

Klausur zur 2. Runde des Auswahlverfahrens zur 55. IChO 2023 in der Schweiz

Name, Vorname: _____

Bundesland: _____

Beginnen Sie 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!

FORMELN und DATEN

Thermodynamik:

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \cdot \Delta S^\circ$$

$$\Delta G^\circ = -\Delta E \cdot z \cdot F$$

$$\Delta G^\circ = -R \cdot T \cdot \ln(K)$$

$$\Delta G = \Delta G^\circ + R \cdot T \cdot \ln(K)$$

$$\Delta U = \Delta H - \Delta(p \cdot V), \text{ wenn nur Volumenarbeit geleistet wird}$$

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta_R H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Massenwirkungsgesetz für die Reaktion $a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$:

$$K_c = \frac{c(C)^c \cdot c(D)^d}{c(A)^a \cdot c(B)^b} \text{ (Konzentrationen)}, \quad K_p = \frac{p(C)^c \cdot p(D)^d}{p(A)^a \cdot p(B)^b} \text{ (Partialdrücke)}$$

Kinetik:

Geschwindigkeitsgesetze:

0. Ordnung: $c = c_0 - k \cdot t$

1. Ordnung: $c = c_0 \cdot e^{-k \cdot t}$

2. Ordnung: $c^{-1} = k_2 \cdot t + c_0^{-1}$

Allgemeine Gleichungen:

Energie eines Lichtquants:

$$E = h \cdot \nu$$

$$\nu = c \cdot \lambda^{-1}$$

ideales Gasgesetz:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Lambert-Beer'sches Gesetz:

$$A = -\log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) = \varepsilon \cdot c \cdot d$$

Konstanten:

Atomare Masseneinheiten:

$$1 u = 1,660\,539 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Lichtgeschwindigkeit:

$$c = 3,00 \cdot 10^5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

Gaskonstante:

$$R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Absoluter Nullpunkt:

$$T_0 = 0 \text{ K} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Faraday-Konstante:

$$F = 96485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Avogadro-Konstante:

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Plancksches Wirkungsquantum:

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Standarddruck: $p^\circ = 1,000 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Atmosphärendruck: $1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Elektrochemie:

Nernst-Gleichung:

$$E = E^\circ + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln \left(\frac{c_{Ox}}{c_{Red}} \right)$$

Faradaysche Gesetze:

$$Q = z \cdot F \cdot n$$

(Q = Ladung)

$$Q = t \cdot I$$

Abkürzungen/Einheiten:

pico, p: 10^{-12} nano, n: 10^{-9} mikro, μ : 10^{-6} milli, m: 10^{-3} Angström: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$

Dimensionslose Gleichgewichtskonstanten (K_c , K_p , K_s , K_L , ...): Diese erhält man, indem man bei Konzentrationen z.B. c durch c^0 ($= 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$) bzw. bei Drücken p durch p^0 ($= 1,000 \cdot 10^5 \text{ Pa}$) teilt.

1	H											2	He																								
3	Li	4	Be											9	F																						
6.941		9.0122												18.998	Ne																						
11	Na	12	Mg											17	Ar																						
22.990		24.305												35.453	39.948																						
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr		
39.098		40.078		44.956	47.867	50.942	51.996	54.938	55.845	58.933	58.693	63.546	65.39	69.723	72.61	74.922	78.96	79.904	83.80																		
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc*	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe		
85.468		87.62		88.906	91.224	92.906	95.94	98.906	101.07	102.91	106.42	107.87	112.41	114.82	118.71	121.76	127.60	126.90	131.29																		
55	Cs	56	Ba			72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po*	85	At*	86	Rn*		
132.91		137.33				178.49	180.95	183.84	186.21	190.23	195.08	196.97	200.59	204.38	207.2	208.98	208.98	209.99	222.02																		
87	Fr*	88	Ra*			104	Rf*	105	Db*	106	Sg*	107	Bh*	108	Hs*	109	Mt*	110	Ds*	111	Rg*	112	Uub*														
223.02		226.03				261.11	262.11	263.12	262.12	265	268	268	271	268	265	268	268	271	268	268	268	277															

Aufgabe 2-01

Multiple Choice

10 Punkte

Kreuze die korrekte/n Antwort/en **an**. Auch wenn die Fragen so formuliert sind, als wäre nur eine Antwort richtig, kann in jeder Teilaufgabe mehr als eine Antwortmöglichkeit korrekt sein. Es ist stets mindestens eine Antwortmöglichkeit richtig.

