



Internationale IChO ChemieOlympiade

Klausur

zur 2. Runde des Auswahlverfahrens zur 57. IChO 2025
in Al Ain / Dubai (Vereinigte Arabische Emirate)

	Vorname Nachname: MARA MUSTER
	Personencode: MUSTER
	Bundesland: MUSTERLAND

Bearbeitungshinweise:

- Diese Klausur umfasst **29 Seiten** mit insgesamt **8 Aufgaben**, einer **Formelsammlung**, einem **PSE** und einem **Deckblatt**. Bitte kontrolliere am Anfang der Bearbeitungszeit, dass die Klausur vollständig ist.
- Diese Klausur ist **personalisiert**. Kontrolliere am Anfang der Arbeitszeit, dass dein **Name**, **Personencode** und **Bundesland** auf dem Deckblatt sowie dein **Personencode** auf allen anderen Seiten korrekt eingetragen sind.
- Die **Bearbeitungszeit** für diese Klausur beträgt **180 Minuten**.





- Schreibe deine Ergebnisse ausschließlich in die zugehörigen **Kästen** in dieser Klausur; alles außerhalb der Kästen wird nicht gewertet. Benutze die freien Rückseiten dieser Klausur 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 Klausur 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.

$\hat{=}$ angekreuzt

$\hat{=}$ nicht angekreuzt

$\hat{=}$ 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. $c = \frac{n}{V}; \beta = \frac{m}{V}$	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 : <ul style="list-style-type: none"> • 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 = 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: <ul style="list-style-type: none"> • 0. Ordnung $c = c_0 - k \cdot t$ • 1. Ordnung $c = c_0 \cdot e^{-k \cdot t}$ • 2. Ordnung $c^{-1} = c_0^{-1} + k \cdot t$ 	
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	$h = 6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s$





2-01

Multiple Choice

10 Pt

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) Wie viele Elektronen besitzt ein Chlorid-Ion insgesamt?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	10	16	17	18

0
 1

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

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C < H < F	Si < S < F	S < F < Ne	Ge < Se < P	As < P < Si

0
 1

c) In welcher Verbindung ist die Oxidationszahl des Metalls am höchsten?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MnO ₄ ²⁻	Fe ₃ O ₄	As ₂ O ₅	Cr ₂ O ₇ ²⁻	Ni(CO) ₄

0
 1

d) Welches der Gase ist der dritthäufigste Bestandteil von Luft?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
N ₂	CO ₂	Ar	O ₂	H ₂

0
 1

e) Welches der Anionen bildet mit Silber(I)-Ionen ein Salz, das unlöslich in Wasser ist (< 1 g/L bei Raumtemperatur)?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cl ⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	Br ⁻	ClO ₄ ⁻

0
 1

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

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
$\Delta_r H < 0$	$\Delta_r S < 0$	$\Delta_r S > 0$	$\Delta_r G > 0$	$\Delta_r G < 0$

0
 1

g) Beim Lösen welcher Verbindung in verdünnter Salzsäure wird ein Gas freigesetzt?

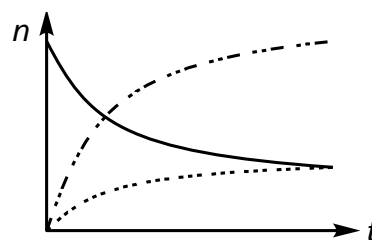
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
NH ₄ Cl	K ₂ CO ₃	NaH ₂ PO ₄	CaO	Na ₂ S

0
 1





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

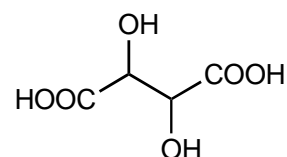


0

 1

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$2A \rightarrow 2B + C$	$A \rightarrow 2B + C$	$2A \rightarrow 3B + C$	$3A \rightarrow 3B + C$	$A \rightarrow 3B + C$

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



0

 1

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	6

j) Welche Verbindung entsteht formal bei der vollständigen Hydrolyse eines Halbketals?

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wasser	Alkohol	Carbonsäure	Keton	Aldehyd

0

 1

In Teilaufgaben mit einer richtigen Antwort wird pro falscher Antwort **-1 Pt** abgezogen.

In Teilaufgaben mit zwei richtigen Antworten wird pro falscher Antwort **-0,5 Pt** abgezogen.

Insgesamt können in einer Teilaufgabe nicht weniger als **0 Pt** erzielt werden.





2-02

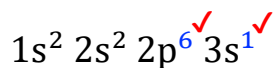
Kurzfragen

15 Pt

- a) **Vervollständige** die vorgegebene Elektronenkonfiguration eines Natriumatoms im Grundzustand, indem du die fehlenden Zahlen in die Lücken schreibst.

0

 1



- b) **Nenne** ein Element, das radioaktiv und bei Standardbedingungen gasförmig ist.

0

 1

Radon ✓✓

- c) **Gib** den Namen der Konstante **an**, die Stoffmenge und Teilchenzahl in Relation setzt.

0

 1

Avogadro-Konstante ✓✓

- d) In einer Druckluftflasche mit dem Volumen $V = 6 \text{ L}$ wird Luft ($M_{\text{Luft}} = 29 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$) bei einem Druck von $p = 200 \text{ bar}$ und einer Temperatur von $T = 298 \text{ K}$ gespeichert.
Berechne die Masse der Luft in der Flasche mithilfe des idealen Gasgesetzes.

0

 1

 2

Berechnung der Stoffmenge mit dem idealen Gasgesetz:

$$n_{\text{Luft}} = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{200 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298 \text{ K}} = 48,43 \text{ mol}$$

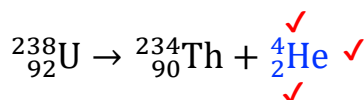
Berechnung der Masse mithilfe der molaren Masse:

$$m_{\text{Luft}} = n_{\text{Luft}} \cdot M_{\text{Luft}} = 48,43 \text{ mol} \cdot 29 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 1404 \text{ g} \approx 1,4 \text{ kg}$$

- e) Beim radioaktiven Zerfall von Uran-238 entsteht neben Thorium-234 noch ein weiteres Nuklid.
Bestimme die Anzahl der Protonen und Neutronen in diesem Nuklid und **gib an**, zu welchem Element es gehört.

0

 1





Schülercode: Musterlösung
Bundesland: Musterland



ICHO 2025
2. Runde



Klausur 2. Runde – 57. IChO 2025
>ab12cd<





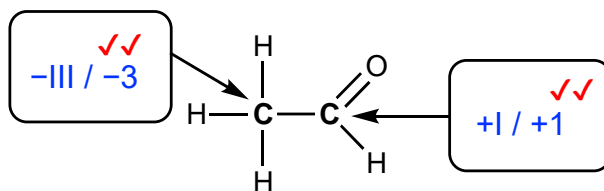
f) Beim Rösten von Zink(II)-sulfid an Luft werden Zink(II)-oxid und Schwefeldioxid gebildet. **Gib** für diese Reaktion eine ausgeglichene Reaktionsgleichung mit Aggregatzuständen **an**.



- 0

 1

g) **Bestimme** die Oxidationszahlen der beiden Kohlenstoffatome im abgebildeten Molekül.

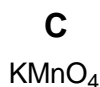
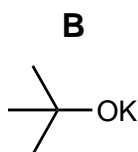
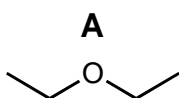


- 0

 1

 2

h) Die Verbindungen **A**, **B** und **C** finden in der organischen Chemie häufig Anwendung. **Ordne** sie jeweils ihrer passenden Kategorie **zu**.



Base: **B** $\checkmark\checkmark$

Oxidationsmittel: **C** $\checkmark\checkmark$

Lösungsmittel: **A** $\checkmark\checkmark$

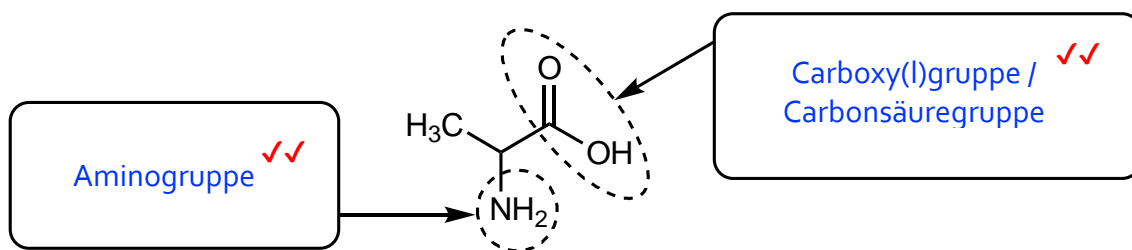
- 0

 1

 2

 3

i) **Benenne** die beiden markierten funktionellen Gruppen im abgebildeten Molekül.



- 0

 1

 2





2-03

Die Gruppe der Alkalimetalle

15 Pt

Die Alkalimetalle bilden die erste Hauptgruppe des Periodensystems.

