

## 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	$pH \approx \frac{1}{2} \cdot (pK_S - \log_{10}(c_0))$ $pOH \approx \frac{1}{2} \cdot (pK_B - \log_{10}(c_0))$
HENDERSSON-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	$Q = I \cdot t = z \cdot F \cdot n$

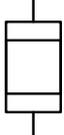
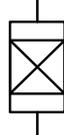
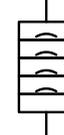
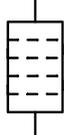
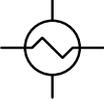
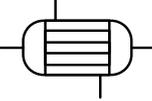
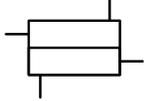
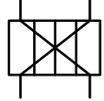
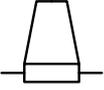
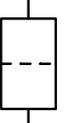
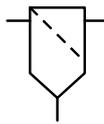
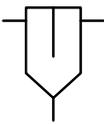
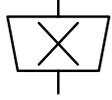
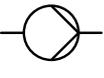
Organische Chemie	
Doppelbindungsäquivalent	$C_c N_n H_h O_o X_x$ ( $X = \text{Halogen}$ )
	$DB\ddot{A} = \frac{2 \cdot c + n - h - x + 2}{2}$

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	$\log_x(a \cdot b) = \log_x a + \log_x b$ $\log_x(a^n) = n \cdot \log_x a$

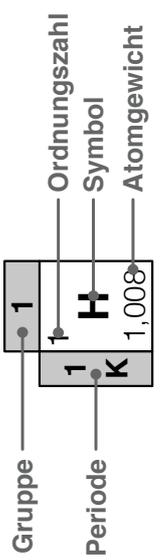
Kinetik	
Geschwindigkeit	$r = \frac{1}{v_i} \frac{dc_i}{dt}$
Geschwindigkeitsgesetz	$r = k \cdot c_A^x \cdot c_B^y \cdot \dots$
Zeitgesetze:	
- 0. Ordnung	$c = c_0 - k \cdot t$
- 1. Ordnung	$c = c_0 \cdot e^{-k \cdot t}$
- 2. Ordnung	$c^{-1} = c_0^{-1} + k \cdot t$
ARRHENIUS-Gleichung	$k = A \cdot e^{-\frac{E_A}{R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

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

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

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

		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18																																																																																																																																																																																																																																																																							
K	L	M	N	O	P	Q																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300



Lanthanoide  
 Actinoide

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) Wie viele Neutronen enthält ein Atomkern des Isotops Fluor-19?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	9	10	19

b) In der Festkörperstruktur von Calciumchlorid besitzen die Calcium-Ionen eine Koordinationszahl von 6. Was ist die Koordinationszahl der Chlorid-Ionen?

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	3	4	6	12

c) Welche Oxidationszahl besitzen die Eisenatome in Magnetit ( $Fe_3O_4$ )?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$\pm 0$	+1	+2	+3	+4

d) In welchem Orbital befinden sich die Valenzelektronen bei einem Kohlenstoffatom im Grundzustand?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
s-Orbital	p-Orbital	d-Orbital	f-Orbital	c-Orbital

e) Bei welcher Anordnung sind die Elemente nach steigender Elektronegativität sortiert?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ge – Se – S	Ge – S – Se	Se – S – Ge	S – Se – Ge	Se – Ge – S

f) Welches der Salze ist wasserlöslich ( $> 1$  g/L bei Raumtemperatur)?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
AgCl	PbSO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	BaSO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>

g) Welche Farbe besitzt der pH-Indikator Phenolphthalein bei pH-Werten unter 7?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
pink	gelb	blau	grün	farblos

h) Welche der Verbindungen besitzt mit Sicherheit mindestens eine C=C-Doppelbindung?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	Keine der genannten

i) Wie viele delokalisierte  $\pi$ -Elektronen kann eine aromatische Verbindung nach der HÜCKEL-Regel besitzen?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	3	4	5	6

j) Welches der Lösungsmittel ist am wenigsten polar?

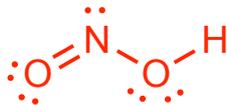
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aceton	Ethanol	Cyclohexan	Wasser	Acetonitril

2-02

Kurzfragen

15pt

- a) Zeichne die Lewis-Formel von salpetriger Säure ( $\text{HNO}_2$ ) und gib die Oxidationszahl des Stickstoffatoms an.



Oxidationszahl: +3 / +III

**2pt:** 1pt Lewis-Formel, 1pt Oxidationszahl

- b) Gib die vollständige Elektronenkonfiguration eines  $\text{Mg}^{2+}$ -Ions an. Verwende dabei keine Abkürzungen.

$1s^2 2s^2 2p^6$

**1pt**

- c) Nenne ein Element, das bei Standardbedingungen biatomar und gasförmig vorliegt.

Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Fluor, Chlor

**1pt**

- d) Ein Heißluftballon besitzt ein Volumen von  $V = 15 \text{ m}^3$  und ist mit Luft der Temperatur  $T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$  und einem Druck von  $p = 1,013 \text{ bar}$  gefüllt. Berechne die Stoffmenge der Luft im Heißluftballon.

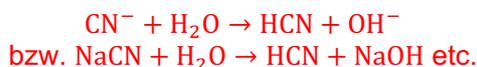
Ideales Gasgesetz:  $pV = nRT$

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{101300 \text{ Pa} \cdot 15 \text{ m}^3}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot (80 + 273,15)\text{K}} = 517,5 \text{ mol}$$

**2pt:** 1pt Rechenweg, 1pt Ergebnis, -1pt wenn molares Volumen bei falscher Temperatur verwendet wird

- e) Gib an, wie sich der pH-Wert einer wässrigen Lösung ändert, wenn Natriumcyanid (NaCN) gelöst wird. Erkläre deine Antwort anhand einer Reaktionsgleichung.

Der pH-Wert steigt.



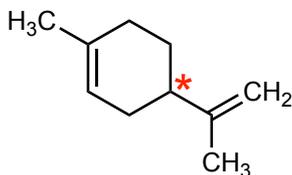
**2pt:** 1pt Änderung pH, 1pt Reaktionsgleichung

- f) Beim Bayer-Verfahren zur Herstellung von Aluminium wird Aluminium(III)hydroxid erhitzt, wobei Aluminium(III)oxid und Wasserdampf entstehen. Gib für diese Reaktion eine ausgeglichene Reaktionsgleichung mit Aggregatzuständen an.



**2pt:** 0,5pt Summenformeln, 0,5pt Aggregatzustände, 1pt ausgeglichene Gleichung

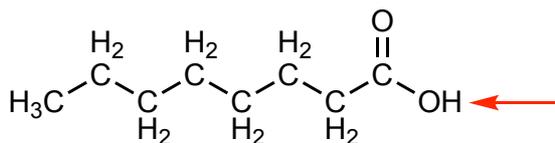
- g) Die Abbildung zeigt die Skelettformel von Limonen, einem Aromastoff aus Zitronen.
- Gib die Summenformel von Limonen an.
  - Markiere das asymmetrische Kohlenstoffatom von Limonen mit einem Sternchen \*.



Summenformel: \_\_\_\_\_  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$  \_\_\_\_\_

**2pt:** 1pt Summenformel, 1pt asym. C-Atom

- h) Die Abbildung zeigt die Struktur einer Fettsäure.
- Gib den IUPAC-Namen der abgebildeten Fettsäure an.
  - Kreuze an, ob es sich um eine gesättigte oder ungesättigte Fettsäure handelt.
  - Markiere in der abgebildeten Struktur das H-Atom, das bei Säure-Base-Reaktionen bevorzugt abgegeben wird.



Name: \_\_\_\_\_ Octansäure \_\_\_\_\_

**3pt:** 1pt Name, 1pt gesättigt, 1pt H-Atom

gesättigt

ungesättigt

2-03

Alles Chlor?

15pt

Während Chlor ein reaktives Gas ist, sind Chlorid-Anionen überaus stabil, bilden stabile Salze mit zahlreichen Kationen und kommen häufig in der Natur vor.

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

Chlor gehört zur Gruppe der (1), da es (2) Valenzelektronen besitzt. Chlorid-Ionen hingegen besitzen ein Valenzelektron (3), sodass sie die besonders stabile Elektronenkonfiguration des Edelgases (4) besitzen.

