzt eine freie **Hydroxygruppe**.

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2 ☐ ☐3

2-03 Wasserelektrolyse 15 Pt

Wasserstoff soll in Zukunft primär durch die elektrolytische Spaltung von Wasser mit nachhaltig erzeugtem Strom gewonnen werden.

☐0 ☐ ☐1 ☐

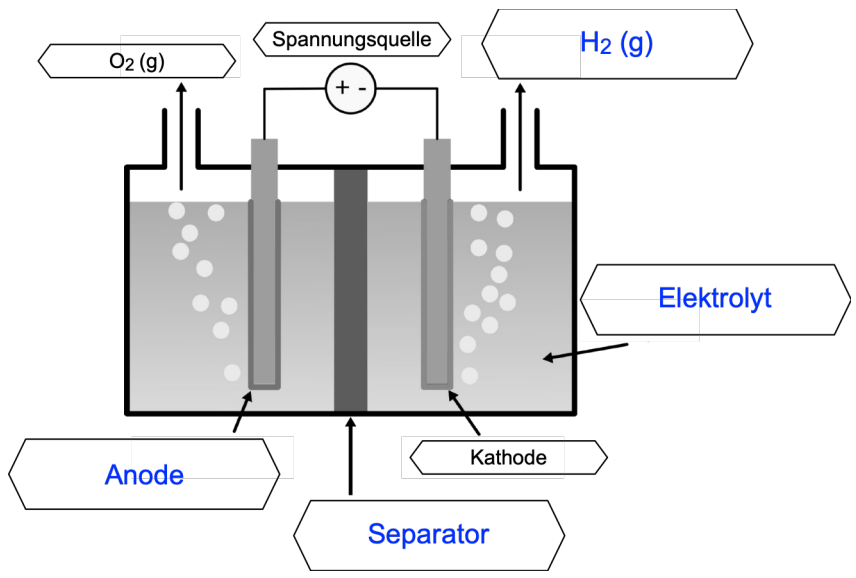
a) ***Stelle*** *die Oxidations-, die Reduktions- sowie die Gesamtreaktionsgleichung der elektrolytischen Spaltung von Wasser im sauren Milieu auf.*

Oxidation: $2\,H_2O \rightarrow O_2 + 4\,e^- + 4\,H^+$
Reduktion: $2\,H^+ + 2\,e^- \rightarrow H_2$
Gesamt: $2\,H_2O \rightarrow 2\,H_2 + O_2$

Die folgende Abbildung zeigt schematisch den Aufbau eines Elektrolyseurs.

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

b) ***Trage*** *die Begriffe aus der rechten Spalte in die richtigen Beschriftungsfelder* ***ein****.*



Anode
Elektrolyt
H_2 (g)
Separator

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

c) ***Berechne*** *die benötigte Ladungsmenge Q, um i) 1 Molekül bzw. ii) 1 Mol Wasserstoff zu erzeugen.*

i) 1 Molekül Wasserstoff:

$$Q_\mathrm{i} = 2 \cdot e = 2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C} = \\ = 3{,}204 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C}$$

ii) 1 Mol Wasserstoff:

$$Q_\mathrm{ii} = 1\ \mathrm{mol} \cdot 2 \cdot F = 1\ \mathrm{mol} \cdot 2 \cdot 96485\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{mol}} = \\ = 1{,}930 \cdot 10^5\ \mathrm{C}$$

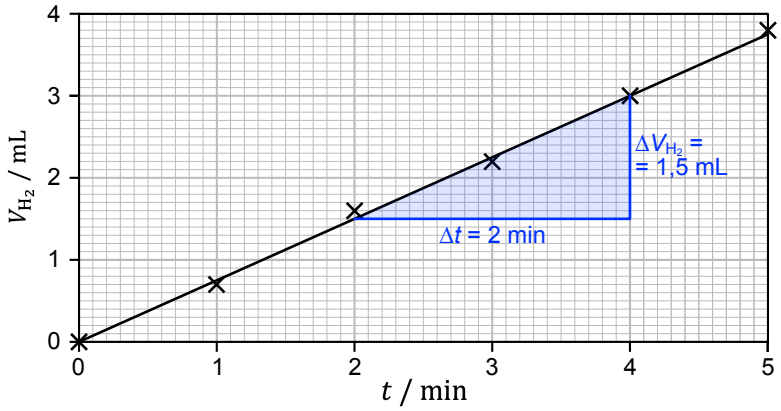
Alternativ auch möglich:

$$Q_\mathrm{ii} = Q_\mathrm{i} \cdot N_\mathrm{A} \cdot 1\ \mathrm{mol} \\ = 3{,}204 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C} \cdot 6{,}022 \\ \cdot 10^{23}\,\frac{1}{\mathrm{mol}} \cdot 1\ \mathrm{mol} = 1{,}930 \cdot 10^5\ \mathrm{C}$$

Nun soll die Elektrolyse von Wasser im Labormaßstab untersucht werden. Dazu wird ein kleiner Elektrolyseapparat aufgebaut und unter Laborbedingungen ($T = 298$ K, $p = 1$ bar) bei verschiedenen Stromstärken betrieben. Das Volumen des erzeugten Wasserstoffgases wird jede Minute gemessen, um die Bildungsrate $\Delta V_{H_2}/\Delta t$ von Wasserstoff zu bestimmen.

d) ***Vervollständige*** *den Rechenweg entsprechend den Anweisungen.*

i. *Das Diagramm zeigt die Ergebnisse der Messung bei $I = 0{,}1$ A. Eine Ausgleichsgerade wurde bereits eingezeichnet.* ***Zeichne*** *in die Abbildung ein Steigungsdreieck* ***ein*** *und* ***gib*** *die Geradengleichung der Ausgleichsgerade* ***an****.*



Die Steigung der Ausgleichsgeraden beträgt $\frac{\Delta V_{H_2}}{\Delta t} = \frac{1{,}5\text{ mL}}{2\text{ min}} = 0{,}75\,\frac{\text{mL}}{\text{min}}$*. Da die Gerade im Ursprung beginnt, lautet ihre Gleichung:*

$$V_{H_2} = 0{,}75\,\frac{\text{mL}}{\text{min}} \cdot t$$

➽ **Weiter mit**: $V_{H_2} = 0{,}70\,\frac{\text{mL}}{\text{min}} \cdot t$

☐0 ☐ ☐1

ii. ***Berechne****, für wie viele Stunden die Elektrolyse betrieben werden muss, um $V_{H_2} = 1{,}0$ L zu erzeugen.*

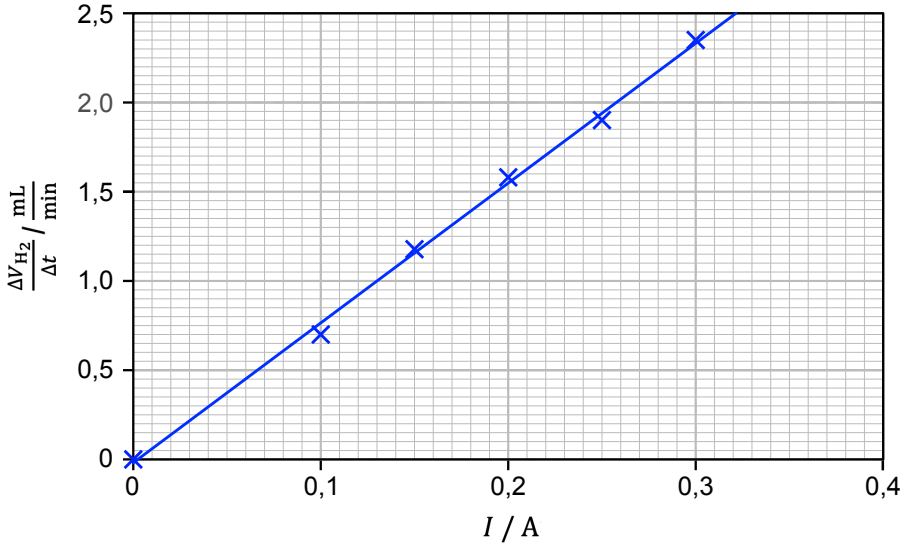
$$t = \frac{V_{H_2}}{0{,}70\,\frac{\text{mL}}{\text{min}}} = \frac{1{,}0\text{ L}}{0{,}70\,\frac{\text{mL}}{\text{min}}} = 1429\text{ min} = 23{,}8\text{ h} \approx 24\text{ h}$$

☐0 ☐ ☐1

Die Messung wird nun für verschiedene Stromstärken wiederholt, was zu folgenden Ergebnissen führt:

e) ***Vervollständige*** *den Rechenweg entsprechend den Anweisungen.*

i. ***Zeichne*** *die gemessenen Wertepaare aus der Tabelle in das gegebene $\frac{\Delta V_{H_2}}{\Delta t}$- I-Diagramm* ***ein****.*



I / A	$\frac{\Delta V_{H_2}}{\Delta t}$ / $\frac{\text{mL}}{\text{min}}$
0	0
0,10	0,70
0,15	1,18
0,20	1,58
0,25	1,90
0,30	2,35

☐0 ☐ ☐1 ☐

ii. ***Zeichne*** *eine Ausgleichsgerade in das Diagramm ein und* ***bestimme*** *deren Steigung m.*

Die Ausgleichsgerade besitzt eine Steigung von $m = 7{,}85\,\frac{\mathrm{mL}}{\mathrm{A \cdot min}}$.

