



Klausur

**zur 2. Runde des Auswahlverfahrens zur 58. IChO 2026
in Taschkent (Usbekistan)**

	Schülercode:
	Bundesland:

Bearbeitungshinweise:

- Diese Klausur umfasst **29 Seiten** mit insgesamt **8 Aufgaben**, einer **Formelsammlung** und einem **PSE**. Bitte kontrolliere am Anfang der Bearbeitungszeit, dass diese Angabe vollständig ist.
- Überprüfe am Anfang der Arbeitszeit, ob dein **Schülercode** sowie dein **Bundesland** auf diesem Deckblatt sowie auf allen Seiten der Klausur korrekt ist.
- 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, verstau 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.

☒ $\triangleq$ angekreuzt

☐ $\triangleq$ nicht angekreuzt

☒ $\triangleq$ angekreuzt

Formelsammlung

Stöchiometrie und Analytik			
Stoffmenge	$n = \frac{m}{M} = \frac{V}{V_m} = \frac{N}{N_A}$	Licht / Photonen	$v = \frac{E}{h} = \frac{c}{\lambda}$
Konzentration / Massenkonz.	$c = \frac{n}{V}; \quad \beta = \frac{m}{V}$	Massenanteil A in $A_a B_b$	$\omega_A = \frac{a \cdot M_A}{M_{A_a B_b}}$
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	$p_{ges} = p_A + p_B + \dots$

Thermodynamik			
Innere Energie	$\Delta U = C_V \cdot \Delta T$	Reaktionsenthalpie	$\Delta_r H^\circ = \sum \Delta_f H^\circ_{\text{Produkte}} - \sum \Delta_f H^\circ_{\text{Edukte}}$
Enthalpie	$H = U + pV$ $\Delta H = C_p \cdot \Delta T$	Reaktionsentropie	$\Delta_r S^\circ = \sum S^\circ_{\text{Produkte}} - \sum S^\circ_{\text{Edukte}}$
Freie Enthalpie	$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \cdot \Delta S^\circ$	GIBBS'sche Phasenregel	$f = K - P + 2$

Gleichgewichte			
Massenwirkungsgesetz $a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$	$K = \frac{a_C^c \cdot a_D^d}{a_A^a \cdot a_B^b}$	Löslichkeitsprodukt $A_a B_b \rightleftharpoons a A^{x+} + b B^{y-}$	$K_L = c_{A^{x+}}^a \cdot c_{B^{y-}}^b$
Vereinfachungen für die Aktivität a_X :	- Feststoffe und Flüssigkeiten: $a_X = 1$ - Verdünnte Lösungen: $a_X \approx \frac{c_X}{c_0}; c_0 = 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ - Gase: $a_X \approx \frac{p_X}{p_0}; p_0 = 1 \text{ bar}$	Freie Enthalpie	$\Delta G^\circ = -R \cdot T \cdot \ln(K)$

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

Organische Chemie	
Doppelbindungsäquivalent $C_c N_n H_h O_o X_x$ ($X = \text{Halogen}$)	$DB\ddot{A} = \frac{2 \cdot c + n - h - x + 2}{2}$

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

Kinetik			
Reaktionsgeschwindigkeit	$r = \frac{1}{v_i} \frac{dc_i}{dt}$	Zeitgesetze: o. Ordnung $c = c_0 - k \cdot t$ 1. Ordnung $c = c_0 \cdot e^{-k \cdot t}$ 2. Ordnung $c^{-1} = c_0^{-1} + k \cdot t$	
Geschwindigkeitsgesetz	$r = k \cdot c_A^x \cdot c_B^y \cdot \dots$		
ARRHENIUS-Gleichung	$k = A \cdot e^{-\frac{E_A}{R \cdot T}}$		

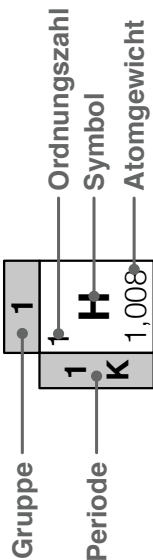
Mathematik			
Kugel	$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$ $A = 4 \pi \cdot r^2$	Quadratische Gleichung $a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0$	$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$
Rechtwinkliges Dreieck	$a^2 + b^2 = c^2$ $\sin(\alpha) = \frac{b}{c}; \cos(\alpha) = \frac{a}{c}; \tan(\alpha)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

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

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

PSE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 K	2 H	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	72 Hf
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	104 Rf

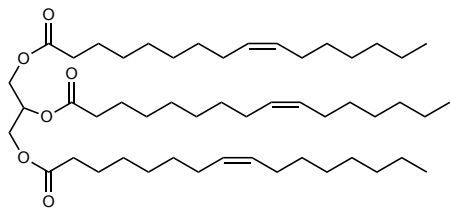
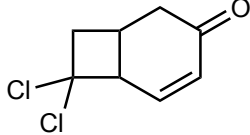


Actinoide

Lanthanoide

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) Beim radioaktiven Zerfall von Kalium-40 wird im Kern ein Proton in ein Neutron umgewandelt. Welches Isotop entsteht bei diesem Zerfall?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	☐	☐	
^{40}Ca	^{40}Ar	^{39}Ca	^{39}Ar	^{41}Ca	
b) In welcher Anordnung sind die Elemente nach steigendem Atomradius sortiert?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	☐	☐	
$\text{N} < \text{P} < \text{Al}$	$\text{O} < \text{Se} < \text{Kr}$	$\text{B} < \text{P} < \text{F}$	$\text{Cl} < \text{S} < \text{Si}$	$\text{Si} < \text{O} < \text{K}$	
c) In Mangan(II,III)-oxid (Mn_3O_4) kommen sowohl Mn^{2+} -, als auch Mn^{3+} -Ionen vor. In welchem Mengenverhältnis stehen diese zueinander?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	☐	☐	
$\frac{N_{\text{Mn}^{2+}}}{N_{\text{Mn}^{3+}}} = 1$	$\frac{N_{\text{Mn}^{2+}}}{N_{\text{Mn}^{3+}}} = \frac{1}{2}$	$\frac{N_{\text{Mn}^{2+}}}{N_{\text{Mn}^{3+}}} = 2$	$\frac{N_{\text{Mn}^{2+}}}{N_{\text{Mn}^{3+}}} = \frac{1}{3}$	$\frac{N_{\text{Mn}^{2+}}}{N_{\text{Mn}^{3+}}} = 3$	
d) Die Abbildung zeigt den Verlauf der Stoffmengen der Edukte und Produkte einer chemischen Reaktion. Wie lautet die zugehörige Reaktionsgleichung?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	☐	☐	
$\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C}$	$\text{A} + 2 \text{B} \rightarrow \text{C}$	$\text{A} + \text{B} \rightarrow 2 \text{C}$	$\text{A} + 2 \text{B} \rightarrow 2 \text{C}$	$2 \text{A} + 2 \text{B} \rightarrow \text{C}$	
e) Welches der Salze ist bei Raumtemperatur gut löslich in Wasser ($> 10 \text{ g/L}$)?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	☐	☐	
Ag_2O	AgNO_3	AgCl	AgBr	AgI	
f) Welches Element verursacht eine grüne Flammenfärbung?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	☐	☐	
Cu	Li	K	Sr	Ba	
g) Ein thermodynamischer Prozess mit $\Delta H = 10 \text{ kJ}$ und $\Delta S = 30 \frac{\text{J}}{\text{K}}$, der bei $T = 300 \text{ K}$ abläuft, ist...					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	☐	☐	
endotherm	exotherm	endergon	spontan	exergon	
h) Wenn bei einem idealen Gas p größer wird, aber n und T gleich bleiben, dann...					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	☐	☐	
wird V kleiner.	wird V größer.	ändert sich R .	ändert sich U .	bleibt H gleich.	

i) Wie lautet die Einheit der Geschwindigkeitskonstante bei einer Reaktion 1. Ordnung?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	☐	☐	
$\frac{\text{mol}}{\text{L}\cdot\text{s}}$	$\frac{\text{mol}}{\text{L}\cdot\text{s}^2}$	$\frac{\text{L}}{\text{mol}\cdot\text{s}}$	$\frac{1}{\text{s}}$	$\frac{\text{mol}\cdot\text{s}}{\text{L}}$	
j) Wo läuft in einer galvanischen Zelle beim Entladen die Oxidation ab?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	☐	☐	
Anode	Kathode	Separator	Pluspol	Minuspole	
k) Welche Verbindung besitzt den höchsten Siedepunkt?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	☐	☐	
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{F}-\text{C}-\text{F} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{H} \end{array}$	
l) Wie lautet die Summenformel der Verbindung 1,3,5-Trimethylcyclohexan?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	☐	☐	
C_6H_{10}	C_6H_{12}	C_9H_{16}	C_9H_{18}	C_9H_{20}	
m) In welchem Produkt des Alltags kommt die nebenstehend gezeigte Verbindung am ehesten vor?					☐ 0 ☐ ☐ 1
					
☐	☐	☐	☐	☐	
Papier	Rapsöl	Puderzucker	Polyethylen (Plastik)	Proteinpulver	
n) Wie groß ist die molare Masse des Reaktionsprodukts, wenn ein Alkohol mit $M = 46 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ und eine Carbonsäure mit $M = 88 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ miteinander verestert werden?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	☐	☐	
$134 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	$18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	$116 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	$118 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	$180 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	
o) Wie viele Doppelbindungsäquivalente besitzt die nebenstehend gezeigte Verbindung?					☐ 0 ☐ ☐ 1
					
☐	☐	☐	☐	☐	
1	2	3	4	5	

- a) **Zeichne** die LEWIS-Formel von salpetriger Säure (HNO_2) und **gib die** Oxidationszahl des Stickstoffatoms **an**.

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

- b) Bei der Reduktion von Eisen(III)-oxid im Hochofen läuft unter anderem auch folgende Reaktion ab:
$$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{H}_2\text{O}$$
Berechne die Masse m_{H_2} des Wasserstoffs, der zur Herstellung von $m_{\text{Fe}} = 1 \text{ t}$ Eisen benötigt wird.

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

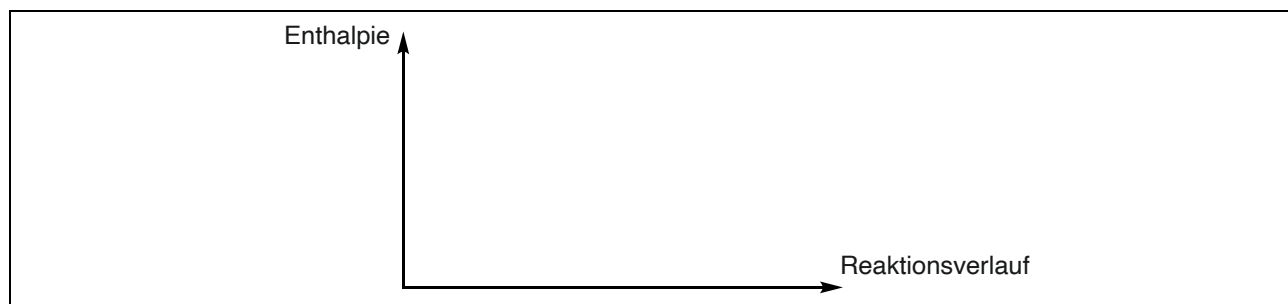
- c) **Gib an**, wie sich der pH-Wert einer wässrigen Lösung durch das Lösen von Natriumsulfid (Na_2S) ändert. **Stelle** eine Reaktionsgleichung **auf**, die die Beobachtung erklärt.

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

- d) Beim OSTWALD-Verfahren wird Ammoniak bei hohen Temperaturen mit Sauerstoff verbrannt, wobei Stickstoffmonoxid und Wasser gebildet werden. **Gib** für diese Reaktion eine ausgeglichene Reaktionsgleichung **an**.

☐ 0
☐
☐ 1

- e) **Skizziere** in das vorgegebene Diagramm den Enthalpieverlauf einer exothermen Reaktion und **zeichne** die Aktivierungsenthalpie H_A und die Reaktionsenthalpie ΔH_r **ein**.

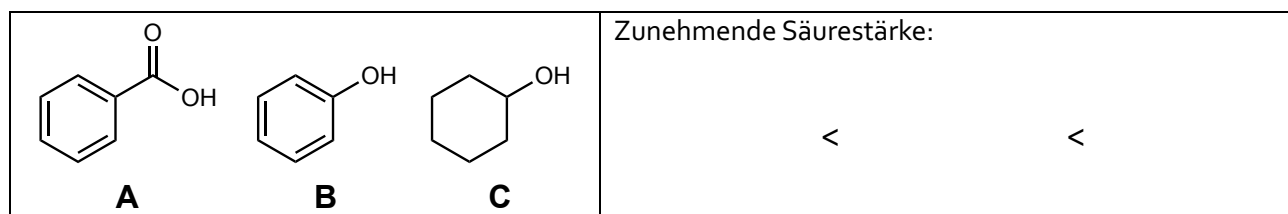


☐ 0
☐
☐ 1
☐

- f) **Berechne** den Massenanteil w_{Halogene} der Halogenatome in der Verbindung CHCl_2F .

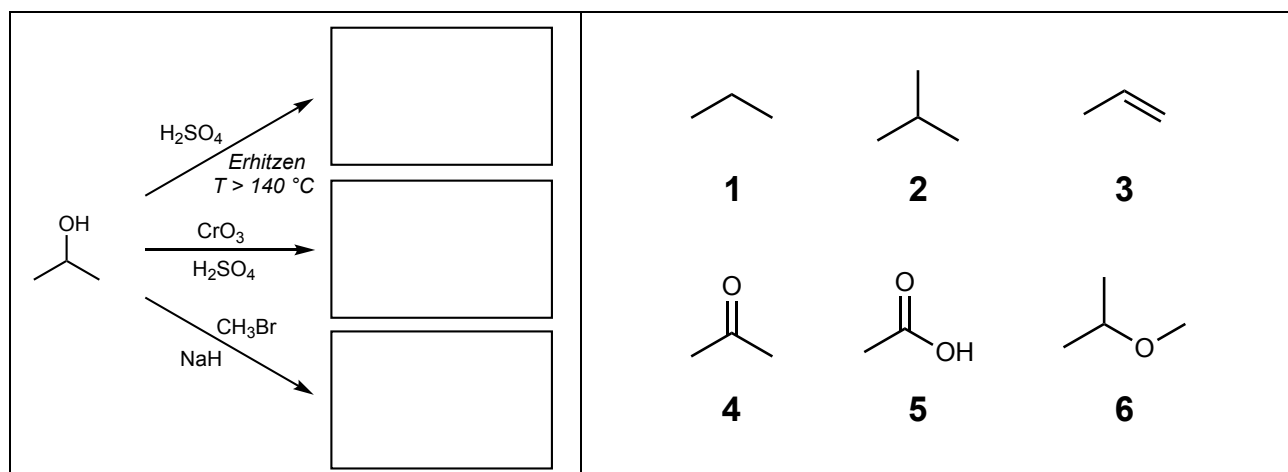
☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

- g) **Ordne** die Verbindungen **A**, **B** und **C** nach zunehmender Säurestärke.



☐ 0
☐
☐ 1
☐

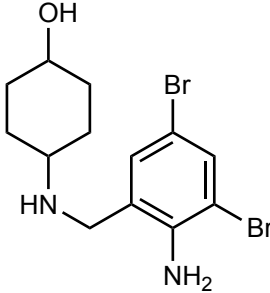
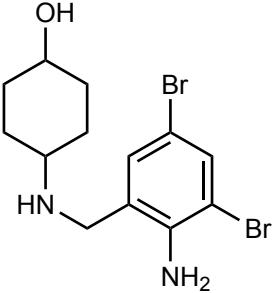
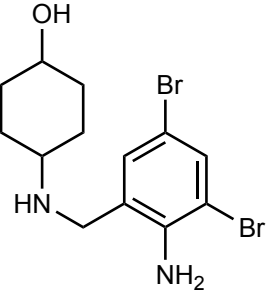
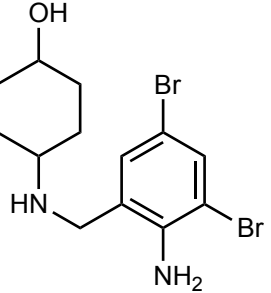
- h) Die Abbildung zeigt typische Reaktionen von sekundären Alkoholen. **Ordne** den Reaktionsbedingungen jeweils das entstehende organische Hauptprodukt **1 – 6 zu**.



☐ 0
☐
☐ 1
☐ 2
☐
☐ 3

Die Synthese organischer Verbindungen ist eine wichtige Disziplin der organischen Chemie. Ein guter erster Schritt bei der Planung einer Synthese ist es, die funktionellen Gruppen der gewünschten Zielverbindung zu betrachten, wie im Folgenden an der Verbindung Ambroxol, einem Wirkstoff aus Hustenmedikamenten, gezeigt werden soll.

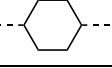
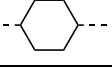
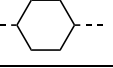
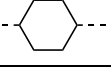
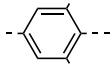
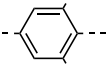
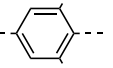
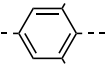
a) **Markiere** für jede der folgend genannten funktionellen Gruppen ein Beispiel in der Struktur von Ambroxol.

Halogengruppe	Hydroxygruppe	Prim. Aminogruppe	Sek. Aminogruppe
			

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

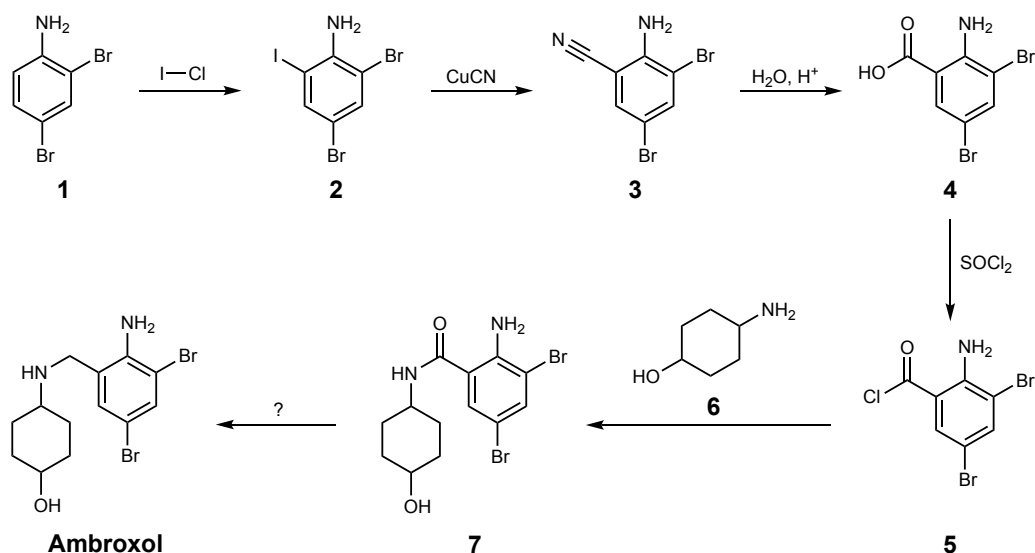
Neben den klassischen funktionellen Gruppen sind auch größere Strukturelemente wichtige Faktoren bei der Planung einer Synthese. Bei Ambroxol ist z. B. auffällig, dass es zwei 6-Ringe aus Kohlenstoffatomen gibt.

b) **Kreuze** jeweils an, auf welche(n) der 6-Ringe im Ambroxol die Aussagen zutreffen.