- a) Bei der Titration von 20 mL einer Essigsäurelösung wurden bis zum Äquivalenzpunkt 15,6 mL NaOH ($c = 0,10 \text{ mol L}^{-1}$) verbraucht? Welche Konzentration hatte die Essigsäure?

☒	☒	☐	☐	☐
0,078 mol L ⁻¹	4,7 g L ⁻¹	0,16 mol L ⁻¹	3,1 g L ⁻¹	6,2 g L ⁻¹

- b) Welches der folgenden Elemente hat eine höhere Elektronegativität als Phosphor?

☐	☒	☐	☒	☐
Ge	N	Sb	Cl	Mg

- c) Welchen pH-Wert hat eine 0,1-molare Schwefelsäure?

☐	☒	☐	☐	☐
1,0	0,7	2,0	1,7	1,4

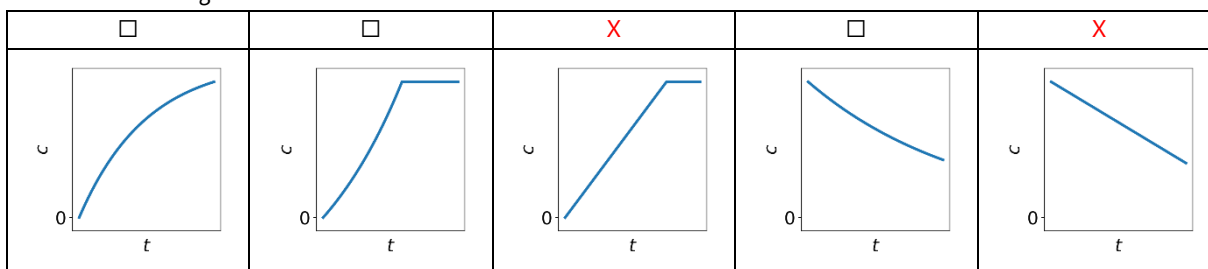
- d) Welches dieser Salze ist bei 20 °C gut ($> 10 \text{ g L}^{-1}$) in Wasser löslich?

☐	☒	☐	☒	☐
BaSO ₄	Na ₃ PO ₄	AgBr	KNO ₃	MgCO ₃

- e) Durch die Erhöhung welcher Größen nimmt die Gleichgewichtskonstante der exothermen Reaktion $\text{C} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2$ ab?

☐	☐	☐	☐	☒
$m(\text{C})$	$c(\text{O}_2)$	$c(\text{CO}_2)$	p_{gesamt}	T

- f) Welches Diagramm zeigt den Verlauf der Konzentrationen eines Edukts oder Produkts einer Reaktion 0. Ordnung?



- g) Welche Zustandsgröße eines idealen Gases verringert sich bei der isothermen Kompression?

☐	☐	☒	☐	☒
Temperatur	Druck	Volumen	Innere Energie	Entropie

- h) Welche Verbindung ist farbig?

☒	☐	☐	☐	☒
	Toluol			m-Nitroanilin

- i) Welche Verbindung enthält ein Kohlenstoffatom mit der Oxidationsstufe +II?

☐	☐	☒	☐	☒
Isopropanol	Acetaldehyd	Aceton	Ethanol	Methansäure

- j) Was ist ein Isomer von Cyclobutanol?

☐	☒	☐	☐	☒

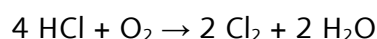
(bei Teilaufgaben mit einer richtigen Antwort: 1 Punkt für richtiges Kreuz, bei Teilaufgaben mit zwei richtigen Antworten: 0,5 Punkte für richtiges, -0,5 Punkte für falsches Kreuz, mind. 0 Punkte pro Teilaufgabe)

Aufgabe 2-02**Alles Chlor?****15 Punkte**

Bereits Ende des 17. Jahrhunderts existierten Verfahren in der chemischen Industrie, bei denen große Mengen an Chlorwasserstoff als Abfall anfielen. Dies stellte ein großes Umweltproblem dar, weshalb sich der Chemiker Henry Deacon mit der Verwertung von Chlorwasserstoff beschäftigte.