➽ **Weiter mit**: $m = 8{,}30\,\frac{\mathrm{mL}}{\mathrm{A \cdot min}}$

☐0 ☐ ☐1 ☐

iii. *Zwischen der Bildungsrate $\frac{\Delta V_{\mathrm{H_2}}}{\Delta t}$ von Wasserstoff und der Stromstärke I gilt folgender Zusammenhang:*

$$\frac{\Delta V_{\mathrm{H_2}}}{\Delta t} = \frac{I}{2 \cdot F} \cdot \frac{R \cdot T}{p}$$

Kreuze an*, welche Gesetzmäßigkeiten benötigt werden, um diesen Ausdruck herzuleiten.*

✗	☐	☐	☐	✗	☐
Ideales Gasgesetz	Zeitgesetz 0. Ordnung	NERNST-Gleichung	Geschwindigkeits-gesetz 1. Ordnung	FARADAY'sches Gesetz	GIBBS-HELMHOLTZ-Gleichung

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

iv. ***Berechne*** *die Steigung m_{theo}, die die Ausgleichsgeraden aus Teilaufgabe ii. theoretisch besitzen sollte.* ***Gib*** *dein Ergebnis in der Einheit $\frac{\mathrm{mL}}{\mathrm{A \cdot min}}$* ***an****.*

Für die theoretische Steigung gilt laut dem gegebenen Ausdruck:

$$m_{\mathrm{theo}} = \frac{1}{2 \cdot F} \cdot \frac{R \cdot T}{p} = \frac{1}{2 \cdot 96485\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{mol}}} \cdot \frac{8{,}314\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol \cdot K}} \cdot 298\ \mathrm{K}}{10^5\ \mathrm{Pa}} = 1{,}28 \cdot 10^{-7}\ \frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{A \cdot s}} = 7{,}70\ \frac{\mathrm{mL}}{\mathrm{A \cdot min}}$$

☐0 ☐ ☐1

Die für die Elektrolyse benötigte Spannung ist die Zersetzungsspannung von Wasser ΔE_{Z}, welche direkt mit den thermodynamischen Daten der Zersetzungsreaktion von Wasser zusammenhängt. Einige Werte für diese Reaktion (gültig bei 25 °C) sind im Folgenden gegeben:

$$\Delta H_{\mathrm{r}} = -286\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{mol}};\quad \Delta S_{\mathrm{r}} = -164\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol \cdot K}};\quad \Delta G_{\mathrm{r}} = -237\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{mol}}$$

f) ***Berechne*** *den Betrag der Zersetzungsspannung ΔE_{Z} von Wasser bei 25 °C.*

Einsetzen der richtigen Werte (ΔG_{r}, $z = 2$) in die Formel aus der Formelsammlung liefert:

$$\Delta E_{\mathrm{Z}} = -\frac{\Delta G_{\mathrm{r}}}{z \cdot F} = -\frac{-237\,\frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{mol}}}{2 \cdot 96485\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{mol}}} = 1{,}23\ \mathrm{V}$$

☐0 ☐ ☐1 ☐

2-04 **Zu NO_x sag ich nie No!** **20 Pt**

Teil 1: Stickoxide und ein Abgasskandal

Im Jahr 2015 erschütterte ein Skandal die deutsche Autoindustrie: Mehrere Hersteller hatten illegale Vorrichtungen verbaut, die unter Testbedingungen gezielt die NO_x-Emissionen der Autos reduzierten. Unter NO_x versteht man dabei die Gase NO und NO_2, die sich in Motoren unter hohen Temperaturen aus Sauerstoff und Stickstoff bilden.

a) ***Gib*** *eine ausgeglichene Reaktionsgleichung für die Bildung von NO_2 an.*

☐0 ☐ ☐1

Bildung von NO (Reaktion **1**):

$$O_2 + N_2 \rightarrow 2\ NO$$

Bildung von NO_2 (Reaktion **2**):

$$2\ O_2 + N_2 \rightarrow 2\ NO_2$$

Betrachte nun die Bildung von NO bei einer exemplarischen Motortemperatur von $T_1 = 2000$ K. In der nebenstehenden Tabelle sind einige thermodynamische Daten bei dieser Temperatur gegeben.

	$O_2(g)$	$N_2(g)$	$NO(g)$
ΔH_f in $\frac{kJ}{mol}$	59,2	56,1	148,2
S in $\frac{J}{mol \cdot K}$	268,7	252,1	273,1

b) ***Berechne*** *die Reaktionsenthalpie ΔH_r und -entropie ΔS_r von Reaktion **1** bei $T_1 = 2000$ K.*

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

$$\Delta H_r = 2 \cdot \Delta H_f(NO) - \Delta H_f(O_2) - \Delta H_f(N_2) = 2 \cdot 148{,}2 \frac{kJ}{mol} - 59{,}2 \frac{kJ}{mol} - 56{,}1 \frac{kJ}{mol} = 181{,}1 \frac{kJ}{mol}$$

$$\Delta S_r = 2 \cdot S(NO) - S(O_2) - S(N_2) = 2 \cdot 273{,}1 \frac{J}{mol \cdot K} - 268{,}7 \frac{J}{mol \cdot K} - 252{,}1 \frac{J}{mol \cdot K} = 25{,}4 \frac{J}{mol \cdot K}$$

➽ **Weiter mit**: $\Delta H_r = 180{,}0 \frac{kJ}{mol}$; $\Delta S_r = 25{,}0 \frac{J}{mol \cdot K}$

c) ***Berechne*** *die freie Reaktionsenthalpie ΔG_r sowie die (dimensionslose) Gleichgewichtskonstante K von Reaktion **1** bei $T_1 = 2000$ K.* Gib an, ob Reaktion 1 unter diesen Bedingungen thermodynamisch spontan verläuft.

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

$$\Delta G_r = \Delta H_r - T_1 \cdot \Delta S_r = 180{,}0 \frac{kJ}{mol} - 2000\ K \cdot 25{,}0 \frac{J}{mol \cdot K} = 130{,}0 \frac{kJ}{mol}$$

$$K = e^{-\frac{\Delta G_r}{R \cdot T_1}} = e^{-\frac{130{,}0 \frac{kJ}{mol}}{8{,}314 \frac{J}{mol \cdot K} 2000\ K}} = 4{,}02 \cdot 10^{-4}$$

Da $\Delta G_r > 0$ gilt, verläuft die Reaktion thermodynamisch nicht spontan.