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

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

Lücke (1) <input checked="" type="checkbox"/> s-Orbital <input type="checkbox"/> p-Orbital <input type="checkbox"/> d-Orbital <input type="checkbox"/> f-Orbital	Lücke (2) <input type="checkbox"/> Oxidationsmittel <input checked="" type="checkbox"/> Reduktionsmittel	Lücke (3) <input type="checkbox"/> Aufnahme <input checked="" type="checkbox"/> Abgabe	Lücke (4) <input checked="" type="checkbox"/> Elektronegativität <input type="checkbox"/> Atomradius <input checked="" type="checkbox"/> Ionisierungsenergie <input type="checkbox"/> Ionenradius
---	---	---	--

- 0

 1

 2

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

	Elektronegativität	Ionisierungsenergie	Ionenradius												
<table border="1"> <tr><td>Li</td><td></td></tr> <tr><td>Na</td><td></td></tr> <tr><td>K</td><td></td></tr> <tr><td>Rb</td><td></td></tr> <tr><td>Cs</td><td></td></tr> <tr><td>Fr</td><td></td></tr> </table>	Li		Na		K		Rb		Cs		Fr		<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Li															
Na															
K															
Rb															
Cs															
Fr															

- 0

 1

 2

 3

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

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

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

Li	Na	K	Rb
rot ✓	gelb ✓	violett ✓	rot ✓

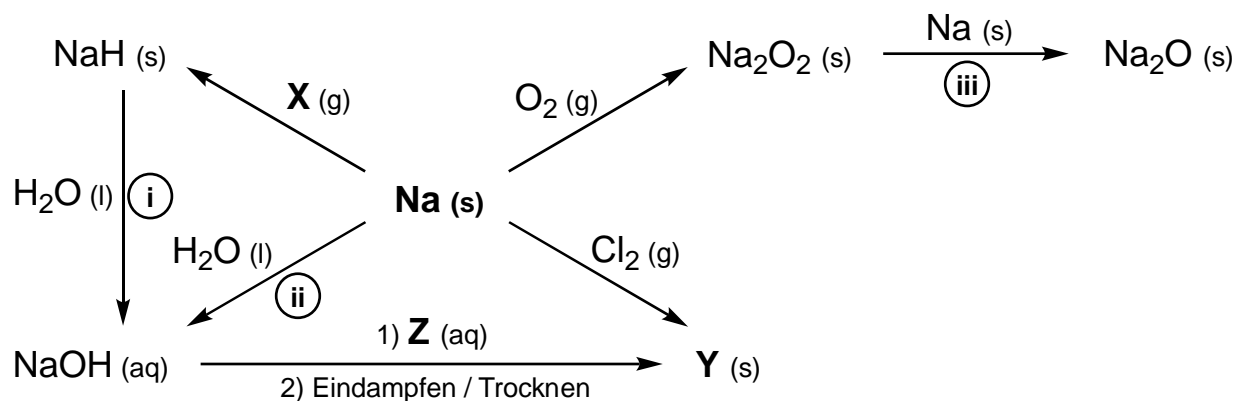
- 0

 1

 2

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





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

X	Y	Z
H_2 ✓✓	NaCl ✓✓	HCl ✓✓

- 0

 1

 2

 3

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

i	$\underline{(1)} \text{ NaH (s)} + \underline{(1)} \text{ H}_2\text{O (l)} \rightarrow \underline{(1)} \text{ NaOH (aq)} + \underline{(1)} \text{ H}_2 \text{ (g)} \checkmark$ <p style="text-align: right; color: red;">✓ (alle Koeffizienten richtig, nur falls H₂ ebenfalls richtig)</p>
ii	$\underline{2} \text{ Na (s)} + \underline{2} \text{ H}_2\text{O (l)} \rightarrow \underline{2} \text{ NaOH (aq)} + \underline{(1)} \text{ H}_2 \text{ (g)} \checkmark$ <p style="text-align: right; color: red;">✓ (alle Koeffizienten richtig, nur falls H₂ ebenfalls richtig)</p>
iii	$\underline{(1)} \text{ Na}_2\text{O}_2 \text{ (s)} + \underline{2} \text{ Na (s)} \rightarrow \underline{2} \text{ Na}_2\text{O (s)}$ <p style="text-align: right; color: red;">✓✓ (alle Koeffizienten richtig)</p>

- 0

 1

 2

 3

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

LEWIS-Formel 	<input type="checkbox"/>	Oxid-Anion
	<input type="checkbox"/>	Superoxid-Anion
	<input checked="" type="checkbox"/>	Peroxid-Anion
	<input type="checkbox"/>	Hyperoxid-Anion

- 0

 1





2-04

Die vielen Gesichter des Phosphors

20 Pt

Aufgrund seiner hohen Wertigkeit und der Möglichkeit zur Oktetterweiterung besitzt das Element Phosphor eine vielseitige Chemie. Dies zeigt sich bereits an der Vielzahl bekannter Modifikationen von elementarem Phosphor.

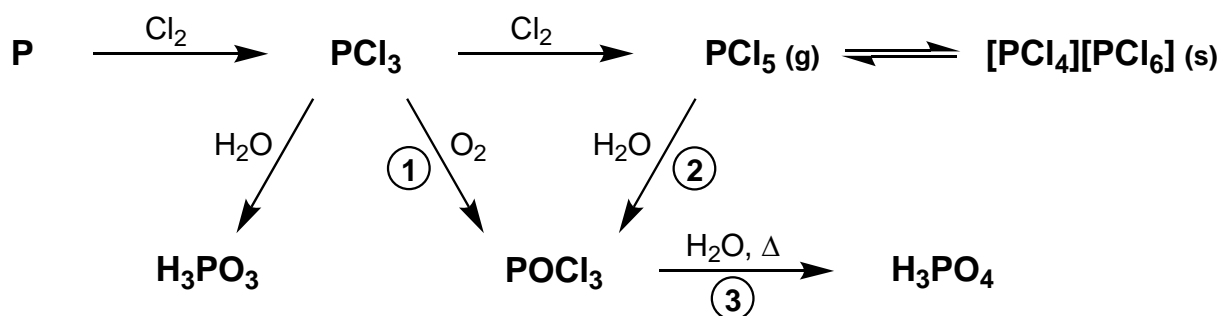
a) **Nenne** zwei Modifikationen von elementarem Phosphor.

Roter Phosphor, Weißer Phosphor, Schwarzer Phosphor, Violetter Phosphor, Blauer Phosphor, Phosphoren, Diphosphor, ... ✓✓ (0,5 Pt je korrekte Modifikation)

0

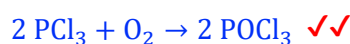
 1

Ausgehend von elementarem Phosphor kann eine Reihe interessanter, phosphorhaltiger Verbindungen hergestellt werden, wie das folgende Schema zeigt.



b) **Gib** ausgeglichene Reaktionsgleichungen für die Reaktionen 1 – 3 an.

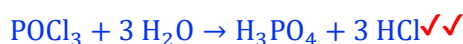
①



②



③



0

 1
 2

 3

Phosphor-Verbindungen können verschiedenste räumliche Strukturen einnehmen, was gut mithilfe des Valenzschalen-Elektronenpaar-Abstoßungs-Modells (VSEPR-Modell) beschrieben werden kann.





c) **Vervollständige** die folgende Tabelle, indem du die fehlenden LEWIS-Strukturen (mit freien Elektronenpaaren am Phosphoratom) **zeichnest** und **angibst**, welche Realstruktur nach dem VSEPR-Modell jeweils vorliegt.

	LEWIS-Struktur	Realstruktur
PCl ₃		trigonal pyramidal ✓
PCl ₅		trigonal bipyramidal ✓
[PCl ₄] ⁺		tetraedrisch ✓
[PCl ₆] ⁻		oktaedrisch ✓

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4

d) **Vergleiche** jeweils die Cl-P-Cl- bzw. F-P-F-Bindungswinkel in Molekül 1 und Molekül 2, indem du die richtigen Antworten **ankreuzt**.

Molekül 1	Molekül 2	Der Cl-P-Cl- bzw. F-P-F-Bindungswinkel ist ...		
PCl ₃	PF ₃	<input checked="" type="checkbox"/> größer in Molekül 1.	<input type="checkbox"/> größer in Molekül 2.	<input type="checkbox"/> gleich groß in beiden Molekülen.
PCl ₃	POCl ₃	<input type="checkbox"/> größer in Molekül 1.	<input checked="" type="checkbox"/> größer in Molekül 2.	<input type="checkbox"/> gleich groß in beiden Molekülen.
PCl ₃	[PCl ₄] ⁺	<input type="checkbox"/> größer in Molekül 1.	<input checked="" type="checkbox"/> größer in Molekül 2.	<input type="checkbox"/> gleich groß in beiden Molekülen.
[PCl ₆] ⁻	[PF ₆] ⁻	<input type="checkbox"/> größer in Molekül 1.	<input type="checkbox"/> größer in Molekül 2.	<input checked="" type="checkbox"/> gleich groß in beiden Molekülen.

