



Klausur zur 2. Runde des Auswahlverfahrens zur 56. IChO 2024 in Saudi-Arabien

Name, Vorname: _____

Bundesland: _____

Beginne erst, wenn das Startsignal gegeben wird.

Zeit	180 min
Name	Schreibe deinen Namen auf dieses Deckblatt und auf jede Seite der Klausur
Bundesland	Schreibe dein Bundesland auf dieses Deckblatt und auf jede Seite der Klausur
Atommassen	Benutze nur das vorgegebene Periodensystem
Konstanten	Benutze nur die Werte aus der Formelsammlung
Berechnungen	Schreibe diese in die zugehörigen Kästen, ohne Rechnungen gibt es keine Punkte
Ergebnisse	Schreibe nur in die zugehörigen Kästen in der Klausur, nichts Anderes wird gewertet
Ersatzantwortbögen	Nutze ein leeres Blatt und schreibe Namen, Vornamen, Bundesland und Aufgabennummer darauf
Schmierpapier	Benutze die freien Rückseiten, das dort Geschriebene wird nicht bewertet

Viel Erfolg!

Formelsammlung & PSE

Stöchiometrie und Analytik	
Stoffmenge	$n = \frac{m}{M} = \frac{V}{V_m} = \frac{N}{N_A}$
Konzentration	$c = \frac{n}{V}; \quad \beta = \frac{m}{V}$
LAMBERT-BEER'sches Gesetz	
	$A = -\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) = \varepsilon \cdot c \cdot d$
Licht / Photonen	$v = \frac{E}{h} = \frac{c}{\lambda}$
Massenanteil A in A_aB_b	$\omega_A = \frac{a \cdot M_A}{M_{A_aB_b}}$
Gase	
Ideales Gas	$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$
Dalton-Gesetz	$p_{ges} = p_A + p_B + \dots$
Thermodynamik	
Innere Energie	$\Delta U = C_V \cdot \Delta T$
Enthalpie	$H = U + pV$ $\Delta H = C_p \cdot \Delta T$
Reaktionsenthalpie	$\Delta_r H^\circ = \sum \Delta H_{f, \text{Produkte}} - \sum \Delta H_{f, \text{Edukte}}$
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	$K = \frac{a_C^c \cdot a_D^d}{a_A^a \cdot a_B^b}$
$a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$	
Vereinfachungen für die Aktivität a_X :	
- Feststoffe und Flüssigkeiten: $a_X = 1$	
- Verdünnte Lösungen: $a_X \approx \frac{c_X}{c_0}; c_0 = 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	
- Gase: $a_X \approx \frac{p_X}{p_0}; p_0 = 1 \text{ bar}$	
Löslichkeitsprodukt	$K_L = c_{A^{x+}}^a \cdot c_{B^{y-}}^b$
$A_a B_b \rightleftharpoons a A^{x+} + b B^{y-}$	
Freie Enthalpie	$\Delta G^\circ = -R \cdot T \cdot \ln(K)$
Säure-Base-Gleichgewichte	
pH/pOH-Wert	$pH = -\log_{10}(c_{H^+})$ $pOH = -\log_{10}(c_{OH^-})$
Säurestärke	
$HA + H_2O \rightleftharpoons A^- + H_3O^+$	
	$K_S = \frac{c_{A^-} \cdot c_{H^+}}{c_{HA}}$ $pK_S = -\log_{10}(K_S)$
Basenstärke	
$B + H_2O \rightleftharpoons BH^+ + OH^-$	
	$K_B = \frac{c_{BH^+} \cdot c_{OH^-}}{c_B}$ $pK_B = -\log_{10}(K_B)$
Ionenprodukt	$c_{H^+} \cdot c_{OH^-} = K_W = 10^{-14}$ $pH + pOH = 14$ $K_S \cdot K_B = K_W$
pH-Näherungsformeln:	
- Starke Säuren / Basen	
	$pH \approx -\log_{10}(c_0)$ $pOH \approx -\log_{10}(c_0)$
- Schwache Säuren / Basen	
	$pH \approx \frac{1}{2} \cdot (pK_S - \log_{10}(c_0))$ $pOH \approx \frac{1}{2} \cdot (pK_B - \log_{10}(c_0))$
HENDERSON-HASSELBALCH-Gleichung	
	$pH = pK_S + \log_{10}\left(\frac{c_{A^-}}{c_{HA}}\right)$
Elektrochemie	
Zellspannung	$\Delta E = E_{\text{Kathode}} - E_{\text{Anode}}$
Freie Enthalpie	$\Delta G^\circ = -\Delta E \cdot z \cdot F$
NERNST-Gleichung	
$Ox + z e^- \rightleftharpoons Red$	
	$E = E^\circ + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln\left(\frac{c_{Ox}}{c_{Red}}\right)$
FARADAY-Gesetz	$Q = I \cdot t = z \cdot F \cdot n$
Organische Chemie	
Doppelbindungsäquivalent	
$C_c N_n H_h O_o X_x$ ($X = \text{Halogen}$)	
	$DB\ddot{A} = \frac{2 \cdot c + n - h - x + 2}{2}$

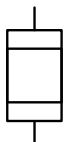
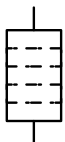
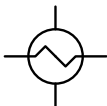
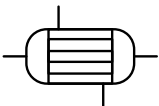
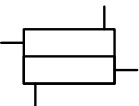
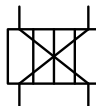
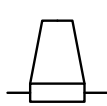
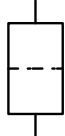
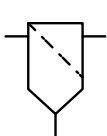
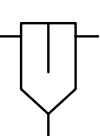
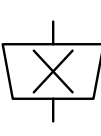
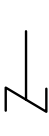
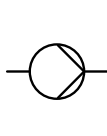
Mathematik	
Kugelvolumen / -oberfläche	$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$ $A = 4\pi \cdot r^2$
Quadratische Gleichung $a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0$	$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$
Logarithmen	$\log_x(a \cdot b) = \log_x a + \log_x b$ $\log_x(a^n) = n \cdot \log_x a$

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

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

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

Ausgewählte verfahrenstechnische Apparate

Behälter					
					
Behälter (allgemein)	Behälter mit Einbauten	Behälter mit Festbett	Bodenkolonne (allgemein)	Glockenbodenkolonne	Siebbodenkolonne
Wärmetauscher					
					
Wärmetauscher (allgemein)	Rohrbündelwärmetauscher	Doppelrohrwärmetauscher	Plattenwärmetauscher	Kühlturm	
Mechanische Verfahrenstechnik / Fördertechnik					
					
