



*Internationale  
ChemieOlympiade*

## Klausur

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

	Vorname Nachname:
	Personencode:
	Bundesland:

### 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.

≙ angekreuzt

≙ nicht angekreuzt

≙ 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"> <li>• Feststoffe und Flüssigkeiten: <math>a_X = 1</math></li> <li>• Verdünnte Lösungen: <math>a_X \approx \frac{c_X}{c_0}; c_0 = 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}</math></li> <li>• Gase: <math>a_X \approx \frac{p_X}{p_0}; p_0 = 1 \text{ bar}</math></li> </ul>	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:	
Geschwindigkeitsgesetz	$r = k \cdot c_A^x \cdot c_B^y \cdot \dots$	<ul style="list-style-type: none"> <li>0. Ordnung <math>c = c_0 - k \cdot t</math></li> <li>1. Ordnung <math>c = c_0 \cdot e^{-k \cdot t}</math></li> <li>2. Ordnung <math>c^{-1} = c_0^{-1} + k \cdot t</math></li> </ul>	
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 <sup>5</sup> Pa 1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa	Volumen	1 L = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
Temperatur	$\vartheta / ^\circ C = T / K - 273,15$	Masse	1 u = 1,6605 · 10 <sup>-27</sup> kg
Längen	1 Å = 10 <sup>-10</sup> m	Vorsätze	pico/p: 10 <sup>-12</sup> ; nano/n: 10 <sup>-9</sup> mikro/μ: 10 <sup>-6</sup> ; milli/m: 10 <sup>-3</sup>

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"/> 0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
8	10	16	17	18	

b) In welcher Anordnung sind die Elemente nach steigender Elektronegativität sortiert?					<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
C < H < F	Si < S < F	S < F < Ne	Ge < Se < P	As < P < Si	

c) In welcher Verbindung ist die Oxidationszahl des Metalls am höchsten?					<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
MnO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	Ni(CO) <sub>4</sub>	

d) Welches der Gase ist der dritthäufigste Bestandteil von Luft?					<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Ar	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	

e) Welches der Anionen bildet mit Silber(I)-Ionen ein Salz, das unlöslich in Wasser ist (< 1 g/L bei Raumtemperatur)?					<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	

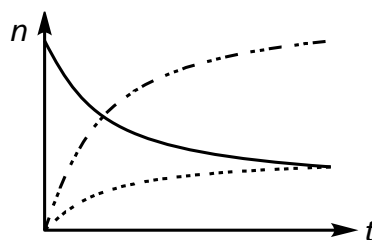
f) Welche thermodynamische Bedingung muss für eine spontane Reaktion erfüllt sein?					<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
$\Delta_r H < 0$	$\Delta_r S < 0$	$\Delta_r S > 0$	$\Delta_r G > 0$	$\Delta_r G < 0$	

g) Beim Lösen welcher Verbindung in verdünnter Salzsäure wird ein Gas freigesetzt?					<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
NH <sub>4</sub> Cl	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> S	



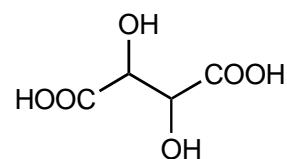


h) Die Abbildung zeigt die zeitabhängigen Verläufe der Stoffmengen der Edukte und Produkte einer chemischen Reaktion. Wie lautet die zugehörige Reaktionsgleichung?


 0  
  
 1

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

 0  
  
 1

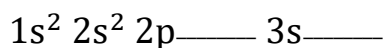



2-02

## 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

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

 0  
  
 1

- 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

- 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  

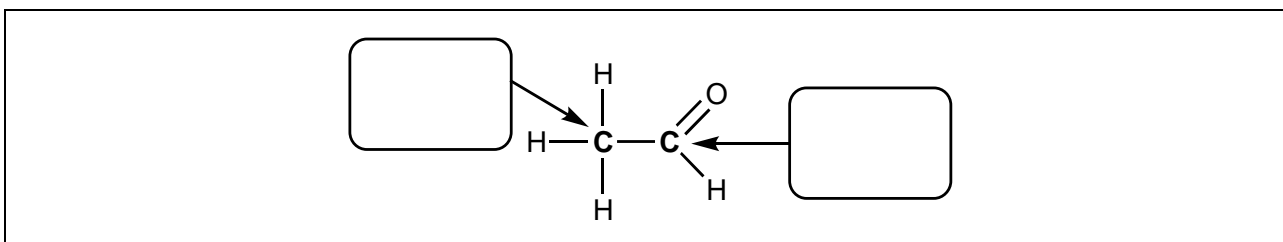





f) Beim Rösten von Zink(II)-sulfid an Luft werden Zink(II)-oxid und Schwefeldioxid gebildet. **Gib** für diese Reaktion eine ausgeglichene Reaktionsgleichung mit Aggregatzuständen **an**.