Bereits im Jahr 1868 meldete er ein Patent für das nach ihm benannte Deacon-Verfahren an, mit welchem elementares Chlor durch die Oxidation von Chlorwasserstoff mit Sauerstoff unter Verwendung eines Katalysators hergestellt werden kann.

Dies geschieht gemäß folgender Reaktionsgleichung:



- a) **Formuliere** das Massenwirkungsgesetz mit der Gleichgewichtskonstanten K_p für das Deacon-Verfahren.

$$K_p = \frac{p^2(\text{Cl}_2) \cdot p^2(\text{H}_2\text{O})}{p^4(\text{HCl}) \cdot p(\text{O}_2)}$$

Hinweis:

Bei K werden alle Partialdrücke durch p_0 geteilt. $K = K_p \cdot p_0$. Das Aufstellen von K statt K_p sollte auch als korrekte Lösung akzeptiert werden. Dies könnte dann in Aufgabe b) jedoch zu Fehler in den Einheiten führen.

1 P

Das Verfahren wird bei einer Temperatur von 420 °C durchgeführt, wobei 80 % des eingesetzten Chlorwasserstoffs umgesetzt werden. Wird eine stöchiometrische Mischung von HCl und O_2 zugeführt, herrschen nach Einstellung des Gleichgewichts die Partialdrücke $p_{\text{HCl}} = 19,3 \text{ kPa}$ und $p_{\text{O}_2} = 4,8 \text{ kPa}$ bei einer Gleichgewichtskonstanten von $K_p = 329,9 \text{ bar}^{-1}$.

- b) **Berechne** (1) den Partialdruck von Chlor im Gleichgewichtszustand, (2) den Gesamtdruck und (3) die daraus resultierende Stoffmenge von Chlor in 1000 L Reaktionsvolumen.

(1) **2 P**

Der Partialdruck von Chlor und Wasser ist gleich, da gleiche Mengen an Chlor und Wasser entstehen. Daher ergibt sich eingesetzt in die Gleichung aus a):

$$329,9 \text{ bar}^{-1} = \frac{x^2 \cdot x^2}{(19300 \text{ Pa})^4 \cdot (4800 \text{ Pa})} \text{ mit } x = p(\text{Cl}_2) = p(\text{H}_2\text{O})$$

$$p(\text{Cl}_2) = x = \sqrt[4]{329,9 \text{ bar}^{-1} \cdot (0,193 \text{ bar})^4 \cdot 0,048 \text{ bar}} = 0,385 \text{ bar} \approx 38,5 \text{ kPa}$$

Folgerichtigkeit bzgl. Aufgabenteil a) bitte berücksichtigen!

(2) **1 P**

$$p(\text{Cl}_2) = p(\text{H}_2\text{O}) = 38,5 \text{ kPa}$$

$$p_{\text{ges}} = p(\text{Cl}_2) + p(\text{H}_2\text{O}) + p(\text{HCl}) + p(\text{O}_2)$$

$$p_{\text{ges}} = 38,5 \text{ kPa} + 38,5 \text{ kPa} + 19,3 \text{ kPa} + 4,8 \text{ kPa} = 101,1 \text{ kPa}$$

(3) **1 P**

$$n(\text{Cl}_2) = \frac{p(\text{Cl}_2) \cdot V}{R \cdot T} = \frac{38500 \text{ Pa} \cdot 1 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 693,15 \text{ K}} = 6,68 \text{ mol}$$

Da die Reaktion des Deacon-Verfahrens exotherm ist, würden im Idealfall niedrige Reaktionstemperaturen eingesetzt werden. Mit den verwendeten Katalysatoren ist die Reaktionsgeschwindigkeit dann jedoch sehr gering, weshalb das Verfahren bei 400-450 °C durchgeführt wird.

c) **Nenne** zwei Faktoren, durch welche die Gleichgewichtslage beeinflusst werden kann und **begründe** jeweils, dass trotz der hohen Reaktionstemperatur eine hohe Ausbeute an Chlorgas und ein hoher Umsatz von Chlorwasserstoff erreicht werden kann.