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4

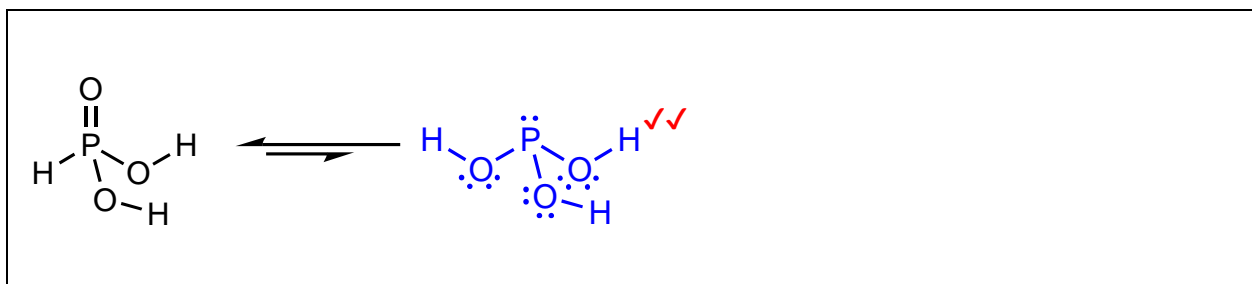




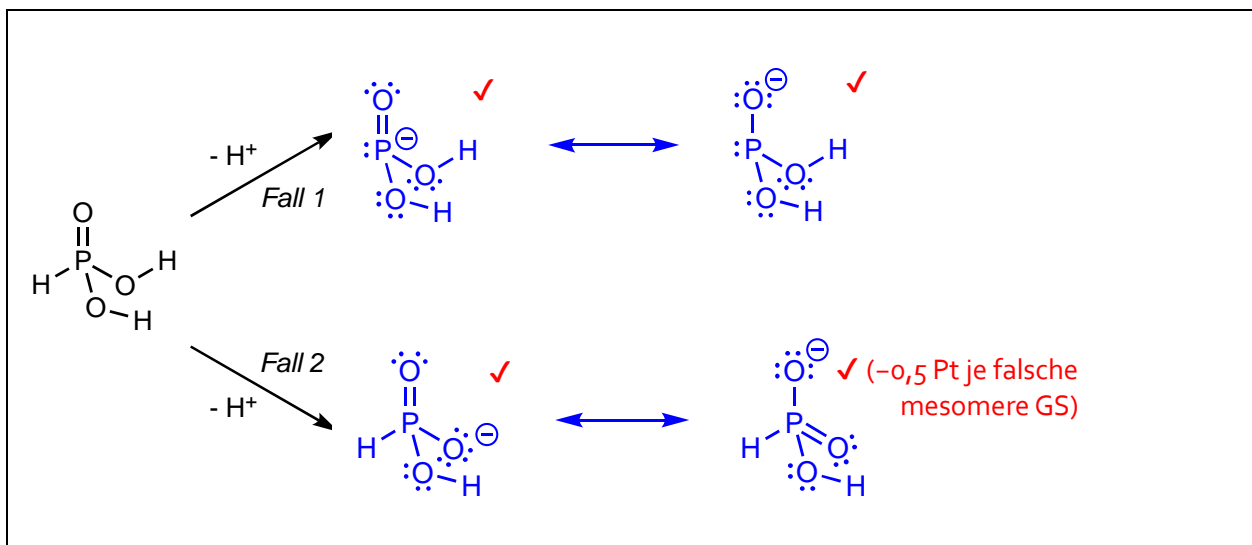
Häufig kommt es vor, dass für eine Summenformel eine Vielzahl verschiedener Strukturformeln gezeichnet werden können. Dabei besitzen Isomere dieselbe Summenformel, aber unterschiedlich verknüpfte Strukturen, wie z. B. Tautomere, die sich durch die Position eines Wasserstoffatoms unterscheiden. In mesomeren Grenzstrukturen hingegen sind die Atome gleich verknüpft, aber die Anordnung der freien Elektronen und π -Elektronen unterscheidet sich.

e) **Vervollständige** den folgenden Abschnitt zur Struktur und Säure-Base-Chemie von Phosphonsäure (H_3PO_3) entsprechend den Anweisungen.

Phosphonsäure (H_3PO_3) liegt in Form zweier Tautomere vor, wobei das Gleichgewicht auf der Seite der links gezeigten Form liegt. **Zeichne** die LEWIS-Formel (mit allen freien Elektronenpaaren) des anderen Tautomers.]



In Säure-Base-Reaktionen kann Phosphonsäure theoretisch ein H-Atom, das an das P-Atom (Fall 1) oder ein O-Atom (Fall 2) gebunden ist, abgeben. **Zeichne** die LEWIS-Formeln (mit allen freien Elektronenpaaren) der Säurerest-Anionen, die in beiden Fällen jeweils entstehen. **Zeichne** jeweils alle mesomeren Grenzstrukturen, die zeigen, wie die negative Ladung stabilisiert wird.]



Für Säure-Base-Reaktionen mit Phosphonsäure gilt: **Kreuze** die korrekte Antwort an.]

- Fall 1 ist bevorzugt. Fall 2 ist bevorzugt. Fall 1 und 2 sind gleich günstig.

- 0

 1

 2

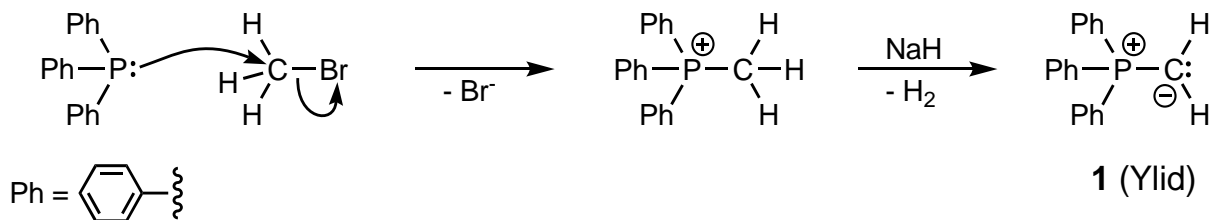
 3

 4





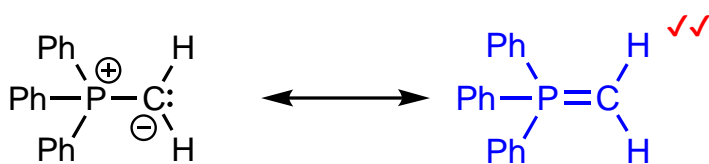
Phosphorverbindungen finden auch in der organischen Chemie Anwendung, wie etwa in der WITTIG-Reaktion. Dabei wird z.B. Triphenylphosphan mit Brommethan und einer starken Base wie NaH zu einem sogenannten Ylid umgesetzt.



f) **Zeichne** eine mesomere Grenzstruktur des Ylids **1**. Kürze dabei die Phenylgruppen wie gezeigt mit Ph ab.

0

1



Das negativ geladene Kohlenstoffatom des Ylids greift im nächsten Schritt der WITTIG-Reaktion eine Carbonylverbindung nucleophil an. Dabei gilt, dass ein Ylid umso stärker nucleophil ist, je stärker basisch das negativ geladene Kohlenstoffatom ist.

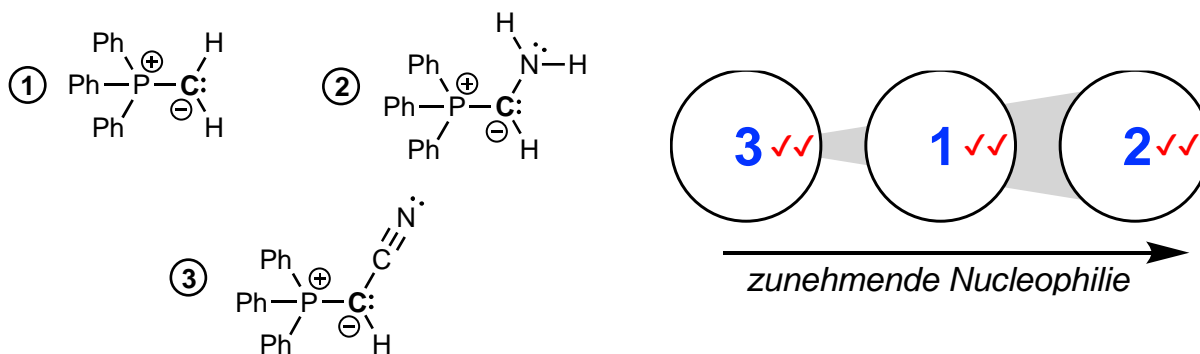
g) **Ordne** die nachfolgend gezeigten Ylide **1** – **3** nach steigender Nucleophilie.