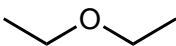
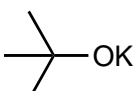
- 
- 0
- 
- 
- 
- 
- 1
- 
- 

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



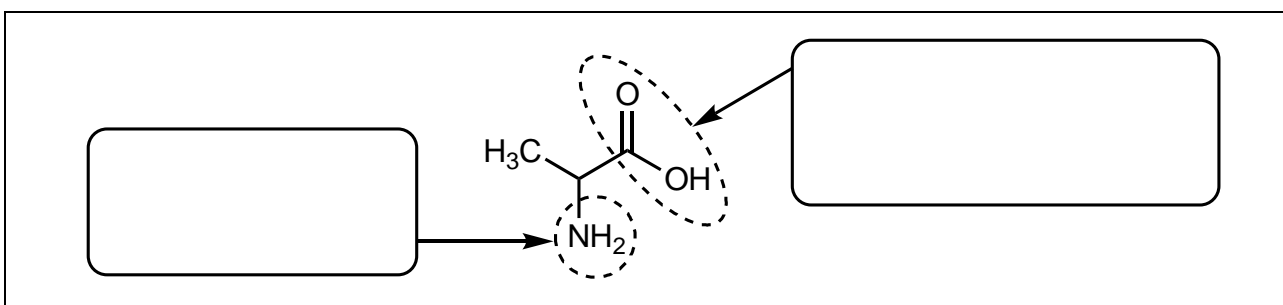
- 
- 0
- 
- 
- 
- 
- 1
- 
- 
- 
- 
- 2

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

<b>A</b> 	<b>B</b> 	<b>C</b> $\text{KMnO}_4$	Base:
			Oxidationsmittel:
			Lösungsmittel:

- 
- 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).

<u>Lücke (1)</u> <input type="checkbox"/> s-Orbital <input type="checkbox"/> p-Orbital <input type="checkbox"/> d-Orbital <input type="checkbox"/> f-Orbital	<u>Lücke (2)</u> <input type="checkbox"/> Oxidationsmittel <input type="checkbox"/> Reduktionsmittel	<u>Lücke (3)</u> <input type="checkbox"/> Aufnahme <input type="checkbox"/> Abgabe	<u>Lücke (4)</u> <input type="checkbox"/> Elektronegativität <input type="checkbox"/> Atomradius <input 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>Na</td></tr> <tr><td>K</td><td>Rb</td></tr> <tr><td>Cs</td><td>Fr</td></tr> </table>	Li	Na	K	Rb	Cs	Fr	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 	<input 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.

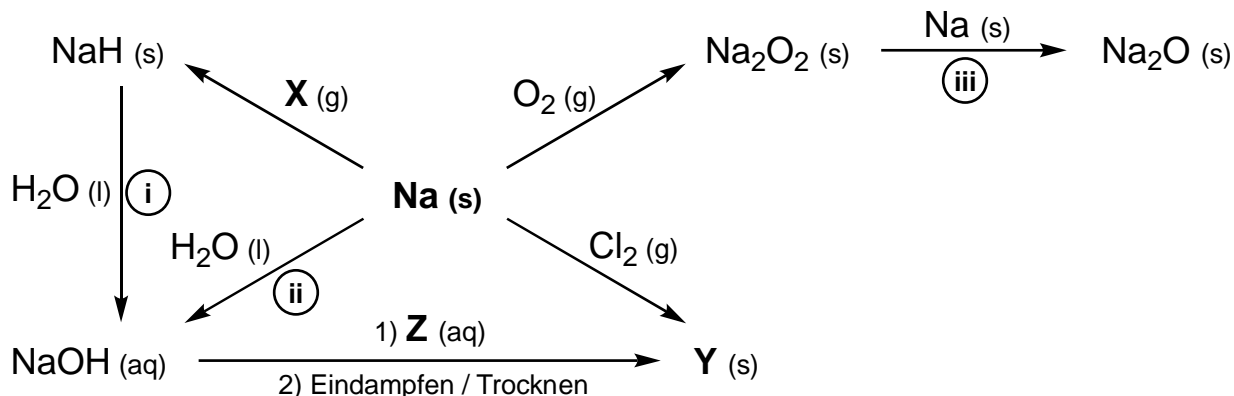
Mögliche Flammenfärbungen: blau – violett – rot – orange – gelb – grün

Li	Na	K	Rb
----	----	---	----

- 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
---	---	---

- 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)	_____ NaH (s) + _____ H <sub>2</sub> O (l) → _____ NaOH (aq) + _____
(ii)	_____ Na (s) + _____ H <sub>2</sub> O (l) → _____ NaOH (aq) + _____
(iii)	_____ Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (s) + _____ Na (s) → _____ Na <sub>2</sub> O (s)

- 0
- 1
- 2
- 3

f) **Zeichne** die LEWIS-Formel (mit allen freien Elektronenpaaren) des Anions in Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. **Kreuze** den korrekten Namen des Anions **an**.

