

Musterlösung der Übungsklausur

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

	Name: Max Mustermann
	Personencode: xxx
	Bundesland: Musterland

Bearbeitungshinweise:

- Diese Klausur umfasst **29 Seiten** mit insgesamt **8 Aufgaben**, einer **Formelsammlung** und einem **PSE**. Bitte kontrolliere am Anfang der Bearbeitungszeit, dass diese Angabe vollständig ist.
- Diese Klausur ist **personalisiert**. Kontrolliere am Anfang der Arbeitszeit, dass dein **Name**, **Personencode** und **Bundesland** auf dem Deckblatt sowie dein Personencode und Bundesland auf allen anderen Seiten korrekt eingetragen sind.
- Die **Bearbeitungszeit** für diese Klausur beträgt **180 Minuten**.
- Schreibe deine Ergebnisse ausschließlich in die zugehörigen **Kästen** in dieser Angabe, alles außerhalb der Kästen wird nicht gewertet. Benutze die freien Rückseiten dieser Angabe als **Schmierpapier**.
- Es werden nur Ergebnisse gewertet, bei denen der **Lösungsweg** klar erkennbar ist.

- Wenn in längeren Aufgaben **Zwischenergebnisse** der Form „**Weiter mit: ...**“ gegeben sind, rechne mit diesen weiter und grundsätzlich **nicht mit deinen eigenen Zwischenergebnissen**.
- Verwende für **Naturkonstanten** und **Atommassen** ausschließlich die Werte aus den gegebenen Hilfsmitteln (Formelsammlung / PSE).
- Bearbeite diese Klausur ausschließlich mit **dokumentenechten Stiften** (z.B. Füller, Kugelschreiber). Antworten mit Bleistift werden nicht gewertet. Verwende keine roten oder grünen Stifte.
- Streiche **falsche Ergebnisse** durch und mache eindeutig kenntlich, welches Ergebnis gewertet werden soll. Verwende **keinen Tintenkiller oder Korrekturmaus**. Bei Ankreuzaufgaben kannst du ein Kreuz ungültig machen, indem du die Ankreuzbox vollständig ausmalst.
- Neben Schreibgeräten, Lineal / Geodreieck ist in dieser Klausur als **Hilfsmittel** ausschließlich ein **nicht grafikfähiger Taschenrechner** zugelassen. Schalte unerlaubte Hilfsmittel ggf. aus, verstau sie in deiner Tasche und verschließe diese.
- Abgesehen von der Formelsammlung und dem PSE ist das Heraustrennen von Seiten aus dieser Klausur untersagt. Gib am Ende der Arbeitszeit **alle** Seiten dieser Angabe wieder in der richtigen Reihenfolge ab.
- Das Beschriften der QR-Codes, der Eckmarkierungen sowie der Korrekturspalten am rechten Rand der Bearbeitungskästen ist untersagt.



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

≙ angekreuzt

≙ nicht angekreuzt

≙ angekreuzt

Formelsammlung

Stöchiometrie und Analytik	
Stoffmenge $n = \frac{m}{M} = \frac{V}{V_m} = \frac{N}{N_A}$	Licht / Photonen $\nu = \frac{E}{h} = \frac{c}{\lambda}$
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 $p_{\text{ges}} = p_A + p_B + \dots$
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:	$c = c_0 - k \cdot t$
Geschwindigkeitsgesetz	$r = k \cdot c_A^x \cdot c_B^y \cdot \dots$		$c = c_0 \cdot e^{-k \cdot t}$
			$c^{-1} = c_0^{-1} + k \cdot t$
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

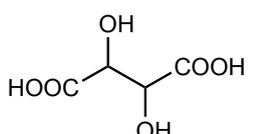
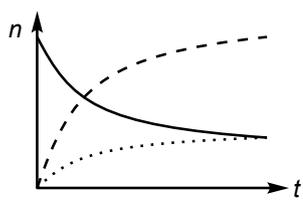
Multiple Choice

15Pt

Kreuze für jede der folgenden Teilaufgaben jeweils alle richtigen Antworten **an**.

Hinweis: Es können immer auch mehrere Antworten richtig sein, selbst wenn die Frage so formuliert ist, als wäre nur eine Antwort richtig.

a) Welches Nuklid enthält die meisten Neutronen?					<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
^{40}Ca	^{37}Cl	^{34}S	^{39}Ar	^{41}Ti	
b) In welcher Anordnung sind die Elemente nach steigender Elektronegativität sortiert?					<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
$\text{C} < \text{H} < \text{F}$	$\text{Si} < \text{C} < \text{N}$	$\text{S} < \text{F} < \text{Ne}$	$\text{Mg} < \text{Al} < \text{Li}$	$\text{P} < \text{S} < \text{O}$	
c) Wie lautet die Verhältnisformel der ungeladenen Verbindung Cuprospinel?					<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
CuFeO_4	Cu_2FeO_4	CuFe_2O_4	$\text{Cu}_2\text{Fe}_3\text{O}_4$	CuFe_4O_4	
d) Wie viele Elektronen mit der Hauptquantenzahl 3 kann es in einem Atom maximal geben?					<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
2	8	9	16	18	
e) Welches der Salze ist unlöslich in Wasser (< 1 g/L bei Raumtemperatur)?					<input type="checkbox"/> 0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
BaCO_3	KNO_3	CaCl_2	AgBr	KHCO_3	
f) Welches Element verursacht eine rote Flammenfärbung?					<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
Cu	Li	K	Sr	Ba	
g) Welche der Säuren ist die stärkste?					<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
HCl	HF	HClO_4	HOCl	NH_4^+	
h) Welche Verbindung besitzt den höchsten Siedepunkt?					<input type="checkbox"/> 0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
CH_4	HF	HBr	NH_3	H_2S	

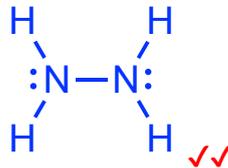
i) Wie lautet die Summenformel der Verbindung 3-Ethyl-4-methylheptan?					<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X✓✓	
C ₇ H ₁₄	C ₇ H ₁₆	C ₁₀ H ₁₆	C ₁₀ H ₂₀	C ₁₀ H ₂₂	
j) Welche Verbindungen entstehen formal bei der Reaktion eines Ketons mit einem Alkohol?					<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X✓	X✓	
Ester	Ether	Aldehyde	Ketale	Acetale	
k) Wie viele verschiedene Stereoisomere von Weinsäure (siehe Abbildung) gibt es?					<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1
					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X✓✓	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1	2	3	4	6	
l) Die Abbildung zeigt die zeitabhängigen Verläufe der Stoffmengen der Edukte und Produkte einer chemischen Reaktion. Wie lautet die zugehörige Reaktionsgleichung?					<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1
					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X✓✓	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2 A → 2 B + C	A → 2 B + C	2 A → 3 B + C	3 A → 3 B + C	A → 3 B + C	
m) Welche thermodynamische Bedingung muss für eine spontane Reaktion erfüllt sein?					<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X✓✓	
Δ _r H < 0	Δ _r S < 0	Δ _r S > 0	Δ _r G > 0	Δ _r G < 0	
n) Welche Gesetzmäßigkeit beschreibt eine Kinetik 1. Ordnung?					<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1
X✓	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X✓	
$\frac{dc}{dt} = -k \cdot c$	$c(t) = c_0 - k \cdot t$	$\frac{dc}{dt} = -k$	$\frac{1}{c(t)} = \frac{1}{c_0} - k \cdot t$	$\ln(c(t)) = \ln(c_0) - k \cdot t$	
o) Welche Naturkonstante beschreibt die molare Ladungsmenge von Elektronen?					<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1
<input type="checkbox"/>	X✓✓	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
e	F	h	k _B	m _e	

2-02

Kurzfragen

15Pt

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



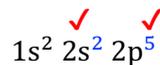
Oxidationszahl: -2 / -II ✓✓

- 0

 1

 2

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



- 0

 1

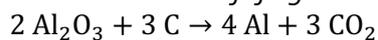
c) **Nenne** ein Element, das bei Standardbedingungen flüssig ist.