Erhöhung des Drucks:**1 P**

Verschiebung des Gleichgewichts zur Produktseite, da die Gasteilchenanzahl hier geringer ist.

Erhöhung des Sauerstoffanteils:**1 P**

Höherer Umsatz von HCl, da zusätzliches HCl mit dem überschüssigen O₂ reagiert, bis das Gleichgewicht wieder eingestellt ist.

Alternativ zu einer der beiden Antwortmöglichkeiten ist auch die Entfernung eines Reaktionsproduktes als Antwort zulässig, auch wenn dies technisch schwierig umsetzbar sein mag. In diesem Fall auch hierfür **1 P**. **Insgesamt jedoch max. 2 P.**

Achtung: Erhöhung des HCl-Anteils zählt nicht → erhöht den Umsatz von HCl nicht!

Auch in anderen großtechnischen Verfahren entsteht Chlorgas als Nebenprodukt. Ein Beispiel dafür ist die Schmelzflusselektrolyse von Natriumchlorid zur Herstellung von elementarem Natrium.

d) **Stelle** die Teilreaktionsgleichungen sowie die Gesamtgleichung der Redoxreaktion zur Schmelzflusselektrolyse von Natriumchlorid **auf**.

Oxidation: $2 \text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2 \text{e}^-$ **1 P**Reduktion: $\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$ **1 P**Gesamt: $2 \text{NaCl} \rightarrow 2 \text{Na} + \text{Cl}_2$ **1 P**

Hinweis: bei Oxidation auch möglich: $\text{Cl}^- \rightarrow \frac{1}{2} \text{Cl}_2 + \text{e}^-$

Die Schmelzflusselektrolyse von Natriumchlorid wird bei einer Spannung von 7 V und einer Stromstärke von 40 kA durchgeführt. Die Reaktion findet 600 °C und 101,3 kPa statt.

e) **Berechne** (1) die Masse an Natrium in kg und (2) das Volumen an Chlorgas in L, die bei einer Elektrolysedauer von 5 h entstehen.

(1) **1,5 P.**

$$I = 40000 \text{ A}, t = 18000 \text{ s}, z = 1$$

$$n_{\text{Na}} = \frac{I \cdot t}{z \cdot F} = \frac{40000 \text{ A} \cdot 18000 \text{ s}}{1 \cdot 96485,31 \text{ C mol}^{-1}} = 7462 \text{ mol}$$

$$m_{\text{Na}} = n_{\text{Na}} \cdot M_{\text{Na}} = 7462 \text{ mol} \cdot 23 \text{ g mol}^{-1} = 171,6 \text{ kg}$$

Berechnung der Stoffmenge: **1 P**

Berechnung der Masse: **0,5 P**

(2) **1,5 P**

vgl. Aufgabenteil d):

$$\frac{n_{\text{Cl}_2}}{n_{\text{Na}}} = \frac{1}{2}$$

$$n_{\text{Cl}_2} = \frac{1}{2} \cdot n_{\text{Na}} = \frac{1}{2} \cdot 7462 \text{ mol} = 3731 \text{ mol}$$

$$T = 873,15 \text{ K}, p = 101300 \text{ Pa}$$

$$V_{\text{Cl}_2} = \frac{n_{\text{Cl}_2} \cdot R \cdot T}{p} = \frac{3731 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 873,15 \text{ K}}{101300 \text{ Pa}} = 267,4 \text{ m}^3 = 2,674 \cdot 10^5 \text{ L}$$

Berechnung der Stoffmenge: **1 P** (Berechnung mit Faraday-Gesetz auch in Ordnung)

Berechnung des Volumens: **0,5 P**

Andere plausible Rechenwege, die zum korrekten Ergebnis führen, sind ebenfalls akzeptabel.

Global -0,5 P, falls die Masse oder das Volumen in der falschen Einheit angegeben werden

f) **Begründe** mithilfe einer Reaktionsgleichung, wieso elementares Natrium nicht durch die Elektrolyse einer wässrigen Natriumchlorid-Lösung gewonnen werden kann.