0

1

2

3





2-05

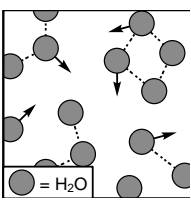
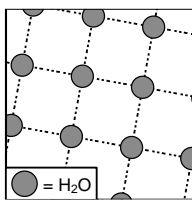
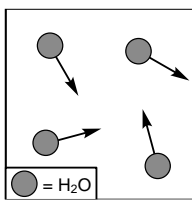
Ice, Ice Baby

15 Pt

Wasser kann bekannterweise in den Aggregatzuständen fest, flüssig und gasförmig existieren, die sich auf Teilchenebene in einem deutlich anderen Verhalten der Wassermoleküle äußern.

a) **Vervollständige** den folgenden Abschnitt zu den Aggregatzuständen von Wasser entsprechend den Anweisungen.

Die Anordnung und Beweglichkeit der einzelnen Teilchen (H_2O -Moleküle) unterscheidet sich zwischen den Aggregatzuständen deutlich, wie in den Abbildungen illustriert ist. **[Ordne** den untenstehenden Abbildungen die Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig **zu.**]

		
Flüssig ✓	Fest ✓	Gasförmig ✓

Die verschiedenen Aggregatzustände können einfach ineinander überführt werden. **[Gib** jeweils den Fachbegriff für die beschriebenen Zustandsänderungen **an.**]

Zustandsänderung	Fachbegriff
z. B. Fest → Flüssig	z. B. Schmelzen
Flüssig → Fest	Erstarren / Gefrieren ✓
Gasförmig → Flüssig	Kondensieren / Kondensation ✓
Fest → Gasförmig	Sublimieren / Sublimation ✓

Um den Aggregatzustand zu wechseln, müssen die intermolekularen Kräfte zwischen den Wassermolekülen teilweise überwunden werden. Zu diesen zählen Dipol-Dipol-Kräfte (DD), Van-der-Waals-Wechselwirkungen (VdW) und Wasserstoffbrückenbindungen (HB). **[Kreuze** die Antwort, in der die intermolekularen Kräfte nach zunehmender Stärke sortiert sind, **an.**]

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DD < VdW < HB	VdW < HB < DD	VdW < DD < HB	HB < DD < VdW

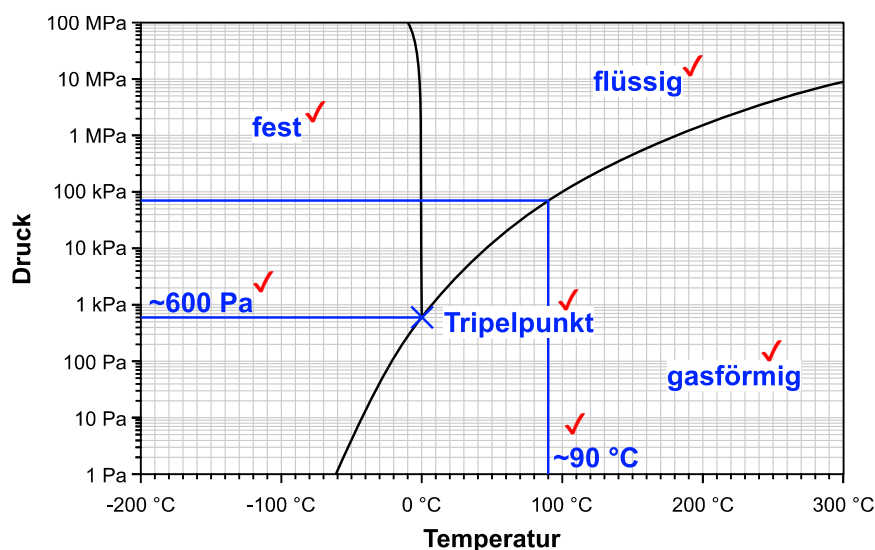
Phasendiagramme sind eine einfache Möglichkeit, um anzugeben, unter welchen Bedingungen (Druck, Temperatur) welcher Aggregatzustand der thermodynamisch stabilste ist.

b) **Vervollständige** den folgenden Abschnitt zum Phasendiagramm von Wasser entsprechend den Anweisungen.

Die Abbildung auf der nächsten Seite zeigt einen Ausschnitt aus dem Phasendiagramm von Wasser. **[Beschrifte** in dem Diagramm den festen, flüssigen und gasförmigen Bereich und **markiere** den Tripelpunkt von Wasser.]

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4





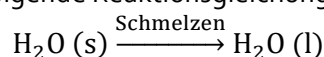
Am Gipfel der Zugspitze herrscht ein Umgebungsdruck von rund 69 kPa, sodass Wasser dort bei einer niedrigeren Temperatur als normal siedet. **[Bestimme die Siedetemperatur von Wasser auf der Zugspitze. Zeichne dein Vorgehen in das Phasendiagramm ein.]**

$$T_{\text{Siede}} \approx 90 \text{ °C} \quad \checkmark \text{ (Ergebnis im Bereich 85-95 °C)}$$

Eis kann nur über einem bestimmten Druck schmelzen, da es sonst direkt zu Wasserdampf sublimiert. **[Bestimme den minimalen Druck, bei dem Eis noch schmelzen kann. Zeichne dein Vorgehen in das Phasendiagramm ein.]**

$$p_{\text{min}} \approx 600 \text{ Pa} \quad \checkmark \text{ (Ergebnis im Bereich 500-700 Pa)}$$

Das Schmelzen von Eis kann formal durch folgende Reaktionsgleichung beschrieben werden:



c) **Berechne** anhand der gegebenen Tabellenwerte die Schmelzenthalpie $\Delta_{\text{fus}}H^\circ$ und Schmelzentropie $\Delta_{\text{fus}}S^\circ$ von Wasser unter Standardbedingungen.

	$\Delta_f H^\circ$ in kJ/mol	S° in J/K · mol
H ₂ O (s)	-291,8	41,0
H ₂ O (l)	-285,8	69,9

$$\Delta_{\text{fus}}H^\circ = \Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O (l)}) - \Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O (s)}) = -285,8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - \left(-291,8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right) = 6,0 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \quad \checkmark$$

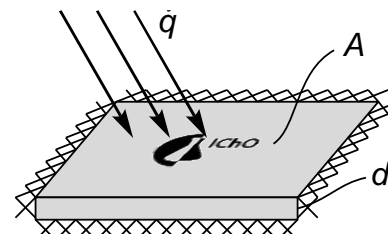
$$\Delta_{\text{fus}}S^\circ = S^\circ(\text{H}_2\text{O (l)}) - S^\circ(\text{H}_2\text{O (s)}) = 69,9 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} - 41,0 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} = 28,9 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \quad \checkmark$$





► Weiter mit: $\Delta_{\text{fus}}H^\circ = 10 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

Betrachte abschließend eine Eisbahn der Fläche $A = 500 \text{ m}^2$ und der Dicke $d = 8 \text{ cm}$, der durch Sonnenschein ein flächenbezogener Wärmestrom von $\dot{q} = 50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ zugeführt wird. Du kannst annehmen, dass sich die Temperatur des Eises nicht ändert und die aufgenommene Wärme vollständig in das Schmelzen von Eis fließt.



d) Die Dickenänderung der Eisschicht Δd_{Eis} soll berechnet werden. **Vervollständige** den Rechenweg.

>> **Vervollständige** die Energiebilanz für die Eisbahn, indem du die physikalisch sinnvollen Vorzeichen in die Lücken schreibst.

Hinweis: Da das Eis schmilzt, gilt definitionsgemäß $\Delta n_{\text{Eis}} \leq 0$.

$$0 = \underline{+} \dot{q} \cdot A \cdot t \underline{+} \Delta n_{\text{Eis}} \cdot \Delta_{\text{fus}}H^\circ$$

>> **Berechne** die Stoffmenge des Eises Δn_{Eis} , das innerhalb eines Tages ($t = 12 \text{ h}$ Sonnenschein) schmilzt.

Umgeformt aus der Energiebilanz:

$$\Delta n_{\text{Eis}} = - \frac{\dot{q} \cdot A \cdot t}{\Delta_{\text{fus}}H^\circ} = - \frac{50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 500 \text{ m}^2 \cdot 12 \cdot 3600 \text{ s}}{10000 \frac{\text{J}}{\text{mol}}} = -1,08 \cdot 10^5 \text{ mol}$$

Max. **0,5 Pt** falls mit falschen Vorzeichen gerechnet wurde und $\Delta n_{\text{Eis}} > 0$

► Weiter mit: $\Delta n_{\text{Eis}} = -2,0 \cdot 10^5 \text{ mol}$

>> **Berechne** die zugehörige Änderung der Dicke der Eisschicht Δd_{Eis} . Verwende dabei $\rho_{\text{Eis}} = 918 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ als die Dichte von Eis.