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

- 0
- 1





2-04

## Die vielen Gesichter des Phosphors

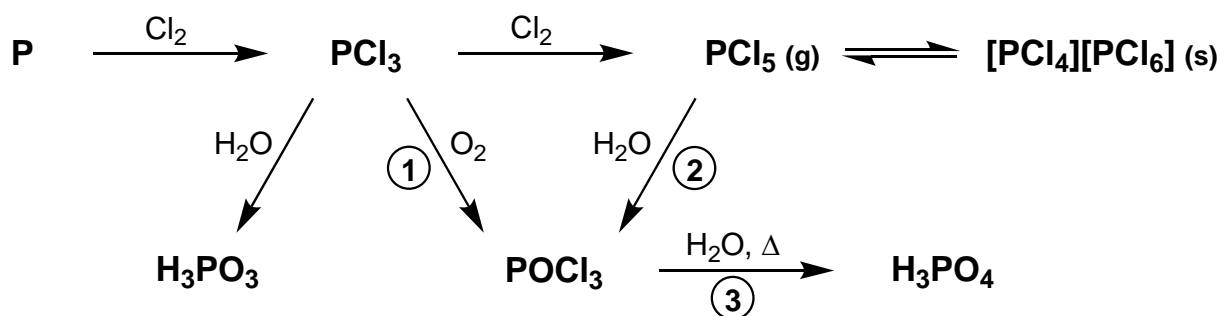
20 Pt

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.

 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**.

 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
$\text{PCl}_3$		
$\text{PCl}_5$		
$[\text{PCl}_4]^+$		
$[\text{PCl}_6]^-$		

- 
- 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 ...		
$\text{PCl}_3$	$\text{PF}_3$	<input type="checkbox"/> größer in Molekül 1.	<input type="checkbox"/> größer in Molekül 2.	<input type="checkbox"/> gleich groß in beiden Molekülen.
$\text{PCl}_3$	$\text{POCl}_3$	<input type="checkbox"/> größer in Molekül 1.	<input type="checkbox"/> größer in Molekül 2.	<input type="checkbox"/> gleich groß in beiden Molekülen.
$\text{PCl}_3$	$[\text{PCl}_4]^+$	<input type="checkbox"/> größer in Molekül 1.	<input type="checkbox"/> größer in Molekül 2.	<input type="checkbox"/> gleich groß in beiden Molekülen.
$[\text{PCl}_6]^-$	$[\text{PF}_6]^-$	<input type="checkbox"/> größer in Molekül 1.	<input type="checkbox"/> größer in Molekül 2.	<input 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  $\pi$ -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.

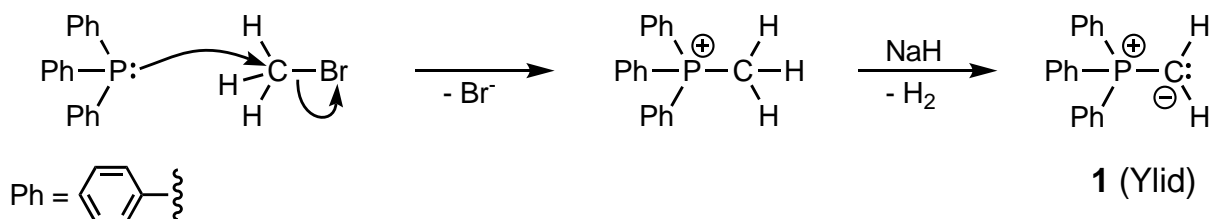
Fall 1 und 2 sind gleich günstig.

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



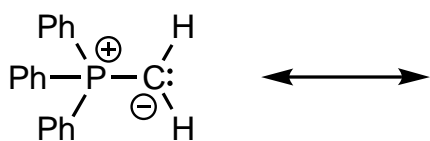


Phosphorverbindungen finden auch in der organischen Chemie Anwendung, wie etwa in der WITTIG-Reaktion. Dabei wird z.B. Triphenylphosphan mit Brommethan und einer starken Base wie NaH zu einem sogenannten Ylid umgesetzt.



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

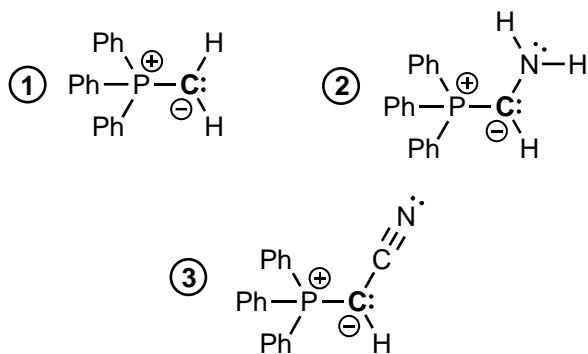
0  
  
 1



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

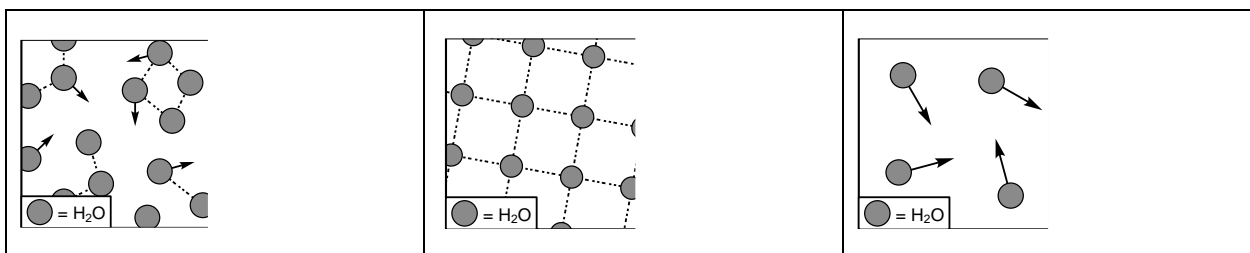
Ice, Ice Baby

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<sub>2</sub>O-Moleküle) unterscheidet sich zwischen den Aggregatzuständen deutlich, wie in den Abbildungen illustriert ist. **[Ordne** den untenstehenden Abbildungen die Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig **zu.**]