**2pt: 0,5pt je Lücke**

Lücke (1)	Lücke (2)	Lücke (3)	Lücke (4)
<input type="checkbox"/> Gase	<input type="checkbox"/> fünf	<input type="checkbox"/> mehr	<input type="checkbox"/> Neon
<input type="checkbox"/> Edelgase	<input type="checkbox"/> sieben	<input type="checkbox"/> weniger	<input type="checkbox"/> Argon
<input checked="" type="checkbox"/> Halogene	<input type="checkbox"/> acht		<input type="checkbox"/> Krypton
<input type="checkbox"/> Pnictogene	<input type="checkbox"/> siebzehn		<input type="checkbox"/> Xenon

Ein Beispiel für ein chloridhaltiges Salz ist Natriumchlorid, das bei der Reaktion von elementarem Natrium mit Chlorgas entsteht und besser bekannt ist als Kochsalz.

b) Formuliere eine ausgeglichene Reaktionsgleichung für die Bildung von Natriumchlorid. Gib dabei die Aggregatzustände der beteiligten Verbindungen an.

$2 \text{Na(s)} + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{NaCl(s)}$  oder  $\text{Na(s)} + \frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl(s)}$

**1,5pt: 1pt Reaktionsgleichung, 0,5pt Aggregatzustände**

Der genaue Ablauf dieser Reaktion wird im Born-Haber-Kreisprozess angegeben, wobei die Bildung der Chlorid-Ionen über zwei Schritte verläuft, die jeweils mit einem Energieumsatz verbunden sind.

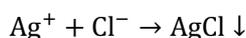
c) Ordne den beiden Schritten jeweils den zugehörigen Begriff aus der Begriffsliste zu.

$\text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{Dissoziationsenergie}} 2 \text{Cl} \xrightarrow{+2 \text{e}^- \text{ Elektronenaffinität}} 2 \text{Cl}^-$

Mögliche Begriffe:  
 Gitterenergie – Elektronenaffinität – Ionisierungsenergie – Aktivierungsenergie  
 Dissoziationsenergie – Elektronegativität – Bildungsenergie – Sublimationsenergie

**2pt: 1pt je Begriff**

Die quantitative Bestimmung von Chlorid kann mithilfe einer MOHR'schen Titration erfolgen: Eine chloridhaltige Lösung wird mit einer Silbernitrat-Maßlösung titriert, wobei ein weißer Niederschlag von Silberchlorid ausfällt:



Eine chloridhaltige, wässrige Lösung ( $V_{\text{Probe}} = 50 \text{ mL}$ ) wird auf diese Weise mit einer 0,1-molaren Silbernitrat-Lösung titriert. Der Verbrauch am Äquivalenzpunkt beträgt  $V_{\text{Verbrauch}} = 13,4 \text{ mL}$ .

d) Berechne die Massenkonzentration von Chlorid in der Probe in  $\frac{\text{g}}{\text{L}}$ .

Stoffmenge Silberionen (1pt):

$$n_{\text{Ag}^+} = c_{\text{AgNO}_3} \cdot V_{\text{Verbrauch}} = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 13,4 \text{ mL} = 1,34 \text{ mmol}$$

Stoffmenge Chlorid (0,5pt):

$$n_{\text{Cl}^-} = n_{\text{Ag}^+} = 1,34 \text{ mmol}$$

Massenkonzentration Chlorid (1pt Rechenweg, 1pt Ergebnis):

$$\beta(\text{Cl}^-) = \frac{m_{\text{Cl}^-}}{V_{\text{Probe}}} = \frac{n_{\text{Cl}^-} \cdot M_{\text{Cl}}}{V_{\text{Probe}}} = \frac{1,34 \text{ mmol} \cdot 35,453 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{50 \text{ mL}} = 0,950 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

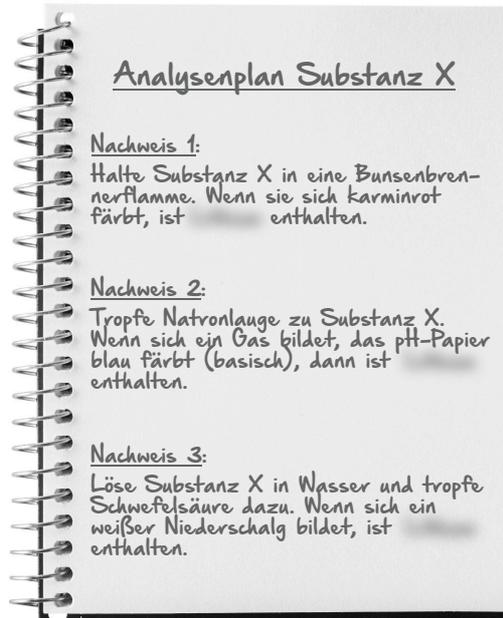
$$\begin{aligned} V_{\text{Probe}} &= 50 \text{ mL} \\ c_{\text{AgNO}_3} &= 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \\ V_{\text{Verbrauch}} &= 13,4 \text{ mL} \end{aligned}$$

**3,5pt:** Entsprechend den Anmerkungen.

Chloride spielen auch beim unter Chemikern „beliebten“ Ionenlotto eine wichtige Rolle. Nimm im Folgenden an, dass du einen unbekanntesten Feststoff X erhältst, der folgende Verbindungen enthalten kann: Lithiumchlorid ( $\text{LiCl}$ ), Bariumchlorid ( $\text{BaCl}_2$ ) und Ammoniumchlorid ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). In den Notizen deines Kameraden findest du nebenstehenden Zettel, der leider teilweise unleserlich ist.

e) Gib an, welches der drei Kationen du mit den Nachweisen 1 – 3 jeweils identifizieren kannst.

Nachweis 1:	Nachweis 2:	Nachweis 3:
Lithium / $\text{Li}^+$	Ammonium / $\text{NH}_4^+$	Barium / $\text{Ba}^{2+}$
<b>3pt:</b> 1pt je Kation		



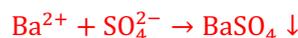
f) Gib jeweils eine ausgeglichene Ionengleichung an, die die Beobachtungen bei Nachweis 2 und Nachweis 3 erklärt. Kennzeichne Gasbildung ( $\uparrow$ ) und Niederschläge ( $\downarrow$ ) mit den entsprechenden Pfeilen.

Nachweis 1:



**1,5pt:** 1pt Ionengleichung, 0,5pt  $\uparrow$

Nachweis 2:



**1,5pt:** 1pt Ionengleichung, 0,5pt  $\downarrow$

2-04

Kalorienbombe im Bombenkalorimeter

15pt

Um den Brennwert von Lebensmitteln (besser bekannt als „Kalorienwert“) zu bestimmen, kommt im allgemeinen Bombenkalorimetrie zum Einsatz. Dabei wird der Brennstoff in einen Reaktionsraum mit konstantem Volumen (die „Bombe“) in einer Sauerstoffatmosphäre verbrannt. Die freigesetzte Wärme wird über die Gefäßwände an das Kalorimeter abgegeben, dessen Temperatur sich dadurch messbar ändert. Das Kalorimeter als Ganzes tauscht jedoch keine Wärme mit der Umgebung aus.

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

Thermodynamische Prozesse, die bei konstantem Volumen ablaufen, nennt man (1).  
 Bei (2) Prozessen wird keine Wärme mit der Umgebung ausgetauscht.

**2pt: 1pt je Lücke**

Lücke (1)		Lücke (2)	
<input type="checkbox"/> isobar	<input type="checkbox"/> isochor	<input type="checkbox"/> isothermen	<input type="checkbox"/> reversiblen
<input type="checkbox"/> isotherm	<input type="checkbox"/> isotop	<input type="checkbox"/> adiabatischen	<input type="checkbox"/> spontanen

Vor der Messung muss das Kalorimeter kalibriert werden, was durch die Verbrennung einer bekannten Substanz geschieht. Dabei kann zum Beispiel Benzoesäure ( $C_7H_6O_2$ ,  $M = 122,12 \frac{g}{mol}$ ) zum Einsatz kommen.

b) Ergänze die fehlenden stöchiometrischen Koeffizienten in der Reaktionsgleichung für die vollständige Verbrennung von Benzoesäure.

$$1 \text{ C}_7\text{H}_6\text{O}_2 + 7,5 \text{ O}_2 \rightarrow 7 \text{ CO}_2 + 3 \text{ H}_2\text{O}$$

**1,5pt: Auch bei ganzen Vielfachen der angegebenen Koeffizienten**

c) Berechne anhand der Standardbildungsenthalpien aus untenstehender Tabelle die Standardreaktionsenthalpie  $\Delta_r H^\circ$  der Verbrennung von Benzoesäure.