Änderung der Masse:

$$\Delta m_{\text{Eis}} = \Delta n_{\text{Eis}} \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} = -2,0 \cdot 10^5 \text{ mol} \cdot 18,015 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = -3603 \text{ kg}$$

Änderung des Volumens:

$$\Delta V_{\text{Eis}} = \frac{\Delta m_{\text{Eis}}}{\rho_{\text{Eis}}} = \frac{-3603 \text{ kg}}{918 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = -3,925 \text{ m}^3$$

Änderung der Dicke:

$$\Delta d_{\text{Eis}} = \frac{\Delta V_{\text{Eis}}}{A} = \frac{-3,925 \text{ m}^3}{500 \text{ m}^2} = -0,00785 \text{ m} \approx -7,9 \text{ mm}$$

Die Angabe von Zwischenergebnissen ist nicht zwingend erforderlich. Ein einzelner Rechenschritt, aus dem alle Zusammenhänge korrekt hervorgehen, ist ebenfalls als korrekt zu werten.

0

1

0

1

0

1

2



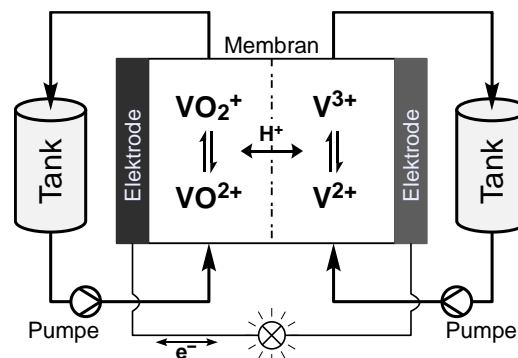
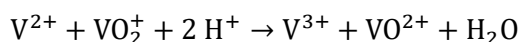


2-06

Jetzt im Flow bleiben – RFBs

20 Pt

Redox-Flow-Batterien (RFBs) stellen eine besondere Art von wiederaufladbaren Batterien dar, in denen die Elektrolyte mit den Aktivmaterialien mit Pumpen durch die Batterie gepumpt und in externen Tanks gelagert werden. Die sogenannte All-Vanadium-RFB beruht auf den Redoxpaaren V^{3+}/V^{2+} und VO_2^+/VO^{2+} . Beim Entladen läuft dabei folgende Reaktion ab:



a) **Gib** die Oxidationszahl von Vanadium in V^{3+} , V^{2+} , VO_2^+ und VO^{2+} **an**.

V^{3+} : +3 / +III ✓	V^{2+} : +2 / +II ✓	VO_2^+ : +5 / +V ✓	VO^{2+} : +4 / +IV ✓
------------------------	-----------------------	----------------------	------------------------

- 0

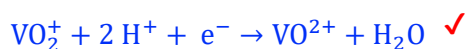
 1

 2

b) **Gib** für beide Redoxpaare ausgeglichene Halbreaktionsgleichungen **an** und **kreuze an**, an welcher Elektrode bzw. welchem Pol diese jeweils beim Entladen ablaufen.

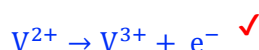
VO_2^+/VO^{2+} :

Anode Kathode Pluspol Minuspol



V^{3+}/V^{2+} :

Anode Kathode Pluspol Minuspol



- 0

 1

 2

 3

c) **Kreuze an**, in welcher der Abbildungen die Bewegungsrichtung der Elektronen und Protonen im Elektrolyten beim Entladen richtig dargestellt wird.

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

- 0

 1





Ein zentraler Vorteil von RFBs ist, dass die Menge der Elektrolyte fast beliebig skaliert werden kann, sodass RFBs relativ günstig große Energiemengen speichern können. Betrachte im gesamten Rest dieser Aufgabe eine beispielhafte All-Vanadium-RFB, deren Elektrolyte im vollgeladenen Zustand wie in folgender Tabelle angegeben zusammengesetzt sind.

All-Vanadium-RFB im vollgeladenen Zustand	
Elektrolyt 1	Elektrolyt 2
$c_{V^{2+},0} = 1,6 \frac{\text{mol}}{\text{L}}, c_{H^+} = 3,0 \frac{\text{mol}}{\text{L}},$ $V_1 = 100 \text{ L}$	$c_{VO_2^+,0} = 1,6 \frac{\text{mol}}{\text{L}}, c_{H^+} = 3,0 \frac{\text{mol}}{\text{L}},$ $V_2 = 100 \text{ L}$

d) Die Speicherkapazität der All-Vanadium-RFB soll berechnet werden. **Vervollständige** den Rechenweg.

i. **Berechne** die Ladungsmenge Q , die in der All-Vanadium-RFB maximal gespeichert werden kann.

Einsetzen in das Faradaysche Gesetz:

$$Q = z \cdot F \cdot n = z \cdot F \cdot c_0 \cdot V = 1 \cdot 96485 \frac{\text{C}}{\text{mol}} \cdot 1,6 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 100 \text{ L} = 15,44 \cdot 10^6 \text{ C}$$

► Weiter mit: $Q = 1,90 \cdot 10^7 \text{ C}$

ii. **Berechne** die Menge der elektrischen Energie E_{el} , die in der All-Vanadium-RFB gespeichert werden kann. Nimm dabei an, dass die Spannung der RFB konstant $U = 1,3 \text{ V}$ beträgt.

Elektrische Energie ergibt sich als das Produkt aus Ladung und Spannung:

$$E_{\text{el}} = Q \cdot U = 1,90 \cdot 10^7 \text{ C} \cdot 1,3 \text{ V} = 2,47 \cdot 10^7 \text{ J} = 24,7 \text{ MJ}$$

Tatsächlich ist die Spannung der All-Vanadium-RFB beim Entladen nicht konstant, da sich die Konzentration der Reaktionsteilnehmer ändert, was sich gemäß der NERNST-Gleichung auf die Zellspannung auswirkt.

e) Die Zellspannung der betrachteten All-Vanadium-RFB soll in Abhängigkeit des Entladezustands berechnet werden. **Vervollständige** den Rechenweg.

i. **Berechne** anhand des gegebenen Ausschnitts aus der Spannungsreihe die Zellspannung unter Standardbedingungen, ΔE° .

VO_2^+ / VO^{2+}	$E^\circ = +1,00 \text{ V}$
V^{3+} / V^{2+}	$E^\circ = -0,26 \text{ V}$

$$\Delta E^\circ = E_{\text{red}} - E_{\text{ox}} = 1,00 \text{ V} - (-0,26 \text{ V}) = 1,26 \text{ V}$$

► Weiter mit: $\Delta E^\circ = 1,20 \text{ V}$





- ii. Der Entladezustand (Degree of Discharge, DoD) gibt an, welcher Anteil der Edukte beim Entladen einer Batterie bereits verbraucht wurde, d.h. bei einer vollgeladenen Batterie ist $DoD = 0\%$ und bei einer leeren Batterie ist $DoD = 100\%$. **Berechne** die Konzentrationen $c_{VO_2^+}$, $c_{VO^{2+}}$, $c_{V^{3+}}$ und $c_{V^{2+}}$ bei einem Entladezustand von $DoD = 95\%$.

Der Entladezustand skaliert bei konstantem Elektrolytvolumen direkt mit den Konzentrationen. Daher gilt:

$$c_{VO^{2+}} = DoD \cdot c_{VO^{2+},0} = 0,95 \cdot 1,6 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 1,52 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \checkmark$$

$$c_{V^{3+}} = DoD \cdot c_{V^{3+},0} = 0,95 \cdot 1,6 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 1,52 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \checkmark$$

$$c_{VO_2^+} = c_{VO^{2+},0} - c_{VO^{2+}} = 1,6 \frac{\text{mol}}{\text{L}} - 1,52 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 0,08 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \checkmark$$

$$c_{V^{2+}} = c_{V^{3+},0} - c_{V^{3+}} = 1,6 \frac{\text{mol}}{\text{L}} - 1,52 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 0,08 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \checkmark$$

► Weiter mit: $c_{VO_2^+} = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$, $c_{VO^{2+}} = 1,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$, $c_{V^{3+}} = 1,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ und $c_{V^{2+}} = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

- iii. **Berechne** mithilfe der NERNST-Gleichung die tatsächliche Zellspannung $U_{Zelle,95\%}$ der betrachteten RFB bei einem Entladezustand von $DoD = 95\%$. Gehe dabei von einer Betriebstemperatur von $T = 25\text{ °C}$ aus und nimm an, dass weiterhin $c_{H^+} = 3,0 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ gilt.