Brom / Quecksilber ✓✓

- 0

 1

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



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

Verhältnis der Stoffmengen aufstellen und (molare) Massen einsetzen:

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

Umformen, Werte einsetzen und Ergebnis berechnen:

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

- 0

 1

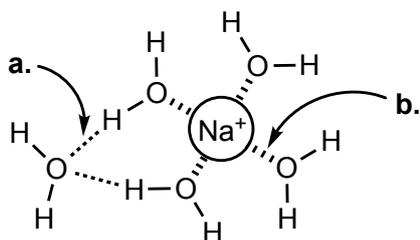
 2

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

- 0

 1

 2



a. Wasserstoffbrückenbindung ✓✓

b. Ion-Dipol-Wechselwirkung ✓✓

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

- 0

 1

 2

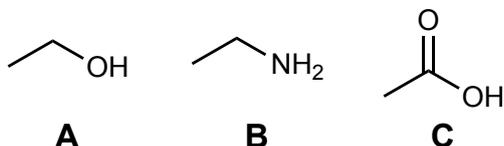


g) **Gib** jeweils **an**, welche der Verbindungen **A**, **B** und **C** die stärkste Säure bzw. die stärkste Base ist.

- 0

 1

 2



Stärkste Säure: **C**✓✓

Stärkste Base: **B**✓✓

h) **Zeichne** jeweils die Strukturformel desjenigen Isomers mit der Summenformel $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$, das zu der entsprechenden Beschreibung passt.

- 0

 1

 2

 3

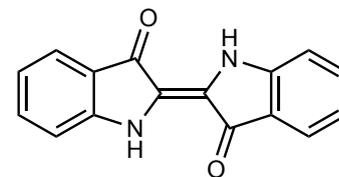
Strukturformel	✓✓	✓✓	✓✓
Beschreibung	Bei diesem Isomer handelt es sich um ein sehr gängiges Lösungsmittel , das zur Gruppe der Ketone gehört.	Der systematische Name dieses Isomers lautet (E)-Prop-1-en-1-ol .	Dieses Isomer ist cyclisch und besitzt eine freie Hydroxygruppe .

2-03

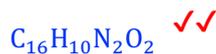
Das wird mir zu bunt!

15 Pt

Indigo, ein blauvioletttes Färbemittel, ist eines der ältesten bekannten Pigmente und wurde schon in prähistorischer Zeit zum Färben von Stoffen verwendet. Nebenstehend ist die Skelettformel von Indigo abgebildet.



a) **Gib** die Summenformel von Indigo an.



0

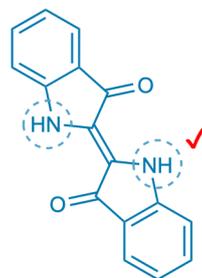
 1

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

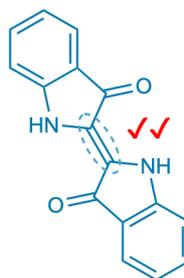
Carbonyl-Gruppe



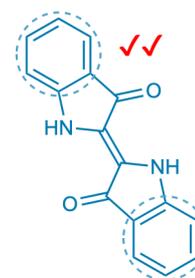
Amino-Gruppe



Alkenyl-Gruppe



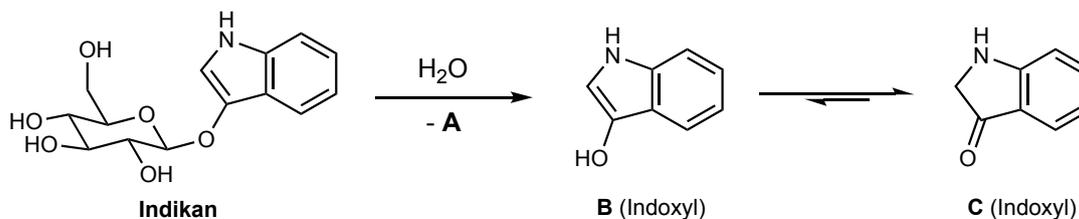
Phenylen-Gruppe



0

 1
 2
 3
 3

Traditionell wird Indigo aus in Indigopflanzen enthaltenem Indikan gewonnen. Durch Gärung entsteht aus diesem Indoxyl, eine Vorstufe von Indigo.



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

Indikan wird im ersten Schritt in einem Überschuss von Wasser aufgespalten. Bei der Reaktion handelt es sich um eine (1). Das dabei entstehende Nebenprodukt **A** gehört zur Klasse der (2). Verbindungen **B** und **C** sind (3) von Indoxyl und können sich ineinander umlagern. Das Gleichgewicht liegt dabei auf der Seite von (4).

Lücke (1)

- Kondensation
 Hydrolyse ✓✓
 Addition
 Eliminierung

Lücke (2)

- Aminosäuren
 Lipide
 Peptide
 Kohlenhydrate ✓✓

Lücke (3)

- Mesomere Grenzstrukturen
 Stereoisomere
 Strukturisomere ✓
 Tautomere ✓

Lücke (4)

- Verbindung **B**
 Verbindung **C** ✓✓

0

 1
 2

 3

 4

Indoxyl kann schließlich in einem Prozess, der Schlagen genannt wird, mit Luftsauerstoff zu Indigo umgesetzt werden.

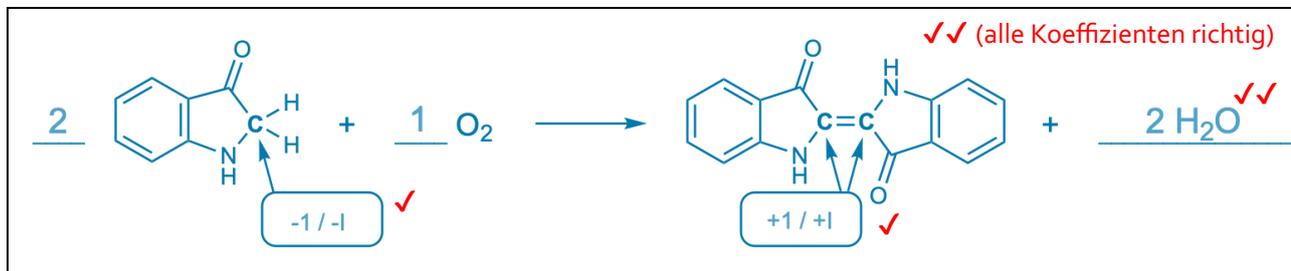
- d) **Vervollständige** die Reaktionsgleichung, indem du die Oxidationszahlen der fett markierten Kohlenstoffatome in die Kästchen **schreibst** und das fehlende Nebenprodukt sowie die stöchiometrischen Koeffizienten **angibst**.

- 0

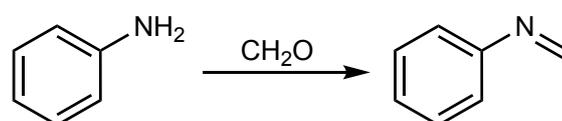
 1

 2

 3



Heutzutage wird der Großteil des weltweit hergestellten Indigos synthetisch erzeugt. Ein möglicher Syntheseweg beginnt dabei mit der Umsetzung von Anilin und Formaldehyd zu einem Imin.



- e) **Vervollständige** den Lückentext zum Mechanismus der betrachteten Reaktion, indem du **ankreuzt** bzw. die Lücken entsprechend den Anweisungen **ergänzt**.