Bei einer Elektrolyse von wässriger NaCl-Lösung würde, selbst wenn elementares Natrium an der Kathode entstehen würde, dieses sofort mit Wasser zu NaOH abreagieren:



1 P für die Begründung, **1 P** für die Reaktionsgleichung

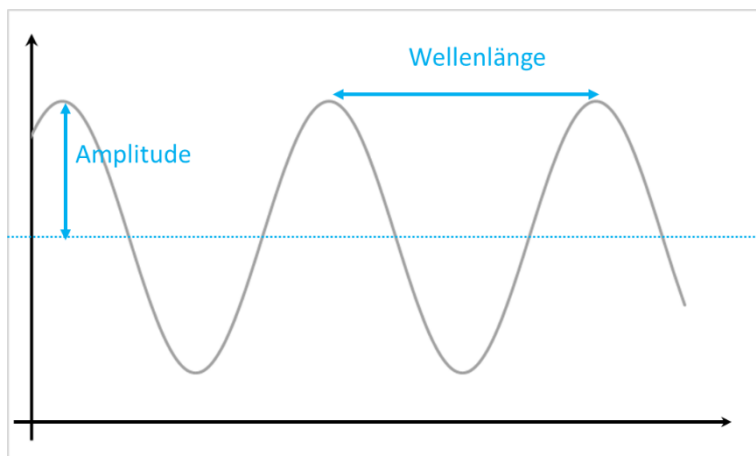
Reaktionsgleichungen zur tatsächlich ablaufenden Elektrolyse einer NaCl-Lösung mit passender Begründung sind als Antwort ebenfalls zulässig.

Aufgabe 2-03**Was ist die perfekte Welle?****32 Punkte**

Elektromagnetische Strahlung lässt sich als sich im Raum fortpflanzende Wellenbewegung beschreiben. Eine Welle wird durch verschiedene Größen charakterisiert.

- a) **Kennzeichne** und **beschrifte** in der schematischen Zeichnung einer Welle die Wellenlänge und die Amplitude.

Mögliche Lösung:



jeweils 0,5 P

insgesamt **1,0 P**

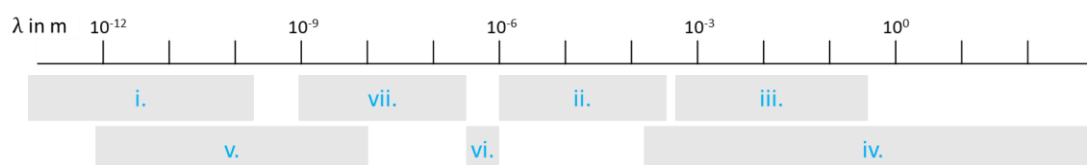
Abhängig von der jeweiligen Energie der Strahlung wird das elektromagnetische Spektrum in verschiedene Bereiche unterteilt.

- b) **Kennzeichne** und **beschrifte** im Spektrum die Bereiche für

- i. Gammastrahlen
- ii. Infrarotstrahlung
- iii. Mikrowellen
- iv. Radiowellen
- v. Röntgenstrahlen
- vi. Sichtbares Licht
- vii. Ultraviolette Strahlung

Hinweis: Beachte die logarithmische Skalierung.

Lösung:



jeweils 0,5 P

insgesamt **3,5 P**

- c) **Ergänze** in der untenstehenden Tabelle die fehlenden Werte und **ordne** die jeweilige Strahlung den in b) genannten Bereichen elektromagnetischer Strahlung **zu**.

λ in m	ν in s^{-1}	E in eV	Bereich
$5,55 \cdot 10^{-7}$	$5,40 \cdot 10^{14}$	2,23	vi./ sichtbar
$1,23 \cdot 10^{-7}$	$2,44 \cdot 10^{15}$	10,1	vii. / UV
$1,00 \cdot 10^{-6}$	$2,99 \cdot 10^{14}$	1,24	ii. / IR

jeweils 0,5, insgesamt **4,5 P**

Elektromagnetische Strahlung lässt sich sowohl als Teilchen als auch als Welle beschreiben. Je nach Experiment oder Einsatzzweck ist die Beschreibung als Welle oder als Fluss von Teilchen besser geeignet. Die von Max Planck entdeckte Quantisierung der Energie einer elektromagnetischen Welle und Albert Einsteins Äquivalenz von Masse und Energie,

$$E = m \cdot c^2 \quad (c: \text{Lichtgeschwindigkeit im Vakuum})$$

weisen elektromagnetischer Strahlung mit einer bestimmten Frequenz die Energie und Masse des entsprechenden Photons zu. Nach Louis de Broglie können umgekehrt mithilfe dieser Zusammenhänge auch allen anderen Teilchen, die sich mit einer Geschwindigkeit ω bewegen, Welleneigenschaften zugeschrieben werden.