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	
Gasförmig → Flüssig	
Fest → Gasförmig	

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

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4

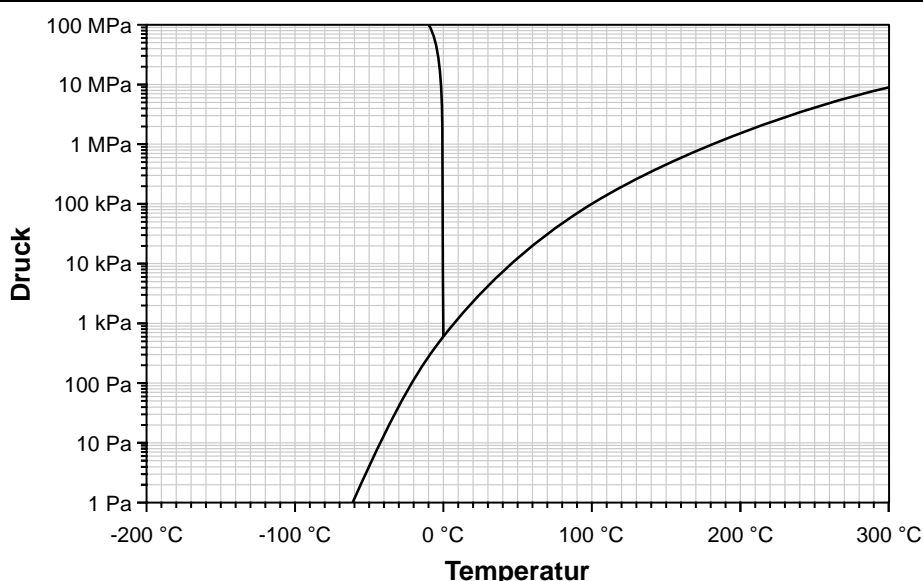
Phasendiagramme sind eine einfache Möglichkeit, um anzugeben, unter welchen Bedingungen (Druck, Temperatur) welcher Aggregatzustand der thermodynamisch stabilste ist.

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.]





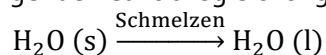


Am Gipfel der Zugspitze herrscht ein Umgebungsdruck von rund 69 kPa, sodass Wasser dort bei einer niedrigeren Temperatur als normal siedet. **[Bestimme die Siedetemperatur von Wasser auf der Zugspitze. Zeichne dein Vorgehen in das Phasendiagramm ein.]**

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.]**

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

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

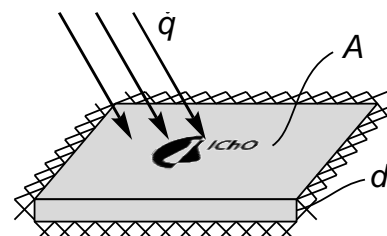


c) **Berechne** anhand der gegebenen Tabellenwerte die Schmelzenthalpie  $\Delta_{\text{fus}}H^\circ$  und Schmelzentropie  $\Delta_{\text{fus}}S^\circ$  von Wasser unter Standardbedingungen.

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

- 
- 0
- 
- 
- 
- 
- 1
- 
- 
- 
- 
- 2





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

Betrachte abschließend eine Eisschicht 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  $\Delta d_{\text{Eis}}$  soll berechnet werden. **Vervollständige** den Rechenweg.

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

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

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

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

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

 0

 1

 0

 1

 0

 1



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

 2  

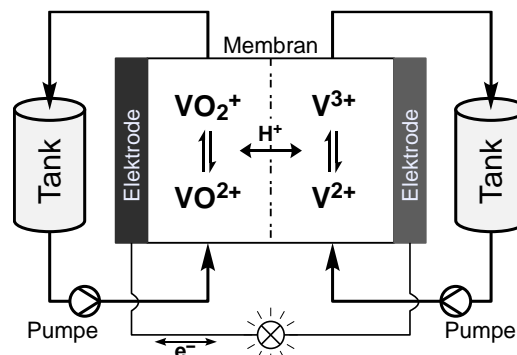
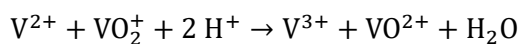



2-06

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**.

$V^{3+}$ :	$V^{2+}$ :	$VO_2^+$ :	$VO^{2+}$ :
------------	------------	------------	-------------

- 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.

$VO_2^+/VO^{2+}$ :	<input type="checkbox"/> Anode	<input type="checkbox"/> Kathode	<input type="checkbox"/> Pluspol	<input type="checkbox"/> Minuspol
$V^{3+}/V^{2+}$ :	<input type="checkbox"/> Anode	<input type="checkbox"/> Kathode	<input type="checkbox"/> Pluspol	<input type="checkbox"/> 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 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.