- 0

 1

 2

 3

 4

 5

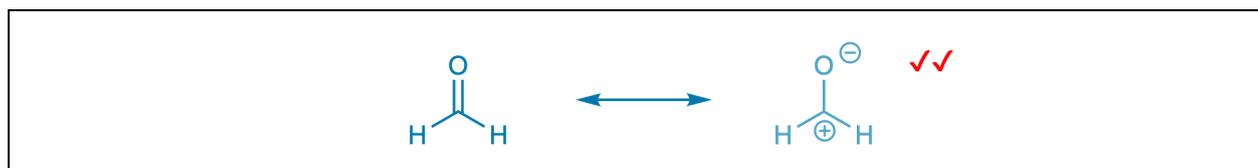
Das Stickstoffatom im Anilin besitzt ein freies Elektronenpaar und kann somit als... **[Kreuze die richtige Antwort an.]**

Nukleophil Elektrophil

...reagieren. Formaldehyd besitzt eine polare C=O-Doppelbindung, in welcher der Kohlenstoff eine... **[Kreuze die richtige Antwort an.]**

negative positive

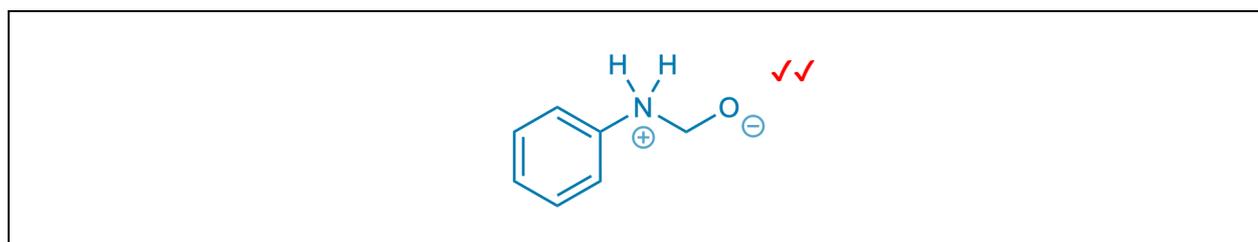
...Partiellladung besitzt, wie die mesomere Grenzstruktur von Formaldehyd verdeutlicht. **[Zeichne die mesomere Grenzstruktur von Formaldehyd.]**



Anilin und Formaldehyd können somit in einer... **[Kreuze die richtige Antwort an.]**

nucleophilen Substitution elektrophilen Addition nucleophilen Addition

...reagieren, bei der schließlich ein Intermediat mit folgender Struktur entsteht. **[Zeichne die fehlenden Formalladungen in die vorgegebene Struktur ein.]**



2-04

Alles eine Frage des Blickwinkels

20 Pt

Häufig kommt es in der organischen Chemie vor, dass Verbindungen dieselbe Summenformel, jedoch unterschiedliche Strukturen besitzen. Dieses Phänomen wird als Isomerie bezeichnet und kann sich auf mehrere Weisen äußern: Während in manchen Isomeren die Atome grundlegend anders verknüpft sind, unterscheiden sich Stereoisomere nur in der räumlichen Ausrichtung, nicht aber der Verknüpfung der Atome.

a) **Vervollständige** das Schema, indem du die unten gegebenen Begriffe und Strukturformeln jeweils in die korrekten Lücken einträgst.

Isomere			
Konstitutionsisomere ✓	Stereoisomere		
	Konfigurationsisomere		Konformationsisomere
	Enantiomere ✓	Diastereomere ✓	
Diastereomere			
Enantiomere			
Konstitutionsisomere			

- 0

 1

 2

 3

In der Stereochemie spielt der Begriff der Chiralität eine zentrale Rolle. Ein Molekül ist allgemein chiral, wenn es durch Drehen nicht in Übereinstimmung mit seinem eigenen Spiegelbild gebracht werden kann. Häufig besitzen solche Moleküle dabei asymmetrisch substituierte Kohlenstoffatome, d.h. solche mit vier verschiedenen Substituenten, als Stereozentren. Jedes Stereozentrum kann zwei verschiedene Konfigurationen einnehmen.

b) **Markiere** in der gegebenen Strukturformel alle asymmetrisch substituierten Kohlenstoffatome mit einem Sternchen *. **Gib an**, wie viele Stereoisomere das abgebildete Molekül besitzt.

	Anzahl Stereoisomere: Mit $N = 3$ Stereozentren folgt für die Anzahl der Stereoisomere: $2^N = 2^3 = 8$ ✓✓
✓✓ (alle * richtig) ✓ (2 * richtig) o P. sonst	

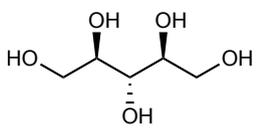
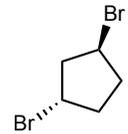
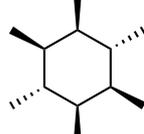
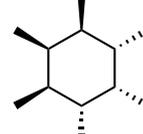
- 0

 1

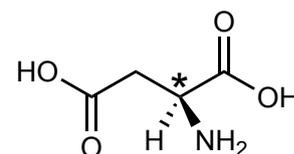
 2

Nicht jedes Molekül mit asymmetrisch substituierten Kohlenstoffatomen ist jedoch auch chiral. So sind alle Moleküle, die eine innere Spiegelebene oder ein Inversionszentrum besitzen, nicht chiral.

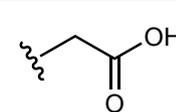
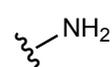
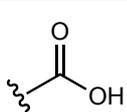
c) **Kreuze** für jedes der folgenden Moleküle jeweils an, ob es eine innere Spiegelebene, ein Inversionszentrum oder nichts von beiden gibt.

				<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2
<input checked="" type="checkbox"/> Spiegelebene <input type="checkbox"/> Inversionszentrum <input type="checkbox"/> Beides <input type="checkbox"/> Nichts von beiden	<input type="checkbox"/> Spiegelebene <input type="checkbox"/> Inversionszentrum <input type="checkbox"/> Beides <input checked="" type="checkbox"/> Nichts von beiden	<input checked="" type="checkbox"/> Spiegelebene <input type="checkbox"/> Inversionszentrum <input type="checkbox"/> Beides <input type="checkbox"/> Nichts von beiden	<input type="checkbox"/> Spiegelebene <input type="checkbox"/> Inversionszentrum <input checked="" type="checkbox"/> Beides <input type="checkbox"/> Nichts von beiden	

Um Stereoisomere eindeutig voneinander zu unterscheiden und benennen zu können, wurde die R/S-Nomenklatur für Stereozentren eingeführt. Diese soll exemplarisch auf die Aminosäure Asparaginsäure angewendet werden, die nebenstehend in ihrer natürlich vorkommenden L-Form abgebildet ist.

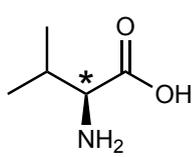
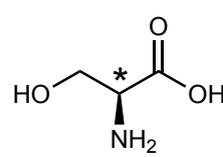
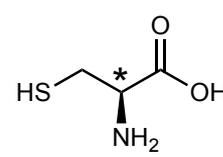
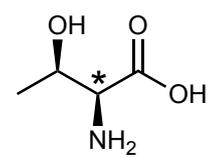
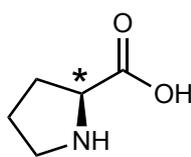


d) **Ordne** den Substituenten am asymmetrischen Kohlenstoffatom von L-Asparaginsäure ihr Prioritäten von 1 (höchste Priorität) bis 4 (niedrigste Priorität) zu und **kreuze an**, ob die absolute Konfiguration (R) oder (S) ist.

 ✓✓ (alle richtig) Priorität: 3	 4	 1	 2	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2
Die absolute Konfiguration ist:				<input type="checkbox"/> (R) <input checked="" type="checkbox"/> (S)

Während alle natürlich vorkommenden Aminosäuren zwar L-Aminosäuren sind, besitzen nicht alle die gleiche absolute Konfiguration gemäß der R/S-Nomenklatur.

e) **Kreuze an**, welche der folgenden L-Aminosäuren eine andere absolute Konfiguration gemäß der R/S-Nomenklatur an dem mit einem Sternchen markierten Kohlenstoffatom besitzt.

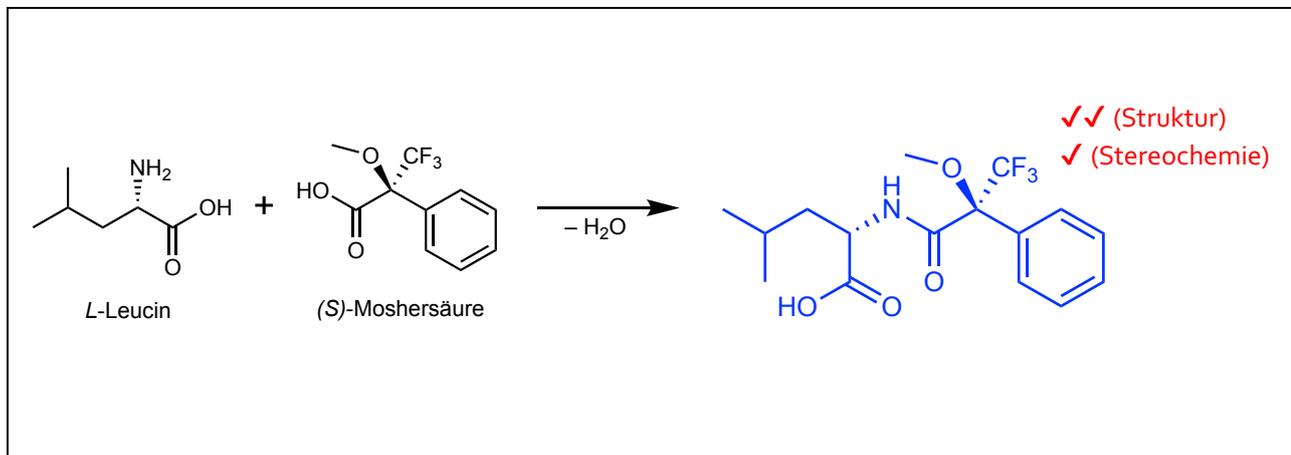
 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input checked="" type="checkbox"/> ✓✓	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1
---	---	---	--	---	--