- d) **Benenne** die oben beschriebene Theorie de Broglies und **berechne**

- die Masse eines Photons roten Lichts ($\nu = 4,28 \cdot 10^{14} s^{-1}$),
- die Wellenlänge eines Elektrons im Wasserstoffatom ($m = 9,11 \cdot 10^{-31} kg$, $\omega = 2,19 \cdot 10^6 m \cdot s^{-1}$).

Name: **Welle-Teilchen-Dualismus 0,5 P**

i.

$$E = h \cdot \nu = m \cdot c^2$$

$$m = \frac{h \cdot \nu}{c^2}$$

0,5 P

$$m = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} J \cdot s \cdot 4,28 \cdot 10^{14} s^{-1}}{(3,00 \cdot 10^8 m \cdot s^{-1})^2} = 3,15 \cdot 10^{-36} kg$$

1,0 P

ii.

$$E = h \cdot \nu = m \cdot \omega^2$$

$$E = h \cdot \frac{\omega}{\lambda} = m \cdot \omega^2$$

0,5 P

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot \omega}$$

0,5 P

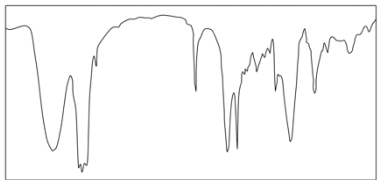
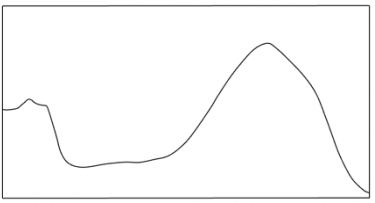
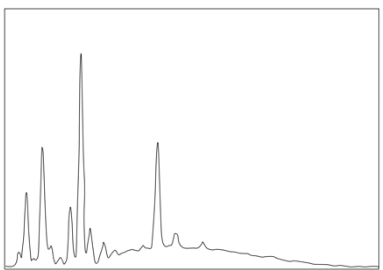
$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} J \cdot s}{9,11 \cdot 10^{-31} kg \cdot 2,19 \cdot 10^6 m \cdot s^{-1}} = 3,32 \cdot 10^{-10} m$$

1,0 P

Insgesamt 4,0 P

Wird eine Substanz elektromagnetischer Strahlung ausgesetzt, werden bestimmte Frequenzbereiche der Strahlung absorbiert. Dies geschieht durch Anregung spezifischer Zustände. In Absorptionsspektren wird die transmittierte oder absorbierte Energie gegen die Frequenz aufgetragen. Misst man hingegen die bei der Relaxation der angeregten Zustände z. B. als Röntgenstrahlung emittierte Energie, erhält man ein Emissionsspektrum. In der Kombination geben spektroskopische Verfahren Auskunft über die Molekülstruktur, die elementare Zusammensetzung und/oder bestimmen den Farbeindruck der Substanz. Sie können so zur qualitativen Analyse und Strukturaufklärung herangezogen werden.

- e) **Ordne** den unten vorgegebenen Methoden jeweils das zugehörige Spektrum und die Art der Anregung sowie das passende Beispiel für die zu erhaltende Information **zu**.

Spektrum		
A 	B 	C 
Anregung		
D Kernnahe Elektronen	E Schwingungen und Rotationen	F Äußere (kernferne) Elektronen
Information		
G Vorhandensein funktioneller Gruppen	H Elementaranalyse	I Vorhandensein konjugierter π -Systeme

	UV/Vis	IR	XRF
Spektrum	B	A	C
Anregung	F	E	D
Information	I	G	H

Je korrektem Buchstaben: 0,5 P, In Summe **4,5 P**

Während zur qualitativen Analyse komplette Spektren genutzt werden, misst man in der Photometrie meist mit monochromatischem Licht, um damit gezielt bestimmte Substanzen zu quantifizieren. Der Zusammenhang zwischen Konzentration c und Extinktion E ist dabei gegeben durch das Lambert-Beersche Gesetz:

$$E_{\lambda} = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \varepsilon_{\lambda} \cdot c \cdot d$$

- f) **Berechne** die Lichtintensität $I_{1,neu}$, wenn die Konzentration einer Substanz verdoppelt wird. **Gib** dein Endergebnis in Abhängigkeit von der vorher gemessenen Intensität $I_{1,alt}$ und der eingestrahlten Intensität I_0 **an**.