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

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

 0  
  
 1  

 0  
  
 1  


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,  $\Delta E^\circ$ .

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

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

 0  
  
 1




- 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  $DoD = 95\%$ .

- 0  
  
 1  
  
 2

► 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  $c_{V^{2+}} = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

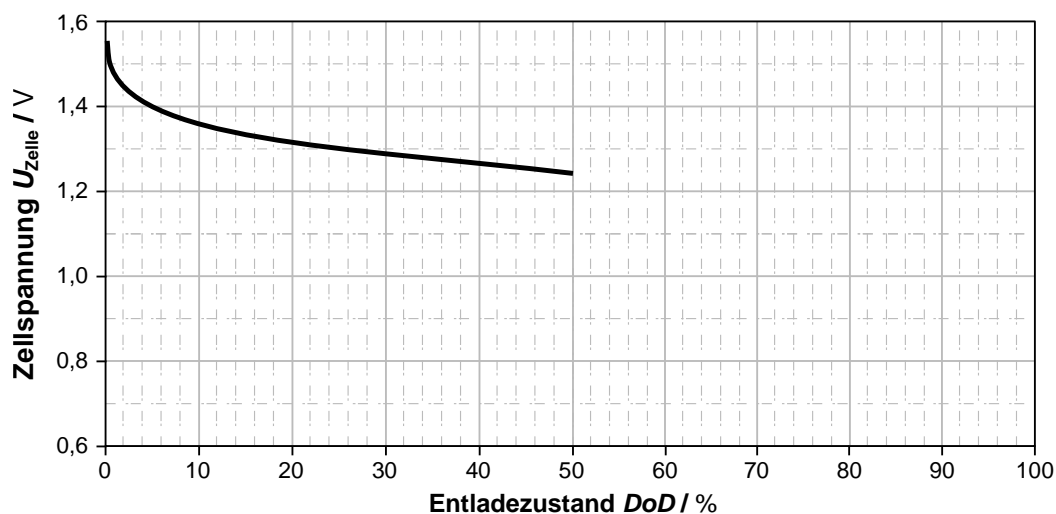
- iii. **Berechne** mithilfe der NERNST-Gleichung die tatsächliche Zellspannung  $U_{\text{Zelle},95\%}$  der betrachteten RFB bei einem Entladezustand von  $DoD = 95\%$ . Gehe dabei von einer Betriebstemperatur von  $T = 25\text{ °C}$  aus und nimm an, dass weiterhin  $c_{H^+} = 3,0 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$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

- 0  
  
 1  
  
 2  
  
 3

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

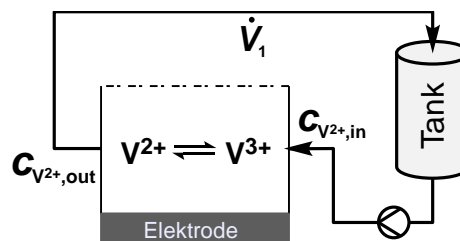


iv. Im nachfolgenden Diagramm ist die Abhängigkeit der Zellspannung  $U_{\text{Zelle}}$  vom Entladezustand DoD der RFB dargestellt. **Trage** den Punkt bei DoD = 95 % in das Diagramm **ein** und **skizziere** den Verlauf von  $U_{\text{Zelle}}$  im Bereich von  $50 \% \leq \text{DoD} \leq 100 \%$ .



- 0
- 1
- 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  $\text{V}^{2+}$  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.

- 0
- 1
- 1
- 2
- 3
- 





2-07

## Jetzt cool bleiben – FCKW

15 Pt

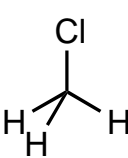
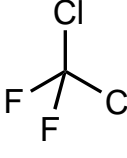
Gesättigte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), die häufig als Kühlmittel eingesetzt werden, leiten sich von den Alkanen ab, wobei eines oder mehrere Wasserstoffatome durch Chlor- oder Fluoratome ersetzt sind.

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

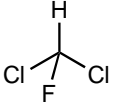

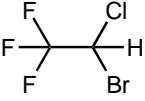
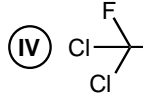
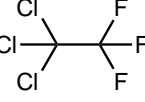
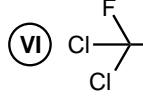
Die Kohlenstoffatome in gesättigten FCKW sind, wie in Alkanen, (1). FCKW-Moleküle sind schwerer und besitzen aufgrund der (2) zwischen den Kohlenstoff- und Fluor- bzw. Chloratomen häufig ein(e) (3), weshalb sie (4) Siedepunkte als / wie die entsprechenden Alkane besitzen.