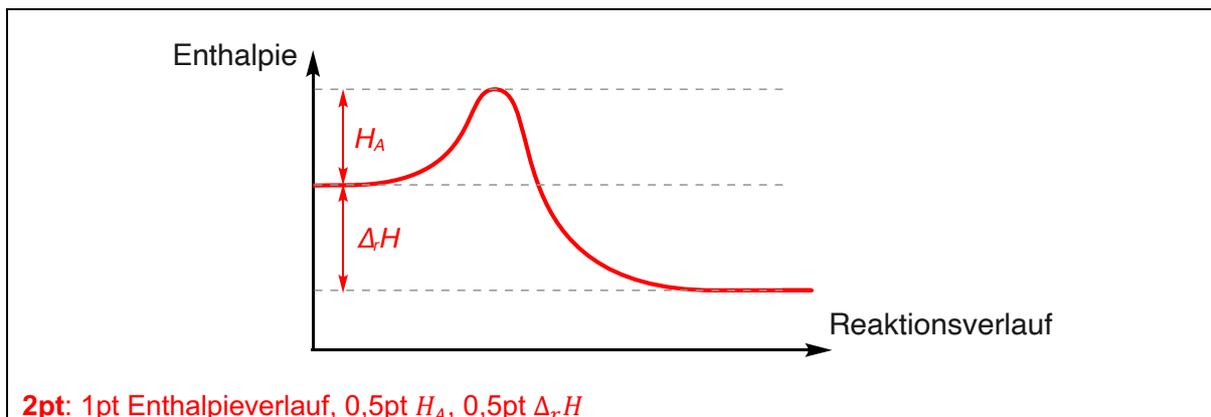
	$\Delta_f H^\circ$ in kJ/mol
$C_7H_6O_2$	-385,0
$O_2$	0
$CO_2$	-393,5
$H_2O$	-285,8

$$\Delta_r H^\circ = 3 \cdot \Delta_f H^\circ(H_2O) + 7 \cdot \Delta_f H^\circ(CO_2) - 7,5 \cdot \Delta_f H^\circ(O_2) - \Delta_f H^\circ(C_7H_6O_2)$$

$$\Delta_r H^\circ = 3 \cdot \left(-285,8 \frac{kJ}{mol}\right) + 7 \cdot \left(-393,5 \frac{kJ}{mol}\right) - 7,5 \cdot 0 \frac{kJ}{mol} - \left(-385,0 \frac{kJ}{mol}\right) = -3226,9 \frac{kJ}{mol}$$

**2,5pt: 1,5pt Rechenweg, 1pt Ergebnis, -0,5pt falls das Ergebnis auf 2 mol Benzoesäure bezogen wird**

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



Im vorliegenden Fall kann man in guter Näherung annehmen, dass die an das Kalorimeter abgegebene Wärme genau der bei der Verbrennung freiwerdenden Enthalpie entspricht.

- e) Berechne die an das Kalorimeter abgegebene Wärmemenge, wenn  $m = 2,0$  g Benzoesäure verbrannt werden.

Hinweis: Notfallwert:  $\Delta_r H^\circ = -3000 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

$$n_B = \frac{2,0 \text{ g}}{122,12 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 16,38 \text{ mmol}$$

$$Q = n_B \cdot \Delta_r H^\circ = 16,38 \text{ mmol} \cdot \left(-3226,9 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right) = -52,9 \text{ kJ}$$

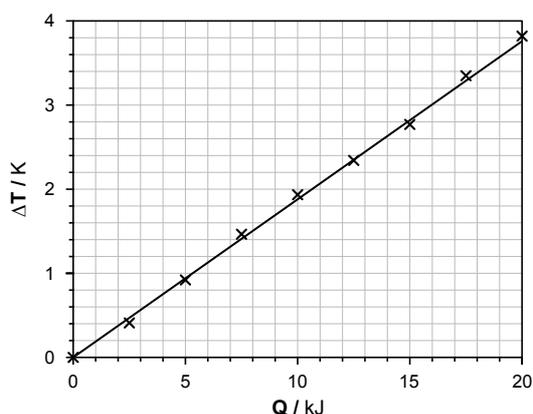
Mit dem Ersatzwert ist  $Q = -49,1 \text{ kJ}$ .

**2pt:** 1pt Rechenweg, 1pt Ergebnis

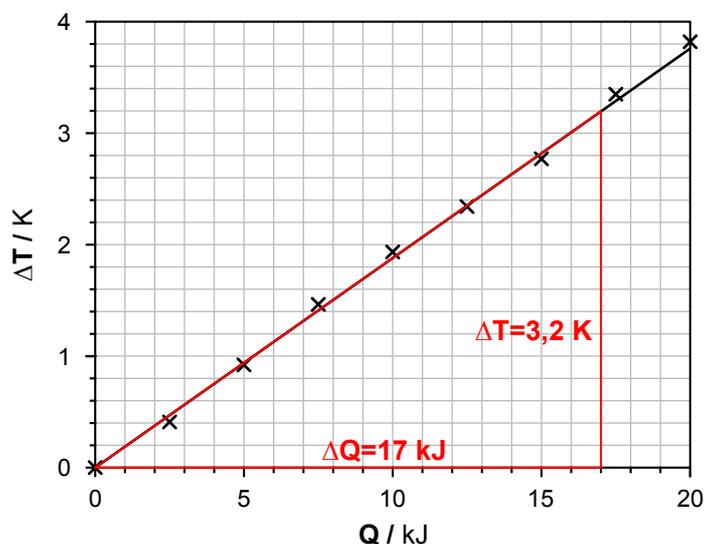
Wie stark sich das Kalorimeter bei Aufnahme einer bestimmten Wärmemenge  $Q$  erwärmt, hängt stark vom Aufbau ab und wird durch die Kalorimeterkonstante  $C_{Kal}$  quantifiziert:

$$Q = C_{Kal} \cdot \Delta T \quad (1)$$

Um die Kalorimeterkonstante zu bestimmen, wurden dem Kalorimeter durch Verbrennung von Benzoesäure unterschiedliche Wärmemengen zugeführt und jeweils die resultierende Temperaturänderung gemessen. Die Ergebnisse sind folgend grafisch dargestellt.



- f) Bestimme die Steigung der Ausgleichsgeraden, indem du ein geeignetes Steigungsdreieck in die Abbildung einzeichnest. Berechne die Kalorimeterkonstante des betrachteten Kalorimeters.



Aus dem Diagramm:  $m = \frac{3,2 \text{ K}}{17 \text{ kJ}} = 0,19 \pm 0,02 \frac{\text{K}}{\text{kJ}}$

Mit Gleichung (1) folgt:  $C_{Kal} = \frac{1}{m} = \frac{1}{0,19 \frac{\text{K}}{\text{kJ}}} = 5,26 \pm 0,5 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$

**2,5pt:** 0,5pt Steigungsdreieck (es müssen zwei auf der Ausgleichsgerade liegende Punkte verwendet werden, 0pt wenn z.B. zwei Messwerte verwendet werden), 1pt Steigung, 1pt Kalorimeterkonstante (Angabe der Abweichungen nicht nötig, aber nur Ergebnisse in diesem Bereich werden gewertet)

- g) Bei der Verbrennung von  $m = 1,5 \text{ g}$  eines zerbröselten Schokokekses wird eine Temperaturerhöhung des Kalorimeters um  $\Delta T = 6,1 \text{ K}$  gemessen. Berechne den Energiegehalt des Schokokekses in kcal pro 100 g.

Hinweise: 1 cal entspricht 4,18 J. Notfallwert:  $C_{Kal} = 5,0 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$

Aus Gleichung (1) folgt:

$$Q = C_{Kal} \cdot \Delta T = 5,26 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} \cdot 6,1 \text{ K} = 32,09 \text{ kJ} = 7,68 \text{ kcal}$$

In 100 g:

$$E_{Keks} = 7,68 \text{ kcal} \cdot \frac{100 \text{ g}}{1,5 \text{ g}} = 512 \text{ kcal}$$

Mit dem Alternativwert folgt  $E_{Keks} = 486 \text{ kcal}$ .

**3pt:** 2pt Rechenweg, 1pt Ergebnis

2-05

Ein Ring, sie zu knechten

15pt

Ungesättigte Kohlenwasserstoffe mit drei oder mehr Kohlenstoffatomen besitzen neben offenkettigen Isomeren auch solche, in denen die Kohlenstoffatome einen geschlossenen Ring bilden.

- a) Zeichne alle Strukturisomere, die zur Summenformel  $C_3H_6$  gehören, und benenne diese jeweils nach den IUPAC-Nomenklaturregeln.



Einer der wichtigsten cyclischen Kohlenwasserstoffe ist das Cyclohexan mit der Zusammensetzung  $C_6H_{12}$ . In der stabilsten Konformation ordnen sich die Kohlenstoffatome dabei sesselförmig an, weshalb man auch von der Sesselkonformation des Cyclohexans spricht.