Filter	Sieb	Abscheider	Zerkleinerer	Rührer	Pumpe

Gruppe 1 1 1 Ordnungszahl Symbol Atomgewicht																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18									
1 H 1,008	2 He 4,003	3 Li 6,941	4 Be 9,012	5 B 10,811	6 C 12,011	7 N 14,007	8 O 15,999	9 F 18,998	10 Ne 20,180	11 Na 22,990	12 Mg 24,305	13 Al 26,982	14 Si 28,086	15 P 30,974	16 S 32,066	17 Cl 35,453	18 Ar 39,948									
19 K 39,098	20 Ca 40,078	21 Sc 44,956	22 Ti 47,867	23 V 50,942	24 Cr 51,996	25 Mn 54,938	26 Fe 55,845	27 Co 58,933	28 Ni 58,693	29 Cu 63,546	30 Zn 65,390	31 Ga 69,723	32 Ge 72,610	33 As 74,922	34 Se 78,960	35 Br 79,904	36 Kr 83,800									
37 Rb 85,468	38 Sr 87,620	39 Y 88,906	40 Zr 91,224	41 Nb 92,906	42 Mo 95,940	43 Tc 98,906	44 Ru 101,70	45 Rh 102,91	46 Pd 106,42	47 Ag 107,87	48 Cd 112,41	49 In 114,82	50 Sn 118,71	51 Sb 121,76	52 Te 127,60	53 I 126,90	54 Xe 131,29									
55 Cs 132,91	56 Ba 137,33	Lanthanoide										57 La 138,91	58 Ce 140,12	59 Pr 140,91	60 Nd 144,24	61 Pm 146,92	62 Sm 150,36	63 Eu 151,97	64 Gd 157,25	65 Tb 158,93	66 Dy 162,50	67 Ho 164,93	68 Er 167,26	69 Tm 168,93	70 Yb 173,04	71 Lu 174,97
87 Fr 223,02	88 Ra 226,03	Actinoide										89 Ac 227,03	90 Th 232,04	91 Pa 231,04	92 U 238,03	93 Np 237,05	94 Pu 244,06	95 Am 243,06	96 Cm 247,07	97 Bk 247,07	98 Cf 251,08	99 Es 252,08	100 Fm 257,10	101 Md 258,10	102 No 259,10	103 Lr 260,11

2-01**Multiple Choice****10pt**Kreuze für jede der folgenden Teilaufgaben jeweils alle richtigen Antworten an.Hinweis: Es können immer auch mehrere Antworten richtig sein, selbst wenn die Frage so formuliert ist, als wäre nur eine Antwort richtig.

a) Welches Nuklid enthält die meisten Neutronen?

☐	☐	☐	☐	☐
⁴⁰ Ca	³⁷ Cl	³⁴ S	³⁹ Ar	⁴¹ Ti

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

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

c) Wie lautet die Verhältnisformel der ungeladenen Verbindung Cuprospinell?

☐	☐	☐	☐	☐
CuFeO ₄	Cu ₂ FeO ₄	CuFe ₂ O ₄	Cu ₂ Fe ₃ O ₄	CuFe ₄ O ₄

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

☐	☐	☐	☐	☐
2	8	9	16	18

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

☐	☐	☐	☐	☐
BaCO ₃	KNO ₃	CaCl ₂	AgBr	KHCO ₃

f) Welches Element verursacht eine rote Flammenfärbung?

☐	☐	☐	☐	☐
Cu	Li	K	Sr	Ba

g) Welche der Säuren ist die stärkste?

☐	☐	☐	☐	☐
HCl	HF	HClO ₄	HOCl	NH ₄ ⁺

h) Welche Verbindung besitzt den höchsten Siedepunkt?

☐	☐	☐	☐	☐
CH ₄	HF	HBr	NH ₃	H ₂ S

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

☐	☐	☐	☐	☐
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?

☐	☐	☐	☐	☐
Ester	Ether	Aldehyde	Ketale	Acetale

2-02**Kurzfragen****15pt**

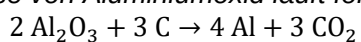
- a) Zeichne die LEWIS-Formel von Hydrazin (N_2H_4) und bestimme die Oxidationszahl der Stickstoffatome.

- b) Vervollständige die vorgegebene Elektronenkonfiguration eines Fluoratoms im Grundzustand, indem du die fehlenden Zahlen ergänzt.

 $1s^2 \ 2s \text{---} \ 2p \text{---}$

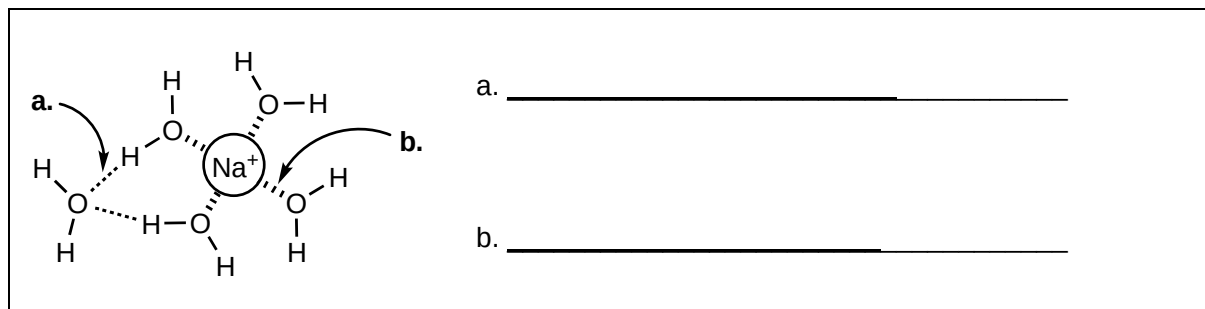
- c) Nenne ein Element, das bei Standardbedingungen flüssig ist.

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



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

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



- f) Bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse wird in Wasser gelöstes Kochsalz zu Natronlauge, Chlor- und Wasserstoffgas umgesetzt. Gib für diese Reaktion eine ausgeglichene Reaktionsgleichung mit Aggregatzuständen an.

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

A	B	C	Stärkste Säure:
			Stärkste Base:

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

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

2-03**Geschwefelter Wein****15pt**

Zur Verlängerung der Haltbarkeit kann Wein geschwefelt werden, wobei man unter Schwefeln die Behandlung des Weins mit Schwefeldioxid (SO_2) versteht. Schwefeldioxid reagiert dabei mit dem im Wein enthaltenen Wasser zu schwefliger Säure (H_2SO_3).

- a) Formuliere die ausgeglichene Reaktionsgleichung für die Bildung von schwefliger Säure beim Schwefeln von Wein.

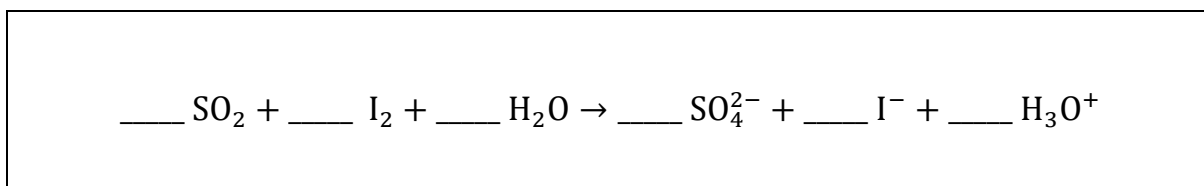
- b) Vervollständige die folgende Tabelle:

- i) Zeichne die LEWIS-Formeln von Schwefeldioxid und schwefliger Säure.
 ii) Kreuze jeweils an, welche Bindungsgeometrie um das Schwefelatom nach dem VSEPR-Modell vorliegt.
 iii) Gib jeweils die Oxidationszahl des Schwefelatoms an.