➽ **Weiter mit**: $K = 5{,}0 \cdot 10^{-4}$

☐0
☐
☐1
☐
☐2

d) ***Kreuze*** *jeweils* ***an****, welche der folgenden Maßnahmen gemäß dem Gesetz von LE CHATELIER geeignet sind, um die Gleichgewichtslage von Reaktion 1 auf die Eduktseite zu verschieben.*

Maßnahme	Geeignet	Ungeeignet
Erhöhung der Motortemperatur	☐	✗
Erniedrigung der Motortemperatur	✗	☐
Erhöhung des Drucks im Motor	☐	✗
Erniedrigung des Drucks im Motor	☐	✗

Um die NO-Emissionen eines Motors abzuschätzen, legst du ein Gemisch aus 90 % Stickstoff und 10 % Sauerstoff (bezogen auf Stoffmenge) in einem Behälter mit konstantem Volumen vor. Um die Verbrennung im Motor zu simulieren, erhitzt du den Behälter anschließend auf $T_1 = 2000\ \mathrm{K}$, wobei sich ein Druck von $p_1 = 7{,}0\ \mathrm{bar}$ einstellt.

e) ***Vervollständige*** *entsprechend den Anweisungen.*

☐0
☐
☐1

i. ***Gib*** *das Massenwirkungsgesetz für Reaktion* ***1*** *in Abhängigkeit i) der Aktivitäten aller Stoffe sowie ii) der Partialdrücke aller Gase* ***an****.*

$$K = \frac{a_{\mathrm{NO}}^2}{a_{\mathrm{O_2}} \cdot a_{\mathrm{N_2}}} = \frac{\left(\frac{p_{\mathrm{NO}}}{p^0}\right)^2}{\frac{p_{\mathrm{O_2}}}{p^0} \cdot \frac{p_{\mathrm{N_2}}}{p^0}} = \frac{p_{\mathrm{NO}}^2}{p_{\mathrm{O_2}} \cdot p_{\mathrm{N_2}}}$$

☐0
☐
☐1
☐
☐2

ii. ***Berechne*** *den Druck $p_{\mathrm{NO},1}$ von NO im Gleichgewichtszustand bei T_1.*
Hinweis: Da K sehr klein ist, kannst du vereinfachend annehmen, dass sich die Partialdrücke von N_2 und O_2 durch die Gleichgewichtseinstellung näherungsweise nicht ändern.

Aufstellen des Massenwirkungsgesetzes unter Berücksichtigung des Hinweises:

$$K = \frac{p_{\mathrm{NO},1}^2}{0{,}1 \cdot p_1 \cdot 0{,}9 \cdot p_1} = \frac{p_{\mathrm{NO},1}^2}{0{,}09 \cdot p_1^2}$$

Auflösen nach $p_{\mathrm{NO},1}$ und Einsetzen:

$$p_{\mathrm{NO},1} = \sqrt{0{,}09 \cdot K} \cdot p_1 = \sqrt{0{,}09 \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-4}} \cdot 7{,}0\ \mathrm{bar} = 0{,}047\ \mathrm{bar}$$

➽ **Weiter mit**: $p_{\mathrm{NO},1} = 0{,}050\ \mathrm{bar}$

☐0
☐

iii. ***Berechne*** *den Stoffmengenanteil $x_{\mathrm{NO},1}$ von NO im Gleichgewichtszustand bei T_1.*

Nach dem idealen Gasgesetz ist die Stoffmenge proportional zum Druck, womit folgt:

$$x_{\mathrm{NO},1} = \frac{p_{\mathrm{NO},1}}{p_1} = \frac{0{,}050\ \mathrm{bar}}{7{,}0\ \mathrm{bar}} = 0{,}0071 = 0{,}71\ \%$$

➽ **Weiter mit**: $x_{\mathrm{NO},1} = 0{,}005$

Ein Dieselauto emittiert rund 150 g CO_2 pro gefahrenem Kilometer. Nimm für die folgende Rechnung an, dass das Abgas eines Dieselautos aus jeweils 10 % (bezogen auf Stoffmenge) CO_2 und H_2O besteht und dass die restlichen 80 % auf N_2, O_2 und NO in den in Teilaufgabe e) berechneten Gleichgewichtsanteilen entfallen.

f) ***Berechne*** *die NO-Emission eines Dieselautos in Gramm pro gefahrenem Kilometer.*

Berechnung der emittierten Stoffmenge von CO_2 pro km:

$$n_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{M_{CO_2}} = \frac{150\ \text{g}}{44{,}01\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 3{,}41\ \text{mol}$$

Berechnung der Gesamtstoffmenge des Abgases pro km:

$$n_{Abgas} = \frac{n_{CO_2}}{0{,}1} = \frac{3{,}41\ \text{mol}}{0{,}1} = 34{,}1\ \text{mol}$$

Berechnung der emittierten Stoffmenge und Masse von NO pro km:

$$m_{NO} = n_{NO} \cdot M_{NO} = n_{Abgas} \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}005 \cdot M_{NO} = 34{,}1\ \text{mol} \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}005 \cdot 30{,}01\ \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 4{,}1\ \text{g}$$

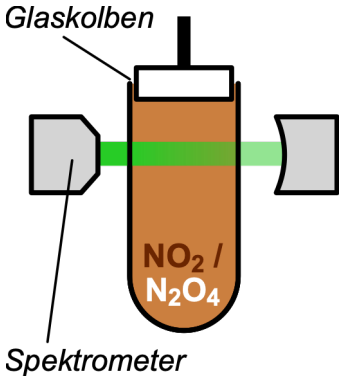
☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

Teil 2: Ein besonderes Thermometer

Das Gas NO_2 steht mit seinem Dimer N_2O_4 im Gleichgewicht, wobei im Folgenden die als temperaturunabhängig angenommene Reaktionsenthalpie ΔH_r sowie der Wert der Gleichgewichtskonstante K bei $T_1 = 25\ °C$ bekannt sind.

$$2\ NO_2(s) \rightleftharpoons N_2O_4(g) \qquad \Delta H_r = -57{,}2\ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}};\quad K_{T_1} = 7{,}00$$

Da NO_2 eine tiefbraune Färbung besitzt und N_2O_4 farblos ist, kann die Lage des Gleichgewichts dabei anhand der Färbung des Gasgemischs ermittelt werden. Quantitativ ist dies über die Absorption A des Gemischs möglich, die gemäß dem LAMBERT-BEER-Gesetz proportional zur Konzentration des absorbierenden Gases ist. Basierend darauf ist es möglich, ein chemisches Thermometer zu bauen: Bei der Temperatur T_1 wird ein Glaskolben bei $p = 1{,}0$ bar mit NO_2 befüllt, gewartet bis sich das Gleichgewicht einstellt und mit einem Spektrometer die Absorption $A_1 = 0{,}10$ bei einer Wellenlänge λ gemessen. Anschließend wird der Kolben bei konstanten Druck auf $T_2 = 45\ °C$ erwärmt, wobei die auf die gleiche Weise gemessene Absorption A_2 beträgt. Im vorliegenden Fall kannst du annehmen, dass nur NO_2 Licht mit der Wellenlänge λ absorbiert.



g) ***Berechne*** *den Wert der Gleichgewichtskonstanten K_{T_2} bei T_2.*

Aufstellen und Einsetzen in die VAN'T-HOFF-Gleichung:

$$\ln\left(\frac{K_{T_2}}{K_{T_1}}\right) = -\frac{\Delta H_r}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \Rightarrow K_{T_2} = K_{T_1} \cdot \exp\left(-\frac{\Delta H_r}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\right)$$

$$= 7{,}00 \cdot \exp\left(-\frac{-57{,}2\ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{8{,}314\ \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \cdot \left(\frac{1}{318{,}15\ \text{K}} - \frac{1}{298{,}15\ \text{K}}\right)\right) = 1{,}64$$

Alternativ kann auch schrittweise die freie Reaktionsenthalpie bei T_1, dann die Reaktionsentropie und basierend darauf schließlich die freie Reaktionsenthalpie und die Gleichgewichtskonstante bei T_2 berechnet werden. Dieser Rechenweg ist aufwändiger, führt aber zum gleichen Ergebnis.

➽ **Weiter mit**: $K_{T_2} = 2{,}00$

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

h) ***Vervollständige*** *entsprechend den Anweisungen.*

i. ***Zeige****, dass im Gleichgewichtszustand folgende Gleichung gilt:*

$$0 = K \cdot p_{\mathrm{NO_2}}^2 + p_{\mathrm{NO_2}} \cdot p^0 - p \cdot p^0$$

Hinweis: p^0 ist dabei der Referenzdruck; siehe dazu die Formelsammlung.