In diesem 6-Ring sind die C-Atome planar angeordnet.	In diesem 6-Ring sind alle C-Atome sp ³ -hybridisiert.	Dieser 6-Ring ist besonders stabil, da er aromatisch ist.	In diesem 6-Ring betragen die C-C-Bindungswinkel 115°.
☐ 	☐ 	☐ 	☐ 
☐ 	☐ 	☐ 	☐ 
☐ Keiner von beiden	☐ Keiner von beiden	☐ Keiner von beiden	☐ Keiner von beiden

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

Folgendes Schema zeigt eine mögliche Synthese von Ambroxol ausgehend von Verbindung **1**.



- c) **Ordne** den angegebenen Syntheseschritten jeweils den richtigen Reaktionstyp **zu**, indem du **ankreuzt**.
Hinweis: Jeder Reaktionstyp muss genau einmal zugeordnet werden.

	Hydrolyse eines Nitrils	Elektrophile aromatische Substitution	Nucleophile aromatische Substitution	Amidbildung
1 → 2	☐	☐	☐	☐
2 → 3	☐	☐	☐	☐
3 → 4	☐	☐	☐	☐
5 + 6 → 7	☐	☐	☐	☐

☐0
☐
☐1
☐
☐2
☐
☐3
☐
☐4

- d) **Zeichne** jeweils die stabilste LEWIS-Struktur von Chloriod (ICl) und dem Cyanid-Ion (CN⁻). **Gib** für beide Verbindungen **an**, welche Partialladungen (positiv oder negativ) die Atome jeweils tragen.

ICl	CN ⁻
-----	-----------------

☐0
☐
☐1
☐
☐2
☐
☐3

- e) Warum wird Verbindung **4** im Schritt **4 → 5** zu einem Carbonsäurechlorid umgesetzt? **Kreuze** die korrekte Antwort **an**.

☐	Die Laborsicherheit wird verbessert, da freie Carbonsäuren stark ätzend wirken.
☐	Dadurch wird im Schritt 5 + 6 → 7 anstelle von Wasser Salzsäure als Nebenprodukt freigesetzt, welche die Reaktion zu 7 katalysiert und die Produktbildung begünstigt.
☐	Aromatische Carbonsäuren zersetzen sich schnell unter Abgabe von CO ₂ , was durch die Substitution eines Sauerstoffatoms durch Chlor verhindert wird.
☐	Carbonsäurechloride sind deutlich reaktiver für Substitutionen an der Acylgruppe im Vergleich zu Carbonsäuren.

☐0
☐
☐1

Beim letzten Schritt der Synthese, **7 → Ambroxol**, handelt es sich um eine Redoxreaktion.

- f) **Bestimme** die Oxidationszahlen des fett markierten Kohlenstoffatoms in **7** und Ambroxol und **kreuze an**, ob für den Schritt ein Oxidations- oder ein Reduktionsmittel benötigt wird.

 <chem>NC(=O)Nc1cc(Br)cc(N)c1</chem> <chem>Oc1ccccc1</chem>	 <chem>NCNc1cc(Br)cc(N)c1</chem> <chem>Oc1ccccc1</chem>	Es wird ein... <table border="1"><tr><td>☐</td><td>Oxidationsmittel</td></tr><tr><td>☐</td><td>Reduktionsmittel</td></tr></table> ...benötigt.	☐	Oxidationsmittel	☐	Reduktionsmittel
☐	Oxidationsmittel					
☐	Reduktionsmittel					

☐0
☐
☐1
☐
☐2
☐
☐3

Die Summenformel $C_6H_{12}O_6$ spielt in der organischen Chemie eine besondere Rolle, da es mehrere tausend Konstitutionsisomere gibt, von denen manche eine herausragende Bedeutung haben.

a) **Kreuze** alle Strukturen an, bei denen es sich um Konstitutionsisomere von $C_6H_{12}O_6$ handelt.

☐	☐	☐	☐	☐

Berücksichtigt man zusätzlich noch Stereoisomere, gibt es noch weitaus mehr Isomere mit der Summenformel $C_6H_{12}O_6$.

b) **Kreuze** für jedes der folgenden Paare von Isomeren an, in welchem stereochemischen Verhältnis diese zueinander stehen bzw. ob sie identisch sind.

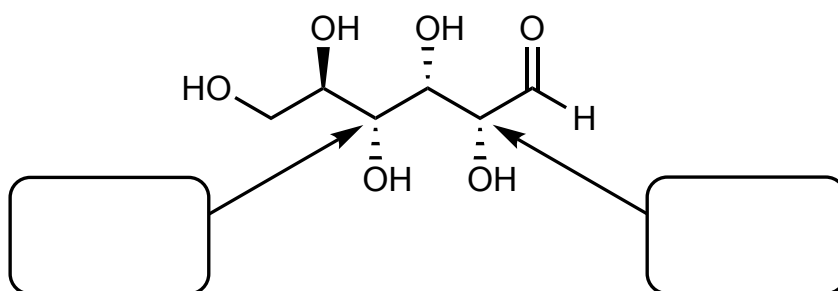
☐ Enantiomere	☐ Enantiomere	☐ Enantiomere
☐ Diastereomere	☐ Diastereomere	☐ Diastereomere
☐ Identisch	☐ Identisch	☐ Identisch

Die wohl bedeutendsten Vertreter der Summenformel $C_6H_{12}O_6$ sind die Aldohexosen, also eine Gruppe von Kohlenhydraten, zu denen unter anderem die D-Glucose gehört.

c) **Markiere** in der gegebenen Strukturformel einer Aldohexose alle asymmetrisch substituierten Kohlenstoffatome mit einem Sternchen *. **Gib an**, wie viele Stereoisomere die Struktur besitzt.

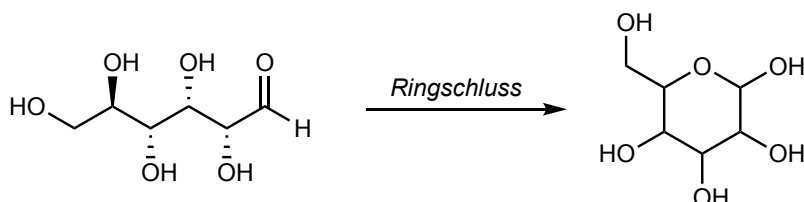
	Anzahl Stereoisomere:
--	-----------------------

d) **Bestimme** die absolute Konfiguration der beiden markierten Stereozentren in D-Glucose gemäß der R/S-Nomenklatur.



☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

D-Glucose kann eine intramolekulare Ringschlussreaktion eingehen, wobei D-Glucopyranose gebildet wird.



e) **Kreuze an**, wie viele und welcher Typ Stereoisomere von D-Glucopyranose bei der gezeigten Ringschlussreaktion gebildet werden.

- | | |
|--|---|
| ☐ Ein einzelnes Stereoisomer | ☐ Zwei Enantiomere |
| ☐ Zwei Diastereomere | ☐ Vier Diastereomere |
| ☐ Vier Stereoisomere: zwei Paare von Enantiomeren | |

☐ 0
☐
☐ 1

Weitere Vertreter der Summenformel $C_6H_{12}O_6$ sind die Inosite, bei denen es sich um cyclische Hexole handelt, also Cyclohexan-Derivate mit sechs Hydroxygruppen. Durch ihre hohe Symmetrie weisen die Inosite eine interessante Stereochemie auf: Trotz der sechs Stereozentren gibt es lediglich neun verschiedene Stereoisomere.

f) **Kreuze** für jedes der folgenden Inosite jeweils **an**, ob es eine (oder mehrere) Spiegelebenen, ein Inversionszentrum oder nichts von beiden gibt.

☐ Spiegelebene	☐ Spiegelebene	☐ Spiegelebene	☐ Spiegelebene
☐ Inversionszentrum	☐ Inversionszentrum	☐ Inversionszentrum	☐ Inversionszentrum
☐ Nichts von beiden	☐ Nichts von beiden	☐ Nichts von beiden	☐ Nichts von beiden

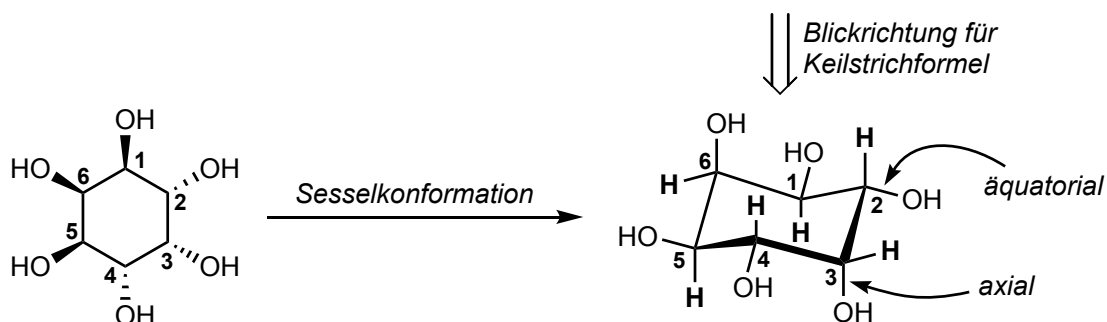
☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2
☐

Von den neun Stereoisomeren von Inosit sind zudem lediglich zwei optisch aktiv.

g) **Zeichne** die Keilstrichformeln der beiden optisch aktiven Inosite und gib an, in welchem stereochemischen Verhältnis diese zueinander stehen.

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2
☐

Wie alle Cyclohexan-Derivate nehmen die Inosite eine zick-zack-förmige Konformation ein, die aufgrund ihrer Form als Sesselkonformation bezeichnet wird. Die Substituenten können dabei entweder in der Ringebene liegen (äquatoriale Stellung) oder senkrecht darauf stehen (axiale Stellung), wie in der Abbildung verdeutlicht ist. Die Sesselkonformation ist am günstigsten, wenn sich möglichst viele Hydroxygruppen in einer äquatorialen Stellung befinden.



h) **Zeichne** für die folgenden beiden Inosite jeweils die Keilstrichformel bzw. **vervollständige** die gegebene Sesselkonformation, indem du die fehlenden Substituenten einzeichnest.

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

Keilstrichformel	Sesselkonformation

Mittels NMR-Spektroskopie ist es möglich, die einzelnen Stereoisomere von Inosit analytisch zu unterscheiden. Im ^1H -NMR-Spektrum können dabei Signale für die sechs fett gedruckten Wasserstoffatome in der Abbildung auf der vorherigen Seite beobachtet werden. Direkt benachbarte Wasserstoffatome sind im Spektrum miteinander verkoppelt, wobei man abhängig davon, ob sich die Wasserstoffatome in einer axialen oder äquatorialen Stellung befinden, zwischen axial-axial-, äquatorial-äquatorial- und axial-äquatorial-Kopplungen unterscheiden kann.

Für zwei verschiedene Isomere **A** und **B** von Inosit wurden auf diese Weise die in der Tabelle gegebenen Kopplungsmuster bestimmt. Die Zahlen stehen dabei dafür, wie oft die jeweilige Art von Kopplung in einem Molekül vorkommt.

Kopplung	Isomer A	Isomer B
axial-axial	2	1
äquatorial-äquatorial	2	1
axial-äquatorial	2	4

i) **Zeichne** die Keilstrichformeln der Isomere **A** und **B** von Inosit.

Isomer A

Isomer B

- ☐ 0
- ☐
- ☐ 1
- ☐
- ☐ 2
- ☐
- ☐ 3

Platz für Notizen (nicht bewertet):



Die Wasserhärte ist bei einigen Anwendungen ein wichtiges Qualitätskriterium für Wasser. Im chemischen Sinne versteht man unter der Wasserhärte den Gesamtgehalt an Erdalkalimetallionen im Wasser.

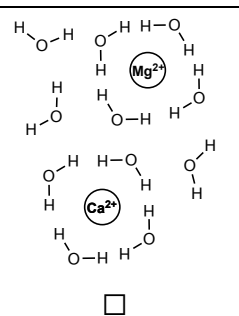
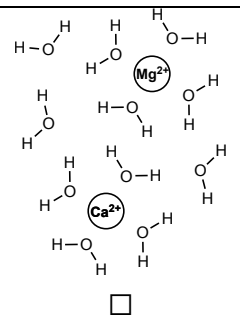
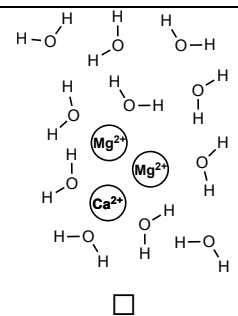
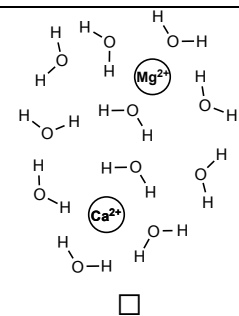
a) **Vervollständige** den Lückentext, indem du jeweils alle richtigen Begriffe **ankreuzt**.

Die Erdalkalimetalle bilden im Periodensystem die (1), da sie in ihrer Valenzschale nur zwei Elektronen in einem (2) besitzen. Sie sind in ihrer elementaren Form starke (3). Im Vergleich zu den Alkalimetallen derselben Periode besitzen die Erdalkalimetalle eine(n) höhere(n) (4).

Lücke (1)	Lücke (2)	Lücke (3)	Lücke (4)
☐ Gruppe 2	☐ s-Orbital	☐ Oxidationsmittel	☐ Elektronegativität
☐ 2. Hauptgruppe	☐ p-Orbital	☐ Reduktionsmittel	☐ Atomradius
☐ 2. Untergruppe	☐ d-Orbital		☐ Ionisierungsenergie
☐ 2. Nebengruppe	☐ f-Orbital		☐ Ionenradius

Praktisch kommen in Wasser jedoch fast nur gelöste Magnesium- und Calciumionen natürlich vor.

b) **Kreuze an**, welche Skizze die Anordnung von Mg^{2+} - und Ca^{2+} -Ionen in wässriger Lösung schematisch korrekt wiedergibt.

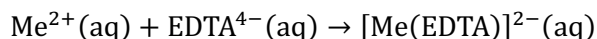
			
☐	☐	☐	☐

Die Wasserhärte wird beeinflusst durch ein Netzwerk von Gleichgewichtsreaktionen, das vor allem aus Fällungs- und Säure-Base-Reaktionen besteht. So können z. B. Ca^{2+} -Ionen mit gelösten Sulfationen zu schwerlöslichem Gips ($CaSO_4$) reagieren (Reaktion 1). Gelöste Kohlensäure (H_2CO_3) reagiert unter Abgabe eines Protons an Wasser zu Hydrogencarbonationen (HCO_3^- , Reaktion 2), welche mit Ca^{2+} -Ionen zu unlöslichem Kalk ($CaCO_3$) reagieren können, wobei Kohlensäure als Nebenprodukt entsteht (Reaktion 3).

c) **Gib** ausgeglichene Ionengleichungen mit Aggregatzuständen für die Reaktionen **1 – 3 an** und **kreuze** jeweils **an**, ob es sich um eine Fällungsreaktion oder eine Säure-Base-Reaktion handelt.

①	☐ Fällungsreaktion ☐ Säure-Base-Reaktion
②	☐ Fällungsreaktion ☐ Säure-Base-Reaktion
③	☐ Fällungsreaktion ☐ Säure-Base-Reaktion

Experimentell kann die Wasserhärte einer Wasserprobe mit einer komplexometrischen Titration mit dem Reagenz EDTA bestimmt werden, wobei Erio-T als Indikator fungiert. Zwischen dem Anion EDTA^{4-} und Mg^{2+} sowie Ca^{2+} , welche folgend zusammen als Me^{2+} bezeichnet werden, läuft dabei folgende Reaktion ab:



d) Die Abbildung zeigt den Aufbau der Titration vor Beginn. **Ordne** allen Begriffen den korrekten Marker **i – iv zu**. Ordne EDTA und Erio-T dabei der Lösung zu, in der sie anfangs gelöst sein sollten.

	Begriffe: Erlenmeyerkolben, Maßlösung, Bürette, Probelösung, EDTA, Erio-T
i	
ii	
iii	
iv	

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

Eine Leitungswasserprobe mit dem Volumen $V_0 = 100 \text{ mL}$ wird auf diese Weise mit EDTA-Lösung der Konzentration $c_{\text{EDTA}} = 10,0 \frac{\text{mmol}}{\text{L}}$ titriert, wobei $V_{\text{EDTA}} = 19,2 \text{ mL}$ bis zum Äquivalenzpunkt verbraucht werden.

e) **Berechne** die Konzentration $c_{\text{Me}^{2+}}$ der Mg^{2+} - und Ca^{2+} -Ionen in der Leitungswasserprobe.

➡ Weiter mit: $c_{\text{Me}^{2+}} = 2,00 \frac{\text{mmol}}{\text{L}}$

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

Die Wasserhärte wird oft in Grad Deutscher Härte ($^\circ\text{dH}$) angegeben, wobei $1 \text{ }^\circ\text{dH}$ bedeutet, dass die Stoffmenge an Mg^{2+} - und Ca^{2+} -Ionen pro Liter Wasser der Stoffmenge von Ca^{2+} -Ionen in $10,0 \text{ mg}$ Calciumoxid (CaO) entspricht.

f) **Berechne** die Wasserhärte der Leitungswasserprobe in $^\circ\text{dH}$.

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

Wasserstoff wird eine zentrale Rolle bei der Umstellung des Energiesektors und der chemischen Industrie auf eine nachhaltige Energieversorgung zugeschrieben. Eine besondere Herausforderung ist dabei jedoch die Speicherung des gasförmigen, leicht flüchtigen Wasserstoffs. Einen möglichen Lösungsansatz stellt die Speicherung in Form von Hydridsalzen wie Magnesiumhydrid (MgH_2) oder Natriumborhydrid (NaBH_4) dar.

a) **Zeichne** jeweils die LEWIS-Formel der Anionen in MgH_2 und NaBH_4 .

MgH_2

NaBH_4

☐ 0
☐
☐ 1

Der Wasserstoff kann unterschiedlich aus den betrachteten Verbindungen zurückgewonnen werden. Während MgH_2 seinen Wasserstoff durch eine geeignete Temperaturbehandlung abgibt, wird der Wasserstoff in NaBH_4 durch eine Hydrolysereaktion freigesetzt, bei der festes Natriummetaborat (NaBO_2) als Nebenprodukt entsteht.

b) **Gib** für MgH_2 und NaBH_4 ausgeglichene Reaktionsgleichungen mit Aggregatzuständen für die Freisetzung von Wasserstoff **an**.