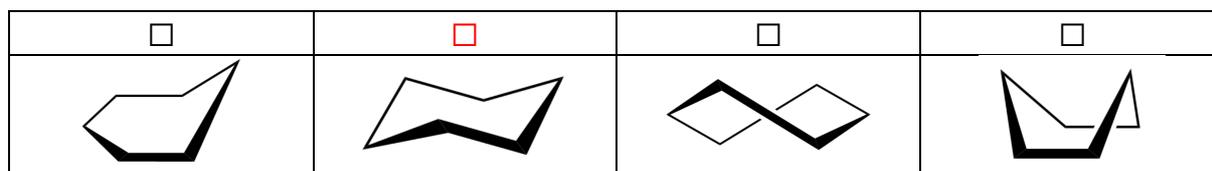
- b) Vervollständige den Lückentext, indem du jeweils den richtigen Begriff ankreuzt.

In der organischen Chemie bezeichnet man Verbindungen mit derselben Summenformel als (1). Wenn sie außerdem dieselbe Menge und Art von Bindungen enthalten, dann besitzen sie dieselbe (2). Unter (3) versteht man die räumliche Anordnung der Atome, die durch Rotation um (4) entsteht.

2pt: 0,5pt je Lücke

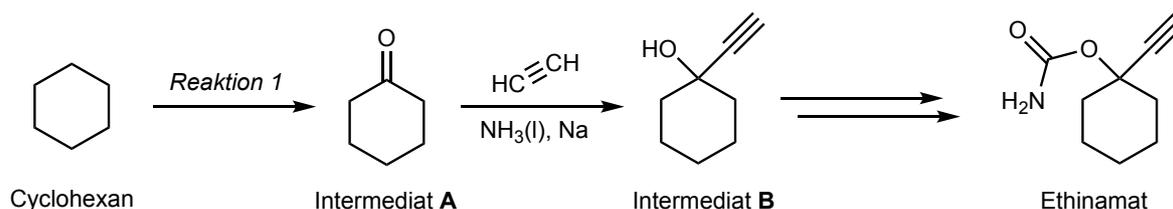
Lücke (1)	Lücke (2)	Lücke (3)	Lücke (4)
<input type="checkbox"/> Isomere	<input type="checkbox"/> Konfiguration	<input type="checkbox"/> Konfiguration	<input checked="" type="checkbox"/> Einfachbindungen
<input type="checkbox"/> Isotope	<input type="checkbox"/> Konformation	<input checked="" type="checkbox"/> Konformation	<input type="checkbox"/> Doppelbindungen
<input type="checkbox"/> Topomere	<input type="checkbox"/> Konstruktion	<input type="checkbox"/> Konstruktion	<input type="checkbox"/> Dreifachbindungen
<input type="checkbox"/> Isochore	<input checked="" type="checkbox"/> Konstitution	<input type="checkbox"/> Konstitution	<input type="checkbox"/> Symmetrieachsen

- c) Wie sieht die Sesselkonformation von Cyclohexan aus? Kreuze die richtige Antwort an.



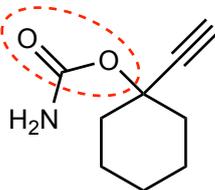
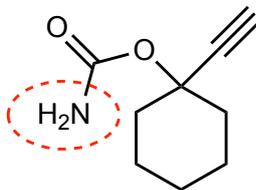
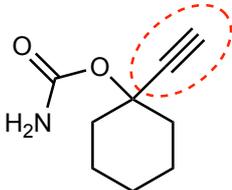
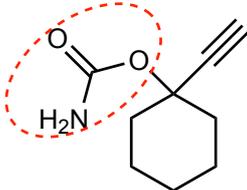
1pt

Die Cyclohexan-Struktureinheit kommt in zahlreichen organischen Verbindungen vor, darunter auch dem Arzneistoff Ethinamat, der eine sedierende Wirkung besitzt. Dieser kann wie folgend gezeigt aus Cyclohexan synthetisiert werden.

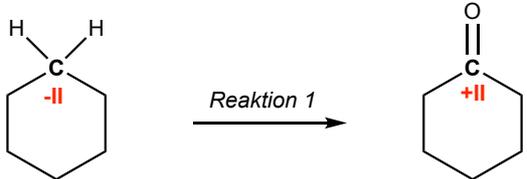


Ethinamat enthält verschiedene funktionelle Gruppen.

d) Markiere jede der folgend genannten funktionellen Gruppen in der Struktur von Ethinamat.

Ester-Gruppe	Amino-Gruppe	Ethynyl-Gruppe	Carbamat-Gruppe
			
<b>0,5pt</b>	<b>0,5pt</b>	<b>1pt</b>	<b>1pt</b>

e) Bestimme jeweils die Oxidationszahl des fett gedruckten Kohlenstoffatoms in Cyclohexan und Intermediat **A**. Gib an, ob für Reaktion 1 ein Oxidations- oder Reduktionsmittel benötigt wird.



**Ein Oxidationsmittel wird benötigt.**

**2pt: 0,5pt je Oxidationszahl, 1pt Oxidationsmittel**

f) Folgender Text beschäftigt sich mit der Umsetzung von Intermediat **A** zu Intermediat **B**. Vervollständige ihn, indem du ankreuzt bzw. die Lücken ergänzt.

Zwischen Natrium und flüssigen Ammoniak läuft eine Redoxreaktion ab, bei der gasförmiger Wasserstoff und Amid-Ionen ( $\text{NH}_2^-$ ) gebildet werden. Die Reaktionsgleichung dieser Reaktion lautet:

$$2 \text{Na} + 2 \text{NH}_3 \rightarrow 2 \text{NaNH}_2 + \text{H}_2$$

Die Amid-Ionen deprotonieren anschließend das Ethin, wobei ein einfach negativ geladenes Acetylid-Anion ( $\text{C}_2\text{H}^-$ ) entsteht. Dessen Lewis-Formel sieht wie folgt aus:

$$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}:\ominus$$

Durch die Deprotonierung erhöht sich die...

Nucleophilie  Elektrophilie

...von Ethin. Dadurch kann zwischen Intermediat **A** und Ethin eine...

nucleophile Substitution  elektrophile Addition  nucleophile Addition

...ablaufen, bei der schließlich Intermediat **B** entsteht.

**4pt: jeweils 1pt**

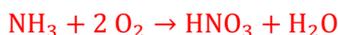
2-06

OSTWALD-Verfahren

20pt

Salpetersäure ist ein wichtiges großtechnisches Produkt, das im Multi-Millionen-Tonnenmaßstab hergestellt wird und unter anderem in der Chemie-, Lebensmittel- und Düngemittelindustrie eine Rolle spielt. Die Produktion erfolgt dabei hauptsächlich über das OSTWALD-Verfahren aus Ammoniak und Sauerstoff.

- a) *Formuliere die ausgeglichene Reaktionsgleichung für die Bildung von Salpetersäure aus Ammoniak und Sauerstoff.*



1pt

Jährlich werden rund 60 Mio. Tonnen Salpetersäure mithilfe des OSTWALD-Verfahrens produziert. Damit verbraucht die Herstellung von Salpetersäure einen erheblichen Anteil der jedes Jahr synthetisierten 150 Mio. Tonnen Ammoniak.

- b) *Berechne die Masse von Ammoniak, die jedes Jahr zur Herstellung von Salpetersäure verwendet wird. Berechne, welchem prozentualen Anteil an der gesamten Ammoniak-Produktion dies entspricht.*

Masse Ammoniak:

$$n_{\text{NH}_3} = n_{\text{HNO}_3} \Rightarrow \frac{m_{\text{NH}_3}}{M_{\text{NH}_3}} = \frac{m_{\text{HNO}_3}}{M_{\text{HNO}_3}}$$

$$m_{\text{NH}_3} = m_{\text{HNO}_3} \cdot \frac{M_{\text{NH}_3}}{M_{\text{HNO}_3}} = 125 \cdot 10^6 \text{ t} \cdot \frac{17,03 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{63,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 33,8 \cdot 10^6 \text{ t}$$

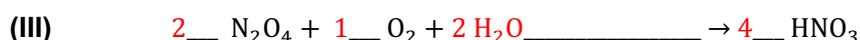
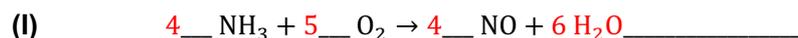
Prozentualer Anteil:

$$P = \frac{33,8 \cdot 10^6 \text{ t}}{150 \cdot 10^6 \text{ t}} = 22,5 \%$$

2,5pt: 1pt Rechenweg, 1pt Masse, 0,5pt Prozentualer Anteil

Da die direkte Bildung von Salpetersäure aus den Edukten schwierig umzusetzen ist, wird ein Umweg über die Reaktionen I bis III gewählt.

- c) *Vervollständige die Reaktionsgleichungen der Reaktionen I bis III.*



3pt: 1pt je Reaktion (0,5pt fehlende Verbindung, 0,5pt Stöchiometrie, 1en dürfen auch weggelassen werden, Stöchiometrie wird nur bei korrekter fehlender Verbindung gewertet).