Synthesen mit Aminosäuren als Ausgangsmaterial erfordern oft den Einsatz enantiomerenreiner Verbindungen. Eine mögliche Methode, um die Enantiomerenreinheit von Aminosäuren wie z.B. Leucin zu überprüfen, ist die Umsetzung mit der chiralen (*S*)-Moshersäure unter Bildung eines Amids.

f) **Zeichne** die Strukturformel des Produkts, das bei der Umsetzung von (*S*)-Moshersäure mit *L*-Leucin gebildet wird.

- 0

 1



g) **Kreuze** für jede der angegebenen Kombinationen der Edukte **an**, wie viele und welche Arten von Stereoisomeren bei der oben beschriebenen Umsetzung jeweils gebildet werden.

- 0

 1

 2

Enantiomerenreines *L*-Leucin + enantiomerenreine (*S*)-Moshersäure

- Ein Stereoisomer Zwei Enantiomere Zwei Diastereomere Vier Diastereomere
 Vier Stereoisomere: Zwei Paare von Enantiomeren

Gemisch von *L*- und *D*-Leucin + enantiomerenreine (*S*)-Moshersäure

- Ein Stereoisomer Zwei Enantiomere Zwei Diastereomere Vier Diastereomere
 Vier Stereoisomere: Zwei Paare von Enantiomeren

Gemisch von *L*- und *D*-Leucin + Gemisch von (*S*)- und (*R*)-Moshersäure

- Ein Stereoisomer Zwei Enantiomere Zwei Diastereomere Vier Diastereomere
 Vier Stereoisomere: Zwei Paare von Enantiomeren

h) **Kreuze** alle Methoden **an**, die zur quantitativen Bestimmung der Enantiomerenreinheit von Leucin nach der Umsetzung mit (*S*)-Moshersäure geeignet sind.

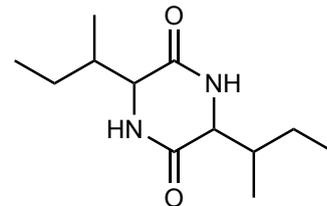
- 0

 1

- Massenspektrometrie Flüssigkeitschromatographie
 NMR-Spektroskopie UV-Vis-Spektroskopie

ICHO 2026 in Taschkent, Usbekistan
Übungsklausur 2. Runde

Die *Innovative Chemie für Heilmitteloptimierung GmbH* (kurz ICHO-GmbH) hat ein neues Medikament auf Basis eines cyclischen, aus zwei Isoleucin-Einheiten bestehenden Dipeptids **P** entwickelt. Leider sind die Daten über die Stereochemie von **P** verloren gegangen und die einzige bekannte Information ist, dass das Produkt optisch inaktiv ist, also nicht die Polarisationssebene von polarisiertem Licht dreht.



Verbindung **P**

i) **Zeichne** alle Stereoisomere von **P**, die optisch inaktiv sind.

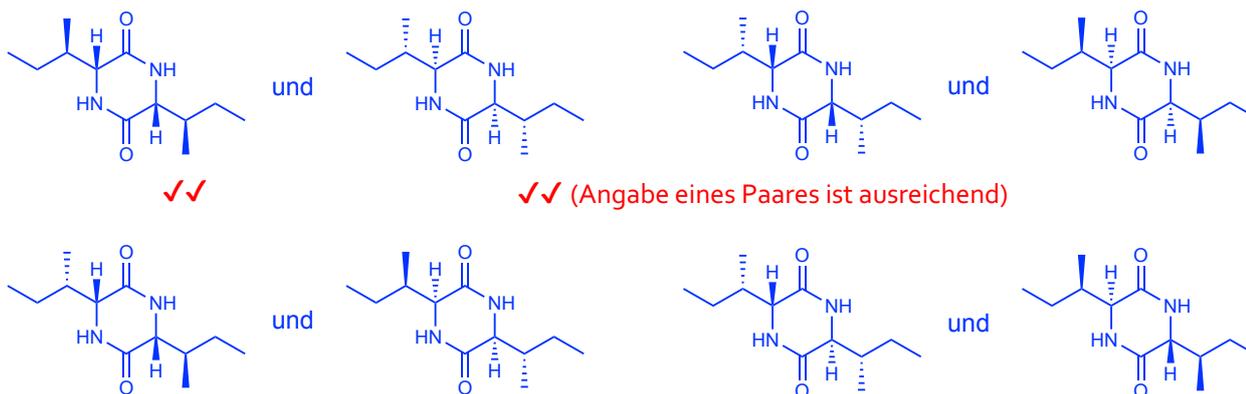


- 0
- 1
- 2

Eine andere mögliche Erklärung für die optische Inaktivität könnte sein, dass es sich bei dem Produkt nicht um ein einzelnes Stereoisomer von **P**, sondern um ein racemisches Gemisch zweier Enantiomere von **P** handelt.

j) **Gib an**, wie viele Paare von Enantiomeren Verbindung **P** insgesamt besitzt und **zeichne** eines der Enantiomerenpaare.

P besitzt vier Paare von Enantiomeren. ✓✓



- 0
- 1
- 2
- 3

2-05

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
- 3

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 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.

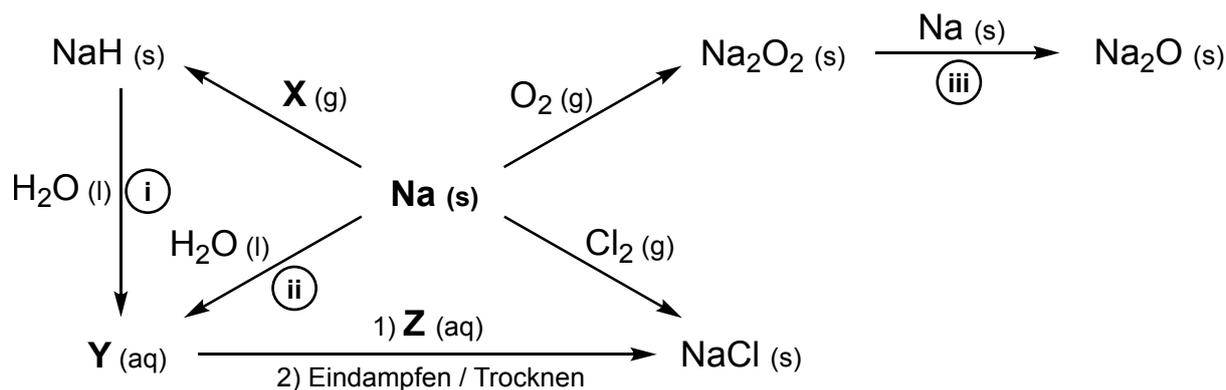
c) **Ordne** den Elementen jeweils ihre zugehörige Flammenfärbung aus der Begriffsliste **zu**.
 Hinweis: Du kannst denselben Begriff auch mehrmals verwenden.