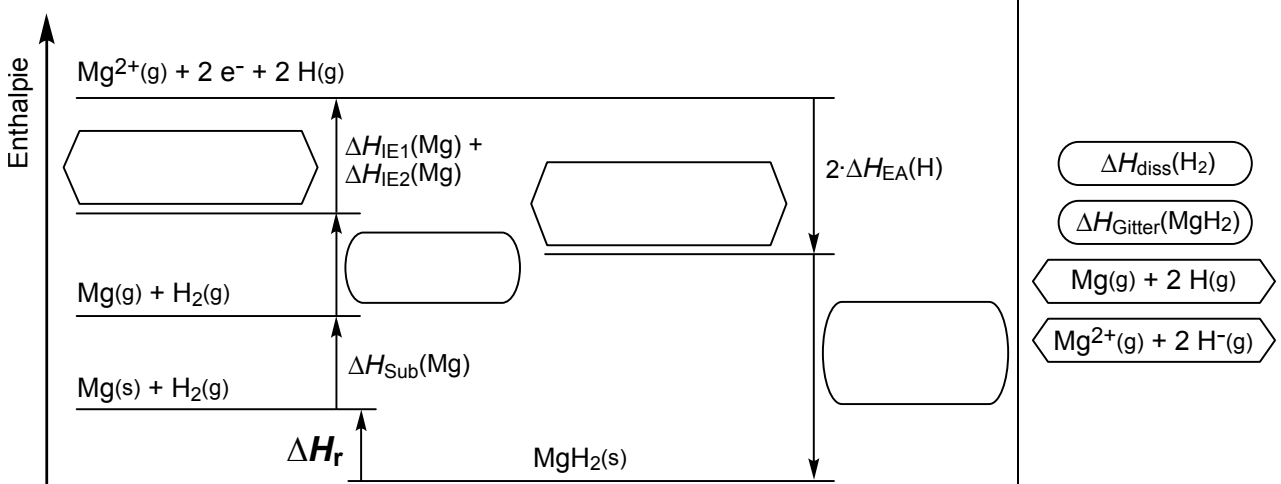
MgH_2

NaBH_4

☐ 0
☐
☐ 1
☐

Ähnlich wie für die Bildung von MgH_2 kann auch für die Freisetzung von Wasserstoff aus MgH_2 ein BORN-HABER-Kreisprozess aufgestellt werden. Die Reaktionsenthalpie der Zersetzungsreaktion wird dabei mit ΔH_r bezeichnet.

c) **Vervollständige** das Schema zum BORN-HABER-Kreisprozess für die Freisetzung von Wasserstoff aus MgH_2 , indem du die Schnipsel aus der rechten Spalte in die passenden Lücken einträgst.



☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

In der folgenden Tabelle sind die Werte der Größen aus dem betrachteten HABER-BORN-Kreisprozess gegeben.

$\Delta H_{\text{diss}}(\text{H}_2) = 436 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	$\Delta H_{\text{EA}}(\text{H}) = -73 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	$\Delta H_{\text{Gitter}}(\text{MgH}_2) = -2721 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
$\Delta H_{\text{IE1}}(\text{Mg}) = 738 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	$\Delta H_{\text{IE2}}(\text{Mg}) = 1451 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	$\Delta H_{\text{Sub}}(\text{Mg}) = 137 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

d) **Vervollständige** entsprechend den Anweisungen i. und ii.

i. **Berechne** die Reaktionsenthalpie ΔH_r der Zersetzung von MgH_2 .

- ☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

► Weiter mit: $\Delta H_r = +100 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

ii. **Kreuze** alle Antworten **an**, die den folgenden Satz korrekt vervollständigen:
Die Freisetzung von Wasserstoff aus MgH_2 ...

- ☐ 0
☐
☐ 1

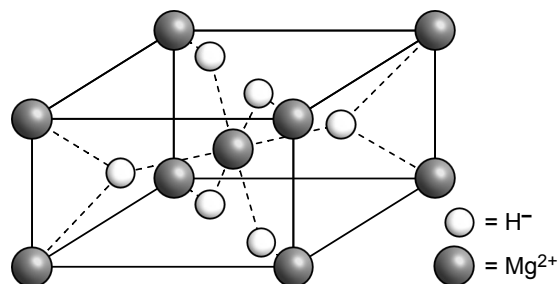
☐ ... verläuft exotherm.

☐ ... verläuft endotherm.

☐ ... ist bei hohen Temperaturen begünstigt.

☐ ... ist bei tiefen Temperaturen begünstigt.

In seiner stabilsten α -Form kristallisiert MgH_2 in einem tetragonalen Kristallsystem. Dabei besetzen die Magnesiumionen die Ecken und die Raummitte eines Quaders und die Hydridionen ordnen sich dazwischen an, wie die nebenstehende Abbildung schematisch zeigt.



e) **Kreuze** alle korrekten Aussagen über die Festkörperstruktur von MgH_2 **an**.

- ☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

☐ Die Mg^{2+} -Ionen bilden eine tetragonal primitive Packung.

☐ Die Mg^{2+} -Ionen bilden eine tetragonal flächenzentrierte Packung.

☐ Die Mg^{2+} -Ionen bilden eine tetragonal innenzentrierte Packung.

☐ Die H^- -Ionen besetzen die Tetraederlücken des Gitters der Mg^{2+} -Ionen.

☐ Die Koordinationszahl der Mg^{2+} -Ionen ist 6.

☐ Die Koordinationszahl der H^- -Ionen ist 2.

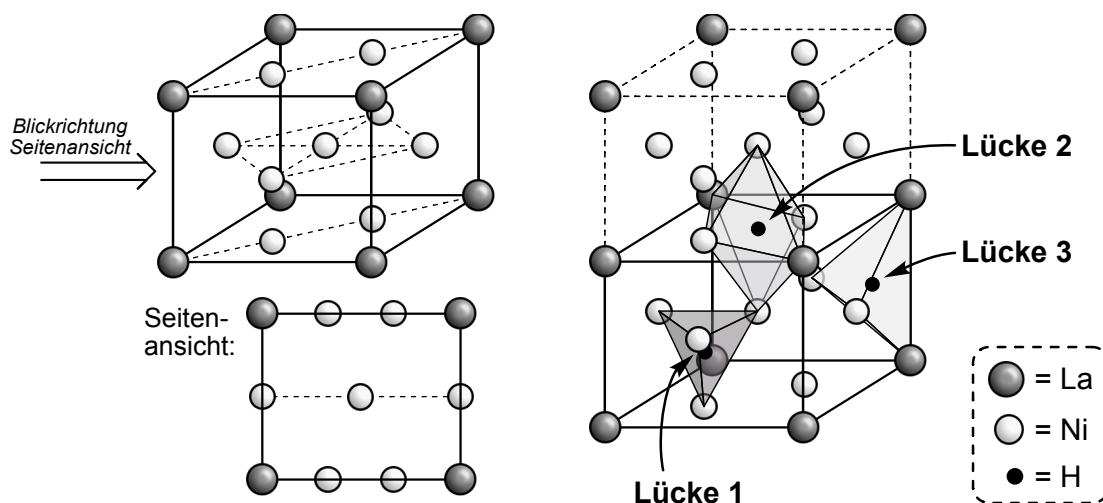
☐ Die Koordinationszahl der H^- -Ionen ist 3.

☐ Die Koordinationszahl der H^- -Ionen ist 6.

☐ Die H^- -Ionen besetzen die Oktaederlücken des Gitters der Mg^{2+} -Ionen.

☐ Die Mg^{2+} -Ionen sind oktaederförmig von H^- -Ionen umgeben.

Neben Hydridsalzen ist auch die Speicherung von Wasserstoff in Metallhydriden, in denen Wasserstoff atomar in das Metallgitter eingebaut wird, möglich. Ein Beispiel dafür ist die Verbindung LaNi_x , die pro Formeleinheit bis zu sechs Wasserstoffatome unter Bildung von LaNi_xH_6 aufnehmen kann. Nachfolgend sind die Elementarzelle von LaNi_x (links) sowie die drei möglichen Arten von Lücken, in die die Wasserstoffatome eingelagert werden können, abgebildet.



- f) **Gib** die Anzahl der Lanthan- und Nickelatome in einer Elementarzelle **an** und **bestimme** daraus den Wert von x in LaNi_x . Beachte dabei, dass Atome auf Ecken, Kanten und Außenflächen der Elementarzelle nur anteilig zählen.

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2
☐

► Weiter mit: $x = 4$

- g) **Gib** für jede der Lücken **1**, **2** und **3** die Koordinationszahl der Wasserstoffatome **an**. **Gib** zudem **an**, wie oft die jeweilige Art von Lücke in der Elementarzelle vorkommt. Beachte dabei, dass Lücken auf Ecken, Kanten und Außenflächen der Elementarzelle nur anteilig zählen.

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2
☐
☐ 3

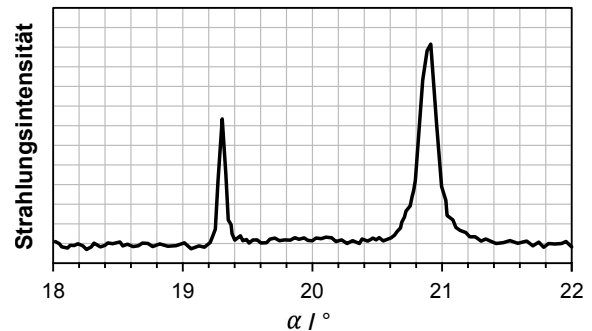
Lücke 1		Lücke 2		Lücke 3	
Koordinationszahl:	Anzahl:	Koordinationszahl:	Anzahl:	Koordinationszahl:	Anzahl:

Bei der Einlagerung von Wasserstoffatomen in das Metallgitter von LaNi_x vergrößert sich der Abstand zwischen den Metallatomen ein wenig, was mithilfe von Röntgenbeugung nachvollzogen werden kann. Ein LaNi_x -Kristall wird dazu nach der Einlagerung von Wasserstoff mit Röntgenstrahlung der Wellenlänge $\lambda = 179 \text{ pm}$ untersucht; ein Ausschnitt aus dem Beugungsmuster ist in der Abbildung auf der nächsten Seite gezeigt. Für die gezeigten Peaks gilt die BRAGG-Gleichung in der folgenden Form, wobei d der Abstand der Gitterebenen in LaNi_x ist, welcher sich durch die Einlagerung von Wasserstoff auf d^* vergrößert.

$$2 \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin(\alpha)$$

h) **Vervollständige** entsprechend den Anweisungen i. – iv.

i. **Berechne** aus dem Beugungsmuster das Verhältnis von d^* und d .



► Weiter mit: $\frac{d^*}{d} = 1,09$

ii. **Berechne** das Verhältnis der Volumina V^* und V der Elementarzelle von LaNi_x nach und vor der Einlagerung von Wasserstoff. Nimm dabei an, dass sich die Elementarzelle von LaNi_x in allen drei Raumrichtungen um den Faktor aus Aufgabenteil i. ausdehnt.

► Weiter mit: $\frac{V^*}{V} = 1,30$

iii. **Berechne** das Verhältnis der Massen m^* und m der Elementarzelle von LaNi_x nach und vor der Einlagerung von Wasserstoff.

► Weiter mit: $\Delta m^* = \frac{m^*}{m} = 1,03$

iv. **Berechne** die prozentuale Änderung der Dichte von LaNi_x durch die Einlagerung von Wasserstoff.

☐ 0
☐
☐ 1
☐

☐ 0
☐
☐ 1

☐ 0
☐
☐ 1
☐

☐ 0
☐
☐ 1

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

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

Oxidation:

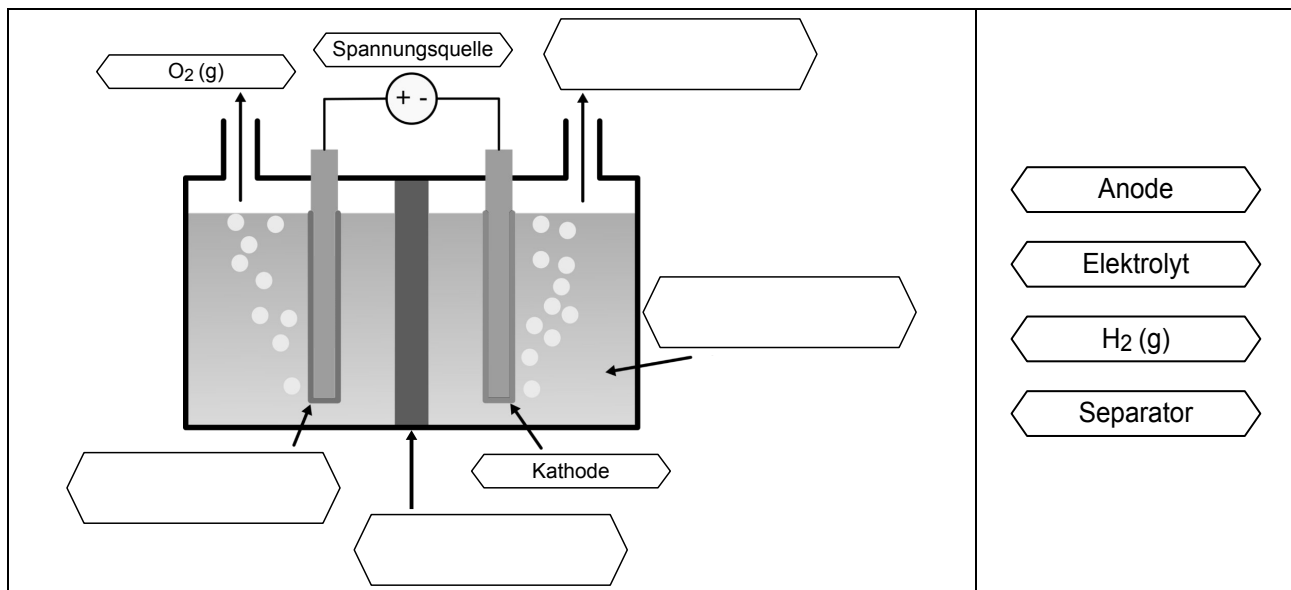
Reduktion:

Gesamt:

☐ 0
☐
☐ 1
☐

Die folgende Abbildung zeigt schematisch den Aufbau eines Elektrolyseurs.

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



☐ 0
☐
☐ 1
☐ 2

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

i) 1 Molekül Wasserstoff:

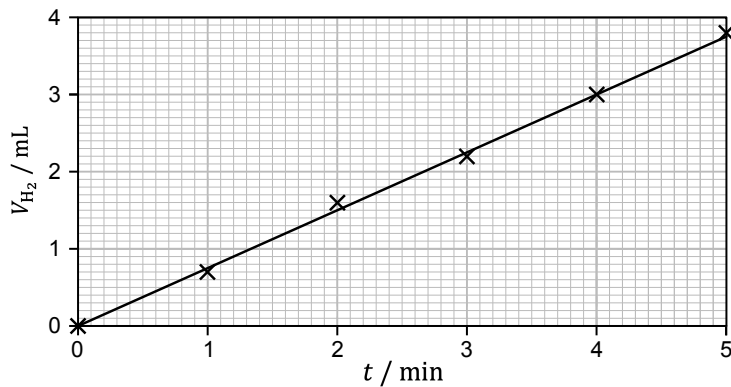
ii) 1 Mol Wasserstoff:

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

Nun soll die Elektrolyse von Wasser im Labormaßstab untersucht werden. Dazu wird ein kleiner Elektrolyseapparat aufgebaut und unter Laborbedingungen ($T = 298 \text{ K}$, $p = 1 \text{ bar}$) bei verschiedenen Stromstärken betrieben. Das Volumen des erzeugten Wasserstoffgases wird jede Minute gemessen, um die Bildungsrate $\Delta V_{\text{H}_2} / \Delta t$ von Wasserstoff zu bestimmen.

d) **Vervollständige** den Rechenweg entsprechend den Anweisungen i. und ii.

- i. Das Diagramm zeigt die Ergebnisse der Messung bei $I = 0,1 \text{ A}$, eine Ausgleichsgerade wurde bereits eingezeichnet. **Gib** die Geradengleichung der Ausgleichsgerade **an**.



► Weiter mit: $V_{\text{H}_2} = 0,70 \frac{\text{mL}}{\text{min}} \cdot t$

- ii. **Berechne**, für wie viele Stunden die Elektrolyse betrieben werden muss, um $V_{\text{H}_2} = 1,0 \text{ L}$ zu erzeugen.

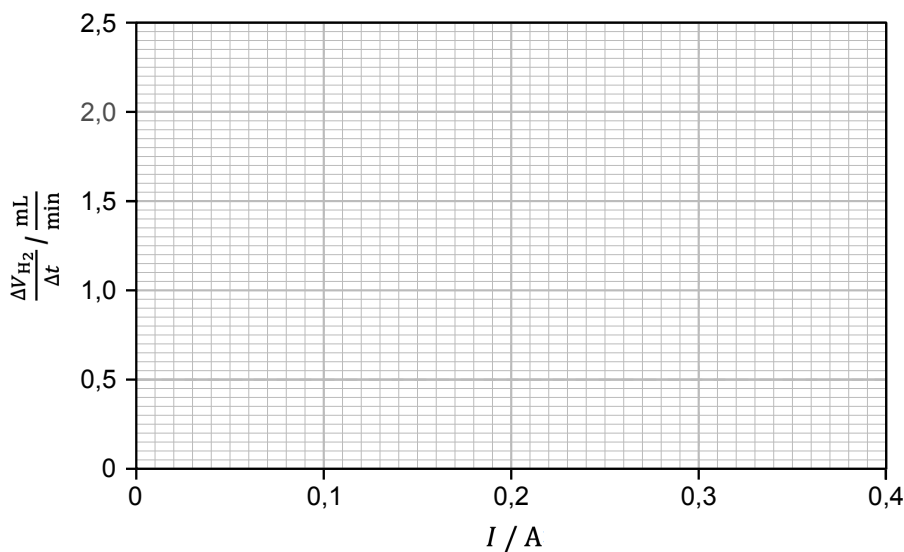
☐ 0
☐

☐ 0
☐ 1
☐

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

e) **Vervollständige** den Rechenweg entsprechend den Anweisungen i. – iv.

- i. **Zeichne** die gemessenen Wertepaare aus der Tabelle in das gegebene $\frac{\Delta V_{\text{H}_2}}{\Delta t}$ -I-Diagramm **ein**.



I / A	$\frac{\Delta V_{\text{H}_2}}{\Delta t} / \frac{\text{mL}}{\text{min}}$
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 .

☐ 0
☐
☐ 1
☐

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

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

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

☐	☐	☐	☐	☐	☐
Ideales Gasgesetz	Zeitgesetz o. Ordnung	NERNST-Gleichung	Geschwindigkeitsgesetz 1. Ordnung	FARADAY'sches Gesetz	GIBBS-HELMHOLTZ-Gleichung

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

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

☐ 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:

$$\Delta H_r = -286 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}; \quad \Delta S_r = -164 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}; \quad \Delta G_r = -237 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

f) **Berechne** den Betrag der Zersetzungsspannung ΔE_Z von Wasser bei 25 °C.

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

2-08

Eine Welt voll Wasserstoff, Teil III: Nur nicht unter Druck geraten!

20 Pt

Auch wenn die zuvor betrachtete Speicherung von Wasserstoff als Komponente einer festen Verbindung eine vielversprechende Technologie darstellt, wird Wasserstoff für die meisten Anwendungen einfach als Reinstoff in einem Tank gelagert. Für die *Innovative Concepts for Hydrogen Operations Inc.* (kurz *ICHO Inc.*) sollst du die Lagerung von gasförmigem bzw. flüssigem Wasserstoff in Tanks rechnerisch untersuchen.