Lücke (1)	Lücke (2)	Lücke (3)	Lücke (4)
<input type="checkbox"/> sp-hybridisiert	<input type="checkbox"/> polaren Atombindungen	<input type="checkbox"/> Formalladung	<input type="checkbox"/> höhere
<input type="checkbox"/> sp <sup>2</sup> -hybridisiert	<input type="checkbox"/> unpolaren Atombindungen	<input type="checkbox"/> magnetisches Moment	<input type="checkbox"/> ähnliche
<input type="checkbox"/> sp <sup>3</sup> -hybridisiert	<input type="checkbox"/> Ionenbindungen	<input 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		(E)-1-Chlor-3,3,3-trifluorpropen
CH <sub>3</sub> Cl		CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	

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

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



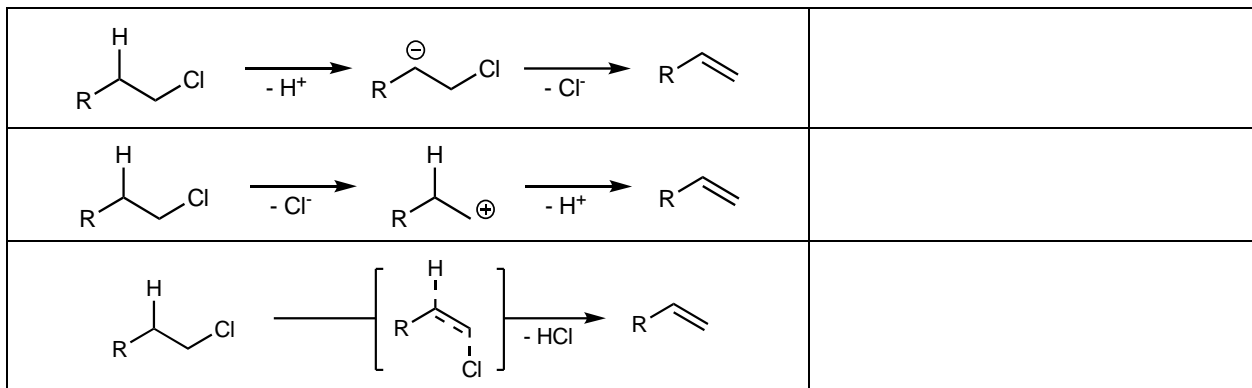




Neben den bisher betrachteten FCKW gibt es auch solche, die sich von ungesättigten Kohlenwasserstoffen ableiten. Sie können aus gesättigten FCKW durch die Eliminierung von Halogenwasserstoffen („Dehydrohalogenierung“) synthetisiert werden.

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

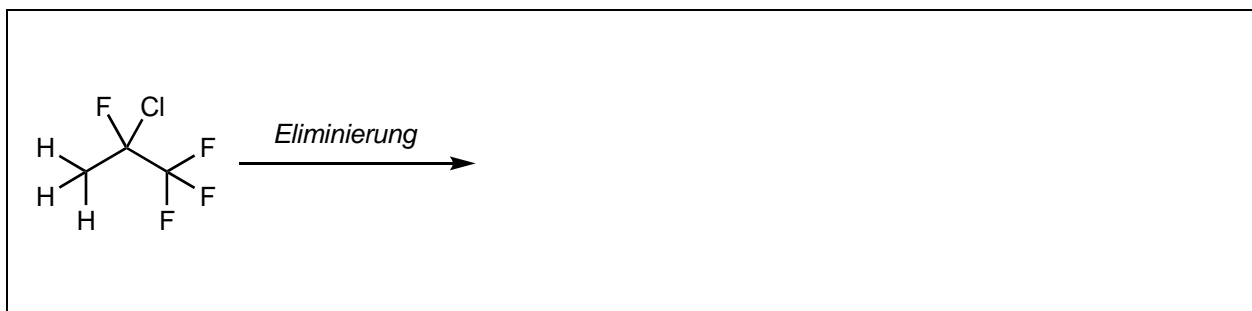
Dehydrohalogenierungen können prinzipiell nach einem E<sub>1</sub>-, E<sub>1cB</sub>- oder E<sub>2</sub>-Mechanismus ablaufen. [**Ordne** die genannten Eliminierungsmechanismen (E<sub>1</sub>, E<sub>1cB</sub>, E<sub>2</sub>) jeweils einem der gezeigten Mechanismen **zu**.]



[**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

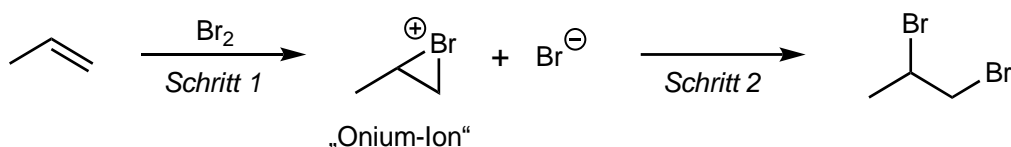


2-08

## Additionsaufgabe: Alken + Halogen = ?

20 Pt

Die elektrophile Addition von Halogenen (z. B.  $\text{Br}_2$ ) 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.