Aufstellen und Berechnen des aktivitätsabhängigen Terms Π :

$$\Pi = \frac{a_{V^{3+}} \cdot a_{VO^{2+}} \cdot a_{H_2O}}{a_{V^{2+}} \cdot a_{VO_2^+} \cdot a_{H^+}^2} \approx \frac{c_{V^{3+}} \cdot c_{VO^{2+}} \cdot c_0^2}{c_{V^{2+}} \cdot c_{VO_2^+} \cdot c_{H^+}^2} = \frac{\left(1,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2 \cdot \left(1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2}{\left(0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2 \cdot \left(3,0 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2} = 25,0 \quad \checkmark\checkmark$$

Einsetzen in die NERNST-Gleichung:

$$U_{Zelle,95\%} = \Delta E^\circ - \frac{R \cdot T}{1 \cdot F} \cdot \ln(\Pi) = 1,2 \text{ V} - \frac{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298 \text{ K}}{96485 \frac{\text{C}}{\text{mol}}} \cdot \ln(25,0) = 1,12 \text{ V} \quad \checkmark\checkmark$$

► Weiter mit: $U_{Zelle,95\%} = 1,10 \text{ V}$

- 0

 1

 2

- 0

 1

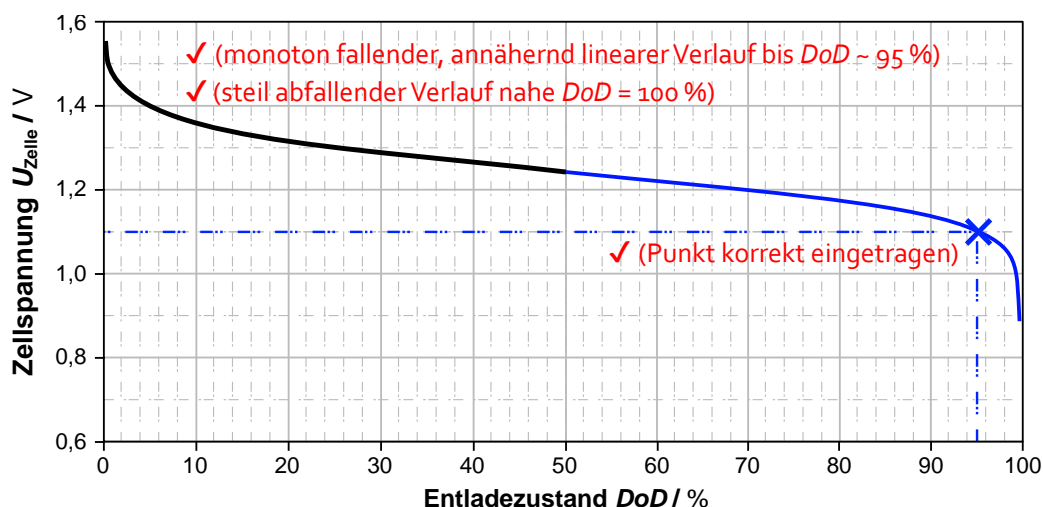
 2

 3





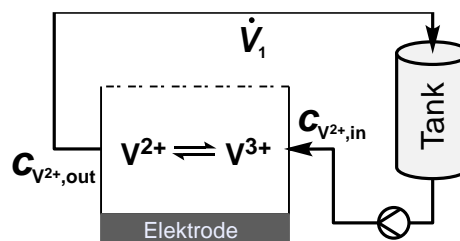
- iv. Im nachfolgenden Diagramm ist die Abhängigkeit der Zellspannung U_{Zelle} vom Entladezustand DoD der RFB dargestellt. **Trage** den Punkt bei DoD = 95 % in das Diagramm **ein** und **skizziere** den Verlauf von U_{Zelle} im Bereich von $50 \% \leq \text{DoD} \leq 100 \%$.



- 0

 1

Beim Betrieb von RFBs ist es wichtig, die Leistung der Pumpen richtig zu regulieren. Es wurde experimentell ermittelt, dass bei einer Flussrate des Elektrolyten von $\dot{V}_1 = 100 \frac{\text{L}}{\text{h}}$ die Konzentrationen von V^{2+} am Ein- bzw. Ausgang der Batterie jeweils $c_{\text{V}^{2+},\text{in}} = 1,45 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ bzw. $c_{\text{V}^{2+},\text{out}} = 1,40 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ betragen.



- f) **Berechne** die Stromstärke I der All-Vanadium-RFB unter diesen Betriebsbedingungen.

Die Stromstärke ergibt sich mit dem FARADAY-Gesetz aus einer Stoffmengenänderung Δn in einem Zeitintervall Δt :

$$I = z \cdot F \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t} \quad \checkmark$$

Im betrachteten Fall ist wieder $z = 1$ und $\Delta n_{\text{V}^{2+}}$ ergibt sich aus dem Volumenstrom und den Konzentrationen:

$$\Delta n_{\text{V}^{2+}} = n_{\text{V}^{2+},\text{in}} - n_{\text{V}^{2+},\text{out}} = c_{\text{V}^{2+},\text{in}} \cdot \dot{V}_1 \cdot \Delta t - c_{\text{V}^{2+},\text{out}} \cdot \dot{V}_1 \cdot \Delta t = (c_{\text{V}^{2+},\text{in}} - c_{\text{V}^{2+},\text{out}}) \cdot \dot{V}_1 \cdot \Delta t \quad \checkmark \checkmark$$

Einsetzen in das FARADAY-Gesetz und ausrechnen:

$$\begin{aligned} I &= 1 \cdot F \cdot \frac{(c_{\text{V}^{2+},\text{in}} - c_{\text{V}^{2+},\text{out}}) \cdot \dot{V}_1 \cdot \Delta t}{\Delta t} = F \cdot (c_{\text{V}^{2+},\text{in}} - c_{\text{V}^{2+},\text{out}}) \cdot \dot{V}_1 \quad \checkmark \checkmark \\ &= 96485 \frac{\text{C}}{\text{mol}} \cdot \left(1,45 \frac{\text{mol}}{\text{L}} - 1,40 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \right) \cdot \frac{100 \text{ L}}{3600 \text{ s}} = 134,0 \text{ A} \quad \checkmark \checkmark \end{aligned}$$

- 0

 1
 2

 3





2-07

Jetzt cool bleiben – FCKW

15 Pt

Gesättigte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), die häufig als Kühlmittel eingesetzt werden, leiten sich von den Alkanen ab, wobei eines oder mehrere Wasserstoffatome durch Chlor- oder Fluoratome ersetzt sind.

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

Die Kohlenstoffatome in gesättigten FCKW sind, wie in Alkanen, (1). FCKW-Moleküle sind schwerer und besitzen aufgrund der (2) zwischen den Kohlenstoff- und Fluor- bzw. Chloratomen häufig ein(e) (3), weshalb sie (4) Siedepunkte als / wie die entsprechenden Alkane besitzen.

Lücke (1)	Lücke (2)	Lücke (3)	Lücke (4)
<input type="checkbox"/> sp-hybridisiert	<input checked="" type="checkbox"/> polaren Atombindungen	<input type="checkbox"/> Formalladung	<input checked="" type="checkbox"/> höhere
<input type="checkbox"/> sp ² -hybridisiert	<input type="checkbox"/> unpolaren Atombindungen	<input type="checkbox"/> magnetisches Moment	<input type="checkbox"/> ähnliche
<input checked="" type="checkbox"/> sp ³ -hybridisiert	<input type="checkbox"/> Ionenbindungen	<input checked="" type="checkbox"/> Dipolmoment	<input type="checkbox"/> niedrigere

b) **Vervollständige** die Tabelle, indem du jeweils die Strukturformel **zeichnest** oder den IUPAC-Nomenklaturnamen bzw. die Summenformel des FCKW **angibst**.

	HFC-245fa	Freon-12	HCFC-1233zd
z.B. 			
Chlormethan	1,1,1,3,3-Pentafluorpropan	Dichlordifluormethan	(E)-1-Chlor-3,3,3-trifluorpropen
CH ₃ Cl	C ₃ H ₃ F ₅	CCl ₂ F ₂	C ₃ H ₂ ClF ₃

c) **Gib** jeweils dasjenige / diejenigen der FCKW I – VI **an**, die die gegebene Bedingung erfüllen.

		Diese beiden FCKW sind Strukturisomere.	IV ✓ und V ✓
		Dieser FCKW ist optisch aktiv.	III ✓✓
		Dieser FCKW besitzt den niedrigsten Siedepunkt (–81 °C).	II ✓✓
		Dieser FCKW besitzt den größten Massenanteil von Chlor (69 %).	I ✓✓

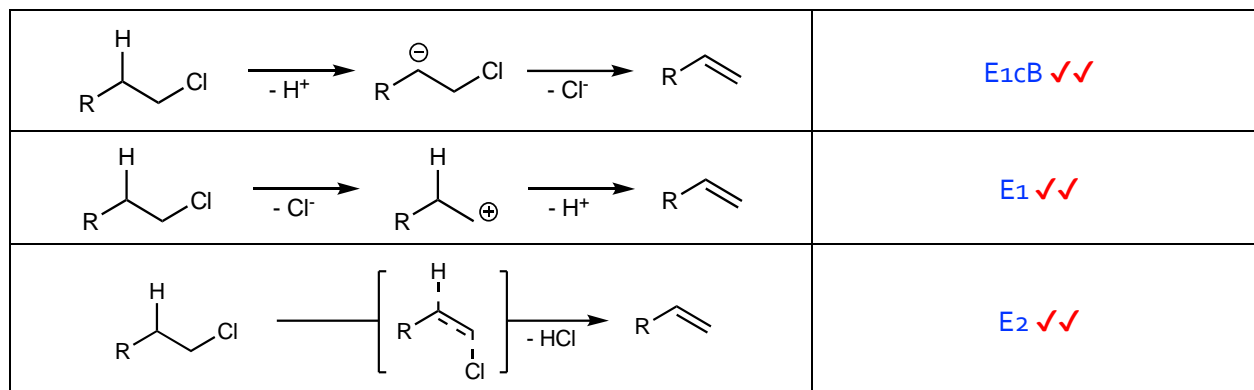




Neben den bisher betrachteten FCKW gibt es auch solche, die sich von ungesättigten Kohlenwasserstoffen ableiten. Sie können aus gesättigten FCKW durch die Eliminierung von Halogenwasserstoffen („Dehydrohalogenierung“) synthetisiert werden.

d) Folgender Abschnitt beschäftigt sich mit Dehydrohalogenierungen. **Vervollständige** ihn, indem du die Anweisungen befolgst.