	SO₂	H₂SO₃
LEWIS-Formel		
VSEPR-Struktur	☐ linear ☐ gewinkelt ☐ trigonal pyramidal ☐ tetraedrisch	☐ linear ☐ gewinkelt ☐ trigonal pyramidal ☐ tetraedrisch
Oxidationszahl		

Für trockene Qualitätsweißweine gilt in der EU ein gesetzlicher Höchstwert für den Schwefelgehalt in Höhe von 250 mg/L bezogen auf die Masse von Schwefeldioxid. Dieser Wert kann analytisch überprüft werden, indem eine Weißweinprobe mit verdünnter Schwefelsäure, Stärkelösung und einer Spatelspitze Kaliumiodid versetzt und anschließend mit Iod-Lösung bis zur Blaufärbung titriert wird.

- c) Vervollständige die Reaktionsgleichung der Reaktion von Schwefeldioxid mit Iod.



50,0 mL eines Weißweins der Sorte Riesling werden auf diese Weise untersucht. Bei der Titration werden 14,7 mL einer 0,01-molaren Iodlösung verbraucht.

- d) Berechne, ob der untersuchte Weißwein den gesetzlichen Höchstwert für den Schwefelgehalt einhält.

$$V_{\text{Wein}} = 50,0 \text{ mL}$$

$$c_{\text{I}_2} = 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$V_{\text{Verbrauch}} = 14,7 \text{ mL}$$

Vor der genauen Analyse kann man auch schon qualitativ überprüfen, ob Sulfid-Ionen in der Probe enthalten sind.

- e) Vervollständige den folgenden Text zur qualitativen Analyse von Sulfid-Ionen in Wein, indem du ankreuzt bzw. die Lücken ergänzt.

Die Weinprobe wird leicht angesäuert und mit Kaliumpermanganat (KMnO_4) versetzt. Wenn Sulfid anwesend ist, wird dieses zu Sulfat oxidiert und Permanganat wird reduziert zu:

☐ Mn ☐ Mn^{2+} ☐ MnO_2 ☐ MnO_4^{2-}

Dabei kann folgender Farbwechsel beobachtet werden:

☐ von violett zu farblos ☐ von grün zu violett ☐ von violett zu braun

Dieser Nachweis kann allerdings gestört werden von anderen Ionen wie:

☐ Mg^{2+} ☐ Fe^{3+} ☐ Fe^{2+} ☐ Zn^{2+} ☐ Na^+

Um sicher zu gehen, dass auch tatsächlich Sulfat in der Lösung vorliegt, können einige Tropfen einer Lösung von Bariumchlorid zugegeben werden, wobei sich ein weißer Niederschlag bilden sollte. Gib die Ionengleichung der dabei ablaufenden Reaktion an und markiere den Niederschlag mit einem Pfeil ↓:

2-04**Soda – dank SOLVAY-Verfahren einfach so da?****20pt**

Soda (Natriumcarbonat) ist ein wichtiges großtechnisches Produkt, das im Multi-Millionen-Tonnenmaßstab hergestellt wird und unter anderem in der Chemie-, Lebensmittel- und Waschmittelindustrie eine Rolle spielt. Die Produktion erfolgt dabei hauptsächlich über das SOLVAY-Verfahren aus Natriumchlorid und Calciumcarbonat, wobei Calciumchlorid als Abfall anfällt.

a) Formuliere die Reaktionsgleichung des SOLVAY-Verfahrens.

Eine bedeutende Größe zur Charakterisierung großtechnischer Verfahren ist die Atomökonomie, die als das Verhältnis der Molmasse des gewünschten Produkts zur Summe der Molmassen aller Edukte definiert ist:

$$\text{Atomökonomie} = \frac{\text{Molmasse des gewünschten Produkts}}{\sum \text{Molmassen aller Edukte}} \cdot 100 \%$$

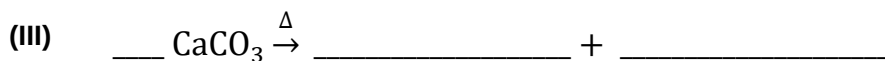
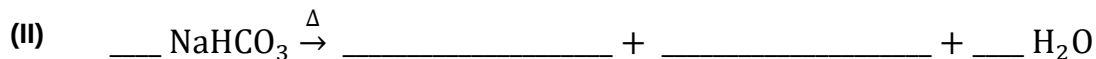
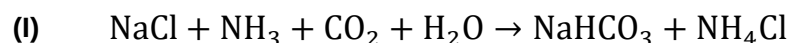
b) Berechne die Atomökonomie des SOLVAY-Verfahrens in Prozent.

c) Kreuze für jede der Aussagen zum Thema Atomökonomie an, ob sie wahr oder falsch ist.

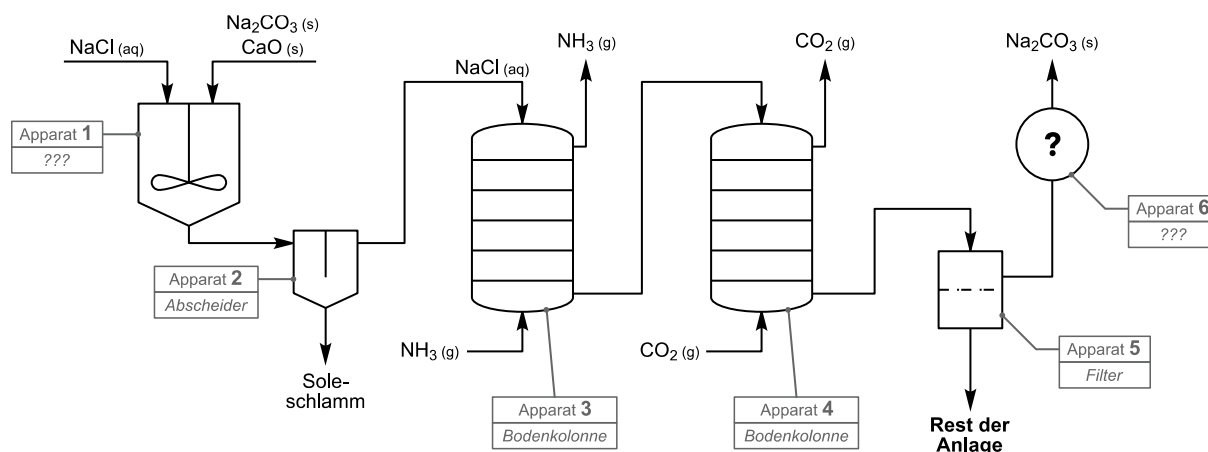
	<i>wahr</i>	<i>falsch</i>
Verfahren mit hoher Atomökonomie sind im Sinne der Nachhaltigkeit zu bevorzugen, da weniger Nebenprodukte entsorgt werden müssen.	☐	☐
Bei katalytischen Reaktionen hat die Wahl des Katalysators einen großen Einfluss auf die Atomökonomie.	☐	☐
Für autokatalytische Reaktionen kann die Atomökonomie auch Werte über 100 % annehmen.	☐	☐
Die Atomökonomie des Haber-Bosch-Verfahrens beträgt 100 %.	☐	☐

Da die direkte Bildung von Soda aus den Edukten thermodynamisch ungünstig ist, kommt beim Solvay-Verfahren noch Ammoniak zum Einsatz. Dieses fällt jedoch nicht als Nebenprodukt an, da es in einem geschlossenen Kreislauf bestehend aus den Reaktionen **I** bis **IV** verbleibt.

d) Vervollständige die Reaktionsgleichungen der Reaktionen II bis IV.