Aufstellen des Massenwirkungsgesetzes:

$$K = \frac{a_{\mathrm{N_2O_4}}}{a_{\mathrm{NO_2}}^2} = \frac{\frac{p_{\mathrm{N_2O_4}}}{p^0}}{\left(\frac{p_{\mathrm{NO_2}}}{p^0}\right)^2} = \frac{p_{\mathrm{N_2O_4}} \cdot p^0}{p_{\mathrm{NO_2}}^2}$$

Aufstellen und Umformen des DALTON-Gesetzes:

$$p = p_{\mathrm{NO_2}} + p_{\mathrm{N_2O_4}} \Rightarrow p_{\mathrm{N_2O_4}} = p - p_{\mathrm{NO_2}}$$

Einsetzen in das Massenwirkungsgesetz und Umformen:

$$K = \frac{\left(p - p_{\mathrm{NO_2}}\right) \cdot p^0}{p_{\mathrm{NO_2}}^2} \Rightarrow 0 = K \cdot p_{\mathrm{NO_2}}^2 + p_{\mathrm{NO_2}} \cdot p^0 - p \cdot p^0$$

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

ii. ***Berechne*** *jeweils den Partialdruck $p_{\mathrm{NO_2},1}$ und $p_{\mathrm{NO_2},2}$ im Gleichgewichtszustand bei T_1 und T_2.*

Lösen der quadratischen Gleichung z.B. mit der Mitternachtsformel, wobei nur die positive Lösung physikalisch sinnvoll ist (Drücke können nicht negativ sein):

$$p_{\mathrm{NO_2}} = \frac{-p^0 + \sqrt{(p^0)^2 + 4 \cdot K \cdot p \cdot p^0}}{2 \cdot K}$$

Einsetzen:

$$p_{\mathrm{NO_2},1} = \frac{-1\ \mathrm{bar} + \sqrt{(1\ \mathrm{bar})^2 + 4 \cdot 7{,}0 \cdot 1{,}0\ \mathrm{bar} \cdot 1\ \mathrm{bar}}}{2 \cdot 7{,}0} = 0{,}31\ \mathrm{bar}$$

$$p_{\mathrm{NO_2},2} = \frac{-1\ \mathrm{bar} + \sqrt{(1\ \mathrm{bar})^2 + 4 \cdot 2{,}0 \cdot 1{,}0\ \mathrm{bar} \cdot 1\ \mathrm{bar}}}{2 \cdot 2{,}0} = 0{,}50\ \mathrm{bar}$$

➽ **Weiter mit**: $p_{\mathrm{NO_2},1} = 0{,}25\ \mathrm{bar}, p_{\mathrm{NO_2},2} = 0{,}55\ \mathrm{bar}$

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

iii. ***Berechne*** *die Absorption A_2 bei der Temperatur T_2.*

Nach dem LAMBERT-BEER-Gesetz sowie dem idealen Gasgesetz gilt:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{\varepsilon \cdot l \cdot c_{\mathrm{NO_2},2}}{\varepsilon \cdot l \cdot c_{\mathrm{NO_2},1}} = \frac{c_{\mathrm{NO_2},2}}{c_{\mathrm{NO_2},1}} = \frac{p_{\mathrm{NO_2},2}}{p_{\mathrm{NO_2},1}} \Rightarrow A_2 = A_1 \cdot \frac{p_{\mathrm{NO_2},2}}{p_{\mathrm{NO_2},1}} = 0{,}10 \cdot \frac{0{,}55\ \mathrm{bar}}{0{,}25\ \mathrm{bar}} = 0{,}22$$

☐0 ☐ ☐1

iv. ***Kreuze an****, wie sich der berechnete Wert von A_2 verändert, wenn bei sonst gleichen Voraussetzungen ein Glasbehälter mit konstanten Volumen statt konstantem Druck verwendet wird.*

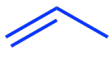
✗ *A_2 ist kleiner als der in iii. berechnete Wert.*	☐ *Der berechnete Wert von A_2 ändert sich dadurch nicht.*	☐ *A_2 ist größer als der in iii. berechnete Wert.*

☐0 ☐ ☐1

2-05 Cyclohexan – Herr der (organischen) Ringe 15Pt

Ungesättigte Kohlenwasserstoffe mit drei oder mehr Kohlenstoffatomen besitzen neben offenkettigen Isomeren auch solche, in denen die Kohlenstoffatome einen geschlossenen Ring bilden.

*a) **Zeichne** alle Strukturisomere, die zur Summenformel C_3H_6 gehören, und **benenne** diese jeweils nach den IUPAC-Nomenklaturregeln.*



Propen

Cyclopropan

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2 ☐ ☐3

Einer der wichtigsten cyclischen Kohlenwasserstoffe ist das Cyclohexan mit der Zusammensetzung C_6H_{12}. In der stabilsten Konformation ordnen sich die Kohlenstoffatome dabei sesselförmig an, weshalb man auch von der Sesselkonformation des Cyclohexans spricht.

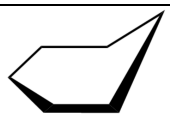
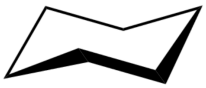
*b) **Vervollständige** den Lückentext, indem du jeweils den richtigen Begriff **ankreuzt**.*

In der organischen Chemie bezeichnet man Verbindungen mit derselben Summenformel als __(1)__. Wenn sie außerdem dieselbe Menge und Art von Bindungen enthalten, dann besitzen sie dieselbe __(2)__. Unter __(3)__ versteht man die räumliche Anordnung der Atome, die durch Rotation um __(4)__ entsteht.

Lücke (1)	Lücke (2)	Lücke (3)	Lücke (4)
✗ Isomere	☐ Konfiguration	☐ Konfiguration	✗ Einfachbindungen
☐ Isotope	☐ Konformation	✗ Konformation	☐ Doppelbindungen
☐ Topomere	☐ Konstruktion	☐ Konstruktion	☐ Dreifachbindungen
☐ Isochore	✗ Konstitution	☐ Konstitution	☐ Symmetrieachsen

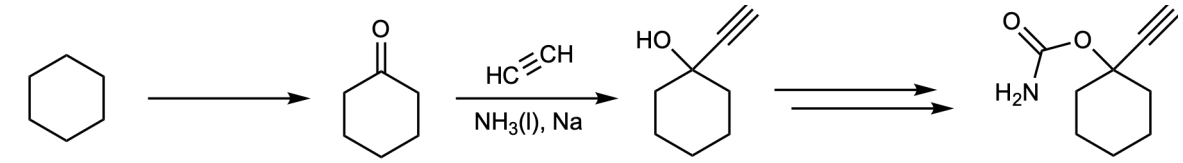
☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

*c) Wie sieht die Sesselkonformation von Cyclohexan aus? **Kreuze** die richtige Antwort **an**.*

☐	✗	☐	☐
			

☐0 ☐ ☐1

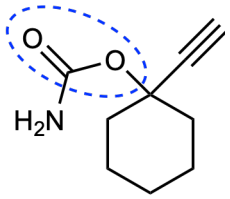
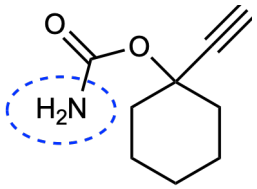
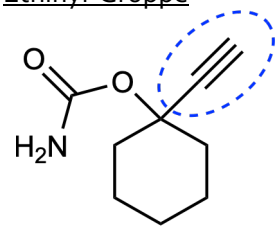
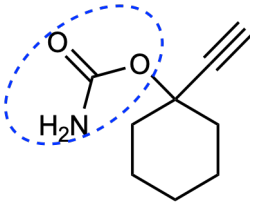
Die Cyclohexan-Struktureinheit kommt in zahlreichen organischen Verbindungen vor, darunter auch dem Arzneistoff Ethinamat, der eine sedierende Wirkung besitzt. Dieser kann wie folgend gezeigt aus Cyclohexan synthetisiert werden und enthält verschiedene funktionelle Gruppen.



Cyclohexan — Intermediat **A** — Intermediat **B** — Ethinamat

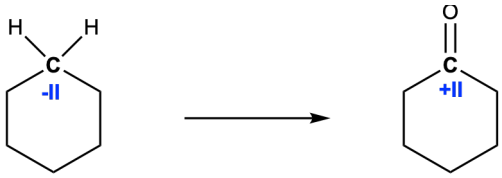
☐0
☐
☐1
☐
☐2
☐
☐3

d) ***Markiere*** *jede der folgend genannten funktionellen Gruppen in der Struktur von Ethinamat.*

Ester-Gruppe	Amino-Gruppe	Ethinyl-Gruppe	Carbamat-Gruppe
			

☐0
☐
☐1
☐

e) ***Bestimme*** *jeweils die Oxidationszahl des fett gedruckten Kohlenstoffatoms in Cyclohexan und Intermediat* ***A****.* ***Gib an****, ob für die Reaktion ein Oxidations- oder Reduktionsmittel benötigt wird.*



Ein Oxidationsmittel wird benötigt.