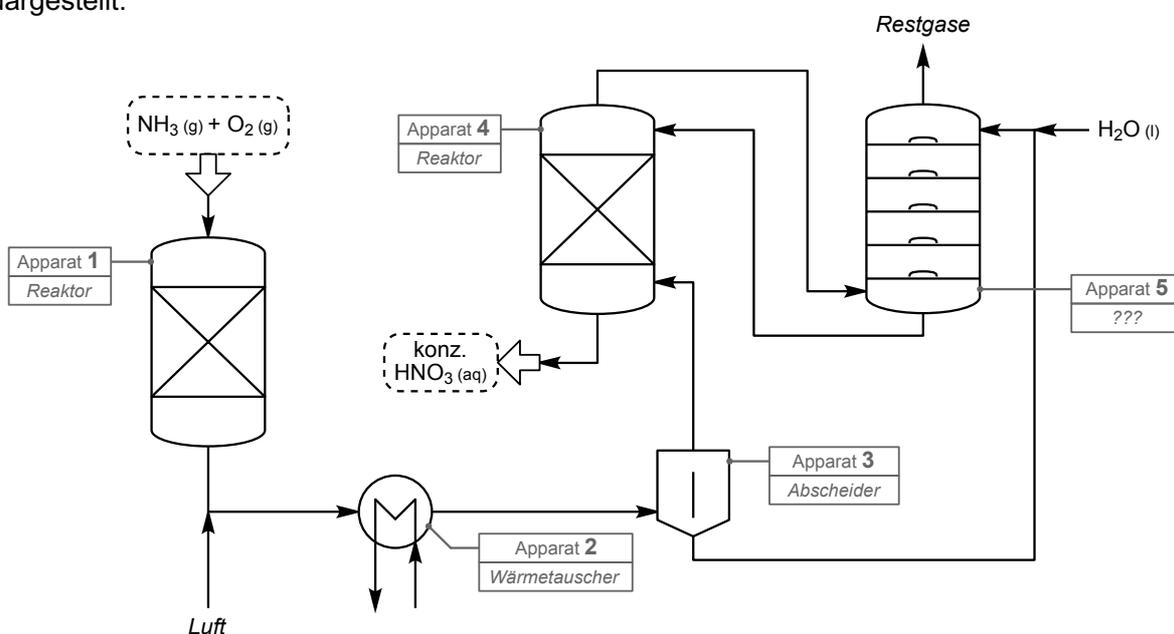
Reaktion III verläuft über mehrere Zwischenschritte. Im ersten wird in Folge einer Disproportionierung salpetrige Säure als Zwischenprodukt gebildet. Im zweiten Schritt

disproportioniert die salpetrige Säure unter anderem zu Stickstoffmonoxid, das anschließend wieder zu Distickstofftetroxid (Reaktion II) reagieren kann.

d) *Formuliere* ausgeglichene Reaktionsgleichungen für die ersten beiden Zwischenschritte von Reaktion III.

<u>Zwischenschritt 1</u>	$\text{N}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{HNO}_2$
<b>1pt</b>	
<u>Zwischenschritt 2</u>	$3 \text{HNO}_2 \rightarrow \text{HNO}_3 + 2 \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
<b>1pt</b>	

Für die großtechnische Umsetzung des OSTWALD-Verfahrens wird eine Reihe verfahrenstechnischer Apparate benötigt. Folgend ist ein vereinfachtes Verfahrensfliesschema eines Teils einer solchen Anlage, der die Apparate 1 – 5 umfasst, gezeigt. Stoffströme sind durch Pfeile dargestellt.



e) *Folgender Text beschäftigt sich mit den einzelnen Komponenten der gezeigten Anlage. Vervollständige ihn, indem du ankreuzt bzw. die Lücken ergänzt.*

In Apparat 1, einem Reaktor mit Festbett, läuft folgende Reaktion ab:		
<input type="checkbox"/> Reaktion I	<input type="checkbox"/> Reaktion II	<input type="checkbox"/> Reaktion III
Das Festbett enthält dabei einen Katalysator aus		
<input type="checkbox"/> Li und Cs,	<input type="checkbox"/> Al und Fe,	<input type="checkbox"/> Hg und Ga, <input checked="" type="checkbox"/> Pt und Rh,
da sonst nicht die gewünschte Reaktion ablaufen würde. Ohne Katalysator würde hauptsächlich folgende Reaktion ablaufen:		
$4 \text{NH}_3 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$		
<b>0,5pt Reaktion I, 0,5pt Pt und Rh, 1pt Reaktionsgleichung</b>		

Bei Apparat **2** handelt es sich um einen Wärmetauscher. Zwei mögliche Bauformen von Wärmetauschern sind:

Rohrbünde-WT, Doppelrohr-WT, Platten-WT, Spiral-WT, ...  
 1pt: 0,5pt je korrekte Bauform

Reaktion **II** verläuft exotherm. Um das Gleichgewicht in Reaktion **II** auf die Produktseite zu verschieben, sollte der Wärmetauscher mit

- Kühlwasser  Heißdampf

betrieben werden. Das hier zugrunde liegende Prinzip nennt man auch das

Prinzip \_\_\_\_\_ von Le Chatelier / des kleinsten Zwangs \_\_\_\_\_.  
 0,5pt Kühlwasser, 1pt Name Prinzip

Bei Apparat **5** handelt es sich um eine/n

- Packungskolonne.  Kühlturm.  Bodenkolonne.  Rührkessel.

0,5pt

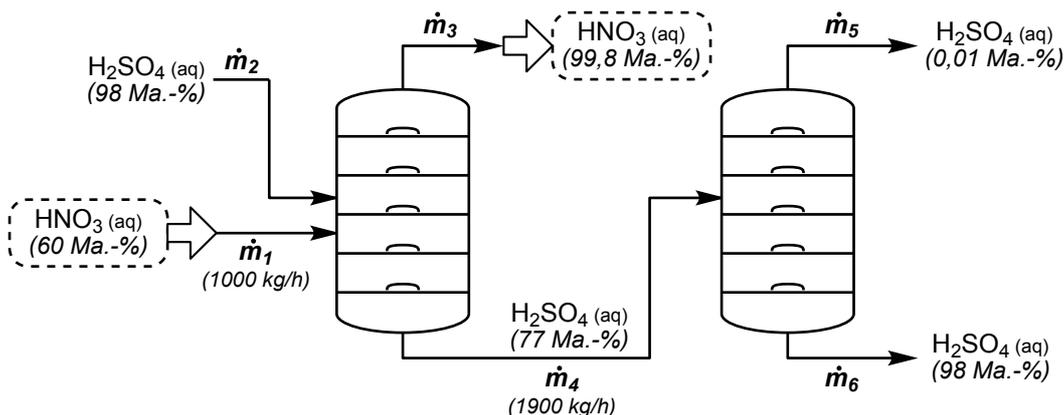
Seine / Ihre Funktion ist

- das Wasser und den Gasstrom aus Apparat **4** möglichst gut zu vermischen, damit Reaktion **III** gut ablaufen kann.  
 den Gasstrom aus Apparat **4** mit Wasser abzukühlen, damit die Anlage nicht überhitzt.  
 störende, gasförmige Nebenprodukte aus dem Gasstrom aus Apparat **4** mit Wasser auszuwaschen und aus der Anlage zu entfernen.

1pt

6pt: Entsprechend den Anmerkungen

Die beim OSTWALD-Verfahren hergestellte Lösung enthält rund 60 Massen-% Salpetersäure. Um sie weiter aufzukonzentrieren, kann der hygroskopische Effekt von konzentrierter Schwefelsäure ausgenutzt werden. Ein vereinfachtes Fließschema einer entsprechenden Anlage sieht folgendermaßen aus:



In die erste Kolonne fließt die 60 %-ige Salpetersäure mit einem Massenstrom von  $\dot{m}_1 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ . Aus der Kolonne wird ein Massenstrom  $\dot{m}_3$  von hochkonzentrierter Salpetersäure (99,8 Ma.-%) entnommen und ein Massenstrom  $\dot{m}_4 = 1900 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$  von 77 %-iger Schwefelsäure fließt in die andere Kolonne. In dieser wird die Schwefelsäure wieder aufkonzentriert, wobei jedoch ein Massenstrom  $\dot{m}_5$  von verdünnter Schwefelsäure (0,01 Ma.-%) als Abwasser anfällt.

- f) Berechne den Massenstrom  $\dot{m}_3$  von 99,8 %-iger Salpetersäure, den die Anlage im stationären Betrieb produziert.

Massenbilanz Salpetersäure in der ersten Kolonne:

$$60 \% \cdot \dot{m}_1 = 99,8 \% \cdot \dot{m}_3$$
$$\dot{m}_3 = \frac{60 \% \cdot \dot{m}_1}{99,8 \%} = \frac{60 \% \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{99,8 \%} = 601,2 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

**1,5pt:** 0,5pt Rechenweg, 1pt Ergebnis

- g) Berechne den Massenstrom  $\dot{m}_5$  des Abwassers im stationären Betrieb.