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 H_2 ✓✓	Y NaOH ✓✓	Z HCl ✓✓
--------------------------	---------------------------	--------------------------

- 0
- 1
- 2
- 3

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

(i)	$(1) \text{NaH (s)} + (1) \text{H}_2\text{O (l)} \rightarrow (1) \text{NaOH (aq)} + (1) \text{H}_2 \text{(g)}$ ✓ ✓ (alle Koeffizienten richtig, nur falls NaOH/H ₂ ebenfalls richtig)
(ii)	$2 \text{Na (s)} + 2 \text{H}_2\text{O (l)} \rightarrow 2 \text{NaOH (aq)} + (1) \text{H}_2 \text{(g)}$ ✓ ✓ (alle Koeffizienten richtig, nur falls NaOH/H ₂ ebenfalls richtig)
(iii)	$(1) \text{Na}_2\text{O}_2 \text{(s)} + 2 \text{Na (s)} \rightarrow 2 \text{Na}_2\text{O (s)}$ ✓✓ (alle Koeffizienten richtig)

- 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

2-06

Ein Haufen Salz

20 Pt

Eines der wohl wichtigsten Salze ist Natriumchlorid, welches gemeinhin als Kochsalz bekannt ist und bei der Reaktion von elementarem Natrium mit Chlorgas erhalten wird (Reaktion 1). Neben der direkten Verwendung spielt es auch eine wichtige Rolle als Ausgangsstoff für die chemische Industrie: Beim SOLVAY-Verfahren wird Natriumchlorid mit Calciumcarbonat zu Natriumcarbonat und einem einzigen, festen Nebenprodukt umgesetzt (Reaktion 2). Bei der Chloralkali-Elektrolyse wird eine wässrige Kochsalzlösung elektrolysiert, wobei Chlorgas und Wasserstoff entstehen und der pH-Wert der Lösung steigt (Reaktion 3).

a) **Gib** ausgeglichene Reaktionsgleichungen mit Aggregatzuständen für die Reaktionen 1 – 3 an.

①	$2 \text{Na(s)} + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{NaCl(s)}$ ✓✓	<input type="checkbox"/>
②	$2 \text{NaCl(s)} + \text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s}) + \text{CaCl}_2(\text{s})$ ✓✓	<input type="checkbox"/>
③	$2 \text{NaCl(aq)} + 2 \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) + 2 \text{NaOH(aq)}$ ✓✓ oder $2 \text{Cl}^-(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) + 2 \text{OH}^-(\text{aq})$	<input type="checkbox"/>

Die Bildungsreaktion von Natriumchlorid aus Natrium und Chlor setzt sich formal aus einigen Teilschritten zusammen, die im Rahmen des HABER-BORN-Kreisprozesses genauer betrachtet werden.

b) **Vervollständige** das Schema zum HABER-BORN-Kreisprozess, indem du die Ausdrücke aus der rechten Spalte in die passenden Lücken einträgst.

✓✓✓✓ 2 P. falls alle richtig, -0,5 P. pro falscher oder fehlender Eintragung, nicht <0 P.

0
 1
 2

- c) **Gib** einen Ausdruck für die Gitterenthalpie $\Delta H_{\text{Gitter}}(\text{NaCl})$ von Natriumchlorid in Abhängigkeit der Größen aus Teilaufgabe b) **an**.
 Hinweis: Beachte, dass definitionsgemäß $\Delta H_{\text{Gitter}}(\text{NaCl}) < 0$ und $\Delta H_{\text{EA}}(\text{Cl}) < 0$ gilt.

- 0

 1

$$\Delta H_{\text{Gitter}}(\text{NaCl}) = \Delta H_f(\text{NaCl}) - \Delta H_{\text{EA}}(\text{Cl}) - \Delta H_{\text{Sub}}(\text{Na}) - 0,5 \cdot \Delta H_{\text{diss}}(\text{Cl}_2) - \Delta H_{\text{IE1}}(\text{Na}) \quad \checkmark \checkmark$$

Die Anordnung der Ionen in Salzkristallen folgt festen Regeln und wiederholt sich periodisch, sodass sie durch die kleinstmöglichen sich wiederholenden Einheiten, die Elementarzellen, beschrieben werden können. Besonders häufig sind dabei kubische Elementarzellen, denen ein Würfel als Basisstruktur zugrunde liegt. Abhängig von der genauen Anordnung der Ionen in diesem Würfel werden verschiedene kubische Gittersysteme unterschieden.

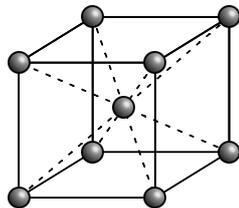
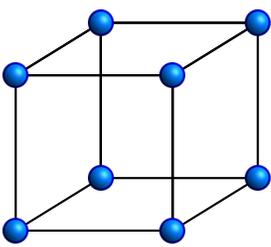
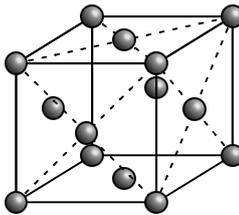
- d) **Vervollständige** die folgende Tabelle, indem du die fehlenden Bezeichnungen der kubischen Gittersysteme **angibst** bzw. die Position der Ionen in die Elementarzelle **einzeichnest**. **Gib** zudem für jedes der Gittersysteme die Koordinationszahl, d.h. die Anzahl der nächsten Nachbarn eines Ions, **an**.

- 0

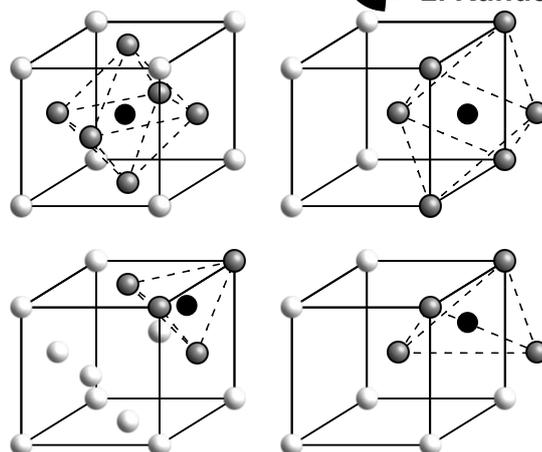
 1

 2

 3

Bezeichnung	Elementarzelle	Koordinationszahl	Für Teilaufgabe e)
Kubisch Innenzentriert / Raumzentriert ✓		8 ✓	Tetraederlücken: 12 ✓ Oktaederlücken: 3 ✓
Kubisch Primitiv		6 ✓	Tetraederlücken: 0 ✓ Oktaederlücken: 0 ✓
Kubisch Flächenzentriert ✓		12 ✓	Tetraederlücken: 8 ✓ Oktaederlücken: 4 ✓

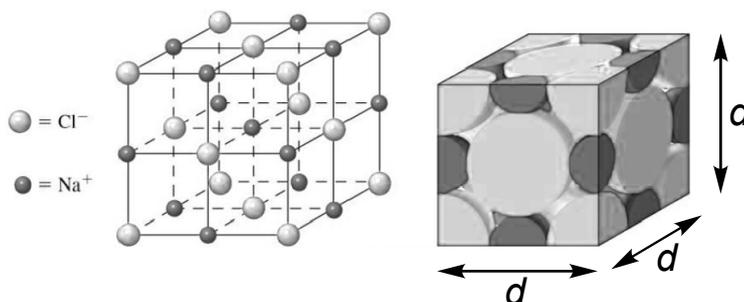
Häufig beobachtet man bei Salzen, dass eine Ionensorte ein kubisches Ionengitter bildet, in dessen Lücken dann eine andere Ionensorte eingelagert wird. Bei kubischen Gittern unterscheidet man dabei abhängig von der Umgebungsgeometrie der Lücke Oktaeder- und Tetraederlücken. Die nebenstehende Abbildung zeigt exemplarisch Oktaederlücken (siehe oben, schwarze Kugel) und Tetraederlücken (unten) in verschiedenen kubischen Gittersystem. Dabei ist jeweils eine Lücke mit idealer Geometrie (links) und eine mit verzerrter Geometrie dargestellt.



e) **Gib** in der Tabelle aus Teilaufgabe d) für jedes der kubischen Gittersysteme **an**, wie viele Tetraederlücken und Oktaederlücken in einer Elementarzelle vorkommen. Zähle dabei Lücken, die sich auf den Ecken, Kanten und Außenflächen der Elementarzelle befinden, nur anteilig.

- 0
- 1
- 2
- 3

Die nebenstehende Abbildung zeigt den Aufbau der kubischen Elementarzelle von Natriumchlorid, deren Gitterkonstante d beträgt. Dabei kann angenommen werden, dass sich die Chlorid- und Natriumionen entlang der Kanten der Elementarzelle berühren.



f) Die Dichte von Natriumchlorid soll berechnet werden. **Vervollständige** den Rechenweg.

i. Nimm an, dass sich die Chlorid- und Natriumionen entlang der Kanten der Elementarzelle berühren und dass die Ionenradien $r_{\text{Cl}^-} = 181 \text{ pm}$ und $r_{\text{Na}^+} = 102 \text{ pm}$ betragen. **Berechne** die Gitterkonstante d .