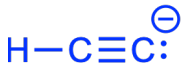
☐2
☐
☐3
☐
☐4

f) Folgender Abschnitt beschäftigt sich mit der Umsetzung von Intermediat ***A*** *zu Intermediat* ***B****.* ***Vervollständige*** *ihn, indem du die Anweisungen befolgst.*

Zwischen Natrium und flüssigen Ammoniak läuft eine Redoxreaktion ab, bei der gasförmiger Wasserstoff und Amid-Ionen (NH_2^-) gebildet werden. [***Gib*** *die Reaktionsgleichung dieser Reaktion* ***an****.*]

$$2\ Na + 2\ NH_3 \rightarrow 2\ NaNH_2 + H_2$$

Die Amid-Ionen deprotonieren anschließend das Ethin, wobei ein einfach negativ geladenes Acetylid-Anion (C_2H^-) entsteht. [***Zeichne*** *die LEWIS-Formel des Acetylid-Anions.*]



Durch die Deprotonierung erhöht sich die… [***Kreuze*** *die korrekte Antwort* ***an****.*]

✗ Nukleophilie	☐ Elektrophilie

…von Ethin. Dadurch kann zwischen Intermediat **A** und Ethin eine… [***Kreuze*** *die korrekte Antwort* ***an****.*]

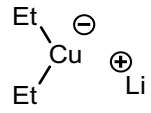
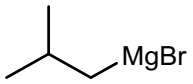
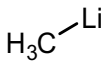
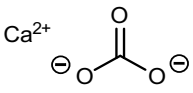
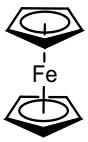
☐ nucleophile Substitution	☐ elektrophile Addition	✗ nucleophile Addition

…ablaufen, bei der schließlich Intermediat **B** entsteht.

2-06 Metalle auf Abwegen 20 Pt

Als metallorganische Verbindungen werden im Allgemeinen Verbindungen bezeichnet, in denen ein organischer Rest direkt an ein Metallatom gebunden ist. Metallorganika besitzen eine vielfältige Chemie und finden weite Anwendung innerhalb der Chemie, beispielweise bei organischen Synthesen.

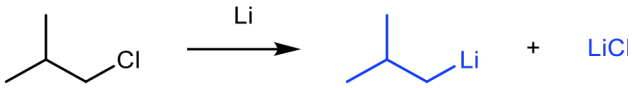
a) ***Kreuze*** *alle Verbindungen* ***an****, bei denen es sich um metallorganische Verbindungen handelt.*

				
✗	✗	✗	☐	✗

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

Besonders lithiumorganische Verbindungen werden bei organischen Synthesen verwendet. Sie können aus Alkylhalogeniden und elementarem Lithium hergestellt werden.

b) ***Gib*** *die beiden Produkte der gezeigten Reaktion* ***an****.* ***Begründe*** *anhand geeigneter Oxidationszahlen, ob es sich bei der Reaktion um eine Redoxreaktion handelt.*

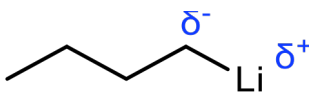


In den Edukten betragen die Oxidationszahlen von Li ±0, von Cl -1 und von dem C-Atom mit Cl-Substituenten -1. In den Produkten lauten die entsprechenden Oxidationszahlen +1, -1 und -3.
Da sich die Oxidationszahlen von Lithium und Kohlenstoff verändern, handelt es sich um eine Redoxreaktion.

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2 ☐

Aufgrund der unterschiedlichen Elektronegativitäten von Kohlenstoff und Lithium besitzt die C-Li-Bindung in lithiumorganischen Verbindungen, wie z.B. *n*-Butyllithium, eine besondere Polarität und Reaktivität. Diese ermöglicht es, bei Synthesen neue C-C-Bindungen zu verknüpfen, wie bei der folgend betrachteten Reaktion einer Carbonylverbindung (Essigsäuremethylester) mit *n*-Butyllithium deutlich wird.

c) ***Zeige*** *die Polarität der C-Li-Bindung in n-Butyllithium, indem du geeignete Partialladungen* ***einzeichnest****.* ***Kreuze*** ***an****, ob die Verbindung bevorzugt als Elektrophil oder Nucleophil reagiert.*

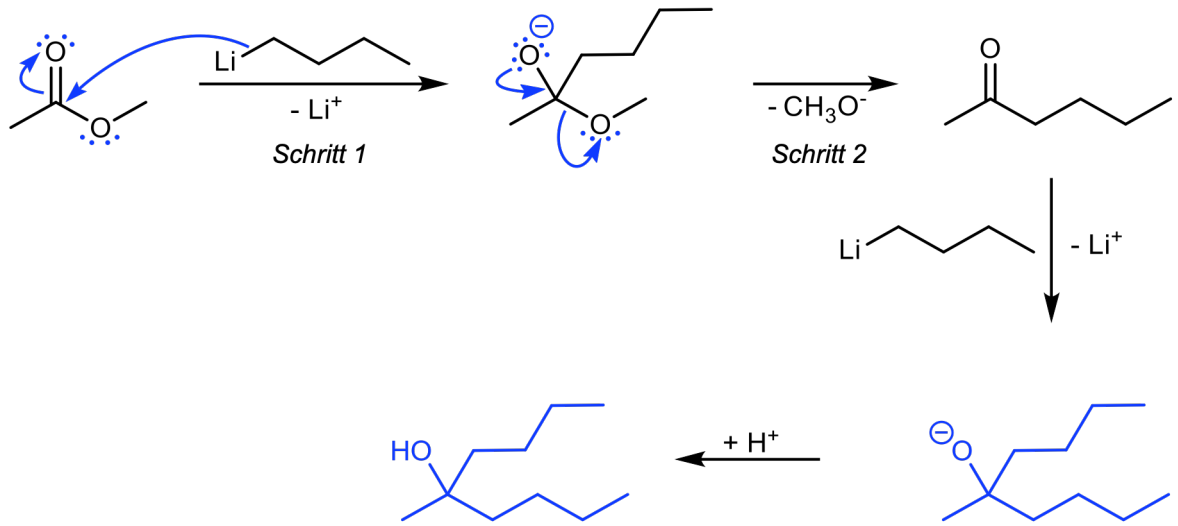


☐	Elektrophil	✗	Nucleophil

☐0 ☐ ☐1 ☐

☐0
☐
☐1
☐
☐2
☐
☐3
☐
☐4

d) ***Vervollständige*** *den Mechanismus der Reaktion von Essigsäuremethylester mit n-Butyllithium, indem du die fehlenden Verbindungen* ***zeichnest*** *und für Schritt 1 und 2 jeweils die fehlenden freien Elektronenpaare, Formalladungen sowie Elektronenverschiebungspfeile* ***einzeichnest****.*
Hinweis: Beim letzten Schritt handelt es sich um eine wässrige, saure Aufarbeitung.



☐0
☐
☐1
☐
☐2
☐

e) ***Vervollständige*** *entsprechend den Anweisungen.*

In Schritt 1 greift Methyllithium das Carbonyl-Kohlenstoffatom an, welches... [***Kreuze*** *die korrekte Antwort* ***an****.*]

✗	elektrophil reagiert.	☐	nucleophil reagiert.	☐	radikalisch reagiert.

Bei diesem Schritt handelt es sich mechanistisch um eine... [***Kreuze*** *die korrekte Antwort* ***an****.*]

☐	Eliminierung.	☐	Substitution.	✗	Addition.

Das dabei entstehende Intermediat ist gemäß der Erlenmeyer-Regel instabil und zerfällt unter... [***Kreuze*** *die korrekte Antwort* ***an****.*]

✗	Eliminierung	☐	Substitution	☐	Addition

...der Abgangsgruppe Methanolat (CH_3O^-). Für eine gute Abgangsgruppe ist im Allgemeinen entscheidend, dass diese... [***Kreuze*** *die korrekte Antwort* ***an****.*]

☐	ein gutes Elektrophil ist.	☐	möglichst klein ist.	✗	eine schwache Base ist.