Ansatz aufstellen: (1P)

$$\log\left(\frac{I_0}{I_{1,alt}}\right) = \varepsilon cd$$

$$\log\left(\frac{I_0}{I_{1,neu}}\right) = \varepsilon 2cd$$

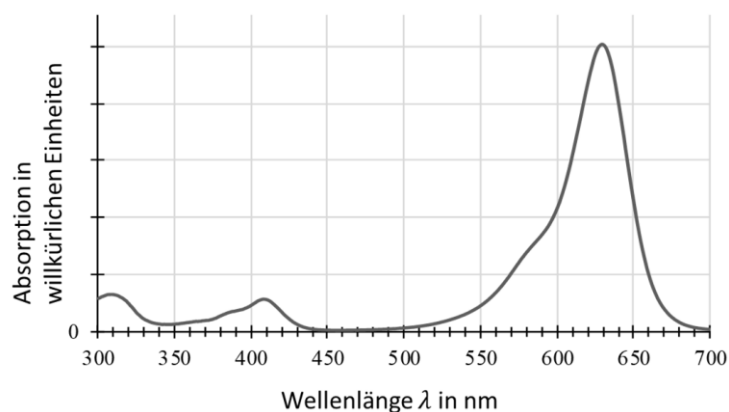
Kombination der Gleichungen: (1P)

$$\log\left(\frac{I_0}{I_{1,alt}}\right) = \frac{1}{2} \log\left(\frac{I_0}{I_{1,neu}}\right)$$

Umformung und Anwendung von Logarithmusgesetzen ergibt: (1P)

$$I_{1,neu} = \frac{I_{1,alt}^2}{I_0}$$

In der Abbildung ist das Absorptionsspektrum des Lebensmittelfarbstoffs E133 gezeigt.