Auf jeder Kante der Elementarzelle sitzen zwei halbe Cl^- - und ein ganzes Na^+ -Ion. Damit gilt:

$$d = 2 \cdot r_{\text{Cl}^-} + 2 \cdot r_{\text{Na}^+} = 2 \cdot 181 \text{ pm} + 2 \cdot 102 \text{ pm} = 566 \text{ pm}$$

► Weiter mit: $d = 550 \text{ pm}$

ii. **Gib an**, wie viele Chlorid- und Natriumionen sich jeweils in der Elementarzelle befinden. Beachte, dass Ionen auf Ecken, Kanten und Außenflächen nur anteilig zu der Elementarzelle zählen.

6 Cl^- -Ionen befinden sich auf den Außenseiten und gehören nur zu $1/2$ zur Elementarzelle. 8 weitere Ionen auf den Ecken gehören jeweils zu $1/8$ zur Elementarzelle. Damit sind insgesamt $6 \cdot \frac{1}{2} + 8 \cdot \frac{1}{8} = 4 \text{ Cl}^-$ -Ionen vorhanden.

Aufgrund der Ladungsneutralität in der Elementarzelle muss es ebenso 4 Na^+ -Ionen geben.

- 0
- 1

- 0
- 1

iii. **Berechne** die Masse m_{EZ} und das Volumen V_{EZ} einer Elementarzelle von Natriumchlorid.

$$m_{EZ} = 4 \cdot m_{NaCl} = \frac{4 \cdot M_{NaCl}}{N_A} = \frac{4 \cdot 58,44 \frac{g}{mol}}{6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol}} = 3,88 \cdot 10^{-22} g$$

$$V_{EZ} = d^3 = (550 pm)^3 = 1,66 \cdot 10^8 pm^3 = 1,66 \cdot 10^{-28} m^3$$

► Weiter mit: $m_{EZ} = 4,20 \cdot 10^{-22} g$, $V_{EZ} = 1,80 \cdot 10^8 pm^3$

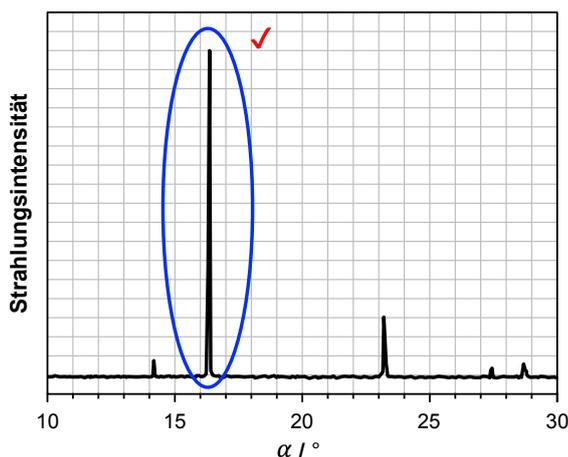
iv. **Berechne** die Dichte eines Natriumchlorid-Kristalls in g/cm^3 .

$$\rho_{NaCl} = \frac{m_{EZ}}{V_{EZ}} = \frac{4,20 \cdot 10^{-22} g}{1,80 \cdot 10^8 pm^3} = 2,33 \frac{g}{cm^3}$$

Die Festkörperstruktur eines Salzes kann z.B. mittels Röntgenstrukturanalyse aufgeklärt werden. Dabei wird der Kristall mit Röntgenstrahlung der Wellenlänge λ bestrahlt, die Strahlung wird gebeugt und unter gewissen Beugungswinkeln α können Maxima der Intensität der gebeugten Strahlen beobachtet werden. Für Maxima n -Ordnung gilt dabei die BRAGG'sche Gleichung, wobei d der Abstand der Gitterebenen im untersuchten Kristall ist:

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

g) Ein Natriumchlorid-Kristall wird auf diese Weise mit Röntgenstrahlung der Wellenlänge $\lambda = 154,2 pm$ untersucht, was zum abgebildeten Beugungsmuster führt. **Markiere** im Diagramm den Peak, der zur Gitterkonstante aus Teilaufgabe f) gehört und **bestimme** dessen Ordnung. **Kreuze an**, welchen Ursprung die anderen Peaks haben.



Für den Beugungswinkel α gilt:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{n \cdot \lambda}{2 \cdot d}\right) = \arcsin\left(\frac{n \cdot 154,2 pm}{2 \cdot 550 pm}\right)$$

Durch Einsetzen der Werte erhält man für die 1. Ordnung $\alpha_1 = 8,1^\circ$, für die 2. Ordnung $\alpha_2 = 16,3^\circ$, für die 3. Ordnung $\alpha_3 = 24,9^\circ$ und für die 4. Ordnung $\alpha_4 = 34,1^\circ$. Nur einer der Winkel findet sich tatsächlich im gezeigten Beugungsmuster. Somit gehört der Peak bei $\alpha_2 = 16,3^\circ$ zur berechneten Gitterkonstante und stellt ein Maximum 2. Ordnung dar. ✓✓

Die anderen Peaks entstehen durch...

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> nicht ganzzahlige Beugungsordnungen. | <input type="checkbox"/> Reflexionen an der Kristalloberfläche. |
| <input checked="" type="checkbox"/> andere Gitterebenen, die schief in der Elementarzelle liegen. | <input type="checkbox"/> Röntgenstrahlen, deren Wellenlänge sich durch Brechung geändert hat. |

0

 1

 2

0

 1

0

 1

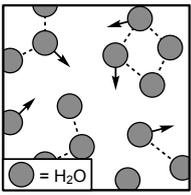
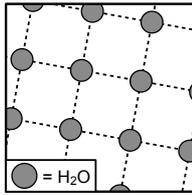
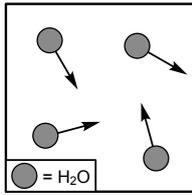
 2

 3

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.]

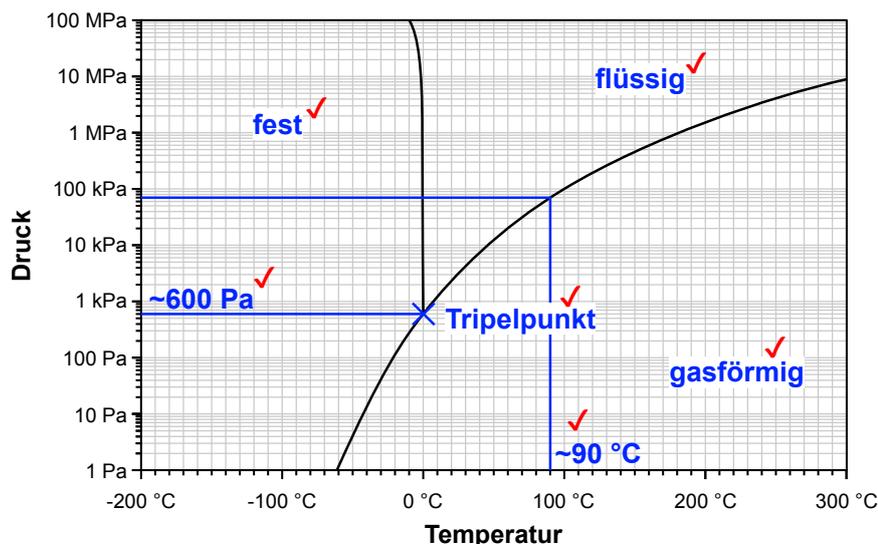
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X ✓ ✓	<input type="checkbox"/>
DD < VdW < HB	VdW < HB < DD	VdW < DD < HB	HB < DD < VdW

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



- 0
- 1
- 2
- 3
- 4

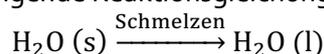
Am Gipfel der Zugspitze herrscht ein Umgebungsdruck von rund 69 kPa, sodass Wasser dort bei einer niedrigeren Temperatur als normal siedet. **[Bestimme die Siedetemperatur von Wasser auf der Zugspitze. Zeichne dein Vorgehen in das Phasendiagramm ein.]**

$T_{\text{Siede}} \approx 90 \text{ °C}$ ✓

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.]**

$p_{\text{min}} \approx 600 \text{ Pa}$ ✓

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.