Für die großtechnische Umsetzung des SOLVAY-Verfahrens wird eine Reihe verfahrenstechnischer Apparate benötigt. Folgend ist ein vereinfachtes Verfahrensfliesschema eines Teils einer solchen Anlage, der die Apparate 1 – 6 umfasst, gezeigt. Stoffströme sind durch Pfeile dargestellt.



e) Folgender Text beschäftigt sich mit den Apparaten 1 und 2. Vervollständige ihn, indem du ankreuzt bzw. die Lücken ergänzt.

Bei Apparat 1 handelt es sich um eine/n...

- ☐ Flüssigkeitspumpe ☐ Zerkleinerer ☐ Kolonne ☐ Rührkessel

Apparat 2, ein Abscheider, soll Feststoffe (Sole Schlamm) von der Flüssigkeit (Sole) abtrennen. Das Trennprinzip beruht dabei auf der/dem unterschiedlichen...

- ☐ Partikelgröße ☐ Dichte ☐ Wasserlöslichkeit ☐ Siedepunkt

...von Feststoff und Flüssigkeit.

Die Funktion der beiden Apparate ist...

- | | |
|--------------------------|--|
| ☐ | Soda-Impfkristalle in die Sole einzubringen, damit mehr Soda entsteht. |
| ☐ | einen basischen pH in der Sole einzustellen, sodass sich im nächsten Schritt mehr Ammoniak lösen kann. |
| ☐ | die Sole zu reinigen, indem störende Ionen ausgefällt werden. |
| ☐ | die Sole vorzuwärmen, sodass die folgenden Reaktionen schneller ablaufen. |

- f) Folgender Text beschäftigt sich mit den Apparaten **3** – **6**. Vervollständige ihn, indem du ankreuzt bzw. die Lücken ergänzt.

In den Apparaten **3** und **4** soll jeweils ein Gas in die Sole eingebracht werden, wofür hier Bodenkolonnen verwendet werden. Zwei mögliche Bauformen von Bodenkolonnen sind:

In Apparat **4** läuft außerdem folgende Reaktion ab:

☐ Reaktion I ☐ Reaktion II ☐ Reaktion III ☐ Reaktion IV

Dabei entsteht ein Feststoff, der in Filter **5** abfiltriert wird. Dieser Feststoff wird anschließend in Apparat **6** zum Endprodukt Soda umgesetzt, was folgender Reaktion entspricht:

☐ Reaktion I ☐ Reaktion II ☐ Reaktion III ☐ Reaktion IV

Bei Apparat **6** handelt es sich um eine/n...

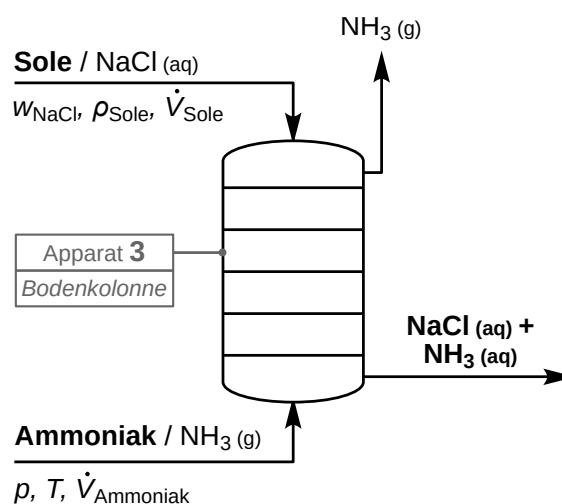
☐ Abscheider ☐ Elektrolysezelle ☐ Rohrofen ☐ Kühlturm

In den folgenden Teilaufgaben betrachten wir ausschließlich den Apparat **3** im stationären Betrieb. In den Apparat fließen die Sole sowie Ammoniak-Gas mit einem Volumenstrom $\dot{V}_{\text{Ammoniak}}$. Das Ammoniak löst sich in der Sole, wobei ein Umsatz von $\xi = 60\%$ erzielt wird.

Reaktion	
Gleichung	$\text{NH}_3(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_3(\text{aq})$
Umsatz	$\xi = 60\%$

Eigenschaften Sole	
Salzgehalt (Massenanteil)	$w_{\text{NaCl}} = 15\%$
Volumenstrom	$\dot{V}_{\text{Sole}} = 10 \frac{\text{L}}{\text{min}}$
Dichte	$\rho_{\text{Sole}} = 1,11 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$

Eigenschaften Ammoniak	
Druck	$p = 5 \text{ bar}$
Temperatur	$T = 298 \text{ K}$



Der Volumenstrom $\dot{V}_{\text{Ammoniak}}$ soll so eingestellt werden, dass die ausfließende Lösung einen zweifachen Ammoniak-Überschuss enthält, d.h. dass c_{NH_3} doppelt so groß wie c_{NaCl} ist.

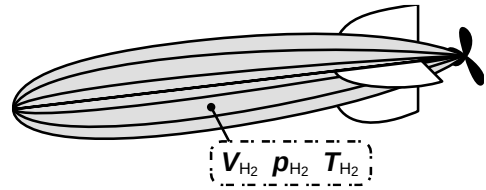
- g) Berechne den Stoffmengenstrom von Natriumchlorid $\dot{n}_{\text{NaCl}}$, der in den Apparat fließt.

- h) Berechne den Volumenstrom $\dot{V}_{\text{Ammoniak}}$ im stationären Betrieb des Absorbers in der Einheit $\frac{\text{L}}{\text{s}}$. Handle Ammoniak dabei als ideales Gas.

► **Notfallwert:** $\dot{n}_{\text{NaCl}} = 30 \frac{\text{mol}}{\text{min}}$

2-05**HINDENBURG****15pt**

Der Zeppelin LZ 129, besser bekannt als die HINDENBURG, war ein berühmtes Luftschiff, in dem Wasserstoff als Traggas zum Einsatz kam. Im Betrieb war die HINDENBURG mit $V_{\text{H}_2} = 190\,000\text{ m}^3$ Wasserstoff gefüllt. Vor dem Abflug besaß das Wasserstoffgas einen Druck von $p_{\text{H}_2} = 1\text{ bar}$ und eine Temperatur von $T_{\text{H}_2} = 25\text{ °C}$.



- a) Berechne die Stoffmenge n_{H_2} des Wasserstoffs, die sich in der HINDENBURG befand.

- b) Berechne unter den gegebenen Bedingungen die Dichte des Wasserstoffgases in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.
 ► **Notfallwert:** $n_{\text{H}_2} = 8 \cdot 10^6\text{ mol}$

- c) Vervollständige den Lückentext, indem du jeweils alle passenden Begriffe ankreuzt.