Zunächst widmest du dich der technisch einfachsten Möglichkeit, gasförmigen Wasserstoff bei Atmosphärendruck ($p = 1013,25 \text{ hPa}$) und Umgebungstemperatur ($\vartheta = 22 \text{ °C}$) in einem Gastank mit dem Volumen $V_{\text{Tank}} = 20 \text{ m}^3$ zu speichern. Du beschließt, Wasserstoff zunächst als ideales Gas zu betrachten.

a) Welche Annahmen werden beim idealen Gasgesetz getroffen? Kreuze alle richtigen Antworten an .		☐ 0
☐	Gasteilchen besitzen kein Eigenvolumen.	☐ 1
☐	Gasteilchen werden als masselose Punkte betrachtet.	☐
☐	Zwischen Gasteilchen können elastische Stöße ablaufen.	
☐	Gasteilchen üben keine abstoßenden Kräfte aufeinander aus und kollidieren nicht miteinander.	
☐	Gasteilchen üben keine anziehenden Kräfte aufeinander aus.	

b) Berechne die Masse m_{H_2} von Wasserstoff, die unter diesen Bedingungen im Tank gespeichert ist.	☐ 0
	☐ 1
	☐
	☐
	☐

Die *ICHO Inc.* ist mit diesem Wert nicht zufrieden und möchte die Speicherdichte von Wasserstoff im Tank auf mindestens $\rho_{\text{H}_2} = 50 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ anheben.

c) Berechne den nötigen Druck p , um die vorgegebene Speicherdichte bei $\vartheta = 22 \text{ °C}$ zu erreichen.	☐ 0
	☐ 1
	☐
	☐ 2
	☐

--	--

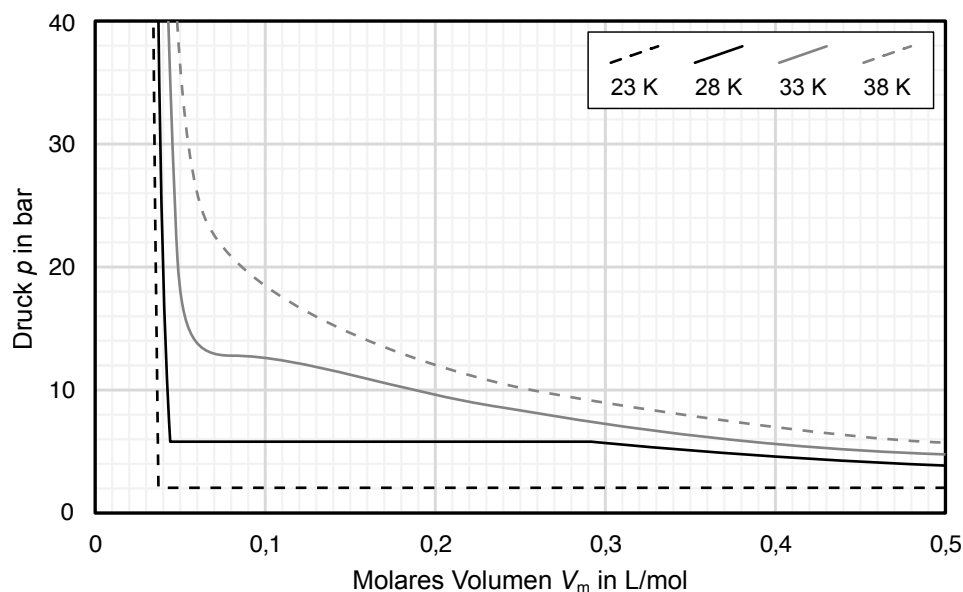
Völlig korrekt merkst du an, dass das ideale Gasgesetz bei hohen Drücken sehr ungenaue Ergebnisse liefert und stattdessen auf kubische Gasgesetze wie die VAN-DER-WAALS-Gleichung zurückgegriffen werden sollte:

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right) \cdot (V_m - b) = R \cdot T$$

Für Wasserstoff findest du in einem Tabellenwerk folgende Werte: $a = 2,47 \cdot 10^{-1} \frac{\text{bar} \cdot \text{L}^2}{\text{mol}^2}$ und $b = 2,66 \cdot 10^{-2} \frac{\text{L}}{\text{mol}}$. Mit den gegebenen Daten berechnest du erneut den nötigen Druck p , um die vorgegebene Speicherdichte von $\rho_{\text{H}_2} = 50 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ bei $\vartheta = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ zu erreichen.

d) <u>Vervollständige</u> den Rechenweg entsprechend den Anweisungen i. und ii.		
i.	<u>Berechne</u> das molare Volumen V_m des Wasserstoffs im Tank.	☐ 0 ☐ ☐ 1 ☐
➤ Weiter mit: $V_m = 0,050 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$		
ii.	<u>Berechne</u> mithilfe der VAN-DER-WAALS-Gleichung den benötigten Druck p im Tank in der Einheit bar.	☐ 0 ☐ ☐ 1 ☐ ☐ 2

Der benötigte Druck, um die gewünschte Speicherdichte bei Raumtemperatur zu erreichen, ist also sehr groß, was zu erheblichen Anforderungen an die Konstruktion des Tanks sowie hohen Investitionskosten führt. Eine sinnvolle Alternative ist daher, den Wasserstoff abzukühlen und bei Temperaturen um die -250 °C zu speichern. Folgend sind einige Isothermen von Wasserstoff bei verschiedenen Temperaturen in diesem Bereich gegeben.

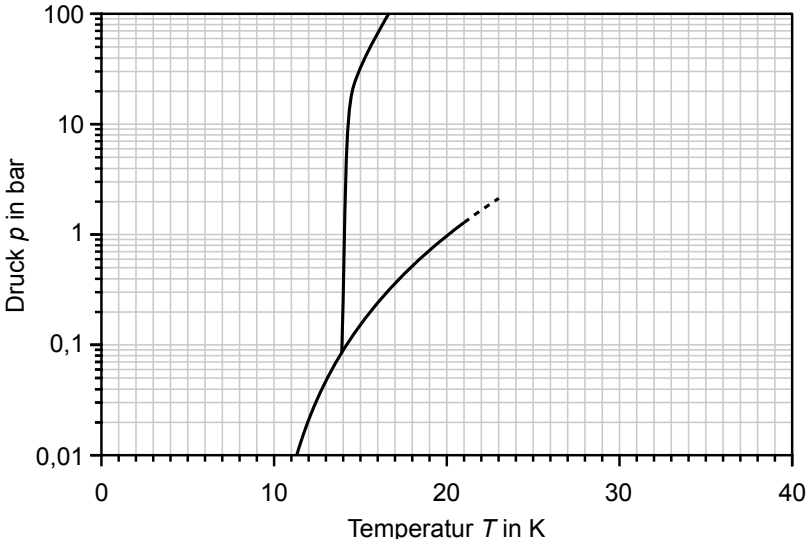


- e) **Berechne** die maximale Speicherdichte ρ_{H_2} von Wasserstoff, die mit gasförmigem Wasserstoff bei $T = 28\text{ K}$ erreicht werden kann. **Gib** den Druck p an, der dabei im Tank herrscht.
- ☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

Um die gewünschte Speicherdichte zu erreichen, muss Wasserstoff also zusätzlich verflüssigt werden. Bei der Verflüssigung wird Wasserstoff zunächst vorverdichtet und gekühlt, wobei er einen Druck von $p_1 = 66\text{ bar}$ und ein molares Volumen von $V_{\text{m},1} = 0,1\frac{\text{L}}{\text{mol}}$ erreicht (Zustand 1). Nach einem weiteren Prozessschritt erreicht der Wasserstoff schließlich die gewünschte Speicherdichte (Zustand 2), wobei sein Druck $p_2 = 2\text{ bar}$ und sein molares Volumen $V_{\text{m},2} = 0,05\frac{\text{L}}{\text{mol}}$ betragen.

- f) **Kreuze** alle Antworten an, die die Zustandsänderung von Zustand 1 zu Zustand 2 treffend beschreiben.
- | | |
|---|---|
| ☐ Der Wasserstoff wird komprimiert. | ☐ Der Wasserstoff wird entspannt. |
| ☐ Die Temperatur sinkt. | ☐ Die Temperatur steigt. |
| ☐ Der Wasserstoff kondensiert vollständig. | ☐ Der Wasserstoff kondensiert teilweise. |
- ☐ 0
☐
☐ 1
☐

Die Verflüssigung von Wasserstoff kann auch anhand eines Phasendiagramms gut nachvollzogen werden.

g) Vervollständige das Phasendiagramm von Wasserstoff entsprechend den Anweisungen. i. Nachfolgend ist ein Ausschnitt aus dem Phasendiagramm von Wasserstoff gegeben. Markiere im Diagramm den Tripelpunkt von Wasserstoff.  ii. Bestimme mithilfe der gegebenen Isothermen die kritischen Parameter von Wasserstoff und zeichne den kritischen Punkt in das Diagramm ein. iii. Bestimme mithilfe der Isothermen den Dampfdruck von Wasserstoff bei $T = 28 \text{ K}$ und zeichne den zugehörigen Punkt in das Diagramm ein. Skizziere den Verlauf der Siedekurve in das Diagramm. iv. Markiere im Diagramm (z.B. durch Schraffieren) den Bereich, der zu flüssigem Wasserstoff gehört.	☐ 0 ☐ ☐ 0 ☐ ☐ 1 ☐ 0 ☐ ☐ 1 ☐ 0 ☐ ☐ 1
---	--

Im Rahmen eines neuartigen Konzepts möchte die *ICHO Inc.* flüssigen Wasserstoff bei einer Temperatur von $T = 28 \text{ K}$ und einem Druck von $p = 20 \text{ bar}$ in einem mobilen Tank speichern, um ein Wasserstoffauto zu bauen. Du sollst nun abschließend ermitteln, wie groß der benötigte Tank für das Wasserstoffauto sein müsste, damit es die gleiche Reichweite wie ein herkömmliches Benzinauto erreicht. Bei deiner Recherche stößt du auf folgende Informationen:

- In einem Wasserstoffmotor wird Wasserstoff zunächst mit Umgebungswärme verdampft und dann an Luft zu Wasserdampf verbrannt. Die Reaktionsenthalpie beträgt dabei $\Delta H_r = -242 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ pro Mol Wasserstoff.
- Benzin besitzt eine Dichte von $\rho_B = 0,75 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$ und einen Heizwert von etwa $H_B = 41 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$. Letzterer gibt dabei die bei der Verbrennung freigesetzte Energie pro kg Benzin an.
- Ein herkömmliches Benzinauto besitzt einen Tank mit einem durchschnittlichen Volumen von $V_{\text{Tank,B}} = 50 \text{ L}$.
- Du kannst annehmen, dass beide Autos dieselbe Menge mechanische Energie pro 100 km verbrauchen und denselben Wirkungsgrad besitzen.

h) **Vervollständige** den Rechenweg entsprechend den Anweisungen i. und ii.

i. **Berechne** die Masse m_{H_2} , die der Tank des Wasserstoffautos fassen muss.

» Weiter mit: $m_{\text{H}_2} = 13,5 \text{ kg}$

ii. **Berechne** mithilfe der gegebenen Isothermen das Volumen $V_{\text{Tank, H}_2}$ des Tanks im Wasserstoffauto.

☐0
☐
☐1
☐
☐2
☐
☐3

☐0
☐
☐1
☐

Klausur – Musterlösung

zur 2. Runde des Auswahlverfahrens zur 58. IChO 2026
in Taschkent (Usbekistan)

Hinweise für die Korrektur (Änderungen ggü Vorversion gelb hinterlegt): Stand 21.11.25:

- Die Korrekturhinweise sind als roter Text sowie in Form roter Häkchen gegeben (✓ = 0,5 Pt.).
- Bei **Rechenaufgaben** wird jeweils ein Bewertungsvorschlag zur Verfügung gestellt. Die explizite Angabe von Zwischenergebnissen, Umformungen, etc. ist nicht unbedingt erforderlich, solange der Lösungsweg eindeutig nachvollziehbar ist. Vorhandensein und Richtigkeit der angegebenen Einheiten wird bewertet.
- In der gesamten Klausur gilt bei **Multiple-Choice-Fragen**, dass
 - Bei 1 richtiger Antwort laut Musterlösung pro falsches Kreuz 1 Pt. abgezogen wird
 - Bei 2 oder mehr richtigen Antworten pro falsches Kreuz 0,5 Pt. abgezogen werden.Pro Teilaufgabe bzw. Spalte (siehe z.B. 2-03 b)) sollen nicht weniger als 0 Pt. vergeben werden.
- Nur Endergebnisse, die höchstens eine **gültige Ziffer** weniger oder zwei gültige Ziffern mehr als die Musterlösung haben, werden mit voller Punktzahl bewertet. Für Endergebnisse mit einer falschen Zahl gültiger Stellen werden einmalig pro Teilaufgabe 0,5 Pt. abgezogen. Gültige Ziffern sind dabei die erste Ziffer ungleich 0 sowie alle darauf folgenden Ziffern (incl. 0). Beispiel 2-02 f): RICHTIG: 87 %, 87,4 % (wie Musterlösung), 87,35 %, 87,351 %. FALSCH: $9 \cdot 10^{-1} \%$, 87,3507 %, 87,35074 %, etc.

Bearbeitungshinweise für die Teilnehmenden:

- Diese Klausur umfasst **29 Seiten** mit insgesamt **8 Aufgaben**, einer **Formelsammlung** und einem **PSE**. Bitte kontrolliere am Anfang der Bearbeitungszeit, dass diese Angabe vollständig ist.

- Überprüfe am Anfang der Arbeitszeit, ob dein **Schülercode** sowie dein **Bundesland** auf diesem Deckblatt sowie auf allen Seiten der Klausur korrekt ist.
- 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, verstau 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.

☒ $\triangleq$ angekreuzt

☐ $\triangleq$ nicht angekreuzt

☒ $\triangleq$ angekreuzt

Formelsammlung

Stöchiometrie und Analytik			
Stoffmenge	$n = \frac{m}{M} = \frac{V}{V_m} = \frac{N}{N_A}$	Licht / Photonen	$v = \frac{E}{h} = \frac{c}{\lambda}$
Konzentration / Massenkonz.	$c = \frac{n}{V}; \quad \beta = \frac{m}{V}$	Massenanteil A in $A_a B_b$	$\omega_A = \frac{a \cdot M_A}{M_{A_a B_b}}$
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	$p_{ges} = p_A + p_B + \dots$

Thermodynamik			
Innere Energie	$\Delta U = C_V \cdot \Delta T$	Reaktionsenthalpie	$\Delta_r H^\circ = \sum \Delta_f H^\circ_{\text{Produkte}} - \sum \Delta_f H^\circ_{\text{Edukte}}$
Enthalpie	$H = U + pV$ $\Delta H = C_p \cdot \Delta T$	Reaktionsentropie	$\Delta_r S^\circ = \sum S^\circ_{\text{Produkte}} - \sum S^\circ_{\text{Edukte}}$
Freie Enthalpie	$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \cdot \Delta S^\circ$	GIBBS'sche Phasenregel	$f = K - P + 2$

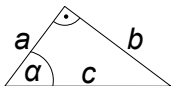
Gleichgewichte			
Massenwirkungsgesetz $a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$	$K = \frac{a_C^c \cdot a_D^d}{a_A^a \cdot a_B^b}$	Löslichkeitsprodukt $A_a B_b \rightleftharpoons a A^{x+} + b B^{y-}$	$K_L = c_{A^{x+}}^a \cdot c_{B^{y-}}^b$
Vereinfachungen für die Aktivität a_X :	- Feststoffe und Flüssigkeiten: $a_X = 1$ - Verdünnte Lösungen: $a_X \approx \frac{c_X}{c_0}; c_0 = 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ - Gase: $a_X \approx \frac{p_X}{p_0}; p_0 = 1 \text{ bar}$	Freie Enthalpie	$\Delta G^\circ = -R \cdot T \cdot \ln(K)$

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

Organische Chemie	
Doppelbindungsäquivalent $C_c N_n H_h O_o X_x$ ($X = \text{Halogen}$)	$DB\ddot{A} = \frac{2 \cdot c + n - h - x + 2}{2}$

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

Kinetik			
Reaktionsgeschwindigkeit	$r = \frac{1}{\nu_i} \frac{dc_i}{dt}$	Zeitgesetze: o. Ordnung $c = c_0 - k \cdot t$ 1. Ordnung $c = c_0 \cdot e^{-k \cdot t}$ 2. Ordnung $c^{-1} = c_0^{-1} + k \cdot t$	
Geschwindigkeitsgesetz	$r = k \cdot c_A^x \cdot c_B^y \cdot \dots$		
ARRHENIUS-Gleichung	$k = A \cdot e^{-\frac{E_A}{R \cdot T}}$		

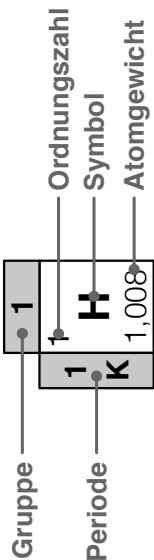
Mathematik			
Kugel	$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$ $A = 4 \pi \cdot r^2$	Quadratische Gleichung $a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0$	$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$
Rechtwinkliges Dreieck	$a^2 + b^2 = c^2$  $\sin(\alpha) = \frac{b}{c}; \cos(\alpha) = \frac{a}{c}; \tan(\alpha)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

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

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

PSE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 K	2 H	3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	72 Hf
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	104 Rf

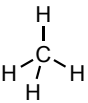
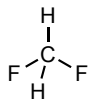
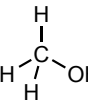
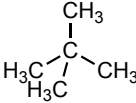
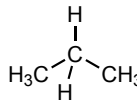
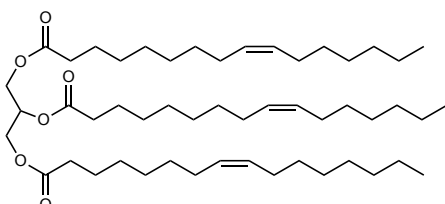
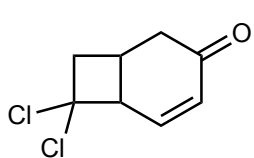


Actinoide

Lanthanoide

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.