Massenbilanz zweite Kolonne (1pt):

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 + \dot{m}_6$$

Massenbilanz Schwefelsäure zweite Kolonne (1pt):

$$77 \% \cdot \dot{m}_4 = 0,01 \% \cdot \dot{m}_5 + 98 \% \cdot \dot{m}_6 \Leftrightarrow \dot{m}_6 = \frac{77 \% \cdot \dot{m}_4 - 0,01 \% \cdot \dot{m}_5}{98 \%}$$

Einsetzen in die Massenbilanz und auflösen nach  $\dot{m}_5$  (1pt Rechenweg, 1pt Ergebnis):

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 + \frac{77 \% \cdot \dot{m}_4 - 0,01 \% \cdot \dot{m}_5}{98 \%} \Leftrightarrow \dot{m}_5 = \frac{(98 \% - 77 \%) \cdot \dot{m}_4}{98 \% - 0,01 \%} = \frac{(98 \% - 77 \%) \cdot 1900 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{98 \% - 0,01 \%}$$
$$= 407,2 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

**4pt:** Entsprechend den Anmerkungen.

+++ Bonusfrage +++

Die Aufgabe gehört nicht zum Umfang der Klausur, ist aber gut zum Üben!

- h) Berechne den pH-Wert des Abwassers. Verwende für die Dichte des Abwassers die Dichte von reinem Wasser.

Konzentration Schwefelsäure im Abwasser:

$$c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{n_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{V} = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot \rho_{\text{Abwasser}}}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot m_{\text{Abwasser}}} = 0,01 \% \cdot \frac{1000 \frac{\text{g}}{\text{L}}}{98,08 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1,02 \frac{\text{mmol}}{\text{L}}$$

Konzentration Protonen bei vollständiger Dissoziation:

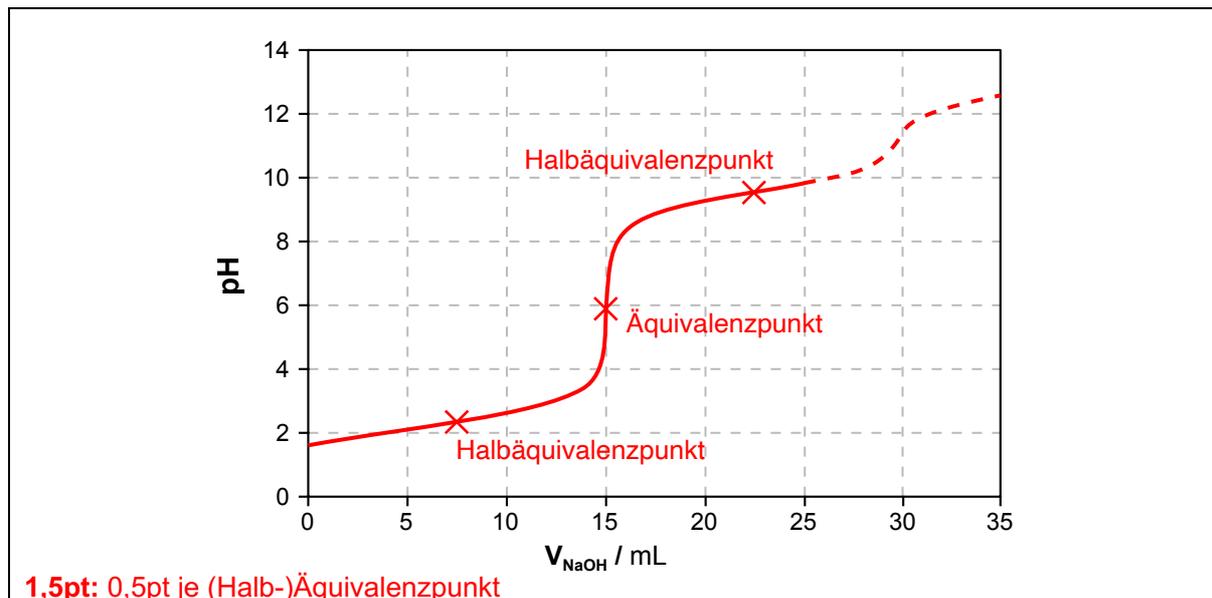
$$c_{\text{H}^+} = 2 \cdot c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 2 \cdot 1,02 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} = 2,04 \frac{\text{mmol}}{\text{L}}$$

pH-Wert:

$$\text{pH} = -\log_{10}(2,04 \cdot 10^{-3}) = 2,69$$



- c) Zeichne in untenstehende Abbildung den ersten Äquivalenzpunkt sowie die beiden Halbäquivalenzpunkte ein.



- d) Berechne die Gesamtkonzentration  $c_0$  von Glycin in der Probelösung anhand der Lage des Äquivalenzpunktes.

Am Äquivalenzpunkt gilt:

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{Glycin})$$

$$c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} = c_0 \cdot V_0$$

$$c_0 = \frac{c_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}}{V_0} = \frac{1,0 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 15 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} = 0,150 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

**2pt: 1pt Rechenweg, 1pt Ergebnis**

- e) Berechne anhand einer geeigneten Näherungsformel den pH-Wert am 2. Äquivalenzpunkt und skizziere im Lösungskasten von Teilaufgabe c) den weiteren Verlauf der Titrationskurve im Bereich von 25 – 35 mL.

Hinweise: Die Näherungsformel steht in der Formelsammlung. Notfallwert:  $c_0 = 0,15 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

Näherungsformel:

$$pOH \approx \frac{1}{2}(pK_B - \lg(c_0)) = \frac{1}{2}(14 - 9,60 - \lg(0,15)) = 2,6$$

$$pH = 14 - pOH = 11,4$$

**3pt: 1pt Rechenweg, 1pt Ergebnis, 1pt Skizze (Form ungefähr korrekt und 2. Äquivalenzpunkt richtig)**

Die Nettoladung einer Aminosäure gibt die durchschnittliche Ladung eines einzelnen Teilchens in Vielfachen der Elementarladung an. Der Punkt, an dem die Nettoladung null beträgt, wird als isoelektrischer Punkt bezeichnet und ist eine wichtige Eigenschaft einer Aminosäure. Im Fall von Glycin gilt an diesem Punkt:

$$[\text{glyH}_2^+] = [\text{gly}^-] \quad (1)$$

- f) *Ausgehend von Gleichung (1) soll der pH-Wert, bei dem der isoelektrische Punkt von Glycin erreicht wird, berechnet werden. Vervollständige den Rechenweg entsprechend den Anweisungen.*

>> Bestimme einen Ausdruck für  $[\text{glyH}_2^+]$  in Abhängigkeit von  $[\text{glyH}]$ ,  $[\text{H}^+]$  und  $K_{S1}$ .

*Aufstellen des Massenwirkungsgesetze für die erste Protolysestufe:*

$$K_{S1} = \frac{[\text{glyH}][\text{H}^+]}{[\text{glyH}_2^+]} \Leftrightarrow [\text{glyH}_2^+] = \frac{[\text{glyH}][\text{H}^+]}{K_{S1}}$$

**1pt: 0,5pt Massenwirkungsgesetz, 0,5pt Umformen**

>> Bestimme einen Ausdruck für  $[\text{gly}^-]$  in Abhängigkeit von  $[\text{glyH}]$ ,  $[\text{H}^+]$  und  $K_{S2}$ .

*Aufstellen des Massenwirkungsgesetze für die zweite Protolysestufe:*

$$K_{S2} = \frac{[\text{gly}^-][\text{H}^+]}{[\text{glyH}]} \Leftrightarrow [\text{gly}^-] = \frac{K_{S2}[\text{glyH}]}{[\text{H}^+]}$$

**1pt: 0,5pt Massenwirkungsgesetz, 0,5pt Umformen**

>> Zeige, dass am isoelektrischen Punkt von Glycin folgende Gleichung gilt:

$$[\text{H}^+]^2 = K_{S1} \cdot K_{S2} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} [\text{glyH}_2^+] = [\text{gly}^-] &\Leftrightarrow \frac{[\text{glyH}][\text{H}^+]}{K_{S1}} = \frac{K_{S2}[\text{glyH}]}{[\text{H}^+]} \\ \Leftrightarrow [\text{H}^+]^2 &= K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot \frac{[\text{glyH}]}{[\text{glyH}]} = K_{S1} \cdot K_{S2} \end{aligned}$$

**1pt: 0,5pt Umformen, 0,5pt Kürzen  $[\text{glyH}]$**

>> Berechne den pH-Wert am isoelektrischen Punkt von Glycin.