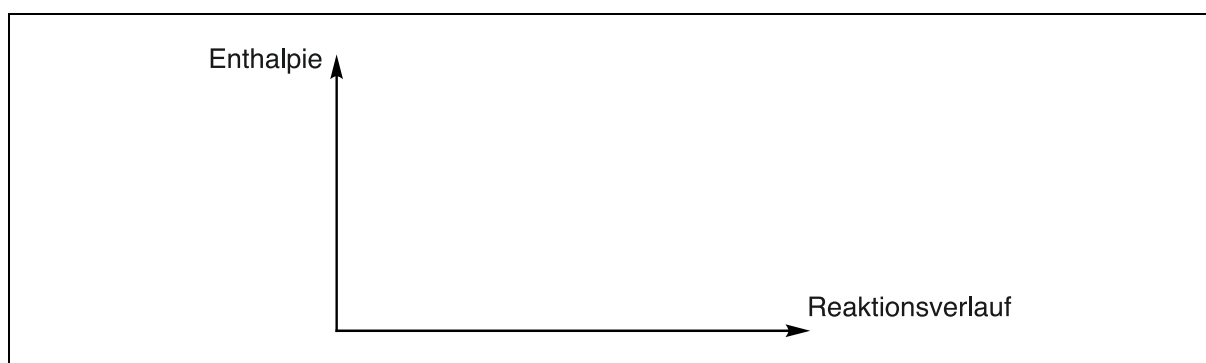
Nach dem Satz von AVOGADRO ist die (1) eines Gases, wenn Druck, Temperatur und Volumen gleich sind, unabhängig von der Teilchenart. Da die mittlere molare Masse von Luft rund (2) so groß wie die von Wasserstoff ist, ist Luft bei sonst gleichen Bedingungen (3) als Wasserstoff. Dadurch erfährt das Luftschiff eine (4).

<u>Lücke (1)</u>	<u>Lücke (2)</u>	<u>Lücke (3)</u>	<u>Lücke (4)</u>
☐ Stoffmenge	☐ 0,5-mal	☐ dichter	☐ Verdichtung
☐ Masse	☐ 5-mal		☐ Auftriebskraft
☐ Teilchenzahl	☐ 15-mal	☐ weniger dicht	☐ Volumenarbeit
☐ Dichte	☐ 30-mal		☐ Druckkraft

Die HINDENBURG nahm ein jähes Ende, als sich während einer Fahrt das Wasserstoffgas entzündete und das Luftschiff in Flammen aufging. Der Wasserstoff reagierte dabei mit Luftsauerstoff in einer stark exothermen Reaktion zu flüssigem Wasser.

- d) Formuliere eine ausgeglichene Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Wasserstoff. Gib dabei alle Aggregatzustände an.

- e) Skizziere in das vorgegebene Diagramm den Enthalpieverlauf einer exothermen Reaktion und zeichne die Aktivierungsenthalpie H_A und die Reaktionsenthalpie $\Delta_r H$ ein.



Pro Mol Wassermoleküle werden bei der Reaktion aus Teilaufgabe d) $\Delta_r H_{\text{H}_2\text{O(l)}} = -286 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ freigesetzt. Dies kannst du verwenden, um die Stärke der Explosion abzuschätzen.

- f) Berechne, wie viel Energie bei der Verbrennung der HINDENBURG insgesamt freigesetzt wurde. Berechne dann, welche Masse TNT zur Explosion gebracht werden muss, um dieselbe Energiemenge freizusetzen.

► **Notfallwert:** $n_{\text{H}_2} = 8 \cdot 10^6 \text{ mol}$

Daten TNT

$$M_{\text{TNT}} = 227 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\Delta_r H_{\text{TNT}} = -1047 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

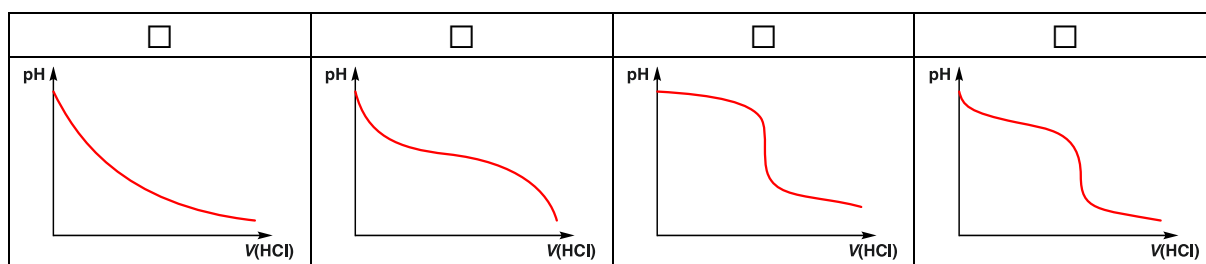
2-06**Ganz schön basic****20pt**

Säure-Base-Titrationen sind eine einfache und schnelle Möglichkeit, die Konzentration einer Säure oder Base in einer Probe zu bestimmen.

Teil I: Titration von Natronlauge mit Salzsäure

Betrachte im Folgenden die Titration von $V_{\text{NaOH}} = 100 \text{ mL}$ einer Natronlauge der unbekannten Konzentration c_{NaOH} mit Salzsäure der Konzentration $c_{\text{HCl}} = 0,100 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$. Der Äquivalenzpunkt wird nach Zugabe von $V_{\text{HCl}} = 24 \text{ mL}$ erreicht.

- a) Kreuze an, welche der Abbildungen die Titrationskurve der Titration von Natronlauge mit Salzsäure am besten wiedergibt.



- b) Berechne die Konzentration der Natronlauge c_{NaOH} sowie den ursprünglichen pH-Wert der Probelösung.

Die einfachste Methode, den Äquivalenzpunkt bei einer Titration zu bestimmen, ist die Verwendung eines pH-Indikators.

- c) Kreuze an, in welchem pH-Bereich der Farbumschlag des Indikators bei der vorliegenden Titration erfolgen sollte.

☐	☐	☐	☐
2 – 3	6 – 7	10 – 11	1 – 9

d) Kreuze für jede der Aussagen zum Thema ‚pH-Indikatoren‘ an, ob sie wahr oder falsch ist.

	wahr	falsch
pH-Indikatoren sind immer selbst auch Säuren bzw. Basen.	☐	☐
Die Wirkungsweise von pH-Indikatoren beruht auf der Abhängigkeit des elektrochemischen Potentials von der Oxoniumkonzentration.	☐	☐
Der Farbumschlag am Äquivalenzpunkt kommt dadurch zustande, dass der pH-Indikator mit Oxonium- bzw. Hydroxidionen reagiert.	☐	☐
pH-Indikatoren greifen in Säure-Base-Gleichgewichte ein, indem sie die pK_S - und pK_B -Werte der beteiligten Verbindungen verändern.	☐	☐
Wird ein pH-Indikator in einer hohen Konzentration eingesetzt, kann dies das Titrationsergebnis verfälschen.	☐	☐
Der Umschlagsbereich des pH-Indikators Methylorange liegt im Sauren.	☐	☐

Teil II: Ammoniak mit Salzsäure

Betrachte nun die Titration der schwachen Base Ammoniak ($pK_S(\text{NH}_4^+) = 9,24$) mit Salzsäure. Die Probe (Index 0), die $V_0 = 100 \text{ mL}$ umfasst und Ammoniak in einer unbekannten Konzentration c_0 enthält, soll wieder mit Salzsäure der Konzentration $c_{\text{HCl}} = 0,100 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ titriert werden. Leider geht die Salzsäure dabei frühzeitig aus und nach Zugabe von $V_{\text{HCl},1} = 16,3 \text{ mL}$ Salzsäure erreicht die Probelösung lediglich einen pH-Wert von $\text{pH}_1 = 9,05$ (Index 1). Diese Informationen reichen jedoch bereits, um c_0 zu bestimmen.

e) Vervollständige den Rechenweg zur Berechnung der Gesamtkonzentration c_0 von Ammoniak in der Probe entsprechend den Anweisungen.