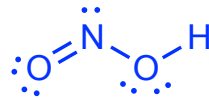
a) Beim radioaktiven Zerfall von Kalium-40 wird im Kern ein Proton in ein Neutron umgewandelt. Welches Isotop entsteht bei diesem Zerfall?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	X✓✓	☐	☐	☐	
^{40}Ca	^{40}Ar	^{39}Ca	^{39}Ar	^{41}Ca	
b) In welcher Anordnung sind die Elemente nach steigendem Atomradius sortiert?					☐ 0 ☐ ☐ 1
X✓	☐	☐	X✓	☐	
$\text{N} < \text{P} < \text{Al}$	$\text{O} < \text{Se} < \text{Kr}$	$\text{B} < \text{P} < \text{F}$	$\text{Cl} < \text{S} < \text{Si}$	$\text{Si} < \text{O} < \text{K}$	
c) In Mangan(II,III)-oxid (Mn_3O_4) kommen sowohl Mn^{2+} -, als auch Mn^{3+} -Ionen vor. In welchem Mengenverhältnis stehen diese zueinander?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	X✓✓	☐	☐	☐	
$\frac{N_{\text{Mn}^{2+}}}{N_{\text{Mn}^{3+}}} = 1$	$\frac{N_{\text{Mn}^{2+}}}{N_{\text{Mn}^{3+}}} = \frac{1}{2}$	$\frac{N_{\text{Mn}^{2+}}}{N_{\text{Mn}^{3+}}} = 2$	$\frac{N_{\text{Mn}^{2+}}}{N_{\text{Mn}^{3+}}} = \frac{1}{3}$	$\frac{N_{\text{Mn}^{2+}}}{N_{\text{Mn}^{3+}}} = 3$	
d) Die Abbildung zeigt den Verlauf der Stoffmengen der Edukte und Produkte einer chemischen Reaktion. Wie lautet die zugehörige Reaktionsgleichung?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	X✓✓	☐	☐	
$\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C}$	$\text{A} + 2 \text{B} \rightarrow \text{C}$	$\text{A} + \text{B} \rightarrow 2 \text{C}$	$\text{A} + 2 \text{B} \rightarrow 2 \text{C}$	$2 \text{A} + 2 \text{B} \rightarrow \text{C}$	
e) Welches der Salze ist bei Raumtemperatur gut löslich in Wasser ($> 10 \text{ g/L}$)?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	X✓✓	☐	☐	☐	
Ag_2O	AgNO_3	AgCl	AgBr	AgI	
f) Welches Element verursacht eine grüne Flammenfärbung?					☐ 0 ☐ ☐ 1
X✓	☐	☐	☐	X✓	
Cu	Li	K	Sr	Ba	
g) Ein thermodynamischer Prozess mit $\Delta H = 10 \text{ kJ}$ und $\Delta S = 30 \frac{\text{J}}{\text{K}}$, der bei $T = 300 \text{ K}$ abläuft, ist...					☐ 0 ☐ ☐ 1
X✓	☐	X✓	☐	☐	
endotherm	exotherm	endergon	spontan	exergon	
h) Wenn bei einem idealen Gas p größer wird, aber n und T gleich bleiben, dann...					☐ 0 ☐ ☐ 1
X✓	☐	☐	☐	X✓	
wird V kleiner.	wird V größer.	ändert sich R .	ändert sich U .	bleibt H gleich.	

i) Wie lautet die Einheit der Geschwindigkeitskonstante bei einer Reaktion 1. Ordnung?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	X✓✓	☐	
$\frac{\text{mol}}{\text{L}\cdot\text{s}}$	$\frac{\text{mol}}{\text{L}\cdot\text{s}^2}$	$\frac{\text{L}}{\text{mol}\cdot\text{s}}$	$\frac{1}{\text{s}}$	$\frac{\text{mol}\cdot\text{s}}{\text{L}}$	
j) Wo läuft in einer galvanischen Zelle beim Entladen die Oxidation ab?					☐ 0 ☐ ☐ 1
X✓	☐	☐	☐	X✓	
Anode	Kathode	Separator	Pluspol	Minuspole	
k) Welche Verbindung besitzt den höchsten Siedepunkt?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	X✓✓	☐	☐	
					
l) Wie lautet die Summenformel der Verbindung 1,3,5-Trimethylcyclohexan?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	☐	☐	X✓✓	☐	
C ₆ H ₁₀	C ₆ H ₁₂	C ₉ H ₁₆	C ₉ H ₁₈	C ₉ H ₂₀	
m) In welchem Produkt des Alltags kommt die nebenstehend gezeigte Verbindung am ehesten vor?					☐ 0 ☐ ☐ 1
					
☐	X✓✓	☐	☐	☐	
Papier	Rapsöl	Puderzucker	Polyethylen (Plastik)	Proteinpulver	
n) Wie groß ist die molare Masse des Reaktionsprodukts, wenn ein Alkohol mit $M = 46 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ und eine Carbonsäure mit $M = 88 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ miteinander verestert werden?					☐ 0 ☐ ☐ 1
☐	X✓	X✓	☐	☐	
$134 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	$18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	$116 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	$118 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	$180 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$	
o) Wie viele Doppelbindungsäquivalente besitzt die nebenstehend gezeigte Verbindung?					☐ 0 ☐ ☐ 1
					
☐	☐	☐	X✓✓	☐	
1	2	3	4	5	

Bei 1 richtiger Antwort: –1 Pt. je falsches Kreuz, nicht weniger als 0 Pt. pro Teilaufgabe

Bei 2 richtigen Antworten: –0,5 Pt. je falsches Kreuz, nicht weniger als 0 Pt. pro Teilaufgabe

- a) Zeichne die LEWIS-Formel von salpetriger Säure (HNO_2) und gib die Oxidationszahl des Stickstoffatoms an.



✓✓ (Elektronenpaare dürfen als Doppelpunkte oder Striche dargestellt werden)

Oxidationszahl: +3 / +III ✓✓

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

- b) Bei der Reduktion von Eisen(III)-oxid im Hochofen läuft unter anderem auch folgende Reaktion ab:
 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{H}_2\text{O}$
Berechne die Masse m_{H_2} des Wasserstoffs, der zur Herstellung von $m_{\text{Fe}} = 1 \text{ t}$ Eisen benötigt wird.

Verhältnis der Stoffmengen aufstellen und (molare) Massen einsetzen:

$$\frac{2}{3} = \frac{n_{\text{Fe}}}{n_{\text{H}_2}} = \frac{m_{\text{Fe}} \cdot M_{\text{H}_2}}{M_{\text{Fe}} \cdot m_{\text{H}_2}}$$

Umformen, Werte einsetzen und Ergebnis berechnen:

$$m_{\text{H}_2} = \frac{3 \cdot M_{\text{H}_2} \cdot m_{\text{Fe}}}{2 \cdot M_{\text{Fe}}} = \frac{3 \cdot 2,016 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 1000 \text{ kg}}{2 \cdot 55,845 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 54,1 \text{ kg}$$

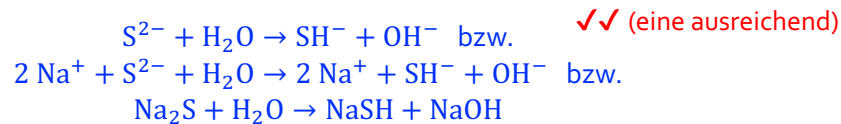
✓ (Endergebnis korrekt)

✓✓✓ (Rechenweg nachvollziehbar und korrekt, nicht notwendigerweise genau wie hier vorgeschlagen)

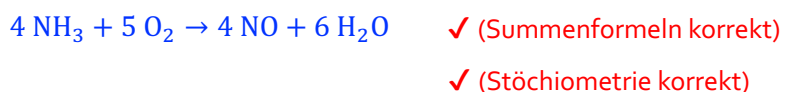
☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

- c) Gib an, wie sich der pH-Wert einer wässrigen Lösung durch das Lösen von Natriumsulfid (Na_2S) ändert. Stelle eine Reaktionsgleichung auf, die die Beobachtung erklärt.

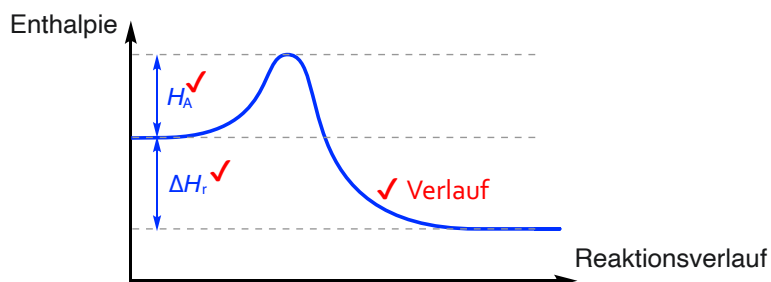
Der pH-Wert steigt. ✓✓


☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

- d) Beim OSTWALD-Verfahren wird Ammoniak bei hohen Temperaturen mit Sauerstoff verbrannt, wobei Stickstoffmonoxid und Wasser gebildet werden. Gib für diese Reaktion eine ausgeglichene Reaktionsgleichung an.


☐ 0
☐
☐ 1

- e) **Skizziere** in das vorgegebene Diagramm den Enthalpieverlauf einer exothermen Reaktion und **zeichne** die Aktivierungsenthalpie H_A und die Reaktionsenthalpie ΔH_r **ein**.



- f) **Berechne** den Massenanteil w_{Halogene} der Halogenatome in der Verbindung CHCl_2F .

Berechnung der molaren Massen:

$$M_{\text{Halogene}} = 2 \cdot M_{\text{Cl}} + M_{\text{F}} = 89,904 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M_{\text{CHCl}_2\text{F}} = M_{\text{C}} + M_{\text{H}} + 2 \cdot M_{\text{Cl}} + M_{\text{F}} = 102,923 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

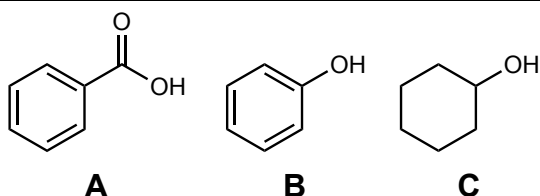
Berechnung des Massenanteils über die molaren Massen:

$$w_{\text{Halogene}} = \frac{M_{\text{Halogene}}}{M_{\text{CHCl}_2\text{F}}} = \frac{89,904 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{102,923 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 87,4 \%$$

✓ (Endergebnis korrekt)

✓✓✓ (Rechenweg nachvollziehbar und korrekt, explizite Angabe der Zwischenergebnisse nicht notwendig)

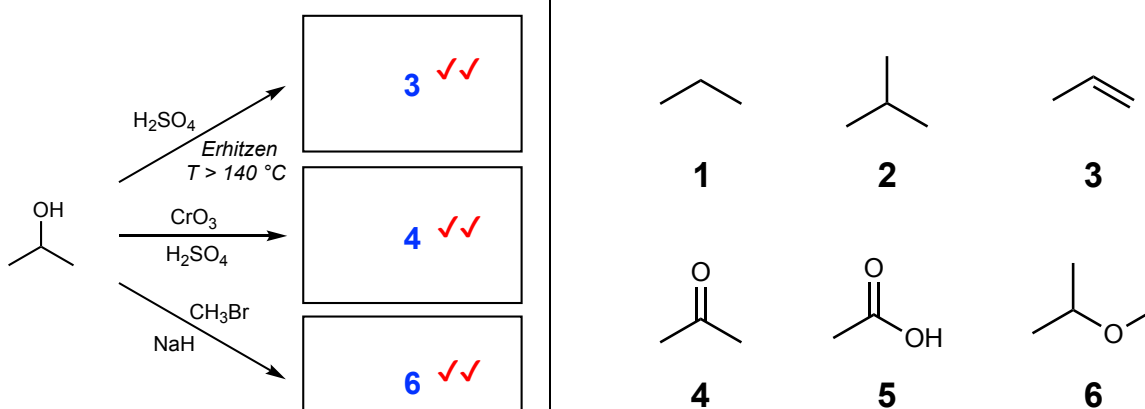
- g) **Ordne** die Verbindungen **A**, **B** und **C** nach zunehmender Säurestärke.



Zunehmende Säurestärke:

C < **B** < **A**
 ✓✓✓ (Punkte nur bei vollständig richtiger Antwort, keine Teilpunkte)

- h) Die Abbildung zeigt typische Reaktionen von sekundären Alkoholen. **Ordne** den Reaktionsbedingungen jeweils das entstehende organische Hauptprodukt **1 – 6 zu**.



Die Synthese organischer Verbindungen ist eine wichtige Disziplin der organischen Chemie. Ein guter erster Schritt bei der Planung einer Synthese ist es, die funktionellen Gruppen der gewünschten Zielverbindung zu betrachten, wie im Folgenden an der Verbindung Ambroxol, einem Wirkstoff aus Hustenmedikamenten, gezeigt werden soll.

a) **Markiere** für jede der folgend genannten funktionellen Gruppen ein Beispiel in der Struktur von Ambroxol.

Halogensgruppe	Hydroxygruppe	Prim. Aminogruppe	Sek. Aminogruppe

☐ 0
☐ 1
☐ 2

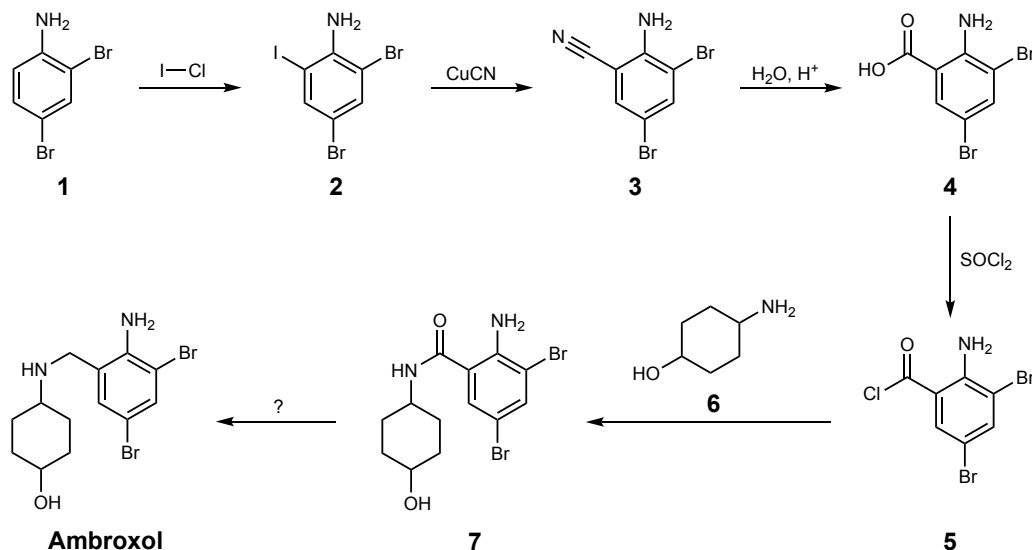
Neben den klassischen funktionellen Gruppen sind auch größere Strukturelemente wichtige Faktoren bei der Planung einer Synthese. Bei Ambroxol ist z. B. auffällig, dass es zwei 6-Ringe aus Kohlenstoffatomen gibt.

b) **Kreuze** jeweils an, auf welche(n) der 6-Ringe im Ambroxol die Aussagen zutreffen.

In diesem 6-Ring sind die C-Atome planar angeordnet.	In diesem 6-Ring sind alle C-Atome sp^3 -hybridisiert.	Dieser 6-Ring ist besonders stabil, da er aromatisch ist.	In diesem 6-Ring betragen die C-C-Bindungswinkel 115° .
☐	☒	☐	☐
☒	☐	☒	☐
☐ Keiner von beiden	☐ Keiner von beiden	☐ Keiner von beiden	☒ Keiner von beiden

☐ 0
☐ 1
☐ 2

Folgendes Schema zeigt eine mögliche Synthese von Ambroxol ausgehend von Verbindung **1**.



c) **Ordne** den angegebenen Syntheseschritten jeweils den richtigen Reaktionstyp **zu**, indem du **ankreuzt**.
Hinweis: Jeder Reaktionstyp muss genau einmal zugeordnet werden.

	Hydrolyse eines Nitrils	Elektrophile aromatische Substitution	Nucleophile aromatische Substitution	Amidbildung
1 → 2	☐	☒ ✓✓	☐	☐
2 → 3	☐	☐	☒ ✓✓	☐
3 → 4	☒ ✓✓	☐	☐	☐
5 + 6 → 7	☐	☐	☐	☒ ✓✓

d) **Zeichne** jeweils die stabilste LEWIS-Struktur von Chloriod (ICl) und dem Cyanid-Ion (CN⁻). **Gib** für beide Verbindungen **an**, welche Partialladungen (positiv oder negativ) die Atome jeweils tragen.

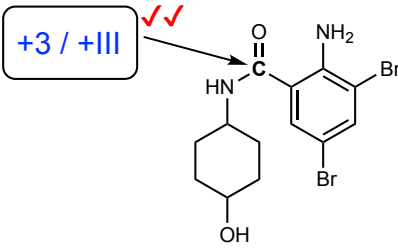
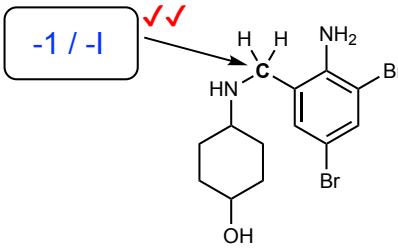
ICl  Chlor: δ ⁻ (negative Partialladung) ✓ Iod: δ ⁺ (positive Partialladung) ✓	CN ⁻  Stickstoff: δ ⁻ (negative Partialladung) ✓ Kohlenstoff: δ ⁻ (negative Partialladung) ✓ ✓ (Bei Kohlenstoff auch als korrekt zu werten: positive Partialladung, keine Partialladung)
--	--

e) Warum wird Verbindung **4** im Schritt **4** → **5** zu einem Carbonsäurechlorid umgesetzt? **Kreuze** die korrekte Antwort **an**.

☐	Die Laborsicherheit wird verbessert, da freie Carbonsäuren stark ätzend wirken.
☐	Dadurch wird im Schritt 5 + 6 → 7 anstelle von Wasser Salzsäure als Nebenprodukt freigesetzt, welche die Reaktion zu 7 katalysiert und die Produktbildung begünstigt.
☐	Aromatische Carbonsäuren zersetzen sich schnell unter Abgabe von CO ₂ , was durch die Substitution eines Sauerstoffatoms durch Chlor verhindert wird.
☒ ✓✓	Carbonsäurechloride sind deutlich reaktiver für Substitutionen an der Acylgruppe im Vergleich zu Carbonsäuren.

Beim letzten Schritt der Synthese, **7** → Ambroxol, handelt es sich um eine Redoxreaktion.

f) **Bestimme** die Oxidationszahlen des fett markierten Kohlenstoffatoms in **7** und Ambroxol und **kreuze an**, ob für den Schritt ein Oxidations- oder ein Reduktionsmittel benötigt wird.

		Es wird ein... ☐ Oxidationsmittel ☒ ✓✓ Reduktionsmittel ...benötigt.
---	---	--

Die Summenformel $C_6H_{12}O_6$ spielt in der organischen Chemie eine besondere Rolle, da es mehrere tausend Konstitutionsisomere gibt, von denen manche eine herausragende Bedeutung haben.

a) **Kreuze** alle Strukturen an, bei denen es sich um Konstitutionsisomere von $C_6H_{12}O_6$ handelt.

☐	☐	☒ ☒	☐	☒ ☒

Berücksichtigt man zusätzlich noch Stereoisomere, gibt es noch weitaus mehr Isomere mit der Summenformel $C_6H_{12}O_6$.

b) **Kreuze** für jedes der folgenden Paare von Isomeren an, in welchem stereochemischen Verhältnis diese zueinander stehen bzw. ob sie identisch sind.

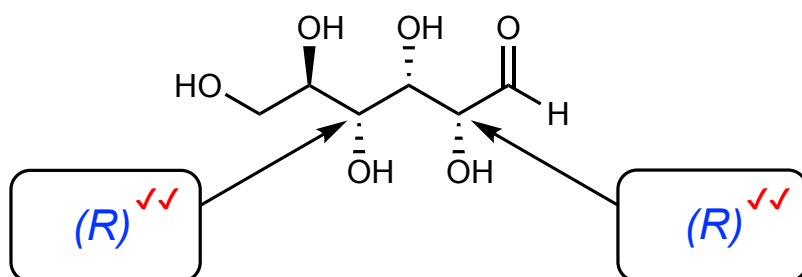
☒ ☒	☐ ☐	☐ ☐
☒ Enantiomere	☐ Enantiomere	☐ Enantiomere
☐ Diastereomere	☐ Diastereomere	☒ ☒
☐ Identisch	☒ ☒	☐ Identisch

Die wohl bedeutendsten Vertreter der Summenformel $C_6H_{12}O_6$ sind die Aldohexosen, also eine Gruppe von Kohlenhydraten, zu denen unter anderem die D-Glucose gehört.