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_{S1} \cdot K_{S2}} = \sqrt{10^{-2,34} \cdot 10^{-9,6}} = 1,072 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+] = -\log_{10} 1,072 \cdot 10^{-6} = 5,97$$

**2pt: 1pt Rechenweg, 1pt Ergebnis**

Als Pufferlösung findet Glycin in der Biochemie verschiedene Anwendungen. Du erhältst die Aufgabe,  $V = 1,0 \text{ L}$  eines Glycin-Puffers mit einem pH-Wert von  $pH = 9,7$  und einer Glycin-Konzentration von  $c_0 = 0,19 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$  herzustellen. Dazu stehen dir festes Glycin ( $M_{\text{Gly}} = 75,07 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ ), deionisiertes Wasser, 0,5-molare Salzsäure und 0,5-molare Natronlauge zur Verfügung.

g) Du möchtest berechnen, wie viel der einzelnen Ausgangsstoffe du für die Herstellung der Pufferlösung benötigst. Vervollständige den Rechenweg entsprechend den Anweisungen.

>> Berechne die benötigte Masse von festem Glycin.

$$m = n \cdot M_{\text{Gly}} = c \cdot V \cdot M_{\text{Gly}} = 0,19 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 1,0 \text{ L} \cdot 75,07 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 14,26 \text{ g}$$

**1pt: 0,5pt Rechenweg, 0,5pt Ergebnis**

>> Berechne mithilfe der HENDERSSON-HASSELBALCH-Gleichung die Konzentration  $[\text{glyH}]$  der ungeladenen Form von Glycin in der Pufferlösung.

$$pH = pK_S + \log_{10} \left( \frac{[\text{gly}^-]}{[\text{glyH}]} \right) \Leftrightarrow \frac{[\text{gly}^-]}{[\text{glyH}]} = 10^{pH - pK_S} = 10^{9,7 - 9,60} = 1,259$$

$$c_0 = [\text{gly}^-] + [\text{glyH}] = 1,259 \cdot [\text{glyH}] + [\text{glyH}]$$

$$\Leftrightarrow [\text{glyH}] = \frac{c_0}{1,259 + 1} = \frac{0,19 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{2,259} = 0,084 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

**2,5pt: 1pt Konzentrationsverhältnis, 0,5pt Konzentrationsbilanz, 1pt  $[\text{glyH}]$**

>> Kreuze an, ob du Salzsäure oder Natronlauge zur Herstellung des Puffers benötigst.

Salzsäure                       Natronlauge

**0,5pt**

>> Berechne die zur Herstellung der Pufferlösung benötigten Volumina von deionisiertem Wasser und Salzsäure bzw. Natronlauge. Notfallwert:  $[\text{glyH}] = 0,075 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

**Konzentration Natronlauge im Puffer aus der Massenbilanz von Glycin:**

$$c_{\text{NaOH,Puffer}} = c_0 - [\text{glyH}] = 0,19 \frac{\text{mol}}{\text{L}} - 0,084 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 0,106 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

**Umrechnung auf die ursprüngliche Konzentration von Natronlauge:**

$$V_{\text{NaOH}} = \frac{c_{\text{NaOH,Puffer}}}{c_{\text{NaOH,0}}} \cdot V = \frac{0,106 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{0,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \cdot 1,0 \text{ L} = 0,212 \text{ L}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V - V_{\text{NaOH}} = 1,0 \text{ L} - 0,212 \text{ L} = 0,788 \text{ L}$$

**1,5pt: 0,5pt Rechenweg, 0,5pt  $V_{\text{NaOH}}$ , 0,5pt  $V_{\text{H}_2\text{O}}$**

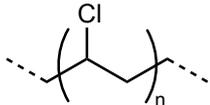
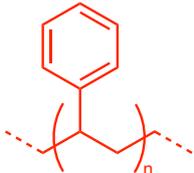
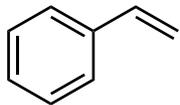
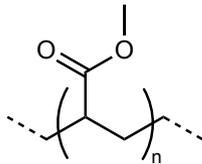
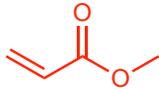
2-08

Gutes Öl - Schlechtes Öl?

20pt

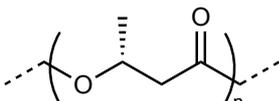
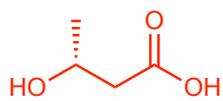
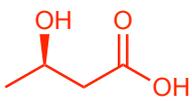
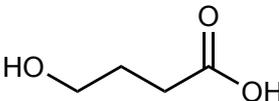
Kunststoffe spielen in unserer Lebenswelt eine wichtige Rolle, sind aber für die Umwelt nicht unbedenklich, da sie zumeist aus Erdöl hergestellt werden und durch ihre oft mangelhafte biologische Abbaubarkeit zur Verschmutzung der Umwelt beitragen.

- a) *Zeichne jeweils die fehlende Wiederholeinheit bzw. das fehlende Monomer der folgenden Polymere, die aus Erdöl hergestellt werden.*

<p><u>Polyvinylchlorid</u></p>   <p><b>1pt</b></p>	<p><u>Polystyrol</u></p>   <p><b>1pt</b></p>	<p><u>Polyacrylat</u></p>   <p><b>1pt</b></p>
--	--	---

Es gibt jedoch bereits Kunststoffe mit deutlich besserer Umweltbilanz. **Polyhydroxyalkanoate (PHA)** sind biologisch abbaubar und können sogar mithilfe von Mikroorganismen hergestellt werden. Als Monomere dienen hier Hydroxyfettsäuren.

- b) *Zeichne jeweils die fehlende Wiederholeinheit bzw. das fehlende Monomer der folgenden Polymere, die zur Gruppe der PHA gehören.*

<p><u>P3HB</u></p>   <p>bzw.</p>  <p><b>1pt</b>          (0,5pt bei falscher / fehlender Stereochemie)</p>	<p><u>P4HB</u></p>   <p><b>1pt</b></p>
---	--

Durch gezielte Wahl der Mikroorganismen können PHAs mit verschiedenen Eigenschaften hergestellt werden. Abhängig von der Kettenlänge der Monomere kann man grob scl-PHA (**s**hort **c**hain length, < 4 Kohlenstoffatome), mcl-PHA (**m**edium **c**hain length, 4 – 11 Kohlenstoffatome) und lcl-PHA (**l**ong **c**hain length, > 11 Kohlenstoffatome) unterscheiden. Zwei PHAs, die verschiedenen Kategorien angehören, weisen folgende Eigenschaften auf:

	Kunststoff A	Kunststoff B
Schmelztemperatur	80 °C	165 °C
Reißdehnung*	300 %	25 %

\*Bei Zugbelastung dehnt sich der Kunststoff, bis er schließlich reißt. Die Reißdehnung gibt die prozentuale Dehnung gegenüber der Ausgangslänge an, bei der der Kunststoff gerade reißt.

c) Nenne zwei intermolekulare Wechselwirkungen, die in PHAs auftreten.

- Dipol-Dipol-Wechselwirkungen
- Van-der-Waals-Wechselwirkungen (London-Dispersionswechselwirkungen / Debye-Wechselwirkungen)
- Nicht korrekt sind z.B. Wasserstoffbrückenbindungen oder ionische Wechselwirkungen

**2pt:** jeweils 1pt

d) Ordne zu, bei welchem der Kunststoffe **A** und **B** es sich um scl-PHA bzw. mcl-PHA handelt und erkläre die unterschiedliche Schmelztemperatur und Reißdehnung der Kunststoffe anhand ihrer molekularen Struktur.