Hinweis: Beachte in allen folgenden Aufgaben die Volumenänderung der Probenlösung durch die Zugabe der Maßlösung!

>> Berechne die Konzentration von Ammonium $c_{\text{NH}_4^+,1}$ am Punkt 1.

>> Berechne das Verhältnis der Konzentrationen von Ammoniak und Ammonium am Punkt 1, das heißt $\frac{c_{\text{NH}_3,1}}{c_{\text{NH}_4^+,1}}$.

>> Berechne die Konzentration von Ammoniak $c_{\text{NH}_3,1}$ am Punkt 1 sowie die Gesamtkonzentration von Ammoniak c_0 in der ursprünglichen Lösung.

►► **Notfallwerte:** $c_{\text{NH}_4^+,1} = 0,015 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$, $\frac{c_{\text{NH}_3,1}}{c_{\text{NH}_4^+,1}} = 0,67$

Betrachte abschließend, wie die Titration verlaufen wäre, wenn die Salzsäure nicht ausgegangen wäre.

f) Berechne das Volumen der Salzsäure $V_{\text{HCl},2}$, das zugegeben werden müsste, um den Äquivalenzpunkt (Index 2) zu erreichen.

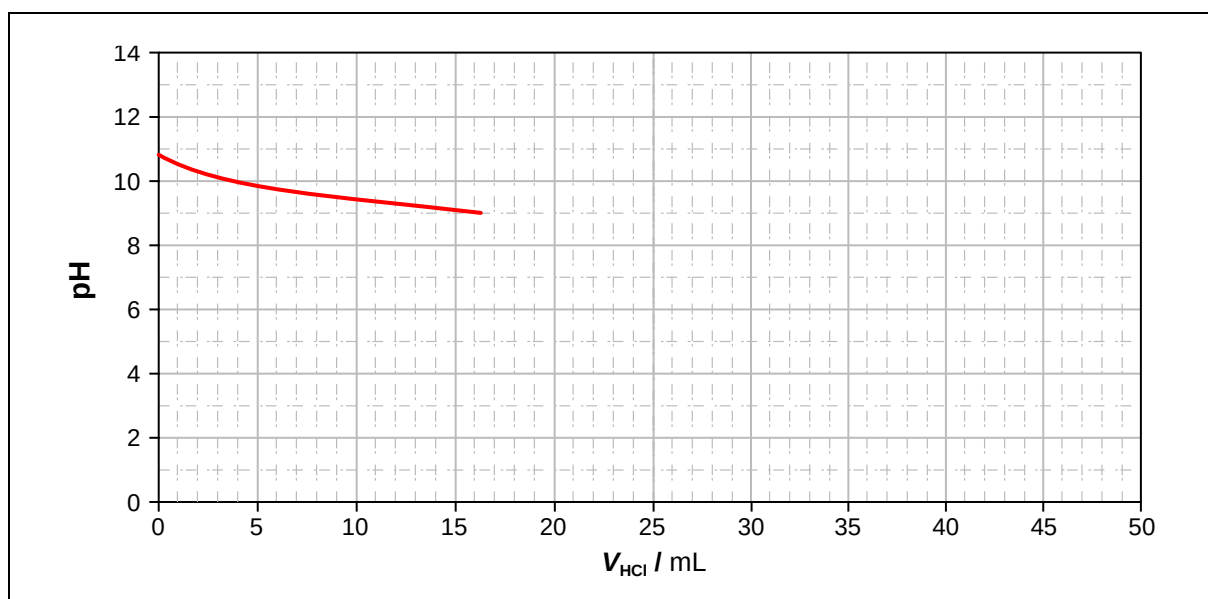
►► **Notfallwert:** $c_0 = 0,030 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

g) Berechne den pH-Wert pH_2 am Äquivalenzpunkt.

► Notfallwerte: $c_0 = 0,030 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$, $V_{\text{HCl},2} = 25 \text{ mL}$

h) Skizziere den weiteren Verlauf der Titrationskurve im Bereich der Zugabe von 16,3 – 50 mL Salzsäure. Markiere dabei die genaue Lage des Äquivalenzpunkts.

► Notfallwerte: $V_{\text{HCl},2} = 25 \text{ mL}$, $\text{pH}_2 = 5,40$

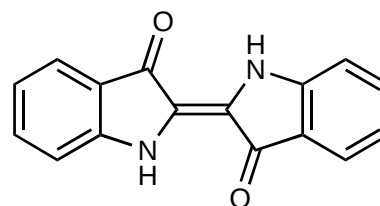


2-07

Das wird mir zu bunt!

15P

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.

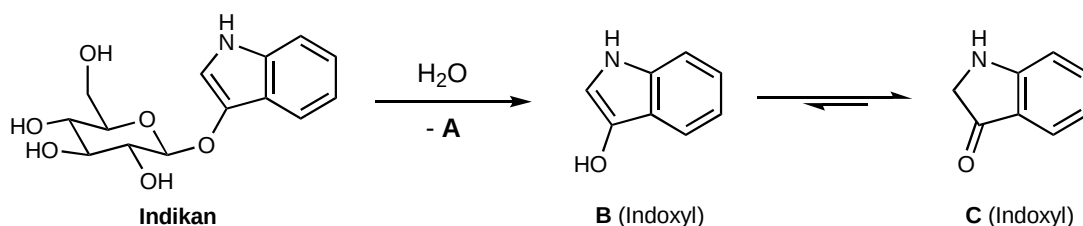


a) Gib die Summenformel von Indigo an.

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

<u>Carbonyl-Gruppe</u>	<u>Amino-Gruppe</u>	<u>Alkenyl-Gruppe</u>	<u>Phenylen-Gruppe</u>

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.

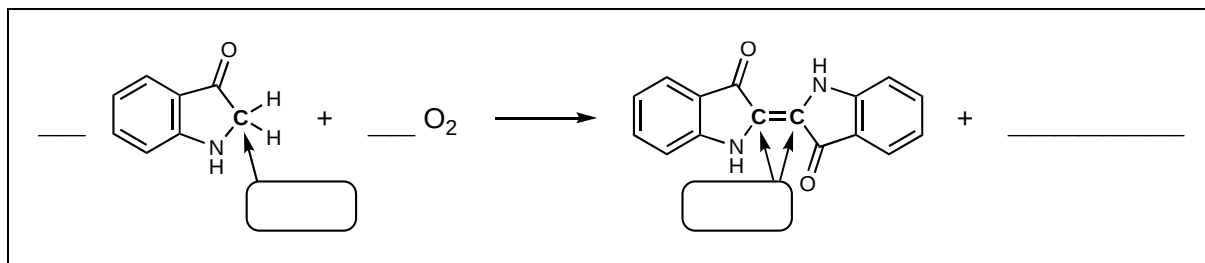
Indikan wird im ersten Schritt in einem Überschuss von Wasser aufgespalten. Bei der Reaktion handelt es sich um eine (1) . Das dabei entstehende Nebenprodukt **A** gehört zur Klasse der (2) . Verbindungen **B** und **C** sind (3) von Indoxyl und können sich ineinander umlagern. Das Gleichgewicht liegt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

<u>Lücke (1)</u>	<u>Lücke (2)</u>	<u>Lücke (3)</u>	<u>Lücke (4)</u>
☐ Kondensation ☐ Hydrolyse ☐ Addition ☐ Eliminierung	☐ Aminosäuren ☐ Lipide ☐ Peptide ☐ Kohlenhydrate	☐ Mesomere ☐ Grenzstrukturen ☐ Stereoisomere ☐ Strukturisomere ☐ Tautomere	☐ Verbindung B ☐ Verbindung C

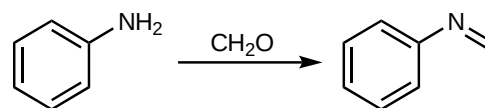
Indoxyl kann schließlich in einem Prozess, der Schlagen genannt wird, mit Luftsauerstoff zu Indigo umgesetzt werden.

d) Folgend ist die unvollständige Strukturformelgleichung der Reaktion von Indoxyl mit Sauerstoff gegeben.