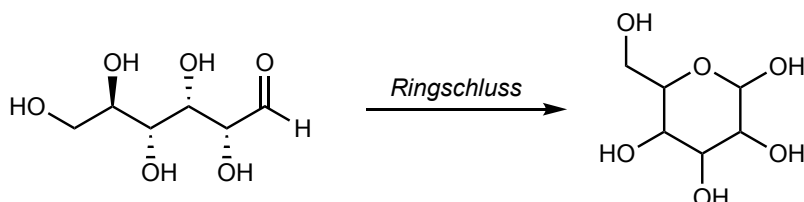
c) **Markiere** in der gegebenen Strukturformel einer Aldohexose alle asymmetrisch substituierten Kohlenstoffatome mit einem Sternchen *. **Gib an**, wie viele Stereoisomere die Struktur besitzt.

	Anzahl Stereoisomere: Mit $N = 4$ Stereozentren folgt für die Anzahl der Stereoisomere: $2^N = 2^4 = 16$ ☒ ☒ (Folgefehler werden gewertet)
--	--

d) **Bestimme** die absolute Konfiguration der beiden markierten Stereozentren in D-Glucose gemäß der R/S-Nomenklatur.



D-Glucose kann eine intramolekulare Ringschlussreaktion eingehen, wobei D-Glucopyranose gebildet wird.



e) **Kreuze an**, wie viele und welcher Typ Stereoisomere von D-Glucopyranose bei der gezeigten Ringschlussreaktion gebildet werden.

- | | |
|--|---|
| ☐ Ein einzelnes Stereoisomer | ☐ Zwei Enantiomere |
| ☒ Zwei Diastereomere | ☐ Vier Diastereomere |
| ☐ Vier Stereoisomere: zwei Paare von Enantiomeren | |

Weitere Vertreter der Summenformel C₆H₁₂O₆ sind die Inosite, bei denen es sich um cyclische Hexole handelt, also Cyclohexan-Derivate mit sechs Hydroxygruppen. Durch ihre hohe Symmetrie weisen die Inosite eine interessante Stereochemie auf: Trotz der sechs Stereozentren gibt es lediglich neun verschiedene Stereoisomere.

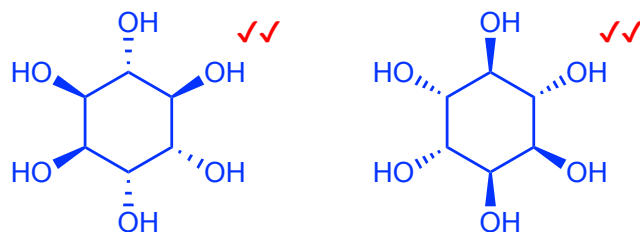
f) **Kreuze** für jedes der folgenden Inosite jeweils **an**, ob es eine (oder mehrere) Spiegelebenen, ein Inversionszentrum oder nichts von beiden gibt.

☒ Spiegelebene	☒ Spiegelebene	☒ Spiegelebene	☐ Spiegelebene
☐ Inversionszentrum	☒ Inversionszentrum	☐ Inversionszentrum	☐ Inversionszentrum
☐ Nichts von beiden	☐ Nichts von beiden	☐ Nichts von beiden	☒ Nichts von beiden

-0,5 Pt. pro falsches Kreuz, nicht weniger als 0 Pt. pro Spalte

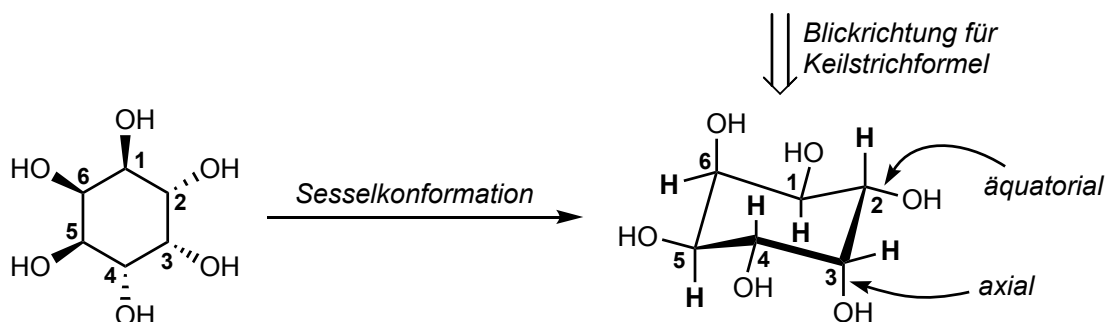
Von den neun Stereoisomeren von Inosit sind zudem lediglich zwei optisch aktiv.

g) **Zeichne** die Keilstrichformeln der beiden optisch aktiven Inosite und gib an, in welchem stereochemischen Verhältnis diese zueinander stehen.



Es handelt sich um Enantiomere. ✓

Wie alle Cyclohexan-Derivate nehmen die Inosite eine zick-zack-förmige Konformation ein, die aufgrund ihrer Form als Sesselkonformation bezeichnet wird. Die Substituenten können dabei entweder in der Ringebene liegen (äquatoriale Stellung) oder senkrecht darauf stehen (axiale Stellung), wie in der Abbildung verdeutlicht ist. Die Sesselkonformation ist am günstigsten, wenn sich möglichst viele Hydroxygruppen in einer äquatorialen Stellung befinden.



h) **Zeichne** für die folgenden beiden Inosite jeweils die Keilstrichformel bzw. **vervollständige** die gegebene Sesselkonformation, indem du die fehlenden Substituenten einzeichnest.

Keilstrichformel	Sesselkonformation

0
1
2

0
1
2

Mittels NMR-Spektroskopie ist es möglich, die einzelnen Stereoisomere von Inosit analytisch zu unterscheiden. Im ^1H -NMR-Spektrum können dabei Signale für die sechs fett gedruckten Wasserstoffatome in der Abbildung auf der vorherigen Seite beobachtet werden. Direkt benachbarte Wasserstoffatome sind im Spektrum miteinander verkoppelt, wobei man abhängig davon, ob sich die Wasserstoffatome in einer axialen oder äquatorialen Stellung befinden, zwischen axial-axial-, äquatorial-äquatorial- und axial-äquatorial-Kopplungen unterscheiden kann.

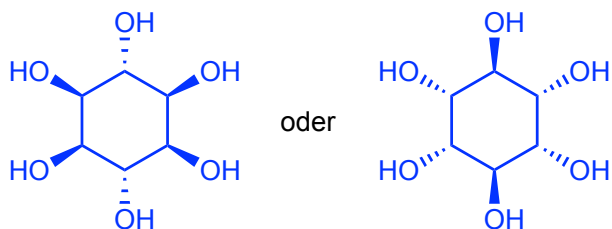
Für zwei verschiedene Isomere **A** und **B** von Inosit wurden auf diese Weise die in der Tabelle gegebenen Kopplungsmuster bestimmt. Die Zahlen stehen dabei dafür, wie oft die jeweilige Art von Kopplung in einem Molekül vorkommt.

Kopplung	Isomer A	Isomer B
axial-axial	2	1
äquatorial-äquatorial	2	1
axial-äquatorial	2	4

i) **Zeichne** die Keilstrichformeln der Isomere **A** und **B** von Inosit.

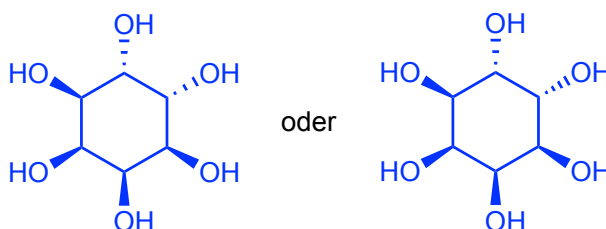
Isomer A

✓✓✓ (keine Teilpunkte)

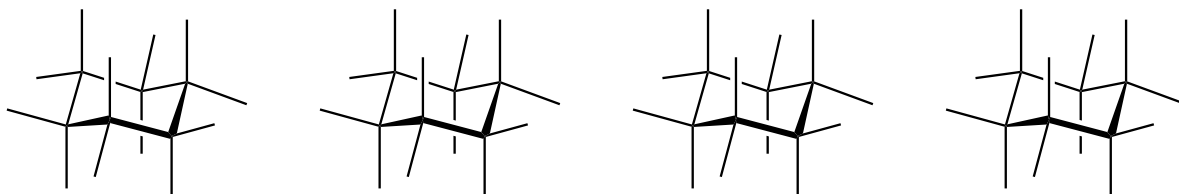


Isomer B

✓✓✓ (keine Teilpunkte)



Platz für Notizen (nicht bewertet):

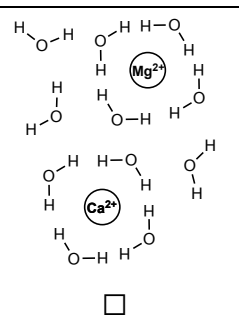
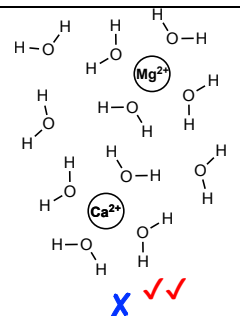
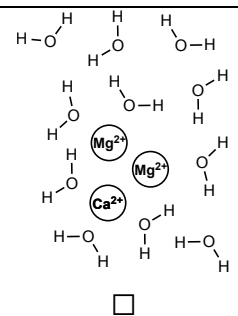
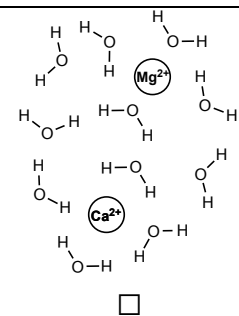


- ☐ 0
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3

Die Wasserhärte ist bei einigen Anwendungen ein wichtiges Qualitätskriterium für Wasser. Im chemischen Sinne versteht man unter der Wasserhärte den Gesamtgehalt an Erdalkalimetallionen im Wasser.

a) Vervollständige den Lückentext, indem du jeweils alle richtigen Begriffe ankreuzt .				☐ 0
Die Erdalkalimetalle bilden im Periodensystem die <u>(1)</u> , da sie in ihrer Valenzschale nur zwei Elektronen in einem <u>(2)</u> besitzen. Sie sind in ihrer elementaren Form starke <u>(3)</u> . Im Vergleich zu den Alkalimetallen derselben Periode besitzen die Erdalkalimetalle eine(n) höhere(n) <u>(4)</u> .				☐ 1
<u>Lücke (1)</u>	<u>Lücke (2)</u>	<u>Lücke (3)</u>	<u>Lücke (4)</u>	☐ 2
☒ Gruppe 2	☒ s-Orbital	☐ Oxidationsmittel	☒ Elektronegativität	☐ 3
☒ 2. Hauptgruppe	☐ p-Orbital		☐ Atomradius	
☐ 2. Untergruppe	☐ d-Orbital	☒ Reduktionsmittel	☒ Ionisierungsenergie	
☐ 2. Nebengruppe	☐ f-Orbital		☐ Ionenradius	

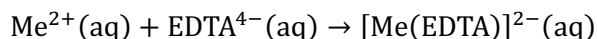
Praktisch kommen in Wasser jedoch fast nur gelöste Magnesium- und Calciumionen natürlich vor.

b) Kreuze an , welche Skizze die Anordnung von Mg^{2+} - und Ca^{2+} -Ionen in wässriger Lösung schematisch korrekt wiedergibt.				☐ 0
				☐ 1
☐	☒	☐	☐	

Die Wasserhärte wird beeinflusst durch ein Netzwerk von Gleichgewichtsreaktionen, das vor allem aus Fällungs- und Säure-Base-Reaktionen besteht. So können z. B. Ca^{2+} -Ionen mit gelösten Sulfationen zu schwerlöslichem Gips ($CaSO_4$) reagieren (Reaktion 1). Gelöste Kohlensäure (H_2CO_3) reagiert unter Abgabe eines Protons an Wasser zu Hydrogencarbonationen (HCO_3^- , Reaktion 2), welche mit Ca^{2+} -Ionen zu unlöslichem Kalk ($CaCO_3$) reagieren können, wobei Kohlensäure als Nebenprodukt entsteht (Reaktion 3).

c) Gib ausgeglichene Ionengleichungen mit Aggregatzuständen für die Reaktionen 1 – 3 an und kreuze jeweils an , ob es sich um eine Fällungsreaktion oder eine Säure-Base-Reaktion handelt.		☐ 0
In der ganzen Teilaufgabe c): -0,5 Pt., falls Aggregatzustände falsch		☐ 1
① $Ca^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) \rightarrow CaSO_4(s)$ ✓✓	☒ Fällungsreaktion	☐ 2
	☐ Säure-Base-Reaktion	☐ 3
② $H_2CO_3(aq) + H_2O(l) \rightarrow HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq)$ ✓✓	☐ Fällungsreaktion	☐ 4
	☒ Säure-Base-Reaktion	☐ 5
③ $Ca^{2+}(aq) + 2 HCO_3^-(aq) \rightarrow CaCO_3(s) + H_2CO_3(aq)$ ✓✓	☒ Fällungsreaktion	
	☒ Säure-Base-Reaktion	

Experimentell kann die Wasserhärte einer Wasserprobe mit einer komplexometrischen Titration mit dem Reagenz EDTA bestimmt werden, wobei Erio-T als Indikator fungiert. Zwischen dem Anion EDTA^{4-} und Mg^{2+} sowie Ca^{2+} , welche folgend zusammen als Me^{2+} bezeichnet werden, läuft dabei folgende Reaktion ab:



d) Die Abbildung zeigt den Aufbau der Titration vor Beginn. **Ordne** allen Begriffen den korrekten Marker **i – iv zu**. Ordne EDTA und Erio-T dabei der Lösung zu, in der sie anfangs gelöst sein sollten.

	Begriffe: Erlenmeyerkolben, Maßlösung, Bürette, Probelösung, EDTA, Erio-T	
	i	Bürette
	ii	Maßlösung, EDTA
	iii	Erlenmeyerkolben
	iv	Probelösung, Erio-T

✓ (Bürette und Erlenmeyerkolben richtig)

✓ (Maßlösung und Probelösung richtig)

✓ (EDTA richtig)

✓ (Erio-T richtig)

Eine Leitungswasserprobe mit dem Volumen $V_0 = 100 \text{ mL}$ wird auf diese Weise mit EDTA-Lösung der Konzentration $c_{\text{EDTA}} = 10,0 \frac{\text{mmol}}{\text{L}}$ titriert, wobei $V_{\text{EDTA}} = 19,2 \text{ mL}$ bis zum Äquivalenzpunkt verbraucht werden.

e) **Berechne** die Konzentration $c_{\text{Me}^{2+}}$ der Mg^{2+} - und Ca^{2+} -Ionen in der Leitungswasserprobe.

Äquivalenz der Stoffmengen von Me^{2+} und EDTA:

$$c_{\text{Me}^{2+}} \cdot V_0 = c_{\text{EDTA}} \cdot V_{\text{EDTA}} \quad \checkmark \checkmark$$

Aufgelöst nach $c_{\text{Me}^{2+}}$:

$$c_{\text{Me}^{2+}} = \frac{c_{\text{EDTA}} \cdot V_{\text{EDTA}}}{V_0} = \frac{10,0 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \cdot 19,2 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} = 1,92 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \quad \checkmark$$

➔ Weiter mit: $c_{\text{Me}^{2+}} = 2,00 \frac{\text{mmol}}{\text{L}}$

Die Wasserhärte wird oft in Grad Deutscher Härte ($^\circ\text{dH}$) angegeben, wobei 1°dH bedeutet, dass die Stoffmenge an Mg^{2+} - und Ca^{2+} -Ionen pro Liter Wasser der Stoffmenge von Ca^{2+} -Ionen in $10,0 \text{ mg}$ Calciumoxid (CaO) entspricht.

f) **Berechne** die Wasserhärte der Leitungswasserprobe in $^\circ\text{dH}$.

1°dH entspricht einer Me^{2+} -Konzentration von

$$c_{1^\circ\text{dH}} = \frac{10,0 \text{ mg}}{1 \text{ L} \cdot M_{\text{CaO}}} = \frac{10,0 \text{ mg}}{1 \text{ L} \cdot 56,077 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,178 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \quad \checkmark$$

Damit gilt für den Härtegrad der Leitungswasserprobe:

$$\frac{2,00 \frac{\text{mmol}}{\text{L}}}{0,178 \frac{\text{mmol}}{\text{L}}} = 11,2 \Rightarrow 11,2^\circ\text{dH} \quad \checkmark$$

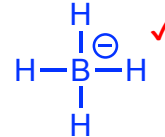
Wasserstoff wird eine zentrale Rolle bei der Umstellung des Energiesektors und der chemischen Industrie auf eine nachhaltige Energieversorgung zugeschrieben. Eine besondere Herausforderung ist dabei jedoch die Speicherung des gasförmigen, leicht flüchtigen Wasserstoffs. Einen möglichen Lösungsansatz stellt die Speicherung in Form von Hydridsalzen wie Magnesiumhydrid (MgH_2) oder Natriumborhydrid (NaBH_4) dar.

a) **Zeichne** jeweils die LEWIS-Formel der Anionen in MgH_2 und NaBH_4 .

MgH_2



NaBH_4

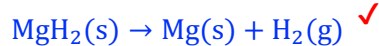


☐ 0
☐
☐ 1

Der Wasserstoff kann unterschiedlich aus den betrachteten Verbindungen zurückgewonnen werden. Während MgH_2 seinen Wasserstoff durch eine geeignete Temperaturbehandlung abgibt, wird der Wasserstoff in NaBH_4 durch eine Hydrolysereaktion freigesetzt, bei der festes Natriummetaborat (NaBO_2) als Nebenprodukt entsteht.

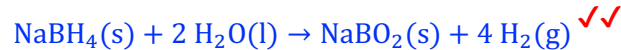
b) **Gib** für MgH_2 und NaBH_4 ausgeglichene Reaktionsgleichungen mit Aggregatzuständen für die Freisetzung von Wasserstoff an.

MgH_2



(In der gesamten Teilaufgabe b): -0,5 P. bei falschen Aggregatzuständen)

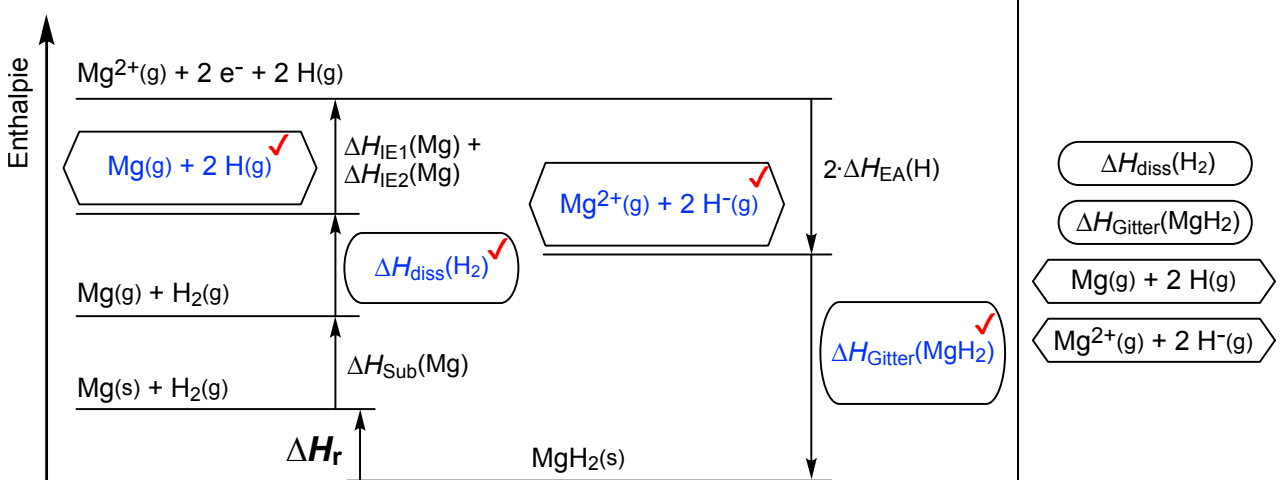
NaBH_4



☐ 0
☐
☐ 1
☐

Ähnlich wie für die Bildung von MgH_2 kann auch für die Freisetzung von Wasserstoff aus MgH_2 ein BORN-HABER-Kreisprozess aufgestellt werden. Die Reaktionsenthalpie der Zersetzungsreaktion wird dabei mit ΔH_r bezeichnet.

c) **Vervollständige** das Schema zum BORN-HABER-Kreisprozess für die Freisetzung von Wasserstoff aus MgH_2 , indem du die Schnipsel aus der rechten Spalte in die passenden Lücken einträgst.