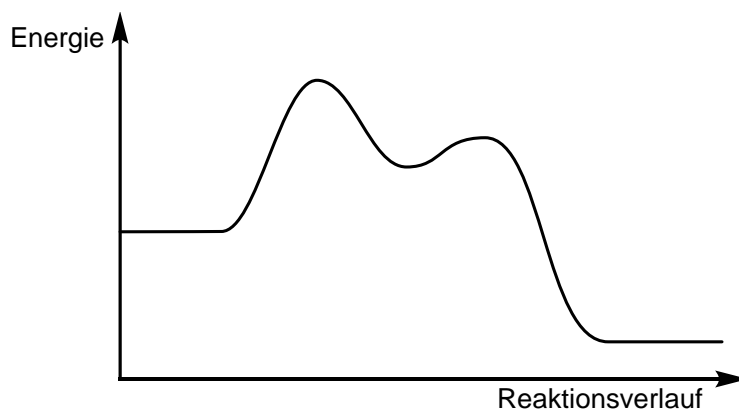
a) **Kreuze jeweils an**, ob das gezeigte Teilchen als Elektrophil oder Nucleophil reagiert.

Schritt 1		Schritt 2	
	$\text{Br}_2$		$\text{Br}^-$
<input type="checkbox"/> Elektrophil <input type="checkbox"/> Nucleophil	<input type="checkbox"/> Elektrophil <input type="checkbox"/> Nucleophil	<input type="checkbox"/> Elektrophil <input type="checkbox"/> Nucleophil	<input type="checkbox"/> Elektrophil <input type="checkbox"/> Nucleophil

- 
- 0
- 
- 
- 
- 
- 1
- 
- 
- 
- 
- 2

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

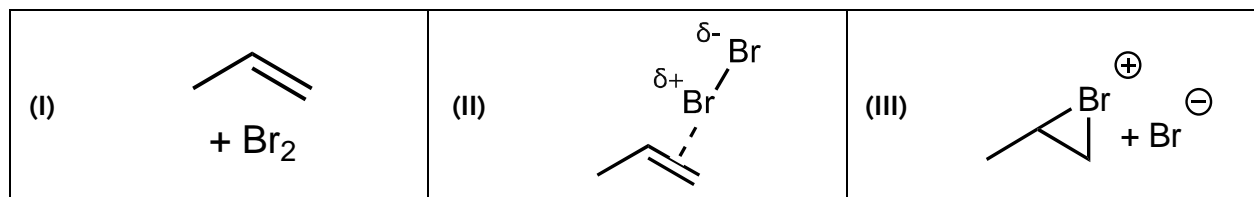
Die Abbildung zeigt das qualitative Energiediagramm der betrachteten Reaktion.



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

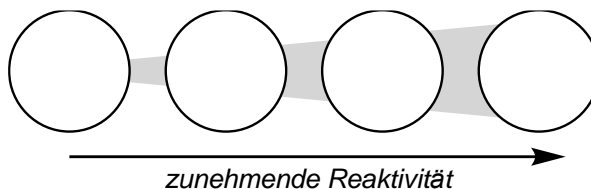
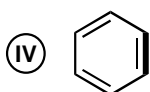
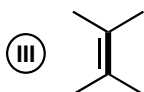
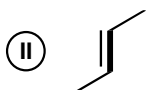
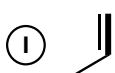




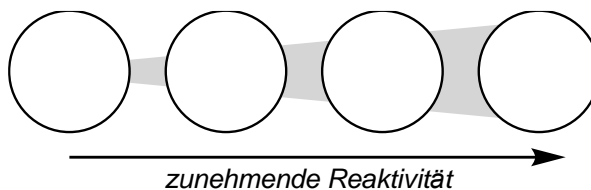
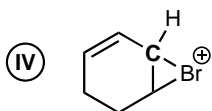
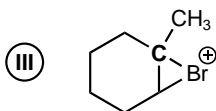
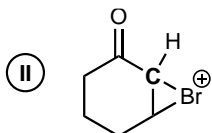
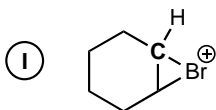
Die Regioselektivität von elektrophilen Additionen wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Im Allgemeinen sind elektronenreiche Doppelbindungen in Schritt 1 (siehe Abbildung oben) reaktiver. In Schritt 2 trägt das angegriffene Kohlenstoffatom eine positive Partiaalladung, sodass solche Kohlenstoffatome,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

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

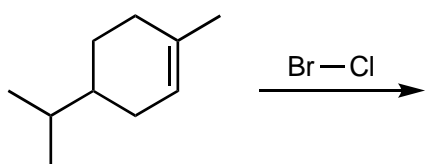
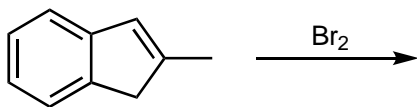
i) **Ordne** die gezeigten Alkene I – IV nach zunehmender Reaktivität der fett markierten Doppelbindung in Schritt 1 einer elektrophilen Addition.

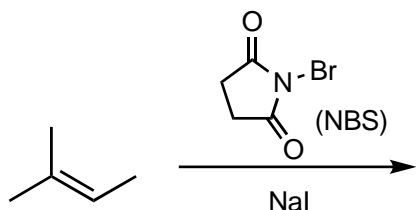


ii) **Ordne** die gezeigten Onium-Ionen I – IV nach zunehmender Reaktivität des fett markierten Kohlenstoffatoms in Schritt 2 einer elektrophilen Addition.