- Schreibe die Oxidationszahlen der fett markierten Kohlenstoffatome in die Kästchen.
- Vervollständige die Reaktionsgleichung, indem du das fehlende Nebenprodukt sowie die stöchiometrischen Koeffizienten angibst.



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) Folgender Lückentext beschäftigt sich mit dem Mechanismus der betrachteten Reaktion. Vervollständige den Text, indem du ankreuzt bzw. die Lücken entsprechend den Anweisungen ergänzt.

Das Stickstoffatom im Anilin besitzt ein freies Elektronenpaar und kann somit als...

☐ Nukleophil

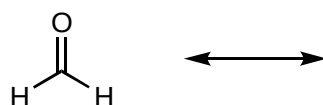
☐ Elektrophil

...reagieren. Formaldehyd besitzt eine polare C=O-Doppelbindung, in welcher der Kohlenstoff eine...

☐ negative

☐ positive

...Partialladung besitzt. Diese kann durch folgende mesomere Grenzstruktur von Formaldehyd verdeutlicht werden:



Anilin und Formaldehyd können somit in einer...

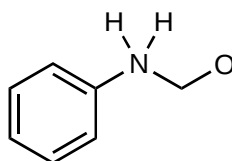
☐ nucleophilen Substitution

☐ elektrophilen Addition

☐ nucleophilen Addition

...reagieren, bei der schließlich ein Intermediat mit folgender Struktur entsteht.

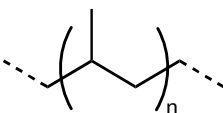
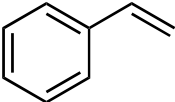
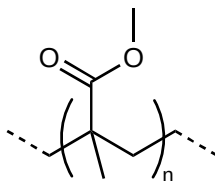
Trage die fehlenden Formalladungen in die vorgegebene Struktur ein:



2-08**Radikaler Umweltschutz bei Polymeren****20pt**

Kunststoffe spielen in unserer Lebenswelt eine wichtige Rolle, da kaum ein Produkt vollständig ohne sie auskommt. Abhängig vom Anwendungsfall kommen verschiedene Polymere als Kunststoffe zum Einsatz, wobei durch Kettenpolymerisation gewonnene Polymere besonders häufig anzutreffen sind.

- a) Ergänze jeweils die fehlende Wiederholeinheit bzw. das fehlende Monomer der folgenden Polymere, die durch Kettenpolymerisation hergestellt werden.

<u>Polypropylen</u>	<u>Polystyrol</u>	<u>PMMA</u>
		

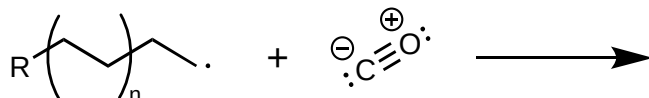
Häufig wählt man dabei zur Verknüpfung der Monomere die radikalische Polymerisation. Bei dieser werden zunächst freie Radikale **R•** generiert, die mit dem Monomer eine Startreaktion eingehen. In der anschließenden Kettenwachstumsreaktion werden schrittweise weitere Monomere an die Polymerkette angelagert, bis schließlich das Kettenwachstum durch eine Abbruchreaktion (z. B. Kombination) gestoppt wird.

- b) Vervollständige die Startreaktion, die Kettenwachstumsreaktion und die Abbruchreaktion durch Kombination bei der radikalischen Polymerisation von Ethen. Zeichne jeweils Pfeile ein, um die Elektronenwanderung zu verdeutlichen.

<u>Startreaktion</u> $R\cdot + \text{CH}_2=\text{CH}_2 \longrightarrow$
<u>Kettenwachstumsreaktion</u> $R-(\text{CH}_2-\text{CH})_n\cdot + \text{CH}_2=\text{CH}_2 \longrightarrow$
<u>Abbruchreaktion (Kombination)</u> $2 R-(\text{CH}_2-\text{CH})_n\cdot \longrightarrow$

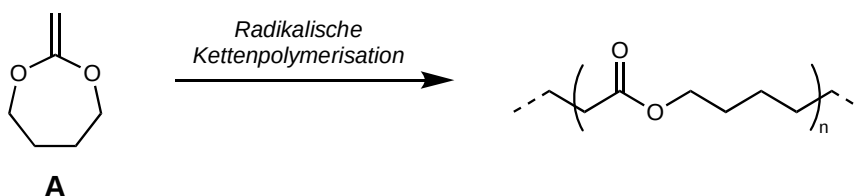
Ein zentrales Problem von Polymeren, die durch Kettenpolymerisation synthetisiert werden, ist ihre meist mangelhafte biologische Abbaubarkeit, aufgrund derer diese Kunststoffe stark zur Verschmutzung der Umwelt beitragen. Dieses Problem kann behoben werden, indem reaktivere funktionelle Gruppen in die Polymerkette eingebaut werden. Bei Polyethylen ist dies zum Beispiel durch Copolymerisation mit Kohlenstoffmonoxid möglich.

- c) Zeichne das Produkt einer alternativen Kettenwachstumsreaktion bei der radikalischen Polymerisation von Ethen, bei der statt Ethen Kohlenmonoxid angelagert wird.
Gib den Namen der funktionellen Gruppe an, die auf diese Weise in die Polymerkette eingebaut werden kann.