- 0
- 1
- 2

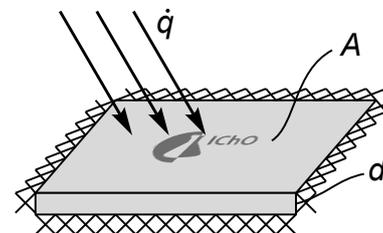
	$\Delta_f H^\circ$ in kJ/mol	S° in J/K · mol
H ₂ O (s)	-291,8	41,0
H ₂ O (l)	-285,8	69,9

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

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

► 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.

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

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

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

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

Umgeformt aus der Energiebilanz:

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

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

iii. **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

Gasgesetze – Das wäre doch gelacht!

20 Pt

Lachgas, chemisch betrachtet Distickstoffmonoxid (N_2O), wird seit dem 19. Jahrhundert in der Medizin als Narkosemittel eingesetzt, findet neuerdings aber auch z.B. in der Raketentechnik oder als Partydroge Anwendung.

a) **Zeichne** zwei mesomere Grenzstrukturen von Lachgas.

0

 1

Da Lachgas bei Raumtemperatur und Atmosphärendruck ein Gas ist, kann es annähernd durch das ideale Gasgesetz beschrieben werden.

b) Welche Annahmen werden beim idealen Gasgesetz getroffen? **Kreuze** alle richtigen Antworten **an**.

<input checked="" type="checkbox"/>	Gasteilchen besitzen kein Eigenvolumen.	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Gasteilchen werden als masselose Punkte betrachtet.	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Gasteilchen üben keine abstoßenden, jedoch anziehende Kräfte aufeinander aus.	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Gasteilchen üben weder anziehende noch abstoßende Kräfte aufeinander aus.	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Zwischen Gasteilchen können elastische Stöße ablaufen.	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Gasteilchen können nicht miteinander kollidieren.	<input type="checkbox"/>

Für die Anästhesie während kleinerer Eingriffe kann MEOPA, eine äquimolare Mischung aus Lachgas und Sauerstoff, eingesetzt werden. Bei einer erwachsenen Person werden dabei bis zu 10 Liter MEOPA pro Minute verbraucht.

c) **Berechne** die mittlere molare Masse von MEOPA, M_{MEOPA} .

Da es sich um eine äquimolare Mischung handelt, gilt für ihre mittlere molare Masse:

$$M_{MEOPA} = \frac{M_{N_2O} + M_{O_2}}{2} = \frac{44,01 \frac{g}{mol} + 32,00 \frac{g}{mol}}{2} = 38,01 \frac{g}{mol}$$

➔ Weiter mit: $M_{MEOPA} = 40 \frac{g}{mol}$

0

 1

- d) **Berechne** die Masse von MEOPA, die während einer 15 Minuten andauernden Anästhesie verbraucht wird, wenn der Verbrauch von MEOPA konstant 10 L/min beträgt. Die Anästhesie wird bei einer Temperatur von $\vartheta = 20\text{ °C}$ und Atmosphärendruck ($p = 1013,25\text{ hPa}$) durchgeführt.

Berechnung des verbrauchten Volumens von MEOPA:

$$V_{\text{MEOPA}} = 10 \frac{\text{L}}{\text{min}} \cdot 15 \text{ min} = 150 \text{ L} = 0,15 \text{ m}^3$$

Einsetzen der Werte in das ideale Gasgesetz umgeformt nach der Stoffmenge:

$$n_{\text{MEOPA}} = \frac{p \cdot V_{\text{MEOPA}}}{R \cdot T} = \frac{101325 \text{ Pa} \cdot 0,15 \text{ m}^3}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 293,15 \text{ K}} = 6,24 \text{ mol}$$

Berechnung der Masse von MEOPA:

$$m_{\text{MEOPA}} = n_{\text{MEOPA}} \cdot M_{\text{MEOPA}} = 6,24 \text{ mol} \cdot 40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 250 \text{ g}$$

Hinweis: Da die Angabe keine explizite Angabe von Zwischenergebnissen fordert, ist diese auch nicht nötig, um die volle Punktzahl zu erreichen. Bei nachvollziehbarem Rechenweg und korrektem Endergebnis wird auch ohne Angabe von Zwischenergebnissen die volle Punktzahl vergeben. Um die Nachvollziehbarkeit des Lösungswegs zu vereinfachen, wird die explizite Angabe einzelner Zwischenergebnisse jedoch allgemein empfohlen.

Eine genauere Beschreibung des Zustandsverhaltens eines Gases liefert die kubische VAN-DER-WAALS-Gleichung, welche das Realverhalten mithilfe der stoffabhängigen Konstanten a und b berücksichtigt:

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

Für Lachgas besitzen die VAN-DER-WAALS-Parameter folgende Werte: $a = 3,83 \frac{\text{bar} \cdot \text{L}^2}{\text{mol}^2}$ und $b = 4,41 \cdot 10^{-2} \frac{\text{L}}{\text{mol}}$.

- e) **Löse** die Van-der-Waals-Gleichung nach dem Druck p auf und berechne, wie groß der Druck sein muss, damit Lachgas bei einer Temperatur von $\vartheta = 20\text{ °C}$ ein molares Volumen von $V_m = 20 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$ einnimmt.

Aufgelöst nach dem Druck:

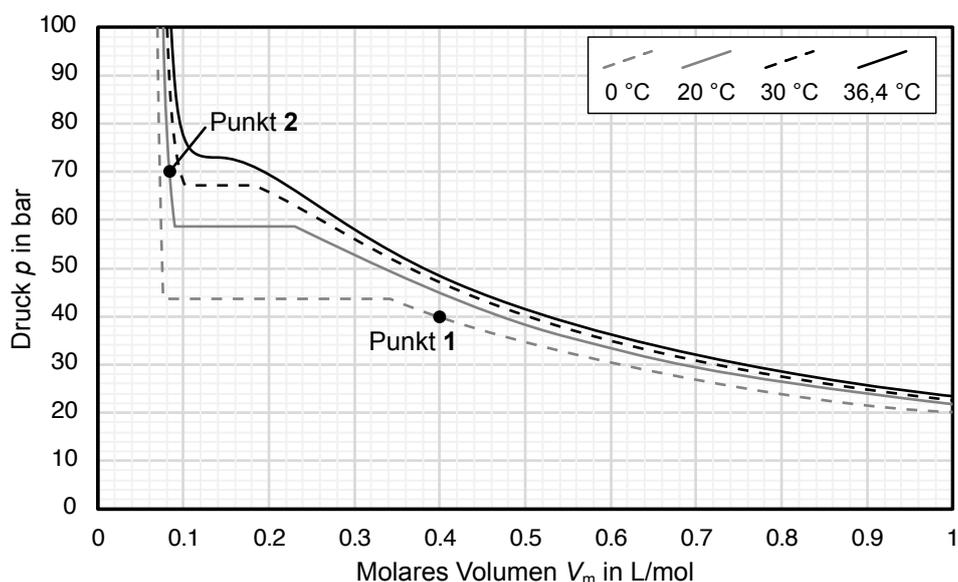
$$p = \frac{R \cdot T}{V_m - b} - \frac{a}{V_m^2}$$

Einsetzen der Werte:

$$p = \frac{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 293,15 \text{ K}}{20 \frac{\text{L}}{\text{mol}} - 4,41 \cdot 10^{-2} \frac{\text{L}}{\text{mol}}} - \frac{3,83 \frac{\text{bar} \cdot \text{L}^2}{\text{mol}^2}}{\left(20 \frac{\text{L}}{\text{mol}}\right)^2} = 1,21 \text{ bar}$$

Hinweis: Die Schwierigkeit dieser Aufgabe besteht darin, die Größen so einzusetzen, dass sich die Einheiten herauskürzen. Beachte hier z.B., dass $8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 8,314 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 8,314 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 8,314 \cdot 10^{-2} \frac{\text{bar} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$.

Das folgende Diagramm zeigt für Lachgas einige Isothermen, also den Verlauf des Drucks bei konstanten Temperaturen in Abhängigkeit des molaren Volumens. Während diese im Allgemeinen dem Zusammenhang der VAN-DEER-WAALS-Gleichung folgen, verlaufen manche Isothermen in einem bestimmten Bereich horizontal. Dies kann physikalisch damit erklärt werden, dass ein Phasenübergang zwischen Gas und Flüssigkeit durchlaufen wird.