☐ 0
☐
☐ 1
☐ 2

In der folgenden Tabelle sind die Werte der Größen aus dem betrachteten BORN-HABER-Kreisprozess gegeben.

$\Delta H_{\text{diss}}(\text{H}_2) = 436 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	$\Delta H_{\text{EA}}(\text{H}) = -73 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	$\Delta H_{\text{Gitter}}(\text{MgH}_2) = -2721 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$
$\Delta H_{\text{IE1}}(\text{Mg}) = 738 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	$\Delta H_{\text{IE2}}(\text{Mg}) = 1451 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	$\Delta H_{\text{Sub}}(\text{Mg}) = 137 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

d) **Vervollständige** den Rechenweg entsprechend den Anweisungen i. und ii.

i. **Berechne** die Reaktionsenthalpie ΔH_r der Zersetzung von MgH_2 .

Aus der Enthalpiebilanz des Kreisprozesses folgt folgender Ausdruck (der Ausdruck kann auch erhalten werden, indem wie in der Übungsklausur die Bildungsenthalpie $\Delta H_f(\text{MgH}_2)$ berechnet wird und in die Gleichung $\Delta H_r = -\Delta H_f(\text{MgH}_2)$ eingesetzt wird):

$$\Delta H_r = -\Delta H_{\text{Gitter}}(\text{MgH}_2) - 2 \cdot \Delta H_{\text{EA}}(\text{H}) - \Delta H_{\text{IE1}}(\text{Mg}) - \Delta H_{\text{IE2}}(\text{Mg}) - \Delta H_{\text{diss}}(\text{H}_2) - \Delta H_{\text{Sub}}(\text{Mg})$$

✓✓ (0,5 P., falls statt ΔH_r fälschlicherweise $\Delta H_f(\text{MgH}_2)$ berechnet wird)

$$\Delta H_r = 2721 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} + 2 \cdot 73 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 738 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 1451 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 436 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 137 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = 105 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

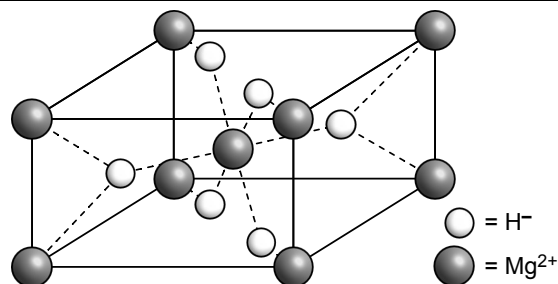
✓✓ (Bei Folgefehler: $-105 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$)

➔ Weiter mit: $\Delta H_r = +100 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

ii. **Kreuze** alle Antworten an, die den folgenden Satz korrekt vervollständigen:
Die Freisetzung von Wasserstoff aus MgH_2 ...

☐ ... verläuft exotherm.	☒ ... verläuft endotherm.
☒ ... ist bei hohen Temperaturen begünstigt.	☐ ... ist bei tiefen Temperaturen begünstigt.

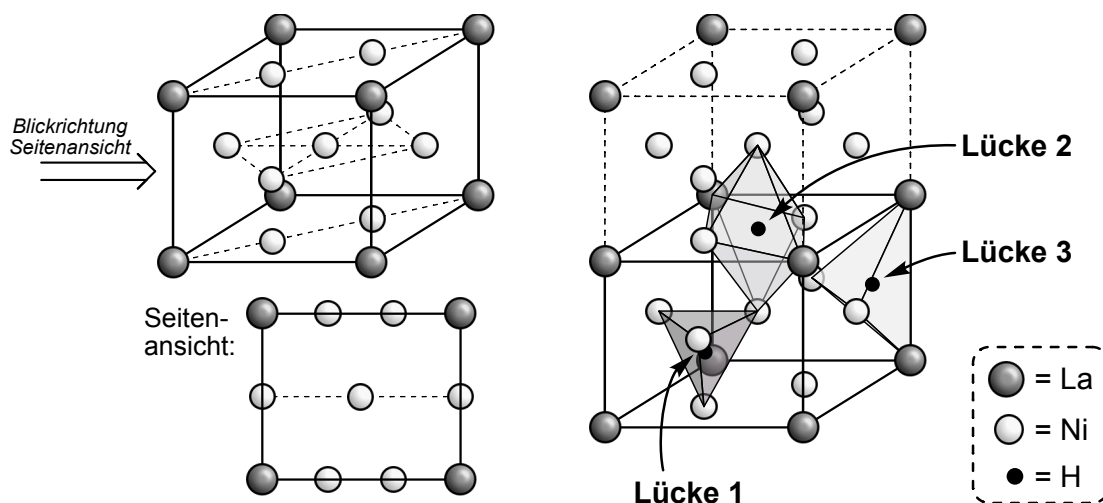
In seiner stabilsten α -Form kristallisiert MgH_2 in einem tetragonalen Kristallsystem. Dabei besetzen die Magnesiumionen die Ecken und die Raummitte eines Quaders und die Hydridionen ordnen sich dazwischen an, wie die nebenstehende Abbildung schematisch zeigt.



e) **Kreuze** alle korrekten Aussagen über die Festkörperstruktur von MgH_2 an.

☐ Die Mg^{2+} -Ionen bilden eine tetragonal primitive Packung.	☐ Die Mg^{2+} -Ionen bilden eine tetragonal flächenzentrierte Packung.
☒ Die Mg^{2+} -Ionen bilden eine tetragonal innenzentrierte Packung.	☐ Die H^- -Ionen besetzen die Tetraederlücken des Gitters der Mg^{2+} -Ionen.
☒ Die Koordinationszahl der Mg^{2+} -Ionen ist 6.	☐ Die Koordinationszahl der H^- -Ionen ist 2.
☒ Die Koordinationszahl der H^- -Ionen ist 3.	☐ Die Koordinationszahl der H^- -Ionen ist 6.
☐ Die H^- -Ionen besetzen die Oktaederlücken des Gitters der Mg^{2+} -Ionen.	☒ Die Mg^{2+} -Ionen sind oktaederförmig von H^- -Ionen umgeben.

Neben Hydridsalzen ist auch die Speicherung von Wasserstoff in Metallhydriden, in denen Wasserstoff atomar in das Metallgitter eingebaut wird, möglich. Ein Beispiel dafür ist die Verbindung LaNi_x , die pro Formeleinheit bis zu sechs Wasserstoffatome unter Bildung von LaNi_xH_6 aufnehmen kann. Nachfolgend sind die Elementarzelle von LaNi_x (links) sowie die drei möglichen Arten von Lücken, in die die Wasserstoffatome eingelagert werden können, abgebildet.



- f) **Gib** die Anzahl der Lanthan- und Nickelatome in einer Elementarzelle **an** und **bestimme** daraus den Wert von x in LaNi_x . Beachte dabei, dass Atome auf Ecken, Kanten und Außenflächen der Elementarzelle nur anteilig zählen.

Lanthanatome: $8 \cdot \frac{1}{8} = 1$ Atom auf den Ecken $\rightarrow$ 1 Atom insgesamt ✓✓

Nickel-Atome: 1 Atom im Inneren, $8 \cdot \frac{1}{2} = 4$ Atome auf den Außenflächen $\rightarrow$ 5 Atome insgesamt ✓✓

Die Zusammensetzung lautet also LaNi_5 , somit ist $x = 5$. ✓

► Weiter mit: $x = 4$

- ☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2
☐

- g) **Gib** für jede der Lücken **1**, **2** und **3** die Koordinationszahl der Wasserstoffatome **an**. **Gib** zudem **an**, wie oft die jeweilige Art von Lücke in der Elementarzelle vorkommt. Beachte dabei, dass Lücken auf Ecken, Kanten und Außenflächen der Elementarzelle nur anteilig zählen.

Lücke 1		Lücke 2		Lücke 3	
Koordinationszahl:	Anzahl:	Koordinationszahl:	Anzahl:	Koordinationszahl:	Anzahl:
4 ✓	4 ✓	6 ✓	1 ✓	4 ✓	4 ✓

- ☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2
☐
☐ 3

Bei der Einlagerung von Wasserstoffatomen in das Metallgitter von LaNi_x vergrößert sich der Abstand zwischen den Metallatomen ein wenig, was mithilfe von Röntgenbeugung nachvollzogen werden kann. Ein LaNi_x -Kristall wird dazu nach der Einlagerung von Wasserstoff mit Röntgenstrahlung der Wellenlänge $\lambda = 179$ pm untersucht; ein Ausschnitt aus dem Beugungsmuster ist in der Abbildung auf der nächsten Seite gezeigt. Für die gezeigten Peaks gilt die BRAGG-Gleichung in der folgenden Form, wobei d der Abstand der Gitterebenen in LaNi_x ist, welcher sich durch die Einlagerung von Wasserstoff auf d^* vergrößert.

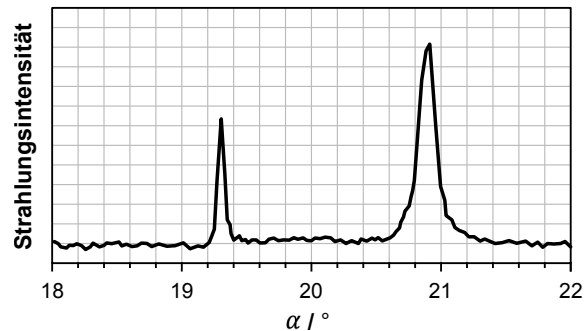
$$2 \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin(\alpha)$$

h) **Vervollständige** den Rechenweg entsprechend den Anweisungen i. – iv.

i. **Berechne** aus dem Beugungsmuster das Verhältnis von d^* und d .

Aus dem Beugungsmuster können Maxima bei $\alpha = 20,9^\circ$ und $\alpha^* = 19,3^\circ$ abgelesen werden. Damit kann durch Einsetzen in die BRAGG-Gleichung das gesuchte Verhältnis berechnet werden:

$$\frac{d^*}{d} = \frac{\lambda}{\sin(\alpha^*)} \cdot \frac{\sin(\alpha)}{\lambda} = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\alpha^*)} = \frac{\sin(20,9^\circ)}{\sin(19,3^\circ)} = 1,08$$



► Weiter mit: $\frac{d^*}{d} = 1,09$

ii. **Berechne** das Verhältnis der Volumina V^* und V der Elementarzelle von LaNi_x nach und vor der Einlagerung von Wasserstoff. Nimm dabei an, dass sich die Elementarzelle von LaNi_x in allen drei Raumrichtungen um den Faktor aus Aufgabenteil i. ausdehnt.

Das Verhältnis der Volumina nach und vor der Einlagerung ist:

$$\frac{V^*}{V} = \left(\frac{d^*}{d}\right)^3 = 1,09^3 = 1,295$$

► Weiter mit: $\frac{V^*}{V} = 1,30$

iii. **Berechne** das Verhältnis der Massen m^* und m der Elementarzelle von LaNi_x nach und vor der Einlagerung von Wasserstoff.

Das Verhältnis der Massen nach und vor der Einlagerung ist:

$$\frac{m^*}{m} = \frac{M_{\text{La}} + x \cdot M_{\text{Ni}} + 6 \cdot M_{\text{H}}}{M_{\text{La}} + x \cdot M_{\text{Ni}}} = \frac{138,91 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 4 \cdot 58,693 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 6 \cdot 1,008 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{138,91 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 4 \cdot 58,693 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1,016$$

(Da aus der Aufgabe nicht eindeutig hervorgeht, dass die vollständige Einlagerung betrachtet werden soll, werden alle Lösungen mit >0 und ≤ 6 H-Atomen je Formeleinheit bewertet.)

► Weiter mit: $\Delta m^* = \frac{m^*}{m} = 1,03$

iv. **Berechne** die prozentuale Änderung der Dichte von LaNi_x durch die Einlagerung von Wasserstoff.

Das Verhältnis der Dichten nach und vor der Einlagerung ist:

$$\frac{\rho^*}{\rho} = \frac{m^* \cdot V}{V^* \cdot m} = \frac{1,03}{1,30} = 0,792$$

Die Dichte von LaNi_x sinkt also um 20,8 %.

☐ 0
☐ 1

☐ 0
☐ 1

☐ 0
☐ 1

☐ 0
☐ 1

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

a) Stelle die Oxidations-, die Reduktions- sowie die Gesamtreaktionsgleichung der elektrolytischen Spaltung von Wasser im sauren Milieu auf.		☐ 0 ☐ ☐ 1 ☐
Oxidation:	$2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{e}^- + 4 \text{H}^+ \checkmark$	
Reduktion:	$2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 \checkmark$	
Gesamt:	$2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \checkmark$	

Die folgende Abbildung zeigt schematisch den Aufbau eines Elektrolyseurs.

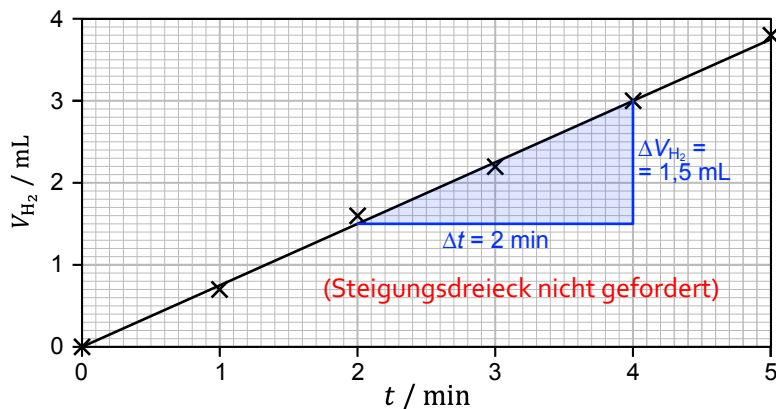
b) Trage die Begriffe aus der rechten Spalte in die richtigen Beschriftungsfelder ein .		☐ 0 ☐ ☐ 1 ☐ ☐ 2
		☐ 0 ☐ ☐ 1 ☐ ☐ 2
		☐ Anode ☐ Elektrolyt ☐ H ₂ (g) ☐ Separator

c) Berechne die benötigte Ladungsmenge Q , um i) 1 Molekül bzw. ii) 1 Mol Wasserstoff zu erzeugen.		☐ 0 ☐ ☐ 1 ☐ ☐ 2
i) 1 Molekül Wasserstoff: $Q_i = 2 \cdot e = 2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 3,204 \cdot 10^{-19} \text{ C} \checkmark$	ii) 1 Mol Wasserstoff: $Q_{ii} = n \cdot 2 \cdot F = 1 \text{ mol} \cdot 2 \cdot 96485 \frac{\text{C}}{\text{mol}} = 1,930 \cdot 10^5 \text{ C} \checkmark$ Alternativ auch möglich: $Q_{ii} = Q_i \cdot N_A \cdot n = 3,204 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \cdot 1 \text{ mol} = 1,930 \cdot 10^5 \text{ C}$	

Nun soll die Elektrolyse von Wasser im Labormaßstab untersucht werden. Dazu wird ein kleiner Elektrolyseapparat aufgebaut und unter Laborbedingungen ($T = 298 \text{ K}$, $p = 1 \text{ bar}$) bei verschiedenen Stromstärken betrieben. Das Volumen des erzeugten Wasserstoffgases wird jede Minute gemessen, um die Bildungsrate $\Delta V_{\text{H}_2} / \Delta t$ von Wasserstoff zu bestimmen.

d) **Vervollständige** den Rechenweg entsprechend den Anweisungen i. und ii.

- i. Das Diagramm zeigt die Ergebnisse der Messung bei $I = 0,1 \text{ A}$, eine Ausgleichsgerade wurde bereits eingezeichnet. **Gib** die Geradengleichung der Ausgleichsgerade **an**.



Die Steigung der Ausgleichsgeraden beträgt $\frac{\Delta V_{\text{H}_2}}{\Delta t} = \frac{1,5 \text{ mL}}{2 \text{ min}} = 0,75 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$. Da die Gerade im Ursprung beginnt, lautet ihre Gleichung:

$$V_{\text{H}_2} = 0,75 \frac{\text{mL}}{\text{min}} \cdot t$$

✓ (Steigung zwischen 0,72 und 0,78 mL/min)

➔ Weiter mit: $V_{\text{H}_2} = 0,70 \frac{\text{mL}}{\text{min}} \cdot t$

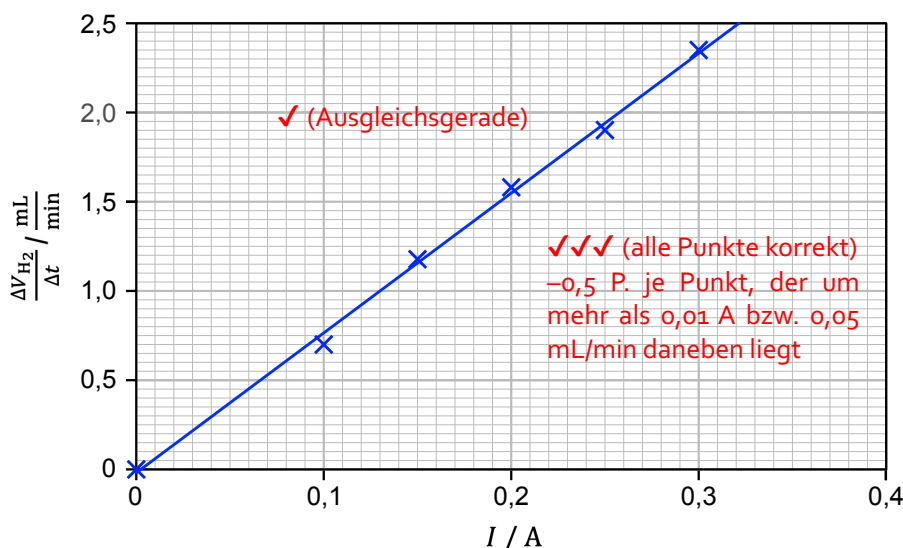
- ii. **Berechne**, für wie viele Stunden die Elektrolyse betrieben werden muss, um $V_{\text{H}_2} = 1,0 \text{ L}$ zu erzeugen.

$$t = \frac{V_{\text{H}_2}}{0,70 \frac{\text{mL}}{\text{min}}} = \frac{1,0 \text{ L}}{0,70 \frac{\text{mL}}{\text{min}}} = 1429 \text{ min} = 23,8 \text{ h} \approx 24 \text{ h}$$

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

e) **Vervollständige** den Rechenweg entsprechend den Anweisungen i. – iv.

- i. **Zeichne** die gemessenen Wertepaare aus der Tabelle in das gegebene $\frac{\Delta V_{\text{H}_2}}{\Delta t}$ - I-Diagramm **ein**.