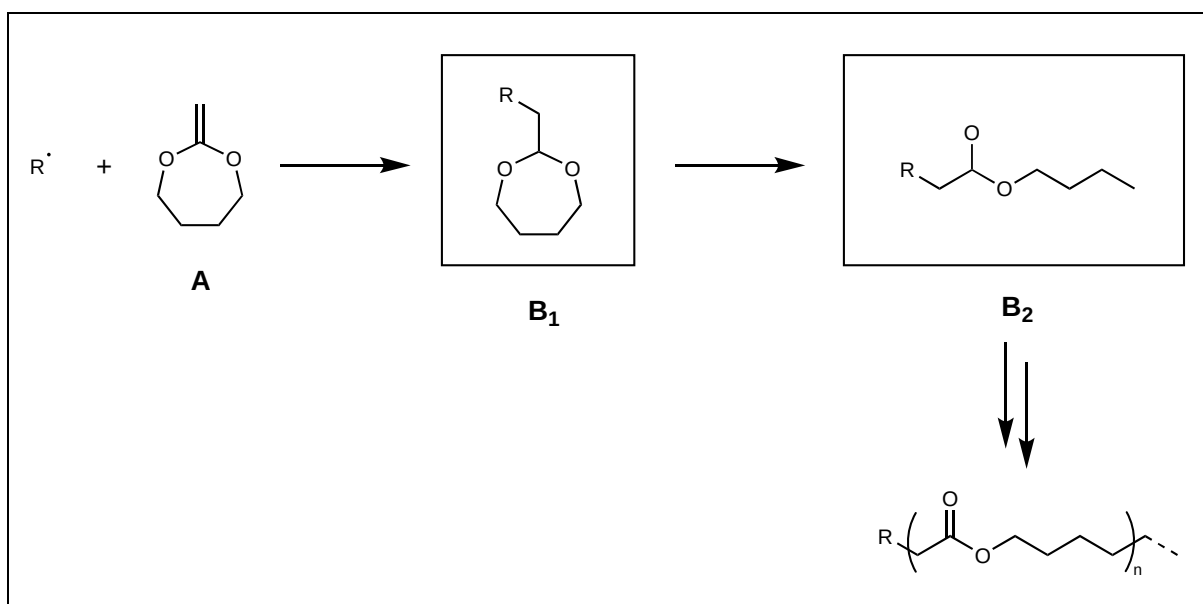


Name der funktionellen Gruppe: _____

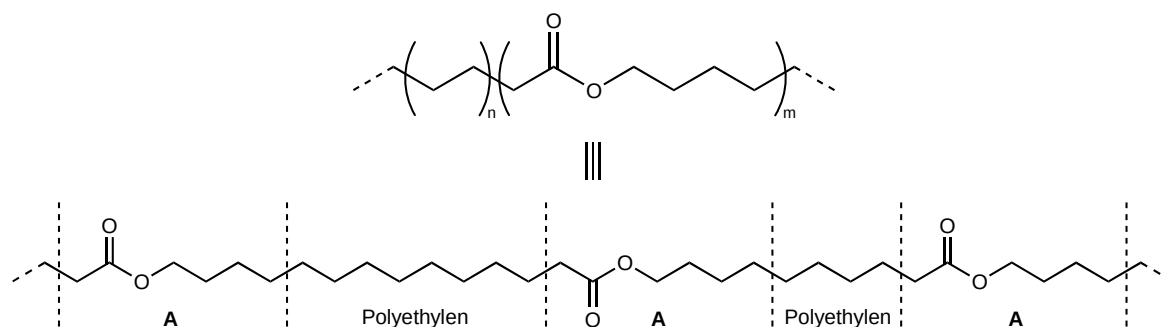
Ein weiterer vielversprechender Ansatz ist der Einbau von leicht hydrolysierbaren Estergruppen in die Polymerkette. Dies ist bei geeigneter Wahl der Reaktionsbedingungen auch bei radikalischer Kettenpolymerisation möglich, indem man zyklische Ketenacetale wie die Verbindung **A** als Monomer verwendet.



- d) Vervollständige den Mechanismus der Startreaktion der Polymerisation von **A**:
- Zeichne in die vorgegebenen Strukturen von **B₁** und **B₂** die fehlenden freien Elektronen(-paare) ein.
 - Zeichne für die ersten beiden Reaktionsschritte Pfeile ein, um die Elektronenwanderung zu verdeutlichen.



Nun kann man die Vorteile der verschiedenen Polymere kombinieren, indem man Copolymere herstellt. Die Abbildung (auf der nächsten Seite) zeigt beispielhaft ein Copolymer aus Ethen und **A**. In dem Ethylen-**A**-Copolymer wechseln sich die beiden Monomere in der Polymerkette zufällig ab, sodass die Polyethylenkette immer wieder durch Estergruppen unterbrochen wird.



Die Estergruppen können durch Hydrolyse recht einfach gespalten und das Polymer so zu vielen kleineren Oligomeren abgebaut werden, die jeweils nur noch wenige Ethen-Einheiten umfassen.

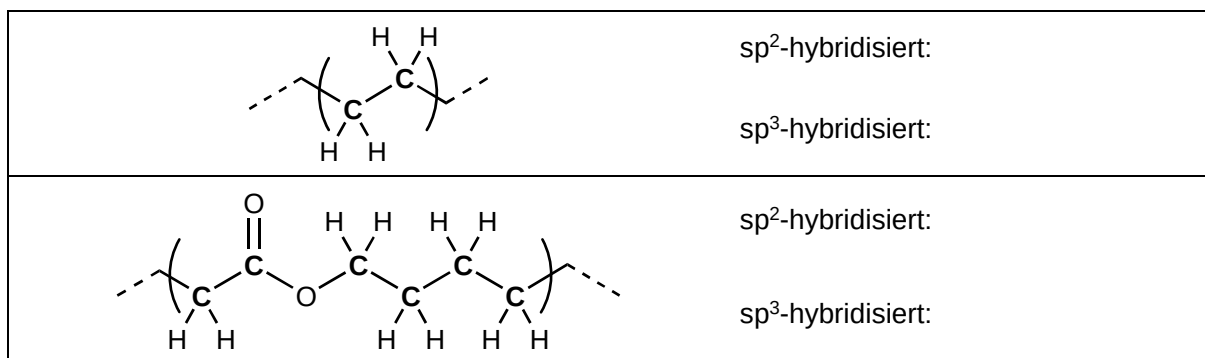
- e) Zeichne die allgemeine Strukturformel des Abbauprodukts, das bei der vollständigen Hydrolyse des betrachteten Copolymers entsteht. Verwende dabei n für die Anzahl der Ethen-Einheiten.



Copolymere können mit ^{13}C -NMR-Spektroskopie analysiert werden. Durch solch eine Untersuchung wurde für ein beispielhaftes Ethylen-A-Copolymer das Verhältnis der Anzahlen sp^3 - und sp^2 -hybridisierter Kohlenstoffatome ermittelt.

Hybridisierung	Relative Häufigkeit
sp^2	0,18 %
sp^3	99,82 %

- f) Gib für die beiden Wiederholeinheiten des Ethylen-A-Copolymers jeweils die Anzahl der sp^3 - und sp^2 -hybridisierten Kohlenstoffatome an.



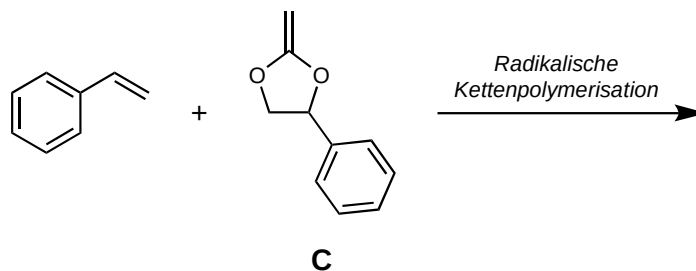
- g) Berechne für das betrachtete Ethylen-A-Copolymer das Verhältnis von n und m , das heißt das Verhältnis der Ethylen- und A-Wiederholeinheiten.



- h) Berechne die durchschnittliche molare Masse der Abbauprodukte der vollständigen Hydrolyse des betrachteten Ethylen-**A**-Copolymers.

► Notfallwert: $n:m = 275$

Es ist ebenfalls möglich, ein mit Estergruppen modifiziertes Polystyrol herzustellen, indem Phenylethen und Verbindung **C** als Monomere radikalisch copolymerisiert werden.



- i) Zeichne die Strukturformel des Copolymers aus Phenylethen und **C**. Verwende dieselbe Darstellungsweise wie bei dem Copolymer von der vorherigen Seite.