Dehydrohalogenierungen können prinzipiell nach einem E1-, E1cB- oder E2-Mechanismus ablaufen. [**Ordne** die genannten Eliminierungsmechanismen (E1, E1cB, E2) jeweils einem der gezeigten Mechanismen zu.]



[**Kreuze an**, welches Reagenz bei Dehydrohalogenierungen unabhängig vom Mechanismus benötigt wird.]

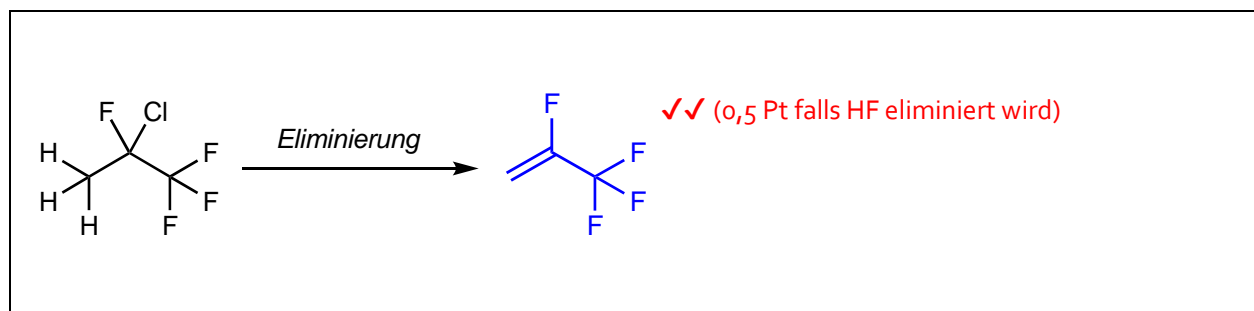
Säure

Base

Oxidationsmittel

Reduktionsmittel

Folgend ist ein Schritt aus der Synthese des ungesättigten FCKWs *R1234yf* dargestellt, der eine Dehydrohalogenierung beinhaltet. [**Zeichne** das organische Hauptprodukt der Reaktion.]



0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10



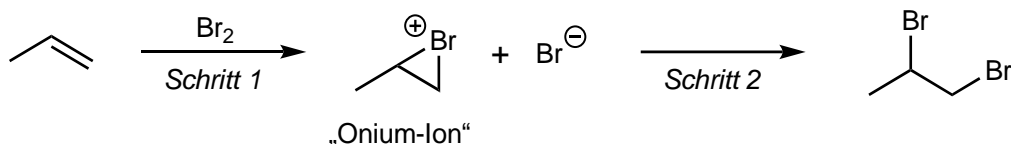


2-08

Additionsaufgabe: Alken + Halogen = ?

20 Pt

Die elektrophile Addition von Halogenen (z. B. Br_2) an Alkene verläuft mechanistisch über ein positiv geladenes, cyclisches Onium-Ion. Dieses reagiert in einem zweiten Schritt mit einem Halogenid-Ion unter Bildung eines Halogenalkans, dem Endprodukt der Reaktion.



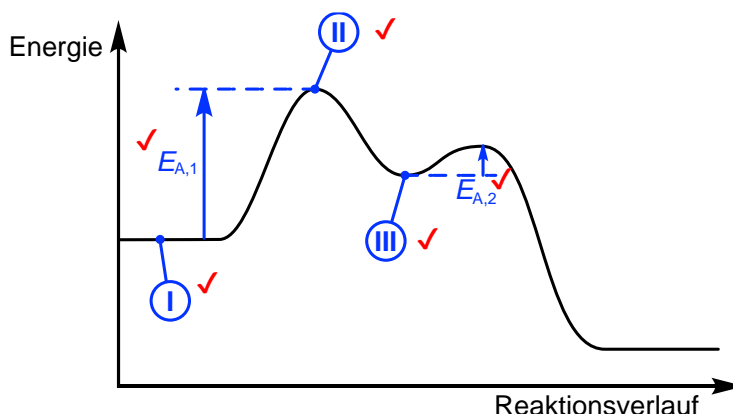
a) **Kreuze** jeweils **an**, ob das gezeigte Teilchen als Elektrophil oder Nucleophil reagiert.

Schritt 1		Schritt 2	
	Br_2		Br^-
<input type="checkbox"/> Elektrophil <input checked="" type="checkbox"/> Nucleophil	<input checked="" type="checkbox"/> Elektrophil <input type="checkbox"/> Nucleophil	<input checked="" type="checkbox"/> Elektrophil <input type="checkbox"/> Nucleophil	<input type="checkbox"/> Elektrophil <input checked="" type="checkbox"/> Nucleophil

- 0
 1
 2

b) **Vervollständige** den folgenden Abschnitt zum gegebenen Energiediagramm, indem du die Anweisungen befolgst.

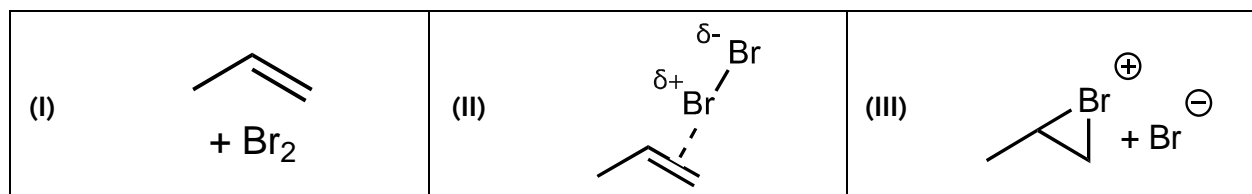
Die Abbildung zeigt das qualitative Energiediagramm der betrachteten Reaktion.



Im Diagramm sind die Aktivierungsenergien $E_{A,1}$ und $E_{A,2}$ beider Schritte erkennbar. **[Zeichne die Aktivierungsenergien $E_{A,1}$ und $E_{A,2}$ in das Diagramm ein.]** Basierend darauf ist der folgende Schritt der geschwindigkeitsbestimmende: **[Kreuze die korrekte Antwort an.]**

- Schritt 1 Schritt 2 keine Aussage möglich

Die folgend gezeigten Strukturen I - III gehören zu Punkten im Energiediagramm. **[Markiere die zugehörigen Punkte I - III im Diagramm.]**



- 0
 1
 2
 3

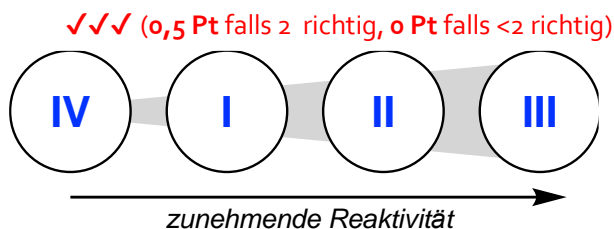
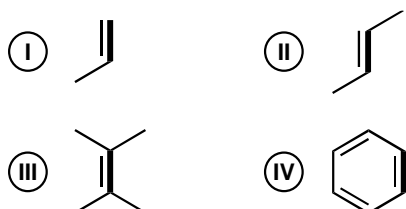




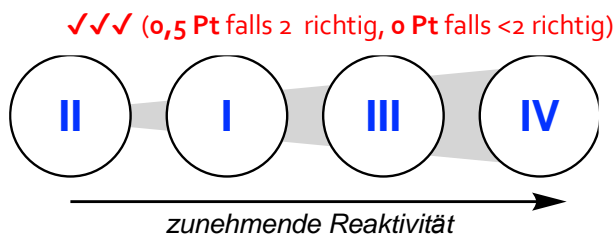
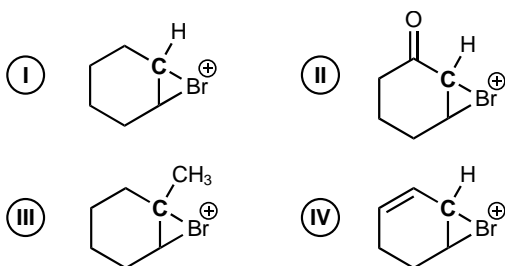
Die Regioselektivität von elektrophilen Additionen wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Im Allgemeinen sind elektronenreiche Doppelbindungen in Schritt 1 (siehe Abbildung oben) reaktiver. In Schritt 2 trägt das angegriffene Kohlenstoffatom eine positive Partiaalladung, sodass solche Kohlenstoffatome, an denen eine positive Ladung besser stabilisiert werden kann, reaktiver sind.

c) **Ordne** die folgend gezeigten Strukturen I – IV jeweils entsprechend der Anweisung.