Das bei Schritt 2 entstehende Propanon besitzt immer noch ein Carbonyl-Kohlenstoffatom und kann mit überschüssigem Methyllithium weiterreagieren. Allgemein besitzen verschiedene Carbonylverbindungen jedoch unterschiedliche Reaktivitäten gegenüber lithiumorganischen Verbindungen. [***Kreuze*** *die Antwort* ***an****, in der die funktionellen Gruppen nach steigender Reaktivität gegenüber lithiumorganischen Verbindungen sortiert sind.*]

☐	Ester < Keton < Carboxylat	☐	Carboxylat < Keton < Ester
✗	Carboxylat < Ester < Keton	☐	Keton < Carboxylat < Ester

Neben der zuvor betrachteten, erwünschten Reaktivität zeigen lithiumorganische Verbindungen auch eine Reihe ungewollter Nebenreaktionen. So reagieren sie beispielsweise heftig mit Wasser, weswegen sie bei Synthesen nur unter wasserfreien Bedingungen gehandhabt werden sollten.

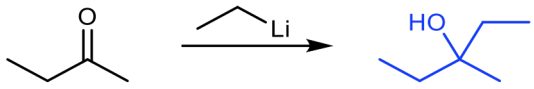
f) ***Gib*** *eine ausgeglichene Reaktionsgleichung für die Reaktion von Methyllithium (CH_3Li) mit Wasser* ***an****.*

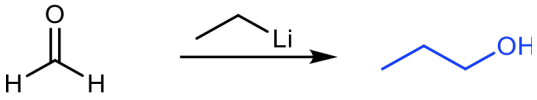
$$CH_3Li + H_2O \rightarrow CH_4 + LiOH \text{ bzw. } CH_3Li + H_2O \rightarrow CH_4 + Li^+ + OH^-$$

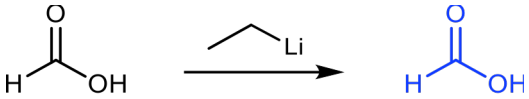
☐0 ☐ ☐1

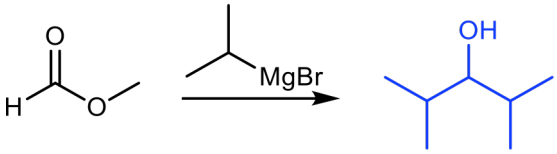
Eine weitere wichtige Klasse metallorganischer Verbindungen mit vergleichbarer Reaktivität zu lithiumorganischen Verbindungen sind die magnesiumhaltigen GRIGNARD-Verbindungen. Beide Verbindungsklassen finden Anwendung in der organischen Synthese.

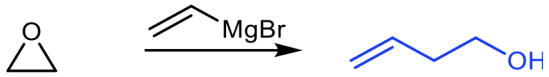
g) ***Zeichne*** *jeweils das organische Hauptprodukt der folgenden Reaktionen.*
Hinweis: Alle Reaktionen werden bei Raumtemperatur durchgeführt und danach in wässriger, saurer Lösung aufgearbeitet.

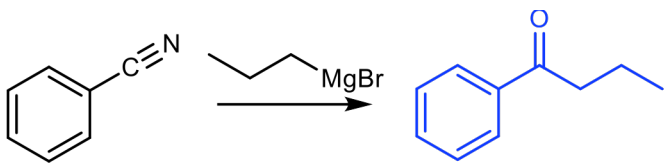












Hinweis: Das bei dieser Reaktion gebildete Produkt besitzt die Summenformel $C_{10}H_{12}O$.

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2 ☐ ☐3 ☐ ☐4 ☐ ☐5 ☐ ☐6 ☐

2-07 Die Gruppe der Alkalimetalle 15 Pt

Die Alkalimetalle bilden die erste Hauptgruppe des Periodensystems.

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2 ☐

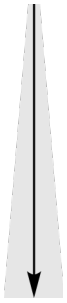
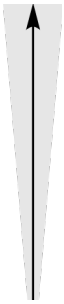
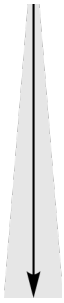
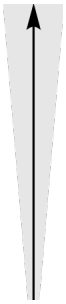
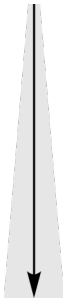
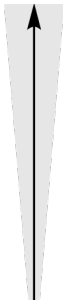
a) ***Vervollständige*** *den Lückentext, indem du jeweils alle richtigen Begriffe* ***ankreuzt****.*

Die Alkalimetalle besitzen ein Valenzelektron in einem __(1)__. Sie sind in ihrer elementaren Form starke __(2)__ und reagieren bereitwillig unter __(3)__ von Elektronen. Im Vergleich mit den anderen Elementen derselben Periode besitzen Alkalimetalle den/die niedrigste(n) __(4)__.

Lücke (1)	Lücke (2)	Lücke (3)	Lücke (4)
✗ s-Orbital	☐ Oxidationsmittel	☐ Aufnahme	✗ Elektronegativität
☐ p-Orbital	✗ Reduktionsmittel	✗ Abgabe	☐ Atomradius
☐ d-Orbital			✗ Ionisierungsenergie
☐ f-Orbital			☐ Ionenradius

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2 ☐ ☐3

b) ***Kreuze*** *jeweils* ***an****, ob die genannte Eigenschaft innerhalb der Gruppe der Alkalimetalle mit steigender Ordnungszahl zu- oder abnimmt.*

	Elektronegativität		Ionisierungsenergie		Ionenradius	
	☐	✗	☐	✗	✗	☐
Li Na K Rb Cs Fr						

In der qualitativen Analytik werden Alkalimetalle meist durch ihre Flammenfärbung nachgewiesen.

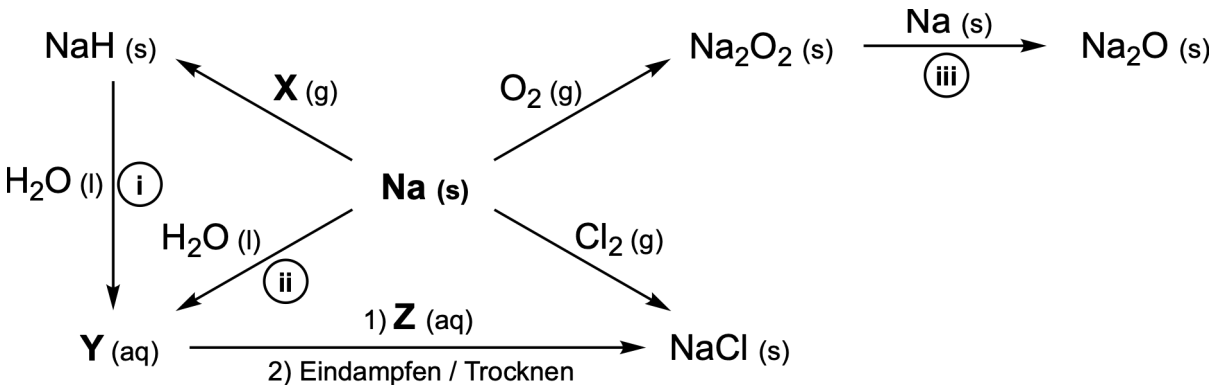
☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

c) ***Ordne*** *den Elementen jeweils ihre zugehörige Flammenfärung aus der Begriffsliste* ***zu****.*
Hinweis: Du kannst denselben Begriff auch mehrmals verwenden.

Mögliche Flammenfärbungen: *blau – violett – rot – orange – gelb – grün*

Li	Na	K	Rb
rot	gelb	violett	rot

Alkalimetalle gehen eine Vielzahl typischer Reaktionen ein, wie in dem Schema auf der folgenden Seite exemplarisch für Natrium gezeigt ist.



d) ***Gib*** *die Summenformeln der Verbindungen* ***X***, ***Y*** *und* ***Z*** *aus dem Schema* ***an***.