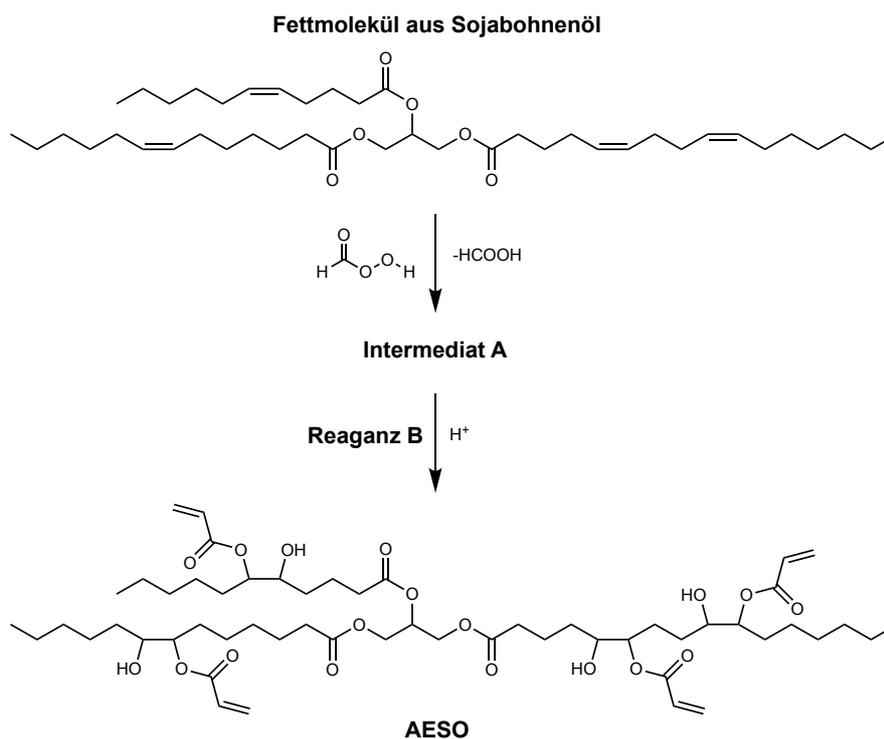
**A** ist ein mcl-PHA und **B** ist ein scl-PHA. (1pt)

In scl-PHAs spielen die stärkeren Dipol-Dipol-Wechselwirkungen eine größere Rolle und die Kräfte zwischen den einzelnen Polymerketten sind größer. Bei scl-PHAs ist demnach mehr Energie nötig, um die Wechselwirkungen zwischen den Polymerketten zu überwinden und der Schmelzpunkt ist höher. (1pt)

Aus demselben Grund können die Polymerketten der mcl-PHAs leichter aneinander vorbeigleiten und mcl-PHAs können sich stärker dehnen, bevor sie reißen. (1pt)

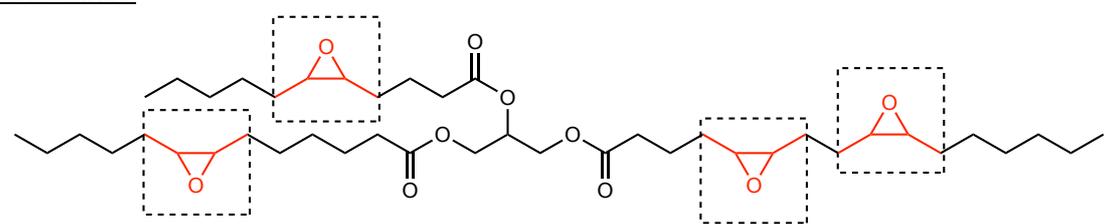
**3pt:** entsprechend den Anmerkungen.

Eine der zentralen Herausforderungen ist es, biologisch abbaubare Polymere ähnlich kostengünstig wie konventionelle, erdölbasierte Kunststoffe herzustellen. Ein interessanter Ansatz, dies zu erreichen, sind Kunststoffe auf Basis von billigem Sojabohnenöl. Dieses wird zunächst chemisch modifiziert, wobei AESO (**A**crylated **E**poxidized **S**oybean **O**il) entsteht.



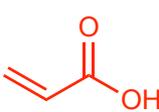
e) Vervollständige die Struktur von Intermediat **A** und zeichne die Struktur von Reagenz **B**.

Intermediat A



**1pt**

Reagenz B

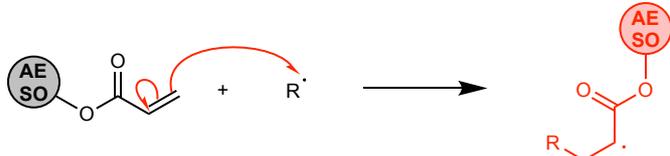


**1pt** (Falls bei **A** das Diol und bei **B** ein sinnvolles Reagenz wie die Carbonsäure, das Säurechlorid, das Säureanhydrid etc. gezeichnet wird: 0pt **A** und 1pt **B**)

AESO kann schließlich radikalisch polymerisiert werden. Dabei werden zunächst freie Radikale **R** generiert, die mit AESO eine Startreaktion untergehen. In der anschließenden Kettenwachstumsreaktion werden schrittweise weitere Monomere an die Polymerkette angelagert.

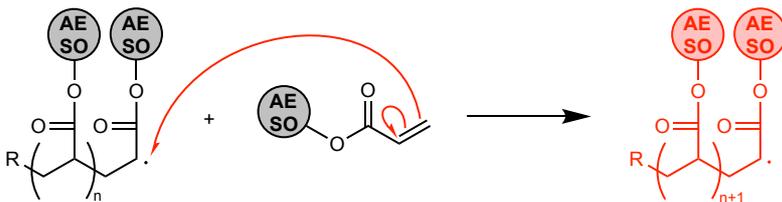
f) Vervollständige die Startreaktion und die Kettenwachstumsreaktion bei der radikalischen Polymerisation von AESO. Zeichne jeweils Pfeile ein, um die Elektronenwanderung zu verdeutlichen.

Startreaktion



**1pt: 0,5pt Struktur, 0,5pt Elektronenwanderung**

Kettenwachstumsreaktion



**1pt: 0,5pt Struktur, 0,5pt Elektronenwanderung**

Die Eigenschaften des so hergestellten Polymers hängen wesentlich davon ab, wie viele Acryleinheiten in ein Fettmolekül eingebaut wurden und damit davon, wie viele C=C-Doppelbindungen das ursprüngliche Fettmolekül enthalten hat.

g) Wie viele C=C-Doppelbindungen muss das ursprüngliche Fettmolekül mindestens besitzen, dass beim Polymerisieren Quervernetzung auftreten kann? Kreuze die richtige Antwort an.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	1	2	3 oder mehr

**1pt**

Ein Maß für die Anzahl von C=C-Doppelbindungen in einem Fettmolekül ist die Iodzahl: Sie gibt an, welche Masse Iod mit 100 g eines Fettes reagieren kann. Pro C=C-Doppelbindung reagiert dabei ein Molekül Iod.

- h) Ein Sojaöl besitzt eine Iodzahl von 130 und Fettmoleküle mit einer durchschnittlichen molaren Masse von 900 g/mol. Berechne, wie viele C=C-Doppelbindungen ein Fettmolekül aus dem betrachteten Öl durchschnittlich enthält.

Stoffmenge Doppelbindungen in 100 g Fett:

$$N_D = \frac{130 \text{ g}}{M(I_2)} = \frac{130 \text{ g}}{253,81 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,512 \text{ mol}$$

Stoffmenge Fettmoleküle in 100 g Fett:

$$N_F = \frac{100 \text{ g}}{900 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,111 \text{ mol}$$

Anzahl Doppelbindungen pro Fettmolekül:

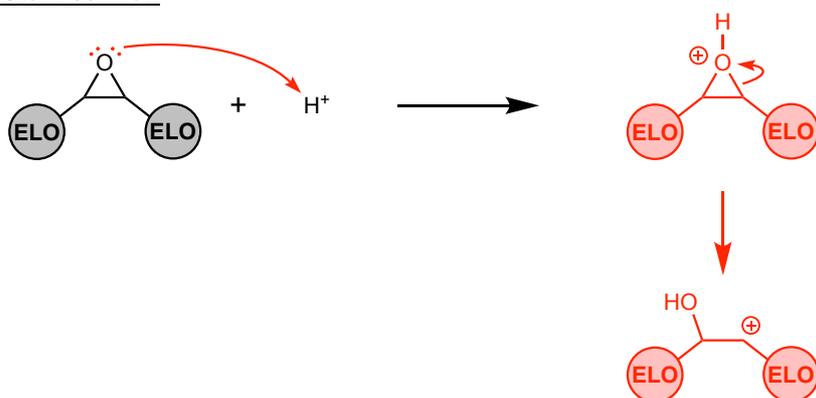
$$\frac{N_D}{N_F} = \frac{0,512 \text{ mol}}{0,111 \text{ mol}} = 4,613$$

**2pt:** 0,5pt Stoffmenge / Anzahl Doppelbindungen und Fettmoleküle, 1pt Endergebnis

Einen ähnlichen Ansatz wie AESO verfolgt ELO (Epoxy Linseed Oil), welches aus Leinsamenöl hergestellt wird und Epoxidgruppen als funktionelle Gruppen enthält. ELO kann in Anwesenheit einer Säure kationisch polymerisiert werden.

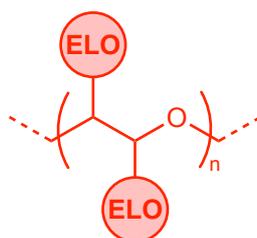
- i) Vervollständige den Mechanismus der Startreaktion bei der kationischen Polymerisation von ELO. Zeichne jeweils Pfeile ein, um die Elektronenwanderung zu verdeutlichen.  
 j) Zeichne die Wiederholeinheit des dabei entstehenden Polymers.

Startreaktion



**2pt:** 1pt je Schritt (jeweils 0,5pt Struktur und 0,5pt Elektronenwanderung)

Wiederholeinheit des Polymers



**1pt**