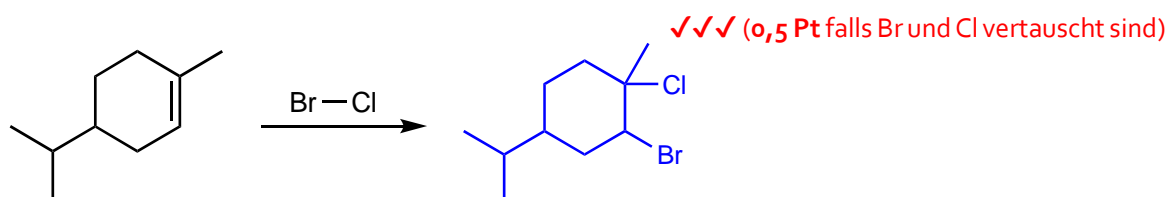
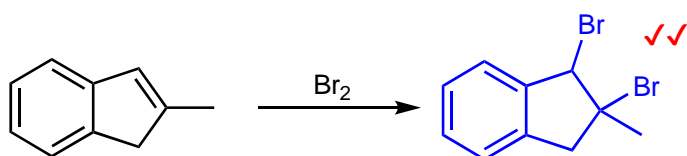
i) **Ordne** die gezeigten Alkene I – IV nach zunehmender Reaktivität der fett markierten Doppelbindung in Schritt 1 einer elektrophilen Addition.



ii) **Ordne** die gezeigten Onium-Ionen I – IV nach zunehmender Reaktivität des fett markierten Kohlenstoffatoms in Schritt 2 einer elektrophilen Addition.



d) **Zeichne** jeweils das Hauptprodukt der folgend gezeigten elektrophilen Additionsreaktionen. Du brauchst Stereoisomerie nicht zu beachten.



0

 1

 2

 3

0

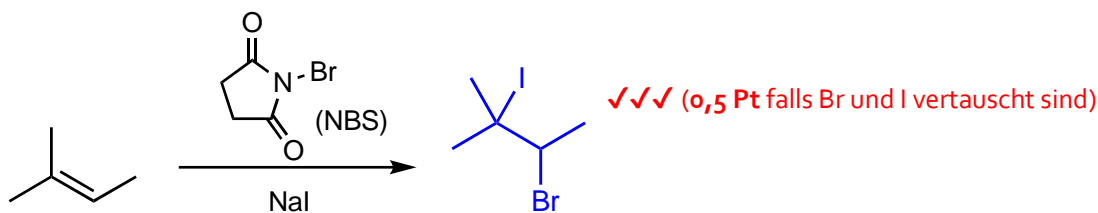
 1

 2

 3

 4

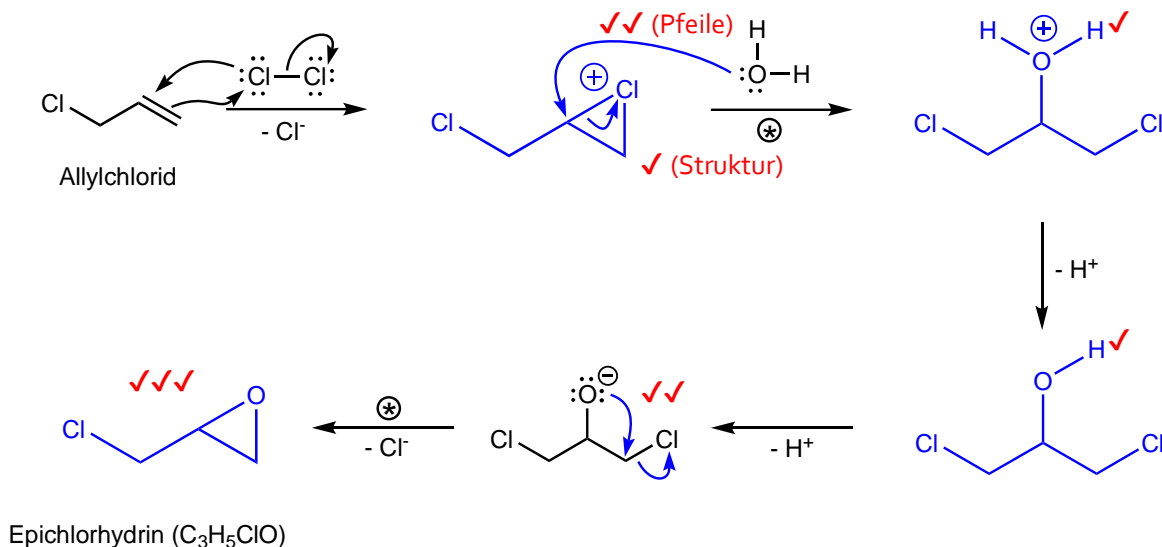




Hinweis: Das Reagenz NBS kann als Quelle von Br^+ betrachtet werden.

Bei der elektrophilen Addition von Halogenen können anstelle der gebildeten Halogenid-Anionen auch andere Nucleophile, die im Reaktionsgemisch oder sogar im gleichen Molekül vorliegen, das Onium-Ion angreifen. Ein Beispiel dafür ist die nachfolgend betrachtete Umsetzung von Allylchlorid zu Epichlorhydrin, das zur Gruppe der Epoxide gehört und ein Rohstoff für zahlreiche Kunststoffe ist.

e) **Vervollständige** den gegebenen Reaktionsmechanismus, indem du die fehlenden Strukturen **zeichnest** und für die mit einem Sternchen (*) markierten Schritte die Elektronenverschiebungspfeile **einzeichnest**.



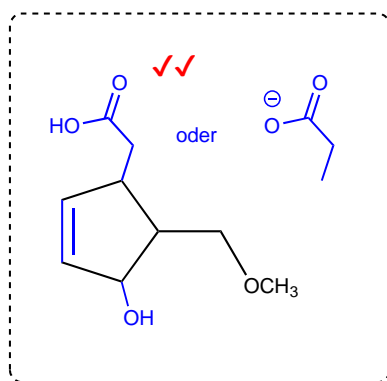
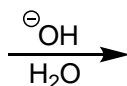
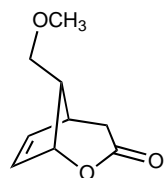
- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5



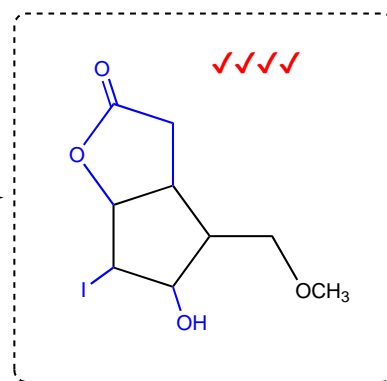
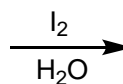


Derartige elektrophile Additionsreaktionen finden auch Anwendung bei der Synthese komplizierterer Naturstoffe. Nachfolgend ist ein Ausschnitt aus der Synthese der biologisch aktiven Verbindung Prostaglandin E₂ gezeigt, die Entzündungen, Schmerz und Fieber reguliert.

f) **Vervollständige** die Strukturen der Intermediate **1** und **2**.

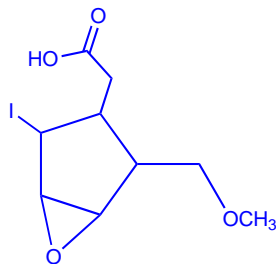


Intermediat 1

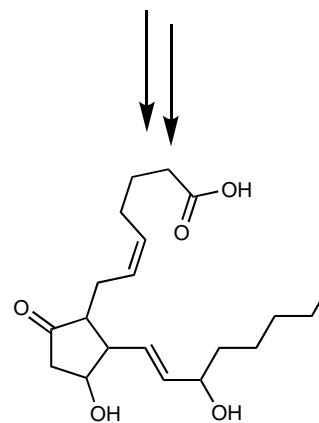


Intermediat 2
(C₉H₁₃IO₄)

Alternative Intermediat 2:



✓✓ (bei Intermediat 2 kann ein Teilpunkt vergeben werden für die gezeigte Struktur. Für Strukturen, die nicht mit der gegebenen Summenformel übereinstimmen, gibt es keine Teilpunkte)



Prostaglandin E₂

- 0
- 1
- 2
- 3