I / A	$\frac{\Delta V_{\text{H}_2}}{\Delta t} / \frac{\text{mL}}{\text{min}}$
0	0
0,10	0,70
0,15	1,18
0,20	1,58
0,25	1,90
0,30	2,35

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

Die Ausgleichsgerade besitzt eine Steigung von $m = \frac{2,35 \frac{\text{mL}}{\text{min}} - 0 \frac{\text{mL}}{\text{min}}}{0,3 \text{ A} - 0 \text{ A}} = 7,83 \frac{\text{mL}}{\text{A} \cdot \text{min}}$.

✓ (Ergebnis zwischen 7,5 und $8,2 \frac{\text{mL}}{\text{A} \cdot \text{min}}$)

- iii. Zwischen der Bildungsrate $\frac{\Delta V_{\text{H}_2}}{\Delta t}$ von Wasserstoff und der Stromstärke I gilt folgender Zusammenhang:

$$\frac{\Delta V_{\text{H}_2}}{\Delta t} = \frac{I}{2 \cdot F} \cdot \frac{R \cdot T}{p}$$

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

☒	☐	☐	☐	☒	☐
Ideales Gasgesetz	Zeitgesetz o. Ordnung	NERNST-Gleichung	Geschwindigkeitsgesetz 1. Ordnung	FARADAY'sches Gesetz	GIBBS-HELMHOLTZ-Gleichung

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

Für die theoretische Steigung gilt laut dem gegebenen Ausdruck:

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

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:

$$\Delta H_r = -286 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}; \quad \Delta S_r = -164 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}; \quad \Delta G_r = -237 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

- 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:

$$|\Delta E_Z| = \left| -\frac{\Delta G_r}{z \cdot F} \right| = \frac{237 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{2 \cdot 96485 \frac{\text{C}}{\text{mol}}} = 1,23 \text{ V}$$

Auch wenn die zuvor betrachtete Speicherung von Wasserstoff als Komponente einer festen Verbindung eine vielversprechende Technologie darstellt, wird Wasserstoff für die meisten Anwendungen einfach als Reinstoff in einem Tank gelagert. Für die *Innovative Concepts for Hydrogen Operations Inc.* (kurz *ICHO Inc.*) sollst du die Lagerung von gasförmigem bzw. flüssigem Wasserstoff in Tanks rechnerisch untersuchen.

Zunächst widmest du dich der technisch einfachsten Möglichkeit, gasförmigen Wasserstoff bei Atmosphärendruck ($p = 1013,25 \text{ hPa}$) und Umgebungstemperatur ($\vartheta = 22 \text{ °C}$) in einem Gastank mit dem Volumen $V_{\text{Tank}} = 20 \text{ m}^3$ zu speichern. Du beschließt, Wasserstoff zunächst als ideales Gas zu betrachten.

a) Welche Annahmen werden beim idealen Gasgesetz getroffen? Kreuze alle richtigen Antworten an .		☐ 0
☒	Gasteilchen besitzen kein Eigenvolumen.	☐ 1
☐	Gasteilchen werden als masselose Punkte betrachtet.	☐
☒	Zwischen Gasteilchen können elastische Stöße ablaufen.	
☐	Gasteilchen üben keine abstoßenden Kräfte aufeinander aus und kollidieren nicht miteinander.	
☒	Gasteilchen üben keine anziehenden Kräfte aufeinander aus.	

b) Berechne die Masse m_{H_2} von Wasserstoff, die unter diesen Bedingungen im Tank gespeichert ist.	☐ 0
Mit dem idealen Gasgesetz und der molaren Masse von Wasserstoff folgt:	☐ 1
$m_{\text{H}_2} = n_{\text{H}_2} \cdot M_{\text{H}_2} = \frac{p \cdot V_{\text{Tank}} \cdot M_{\text{H}_2}}{R \cdot T} = \frac{101325 \text{ Pa} \cdot 20 \text{ m}^3 \cdot 2,016 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 295,15 \text{ K}} = 1,66 \text{ kg}$	☐

Die *ICHO Inc.* ist mit diesem Wert nicht zufrieden und möchte die Speicherdichte von Wasserstoff im Tank auf mindestens $\rho_{\text{H}_2} = 50 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ anheben.

c) Berechne den nötigen Druck p , um die vorgegebene Speicherdichte bei $\vartheta = 22 \text{ °C}$ zu erreichen.	☐ 0
Mit dem idealen Gasgesetz und der Definition der Dichte, $\rho_{\text{H}_2} = \frac{m_{\text{H}_2}}{V_{\text{Tank}}}$, folgt:	☐ 1
$p = \frac{n_{\text{H}_2} \cdot R \cdot T}{V_{\text{Tank}}} = \frac{m_{\text{H}_2} \cdot R \cdot T}{V_{\text{Tank}} \cdot M_{\text{H}_2}} = \frac{\rho_{\text{H}_2} \cdot R \cdot T}{M_{\text{H}_2}} = \frac{50 \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 295,15 \text{ K}}{2,016 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 609 \text{ bar}$	☐ 2

Völlig korrekt merkst du an, dass das ideale Gasgesetz bei hohen Drücken sehr ungenaue Ergebnisse liefert und stattdessen auf kubische Gasgesetze wie die VAN-DER-WAALS-Gleichung zurückgegriffen werden sollte:

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right) \cdot (V_m - b) = R \cdot T$$

Für Wasserstoff findest du in einem Tabellenwerk folgende Werte: $a = 2,47 \cdot 10^{-1} \frac{\text{bar} \cdot \text{L}^2}{\text{mol}^2}$ und $b = 2,66 \cdot 10^{-2} \frac{\text{L}}{\text{mol}}$. Mit den gegebenen Daten berechnest du erneut den nötigen Druck p , um die vorgegebene Speicherdichte von $\rho_{\text{H}_2} = 50 \frac{\text{g}}{\text{L}}$ bei $\vartheta = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ zu erreichen.

d) **Vervollständige** den Rechenweg entsprechend den Anweisungen i. und ii.

i. **Berechne** das molare Volumen V_m des Wasserstoffs im Tank.

Mit der Definition für das molare Volumen gilt:

$$V_m = \frac{V_{\text{Tank}}}{n_{\text{H}_2}} = \frac{V_{\text{Tank}} \cdot M_{\text{H}_2}}{m_{\text{H}_2}} = \frac{M_{\text{H}_2}}{\rho_{\text{H}_2}} = \frac{2,016 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{50 \frac{\text{g}}{\text{L}}} = 0,040 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$$

► Weiter mit: $V_m = 0,050 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$

ii. **Berechne** mithilfe der VAN-DER-WAALS-Gleichung den benötigten Druck p im Tank in der Einheit bar.

Auflösen der VAN-DER-WAALS-Gleichung nach dem Druck und Einsetzen der Werte:

$$p = \frac{R \cdot T}{V_m - b} - \frac{a}{V_m^2} = \frac{8,314 \cdot 10^{-2} \frac{\text{bar} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 295,15 \text{ K}}{0,050 \frac{\text{L}}{\text{mol}} - 2,66 \cdot 10^{-2} \frac{\text{L}}{\text{mol}}} - \frac{2,47 \cdot 10^{-1} \frac{\text{bar} \cdot \text{L}^2}{\text{mol}^2}}{\left(0,050 \frac{\text{L}}{\text{mol}}\right)^2} = 950 \text{ bar}$$

Für die Bewertung gilt:

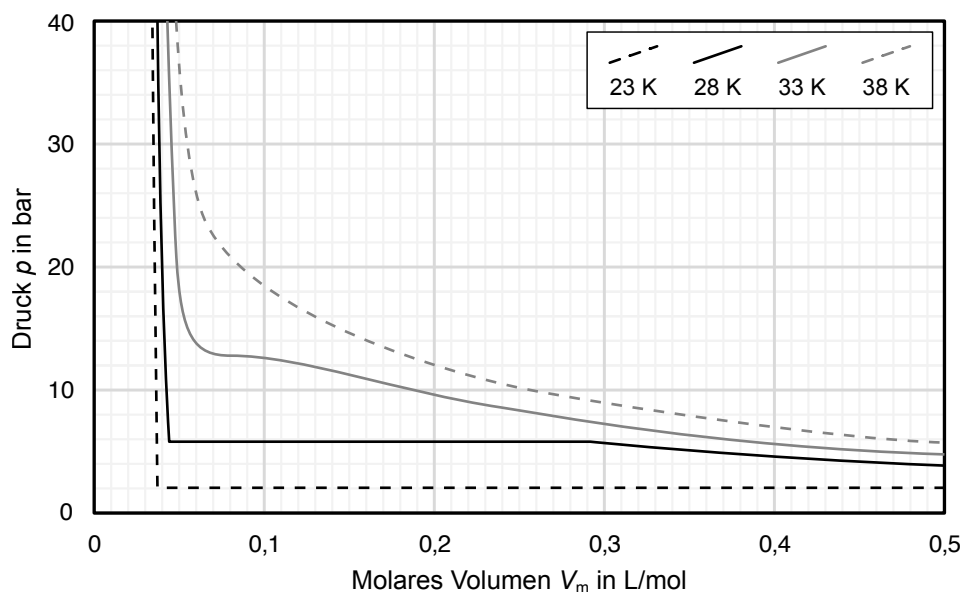
Bei richtigem Endergebnis müssen die Werte nicht explizit eingesetzt werden und es werden 2 P. vergeben.

Ist das Endergebnis falsch, liegt das i.d.R. an der verwendeten Einheit für R . Wird diese richtig erkannt ($R = 8,314 \cdot 10^{-2} \frac{\text{bar} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$), werden dafür auch bei falschem Endergebnis 0,5 P. vergeben.

☐ 0
☐
☐ 1
☐

☐ 0
☐
☐ 1
☐
☐ 2

Der benötigte Druck, um die gewünschte Speicherdichte bei Raumtemperatur zu erreichen, ist also sehr groß, was zu erheblichen Anforderungen an die Konstruktion des Tanks sowie hohen Investitionskosten führt. Eine sinnvolle Alternative ist daher, den Wasserstoff abzukühlen und bei Temperaturen um die -250 °C zu speichern. Folgend sind einige Isothermen von Wasserstoff bei verschiedenen Temperaturen in diesem Bereich gegeben.



- e) **Berechne** die maximale Speicherdichte ρ_{H_2} von Wasserstoff, die mit gasförmigem Wasserstoff bei $T = 28\text{ K}$ erreicht werden kann. **Gib** den Druck p an, der dabei im Tank herrscht.

Die Isotherme bei $T = 28\text{ K}$ besitzt einen Knickpunkt bei $V_m = 0,29\frac{\text{L}}{\text{mol}}$ und $p = 6\text{ bar}$. An diesem Punkt ist Wasserstoff gerade noch gasförmig und die maximale Speicherdichte wird erreicht:

$$\rho_{\text{H}_2} = \frac{M_{\text{H}_2}}{V_m} = \frac{2,016\frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0,29\frac{\text{L}}{\text{mol}}} = 7,0\frac{\text{g}}{\text{L}}$$

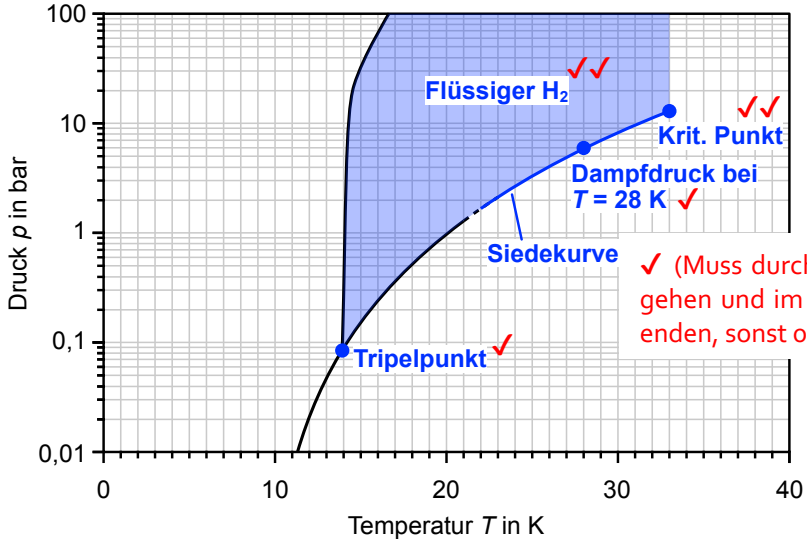
Der Druck im Tank beträgt dann $p = 6\text{ bar}$.

Um die gewünschte Speicherdichte zu erreichen, muss Wasserstoff also zusätzlich verflüssigt werden. Bei der Verflüssigung wird Wasserstoff zunächst vorverdichtet und gekühlt, wobei er einen Druck von $p_1 = 66\text{ bar}$ und ein molares Volumen von $V_{m,1} = 0,1\frac{\text{L}}{\text{mol}}$ erreicht (Zustand 1). Nach einem weiteren Prozessschritt erreicht der Wasserstoff schließlich die gewünschte Speicherdichte (Zustand 2), wobei sein Druck $p_2 = 2\text{ bar}$ und sein molares Volumen $V_{m,2} = 0,05\frac{\text{L}}{\text{mol}}$ betragen.

- f) **Kreuze** alle Antworten an, die die Zustandsänderung von Zustand 1 zu Zustand 2 treffend beschreiben.

- | | |
|---|--|
| ☐ Der Wasserstoff wird komprimiert. | ☒ Der Wasserstoff wird entspannt. |
| ☒ Die Temperatur sinkt. | ☐ Die Temperatur steigt. |
| ☐ Der Wasserstoff kondensiert vollständig. | ☒ Der Wasserstoff kondensiert teilweise. |

Die Verflüssigung von Wasserstoff kann auch anhand eines Phasendiagramms gut nachvollzogen werden.

g) Vervollständige das Phasendiagramm von Wasserstoff entsprechend den Anweisungen. i. Nachfolgend ist ein Ausschnitt aus dem Phasendiagramm von Wasserstoff gegeben. Markiere im Diagramm den Tripelpunkt von Wasserstoff.  ✓ (Muss durch Punkt bei 28 K gehen und im kritischen Punkt enden, sonst 0 Pt.)	☐ 0 ☐
ii. Bestimme mithilfe der gegebenen Isothermen die kritischen Parameter von Wasserstoff und zeichne den kritischen Punkt in das Diagramm ein. Der kritische Punkt ergibt sich bei $T = 33 \text{ K}$ und $p = 13 \text{ bar}$. (Volle Punktzahl bei Ergebnis $\pm 2 \text{ bar}$. Nur der eingezeichnete Punkt im Diagramm wird bewertet.)	☐ 0 ☐ ☐ 1
iii. Bestimme mithilfe der Isothermen den Dampfdruck von Wasserstoff bei $T = 28 \text{ K}$ und zeichne den zugehörigen Punkt in das Diagramm ein. Skizziere den Verlauf der Siedekurve in das Diagramm. Der Dampfdruck bei $T = 28 \text{ K}$ beträgt $p = 6 \text{ bar}$. (Volle Punktzahl bei Ergebnis $\pm 1 \text{ bar}$. Nur der eingezeichnete Punkt im Diagramm wird bewertet.)	☐ 0 ☐ ☐ 1
iv. Markiere im Diagramm (z.B. durch Schraffieren) den Bereich, der zu flüssigem Wasserstoff gehört. (Volle Punktzahl bei vollständig abgegrenztem Bereich; max. 0,5 P. wenn die Grenze zum kritischen Bereich nicht klar eingezeichnet ist.)	☐ 0 ☐ ☐ 1

Im Rahmen eines neuartigen Konzepts möchte die *ICHO Inc.* flüssigen Wasserstoff bei einer Temperatur von $T = 28 \text{ K}$ und einem Druck von $p = 20 \text{ bar}$ in einem mobilen Tank speichern, um ein Wasserstoffauto zu bauen. Du sollst nun abschließend ermitteln, wie groß der benötigte Tank für das Wasserstoffauto sein müsste, damit es die gleiche Reichweite wie ein herkömmliches Benzinauto erreicht. Bei deiner Recherche stößt du auf folgende Informationen:

- In einem Wasserstoffmotor wird Wasserstoff zunächst mit Umgebungswärme verdampft und dann an Luft zu Wasserdampf verbrannt. Die Reaktionsenthalpie beträgt dabei $\Delta H_r = -242 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ pro Mol Wasserstoff.
- Benzin besitzt eine Dichte von $\rho_B = 0,75 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$ und einen Heizwert von etwa $H_B = 41 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$. Letzterer gibt dabei die bei der Verbrennung freigesetzte Energie pro kg Benzin an.
- Ein herkömmliches Benzinauto besitzt einen Tank mit einem durchschnittlichen Volumen von $V_{\text{Tank,B}} = 50 \text{ L}$.
- Du kannst annehmen, dass beide Autos dieselbe Menge mechanische Energie pro 100 km verbrauchen und denselben Wirkungsgrad besitzen.

h) **Vervollständige** den Rechenweg entsprechend den Anweisungen i. und ii.

i. **Berechne** die Masse m_{H_2} , die der Tank des Wasserstoffautos fassen muss.

Die Masse im Tank des Benzinautos beträgt $m_B = \rho_B \cdot V_{\text{Tank,B}}$. Für die im Tank gespeicherte Energiemenge $E_{\text{Tank,B}}$ (vor Berücksichtigung des Wirkungsgrads) gilt dann:

$$E_{\text{Tank,B}} = m_B \cdot H_B = \rho_B \cdot V_{\text{Tank,B}} \cdot H_B \quad \checkmark \checkmark$$

Da für beide Autos ein gleicher Wirkungsgrad angenommen wird, muss die im Wasserstofftank gespeicherte Energiemenge $E_{\text{Tank,H}_2}$ gleich groß sein. Für sie gilt:

$$E_{\text{Tank,H}_2} = n_{\text{H}_2} \cdot |\Delta H_r| = \frac{m_{\text{H}_2}}{M_{\text{H}_2}} \cdot |\Delta H_r| \quad \checkmark \checkmark$$

Für die benötigte Masse m_{H_2} gilt dann:

$$m_{\text{H}_2} = \frac{E_{\text{Tank,H}_2} \cdot M_{\text{H}_2}}{|\Delta H_r|} = \frac{\rho_B \cdot V_{\text{Tank,B}} \cdot H_B \cdot M_{\text{H}_2}}{|\Delta H_r|} \quad \checkmark = \frac{0,75 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \cdot 50 \text{ L} \cdot 41 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 2,016 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{242 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}} \quad \checkmark = 12,8 \text{ kg}$$

► Weiter mit: $m_{\text{H}_2} = 13,5 \text{ kg}$

ii. **Berechne** mithilfe der gegebenen Isothermen das Volumen $V_{\text{Tank,H}_2}$ des Tanks im Wasserstoffauto.

Bei $T = 28 \text{ K}$ und $p = 20 \text{ bar}$ beträgt das molare Volumen von Wasserstoff $V_m = 0,04 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$. Für das Tankvolumen gilt also:

$$V_{\text{Tank,H}_2} = n_{\text{H}_2} \cdot V_m = \frac{m_{\text{H}_2} \cdot V_m}{M_{\text{H}_2}} \quad \checkmark = \frac{13,5 \text{ kg} \cdot 0,04 \frac{\text{L}}{\text{mol}}}{2,016 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 268 \text{ L} \quad \checkmark$$

☐0
☐
☐1
☐
☐2
☐
☐3

☐0
☐
☐1
☐