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

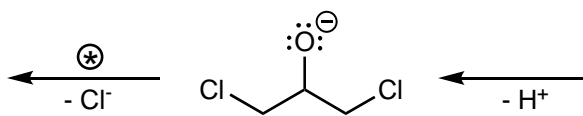
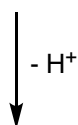
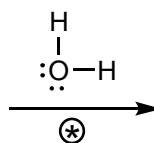
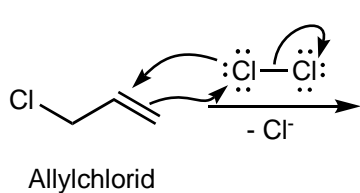
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48



Hinweis: Das Reagenz NBS kann als Quelle von  $\text{Br}^+$  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**.



Epichlorhydrin ( $\text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}$ )

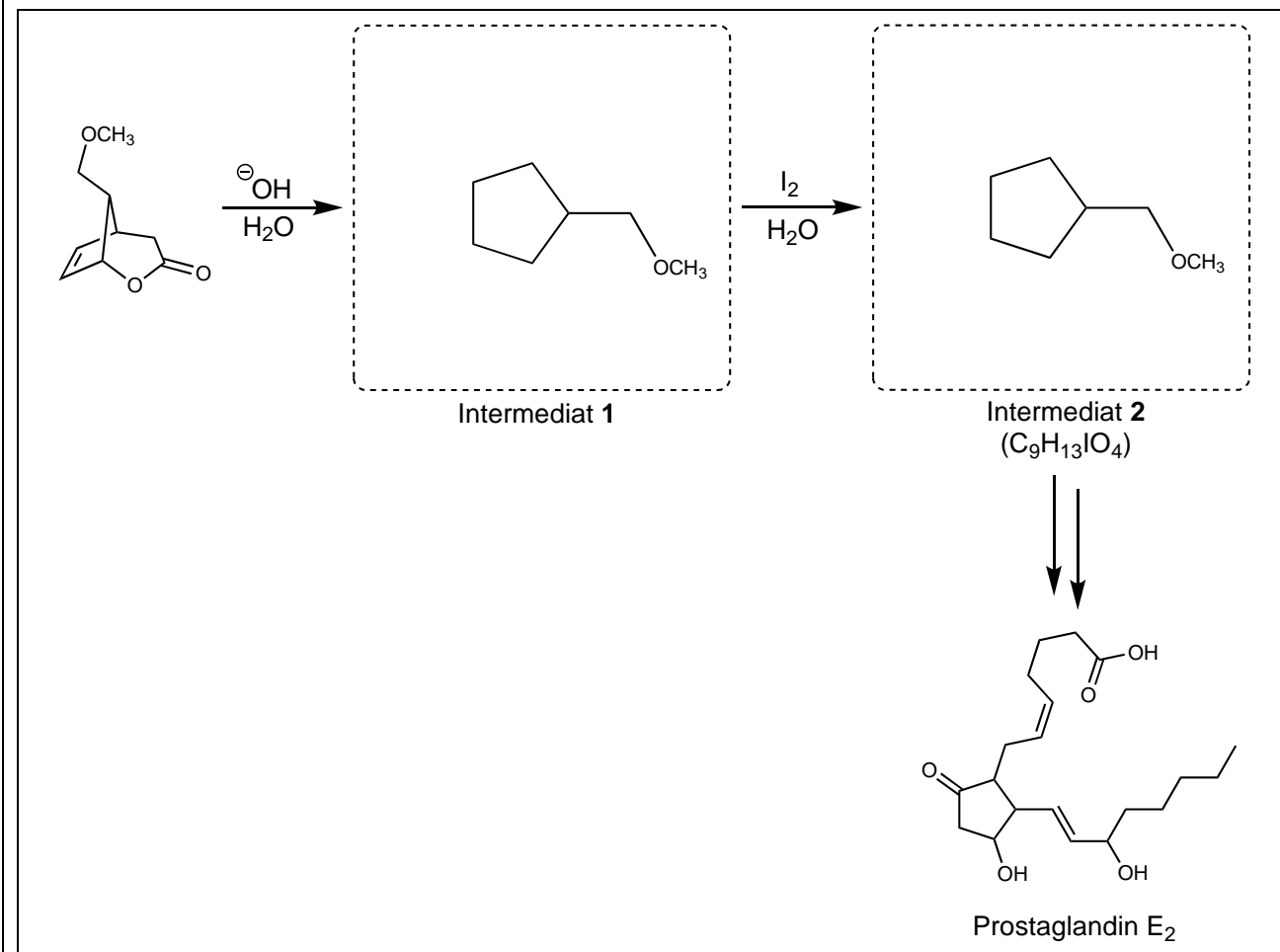
- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5





Derartige elektrophile Additionsreaktionen finden auch Anwendung bei der Synthese komplizierterer Naturstoffe. Nachfolgend ist ein Ausschnitt aus der Synthese der biologisch aktiven Verbindung Prostaglandin E<sub>2</sub> gezeigt, die Entzündungen, Schmerz und Fieber reguliert.

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



- 0
- 1
- 2
- 3