X	Y	Z
H_2	NaOH	HCl

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2 ☐ ☐3

e) ***Vervollständige*** *die Reaktionsgleichungen (mit Aggregatzuständen) der Reaktionen* ***i*** *–* ***iii*** *aus dem Schema, indem du die fehlenden stöchiometrischen Koeffizienten und Verbindungen* ***ergänzt***.

i	(1) NaH (s) + (1) H_2O (l) → (1) NaOH (aq) + (1) H_2 (g)
ii	2 Na (s) + 2 H_2O (l) → 2 NaOH (aq) + (1) H_2 (g)
iii	(1) Na_2O_2 (s) + 2 Na (s) → 2 Na_2O (s)

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2 ☐ ☐3

f) ***Zeichne*** *die LEWIS-Formel (mit allen freien Elektronenpaaren) des Anions in* Na_2O_2. ***Kreuze*** *den korrekten Namen des Anions* ***an***.

LEWIS-Formel

☐	Oxid-Anion
☐	Superoxid-Anion
✗	Peroxid-Anion
☐	Hyperoxid-Anion

☐0 ☐ ☐1 ☐

2-08 Stay hydrated! 20 Pt

Komplexverbindungen sind eine besondere Art von Verbindungen in der Chemie, die aus einem Zentralteilchen und einem oder mehreren Liganden aufgebaut sind, die über koordinative Bindungen verbunden sind.

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2 ☐

a) ***Vervollständige*** *entsprechend den Anweisungen.*

In Komplexverbindungen werden gewöhnlich alle Elektronen für die koordinativen Bindungen von den Liganden beigesteuert, weswegen die Bildung von Komplexen als ... beschrieben werden kann. [***Kreuze*** *die richtige Option* ***an****.*]

☐	BRONSTED-Säure-Base-Reaktion	✗	LEWIS-Säure-Base-Reaktion	☐	Redoxreaktion

Komplexverbindungen werden unter anderem durch ihre Koordinationszahl charakterisiert. Diese entspricht bei einfachen Liganden mit einem Donor-Atom der... [***Kreuze*** *die richtige Option* ***an****.*]

☐	Anzahl der Zentralteichen im Komplex.	☐	Ladungszahl des Zentralteilchens.	✗	Anzahl der Liganden im Komplex.

Bei Liganden mit mehreren Donor-Atomen ist die Situation komplizierter. Diese bezeichnet man als... [***Kreuze*** *die richtige Option* ***an****.*]

✗	Chelat-Liganden.	☐	mehrkernige Liganden.	☐	Typ-n-Liganden.

In Summenformeln werden Komplex mit eckigen Klammern dargestellt. Bei der Benennung werden zunächst die Liganden und ihre Anzahl und dann das Zentralteilchen und seine Ladung genannt. Demnach besitzt das Komplex-Ion $[Co(NH_3)_6]^{3+}$ den Namen... [***Kreuze*** *die richtige Option* ***an****.*]

☐	Ammincobalt(III)	✗	Hexaammincobalt(III)	☐	Hexaamidocobalt(III)
☐	Hexaammincobalt(VI)	☐	Hexaammincobaltat(III)	☐	Hexaammidocobaltat(III)

...und Tetrabromidocuprat(II) besitzt die Summenformel... [***Kreuze*** *die richtige Option* ***an****.*]

☐	$[CuBr_4]^{2+}$.	☐	$[CuBr_4]$.	☐	$[CoBr_4]^{2-}$.
✗	$[CuBr_4]^{2-}$.	☐	$[CuBr_2]_4$.	☐	$[CuBr_4]^{4-}$.

Abhängig von der Koordinationszahl können sich die Donor-Atome der Liganden in verschiedenen Geometrien (z.B. linear, tetraedrisch, quadratisch planar, oktaedrisch) um das Zentralteilchen anordnen.

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2 ☐ ☐3 ☐ ☐4

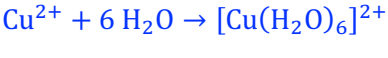
b) ***Vervollständige*** *die Tabelle, indem du die fehlenden Felder* ***ergänzt****.*

Summenformel	***Zentralteilchen***	***Ligand***	***Koordinationszahl***	***Koordinationsgeometrie***
$[Ag(NH_3)_2]^+$	Ag^+	NH_3	2	Linear
$[PtCl_4]^{2-}$	Pt^{2+}	Cl^-	4	Quadratisch planar
$[Fe(CN)_6]^{4-}$	Fe^{2+}	CN^-	6	Oktaedrisch
$[Ni(CO)_4]$	Ni	CO	4	Tetraedrisch

Viele Übergangsmetalle besitzen in wässriger Lösung eine vielfältige Chemie, da sie mit Wasser oder anderen gelösten Teilchen Komplexverbindungen bilden. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist Kupfer(II), das in wässriger Lösung einen hellblauen Hexaaqua-Komplex **1** bildet (Reaktion **1**). Wird Ammoniak zur Lösung zugegeben, so wird ein Teil der Aqua-Liganden durch Ammin-Liganden ausgetauscht (Reaktion **2**). Es ist bekannt, dass das Produkt **2** der Reaktion doppelt so viele Ammin- wie Aqua-Liganden und darüber hinaus ein Inversionszentrum besitzt.

c) ***Gib*** *ausgeglichene Reaktionsgleichungen für die Reaktionen* **1** *und* **2** ***an***.

Reaktion **1**:



$$Cu^{2+} + 6\ H_2O \rightarrow [Cu(H_2O)_6]^{2+}$$

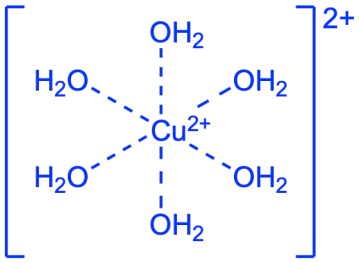
Reaktion **2**:

$$[Cu(H_2O)_6]^{2+} + 4\ NH_3 \rightarrow [Cu(NH_3)_4(H_2O)_2]^{2+} + 4\ H_2O$$

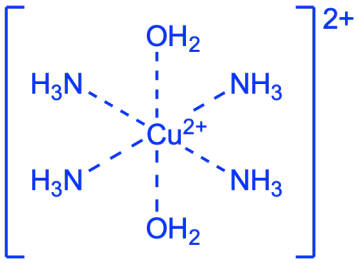
☐0 ☐ ☐1 ☐

d) ***Zeichne*** *die Strukturen der beiden Komplexe* **1** *und* **2**.

Komplex **1**



Komplex **2**

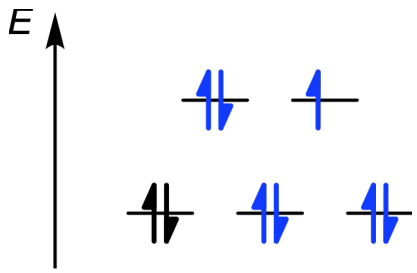


☐0 ☐ ☐1 ☐

Die Farbigkeit des Hexaaquakupfer(II)-Ions kann mithilfe der Ligandenfeldtheorie erklärt werden. Diese betrachtet die Wechselwirkung der d-Orbitale des Zentralteilchens mit den Liganden. Im Fall von Hexaaquakupfer(II) führt die Anwesenheit der Aqua-Liganden dazu, dass die fünf d-Orbitale, die eigentlich alle die gleiche Energie besitzen, in vereinfacht betrachtet zwei Energieniveaus aufgespalten werden. Ein Elektron aus dem unteren Energieniveau kann durch Absorption von Licht in das höhere Energieniveau übergehen, wodurch die hellblaue Färbung entsteht.

e) ***Gib*** *die Elektronenkonfiguration des Kupfer(II)-Ions* ***an***. ***Zeichne*** *die Elektronenkonfiguration im Komplex in das gegebene Energiediagramm der d-Orbitale* ***ein***. ***Verwende*** *für die Elektronen, wie dargestellt, Pfeile und beachte die HUNDsche Regel und das PAULI-Prinzip.*

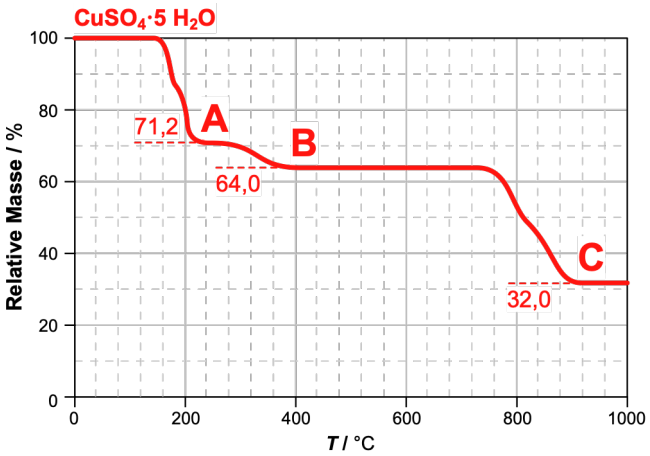
Elektronenkonfiguration von Cu^{2+}: [Ar] $3d^9$



Anmerkung: In der Realität sind die Energieniveaus aufgrund des Jahn-Teller-Effekts noch weiter aufgespalten, was hier zur Vereinfachung vernachlässigt wurde.