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

<input type="checkbox"/>	Die Temperatur sinkt.	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 1
<input checked="" type="checkbox"/>	Die Temperatur steigt.	
<input type="checkbox"/>	Es handelt sich um eine Verdampfung.	
<input checked="" type="checkbox"/>	Es handelt sich um eine Kondensation.	

Aus den Isothermen können einige Eigenschaften eines Gases, wie z.B. der Dampfdruck bei einer bestimmten Temperatur, der Siedepunkt bei einem bestimmten Druck oder die Lage des kritische Punkts bestimmt werden.

g) **Bestimme** anhand der gegebenen Isothermen den kritischen Druck p_k sowie die kritische Temperatur ϑ_k von Lachgas.

Die kritische Isotherme kann daran erkannt werden, dass sie gerade so keinen horizontal verlaufenden Bereich mehr besitzt, sondern einen Sattelpunkt. Am Sattelpunkt können die kritischen Werte abgelesen werden:

$p_k = 73 \text{ bar}$ ✓
 $\vartheta_k = 36,4 \text{ °C}$ ✓

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

h) **Bestimme** anhand der gegebenen Isothermen die Siedetemperatur ϑ_s von Lachgas bei einem Druck von $p = 44 \text{ bar}$.

Der horizontal verlaufende Teil der Isothermen entspricht dem Phasenübergang. Bei einem Druck von $p = 44 \text{ bar}$ kann genau der Phasenübergang der Isotherme bei $\vartheta_k = 0 \text{ °C}$ beobachtet werden. Demnach beträgt der Siedepunkt bei diesem Druck:

$\vartheta_k = 0 \text{ °C}$ ✓

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

Zu medizinischen Zwecken wird reines Lachgas in Druckflaschen verkauft. Eine Flasche mit einem Volumen von $V_{\text{Flasche}} = 50 \text{ L}$ enthält dabei $m_{\text{N}_2\text{O}} = 20 \text{ kg}$ Lachgas und wird bei einer Temperatur von $\vartheta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ gelagert.

i) Der Zustand des Lachgases in der Flasche soll untersucht werden. **Vervollständige** den Rechenweg.

i. **Berechne** das molare Volumen V_m des Lachgases in der Flasche.

Mit der Definition für das molare Volumen gilt:

$$V_m = \frac{V_{\text{Flasche}}}{n_{\text{N}_2\text{O}}} = \frac{V_{\text{Flasche}} \cdot M_{\text{N}_2\text{O}}}{m_{\text{N}_2\text{O}}} = \frac{50 \text{ L} \cdot 44,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{20 \text{ kg}} = 0,11 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$$

► Weiter mit: $V_m = 0,15 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$

ii. **Bestimme** mithilfe der gegebenen Isothermen den Druck in der Gasflasche.

Durch Ablesen an der Isotherme bei $\vartheta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ergibt sich ein Druck von $p \approx 58 \text{ bar}$.

✓✓ (± 1 bar)

iii. Liegt das Lachgas in der Flasche nur als Flüssigkeit, nur als Gas oder als Mischung von beiden vor? **Kreuze** die richtige Antwort an.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nur Flüssigkeit	Nur Gas	Mischung aus Flüssigkeit und Gas

iv. Durch Sonneneinstrahlung erwärmt sich die Flasche auf $\vartheta' = 30 \text{ }^\circ\text{C}$. Dabei entweicht Lachgas durch ein Sicherheitsventil, das den Druck in der Flasche auf $p_{\text{max}} = 65 \text{ bar}$ beschränkt. **Berechne**, welche Masse an Lachgas bei diesem Vorgang aus der Flasche entweicht.

Aus der Isotherme bei $\vartheta' = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ kann bei einem Druck von $p_{\text{max}} = 65 \text{ bar}$ ein molares Volumen von $V_m' = 0,21 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$ abgelesen werden. Damit gilt für die entweichende Masse an Lachgas:

$$\Delta m_{\text{NO}_2} = \frac{V_{\text{Flasche}} \cdot M_{\text{N}_2\text{O}}}{V_m} - \frac{V_{\text{Flasche}} \cdot M_{\text{N}_2\text{O}}}{V_m'} = 50 \text{ L} \cdot 44,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot \left(\frac{1}{0,15 \frac{\text{L}}{\text{mol}}} - \frac{1}{0,21 \frac{\text{L}}{\text{mol}}} \right) = 4,2 \text{ kg}$$

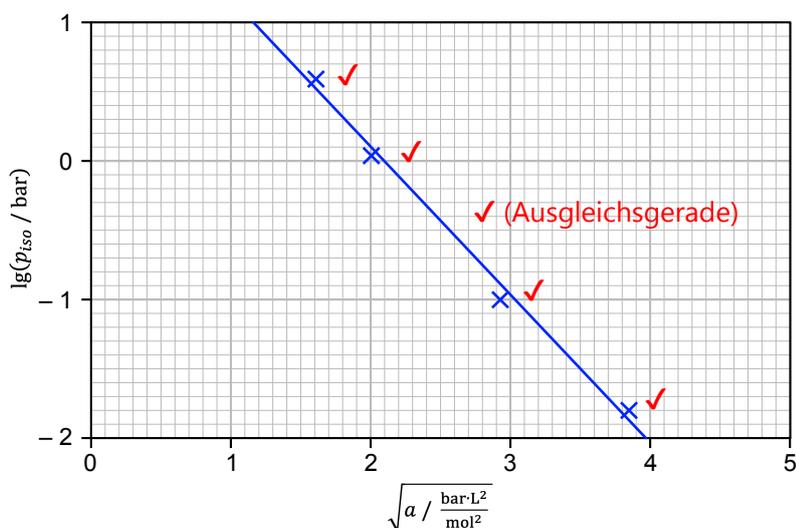
Interessanterweise besitzt die VAN-DER-WAALS-Gleichung bei narkotischen Gasen noch eine weitere Anwendung: Zwischen dem VAN-DER-WAALS-Parameter a und der Effektivität eines Gases als Narkosemittel besteht eine direkte Korrelation. Die Effektivität wird dabei durch den isonarkotischen Druck p_{iso} gemessen, welcher den jeweils benötigten Druck angibt, um eine vergleichbar starke Anästhesie hervorzurufen. Die konkrete Korrelation kann folgendermaßen ausgedrückt werden, wobei A und B zu bestimmende Konstanten sind:

$$\lg(p_{\text{iso}} / \text{bar}) = A \cdot \sqrt{a / \frac{\text{bar} \cdot \text{L}^2}{\text{mol}^2}} + B$$

Die nebenstehende Tabelle zeigt Werte, die für ausgewählte Gase ermittelt werden konnten.

Gas	$p_{\text{iso}} / \text{bar}$	$a / \frac{\text{bar} \cdot \text{L}^2}{\text{mol}^2}$
Krypton	3,9	2,6
Xenon	1,1	4,1
Cyclopropan	$1,0 \cdot 10^{-1}$	8,6
Halothan	$1,6 \cdot 10^{-2}$	14,8

j) **Trage** die Wertepaare aus der Tabelle in das gegebene Diagramm **ein**.



- 0

 1

 2

k) **Zeichne** in das Diagramm aus Teilaufgabe j) eine Ausgleichsgerade **ein** und bestimme die Werte der Konstanten A und B .

Die Gleichung der Ausgleichsgerade kann mithilfe eines Steigungsdreiecks sowie Einsetzen eines Punktes auf der Geraden bestimmt werden: $y = 2,24 - 1,07 \cdot x$.

Damit betragen die Werte der Konstanten $A = -1,07$ ✓ und $B = 2,24$ ✓

➔ Weiter mit: $A = -0,9$, $B = 2,0$

- 0

 1

l) **Schätze** rechnerisch den isonarkotischen Druck von Lachgas **ab**.

Durch Einsetzen des VAN-DER-WAALS-Parameters von Lachgas in die Korrelation folgt:

$$\lg(p_{\text{iso}} / \text{bar}) = -0,9 \cdot \sqrt{3,83} + 2,0 = 0,239 \quad \checkmark \checkmark$$

Für den isonarkotischen Druck von Lachgas gilt dann:

$$p_{\text{iso}} = 10^{0,239} \cdot 1 \text{ bar} = 1,73 \text{ bar} \quad \checkmark$$

- 0

 1