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

Wie viele Salze tendiert auch Kupfersulfat dazu, im festen Zustand sogenanntes Kristallwasser einzulagern, welches koordinativ an das Kupfer bzw. über Wasserstoffbrückenbindungen an die Sulfat-Ionen gebunden ist. Die Einlagerung von Kristallwasser ist jedoch im Allgemeinen reversibel und kann durch Erhitzen rückgängig gemacht werden, was jedoch häufig in mehreren Teilstufen verläuft. Dies kann gut über eine thermogravimetrische Analyse untersucht werden, bei der die Probe langsam erhitzt währenddessen kontinuierlich gewogen wird, um den Massenverlust zu bestimmen. Die Abbildung zeigt das Ergebnis solch einer Messung für Kupfersulfat Pentahydrat ($CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$).



f) ***Vervollständige*** *entsprechend den Anweisungen.*

i. ***Berechne*** *mithilfe der molaren Masse von* $CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$ *jeweils die Massenverluste der Schritte* $CuSO_4 \cdot 5\ H_2O \rightarrow \mathbf{A}$ *und* $\mathbf{A} \rightarrow \mathbf{B}$ *in* $g \cdot mol^{-1}$.

Die molare Masse von $CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$ ist $M_{CuSO_4 \cdot 5\ H_2O} = 249{,}68\ g \cdot mol^{-1}$.

Damit folgt für die gesuchten Massenverluste:

$$M_{CuSO_4 \cdot 5\ H_2O \rightarrow \mathbf{A}} = (1 - 0{,}712) \cdot 249{,}68\ g \cdot mol^{-1} = 71{,}91\ g \cdot mol^{-1}$$
$$\Delta M_{\mathbf{A} \rightarrow \mathbf{B}} = (0{,}712 - 0{,}640) \cdot 249{,}68\ g \cdot mol^{-1} = 17{,}98\ g \cdot mol^{-1}$$

➽ **Weiter mit**: $\Delta M_{CuSO_4 \cdot 5\ H_2O \rightarrow \mathbf{A}} = 72\ g \cdot mol^{-1}, \Delta M_{\mathbf{A} \rightarrow \mathbf{B}} = 18\ g \cdot mol^{-1}$

☐0 ☐ ☐1

ii. *Durch weitere Messungen ist bekannt, dass in den Schritten* $CuSO_4 \cdot 5\ H_2O \rightarrow \mathbf{A}$ *und* $\mathbf{A} \rightarrow \mathbf{B}$ *jeweils nur Wasser freigesetzt wird.* ***Gib*** *die Verhältnisformeln der Verbindungen* ***A*** *und* ***B*** ***an***.

$$\mathbf{A} = CuSO_4 \cdot\ H_2O, \qquad \mathbf{B} = CuSO_4$$

☐0 ☐ ☐1

iii. ***Bestimme*** *die Verhältnisformel von Verbindung* ***C***.

Für den Massenverlust im Schritt $\mathbf{B} \rightarrow \mathbf{C}$ gilt:

$$\Delta M_{\mathbf{B} \rightarrow \mathbf{C}} = (0{,}640 - 0{,}320) \cdot 249{,}68\ g \cdot mol^{-1} = 79{,}90\ g \cdot mol^{-1}$$

Da B neben Cu nur noch S und O enthält, kann dieser Massenverlust nur durch diese Elemente verursacht werden. Durch die alleinige Freisetzung von O kann jedoch maximal ein Massenverlust von $4 \cdot 16{,}00\ g \cdot mol^{-1} = 64{,}00\ g \cdot mol^{-1}$ erklärt werden.
Demnach wird in diesem Schritt SO_x freigesetzt, wobei nur für $x = 3$ die molare Masse übereinstimmt. In Schritt $\mathbf{B} \rightarrow \mathbf{C}$ wird also SO_3 freigesetzt und bei **C** handelt es sich um CuO.

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

Nicht alle Hydrate können durch Erhitzen vollständig dehydratisiert werden. Beim starken Erhitzen von Aluminiumchlorid Hexahydrat ($AlCl_3 \cdot 6\ H_2O$) entsteht beispielsweise nicht wasserfreies Aluminiumchlorid, sondern eine andere Verbindung **D**, in welcher der Massenanteil von Aluminium $w_{Al} \approx 52{,}9\ \%$ beträgt (Reaktion **3**).

g) ***Bestimme*** *die Verhältnisformel von Verbindung* ***D****.* ***Gib*** *eine ausgeglichene Reaktionsgleichung für Reaktion* ***3*** ***an****.*

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2 ☐

Verbindung D kann neben Al noch Cl, O und / oder H enthalten. Al liegt dabei in Form dreifach geladener Al^{3+}-Ionen vor. Wenn **D** ein Al-Teilchen enthält, beträgt die molare Masse von **D**:

$$M_{\mathbf{D}} = \frac{M_{Al}}{w_{Al}} = \frac{26{,}98\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}}{0{,}53} = 51{,}00\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$$

Dann würden $51{,}00\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}} - 26{,}98\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}} = 24{,}02\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$ auf die Anionen entfallen. Dies könnte höchstens einem O-Atom und 8 H-Atomen entsprechen, was keine sinnvolle Verbindung ist.
Wenn D zwei Al-Atome enthält, stehen $2 \cdot 24{,}02\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}} = 48{,}04\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$ für die Anionen zur Verfügung. Mit Cl findet sich keine mögliche Kombination, mit O findet sich auch nur eine chemisch sinnvolle Möglichkeit: Drei O-Atome. Da zwei Al-Atome insgesamt sechs positive Ladungen besitzen, muss jedes O-Atom zweifach negativ geladen sein, was zu Oxid-Ionen passt. Bei **D** handelt es sich um Aluminiumoxid Al_2O_3.

$$2\ AlCl_3 \cdot 6\ H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 6\ HCl + 9\ H_2O$$

Trotzdem ist es auch möglich, Aluminiumchlorid Hexahydrat direkt zu wasserfreiem Aluminiumchlorid umzusetzen. Dazu kann die Verbindung mit der hochreaktiven Flüssigkeit Thionylchlorid ($SOCl_2$) zur Reaktion gebracht werden, wobei genau zwei Nebenprodukte entstehen (Reaktion **4**). Beide Nebenprodukte sind gasförmig und das schwerere von ihnen besitzt eine molare Masse von $M = 64{,}06\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$).

h) ***Gib*** *eine ausgeglichene Reaktionsgleichung für Reaktion* ***4*** ***an****.*

☐0 ☐ ☐1 ☐ ☐2

Die Nebenprodukte können nur Cl, S, O und H enthalten. Durch strategisches Ausprobieren, wie es in der vorherigen Teilaufgabe gezeigt wurde, kann man herausfinden, dass die gegebene molare Masse nur zu SO_2 passen kann (O_4 ist keine stabile Verbindung). Da nur genau zwei gasförmige Nebenprodukte entstehen, muss das andere Cl und H enthalten und kann nicht (das naheliegende) Wasser sein, sondern ist HCl. HOCl wäre zwar theoretisch auch möglich, ist aber nicht stabil und führt zu keiner sinnvollen Reaktionsgleichung.
Alternativ kann überlegt werden, welche Gase aus $SOCl_2$ und H_2O entstehen könnten. HCl und SO_2 sind naheliegend und können über die angegebene molare Masse bestätigt werden.
*(Hinweis: Diese Erläuterung dient dem Verständnis und wird nicht bewertet, wenn der Operator „****Gib*** ***an****" lautet.)*

$$AlCl_3 \cdot 6\ H_2O + 6\ SOCl_2 \rightarrow AlCl_3 + 12\ HCl + 6\ SO_2$$