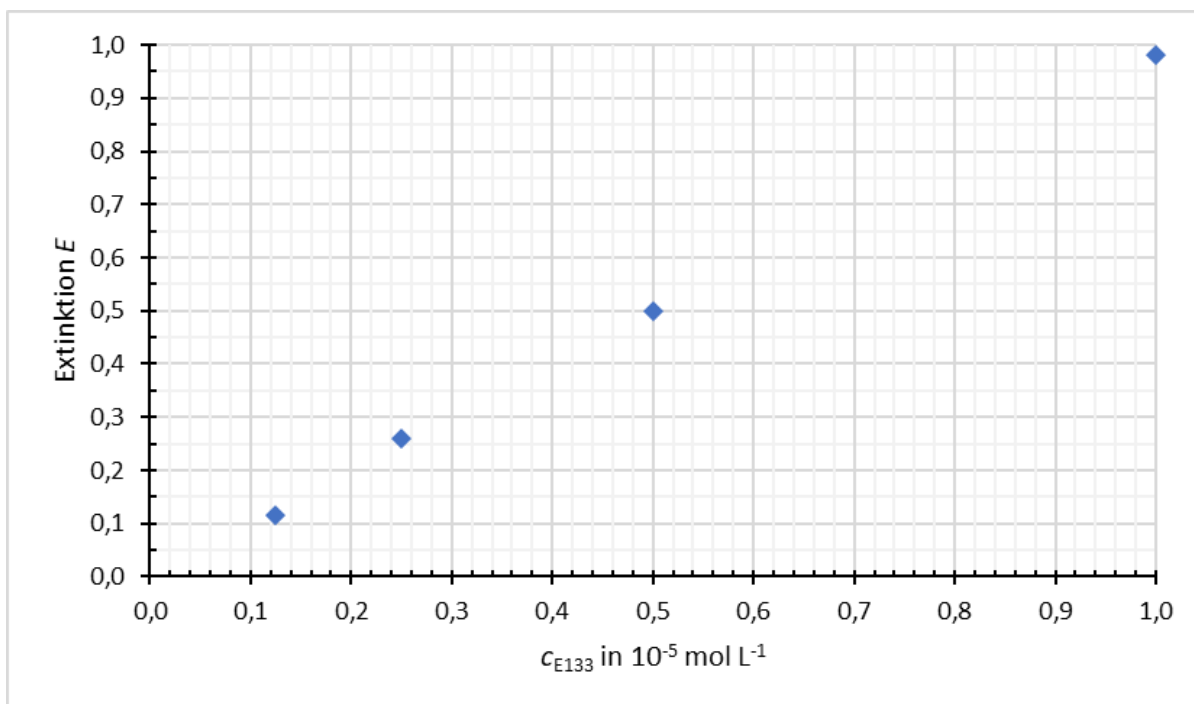


- g) **Kreuze an**, welchen Farbeindruck E133 wahrscheinlich aufweist.

☒ blau	☐ gelb	☐ orange	☐ rot	☐ violett
--	-------------------------------	---------------------------------	------------------------------	----------------------------------

0,5 P

- h) **Bestimme** aus dem Diagramm den Extinktionskoeffizienten ε_λ von E133 bei den angegebenen Messbedingungen: $\lambda = 627 \text{ nm}$, Innendurchmesser Küvette: 1 cm , Lösemittel: Wasser



Ausgleichsgerade erstellt und Geradensteigung sichtbar graphisch ermittelt: **1,0 P**

$$a = 0,98 \cdot 10^5 \text{ mol}^{-1} \text{ L}$$

$$E = \varepsilon \cdot c \cdot d$$

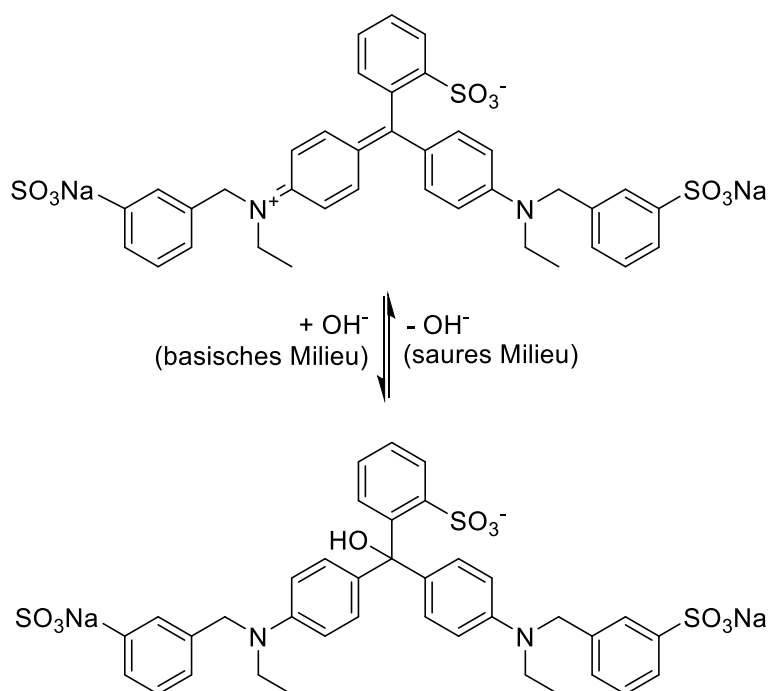
$$\varepsilon = \frac{a}{d} = 9,8 \cdot 10^4 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

Nachvollziehbarer, korrekter Rechenweg: **1,0P**

Ergebnis im Bereich $9,6 \cdot 10^4 \text{ mol}^{-1} \text{ L} < a < 1,0 \cdot 10^4 \text{ mol}^{-1} \text{ L}$: **0,5 P**

Insgesamt **2,5 P**

Wird E133 mit einem Überschuss an Natronlauge erhitzt, entfärbt sich der Farbstoff entsprechend der folgenden Reaktion:



- i) **Erläutere** anhand der Veränderung der Molekülstruktur, warum der Farbstoff sich entfärbt.

E133 verfügt über ein ausgeprägtes System aus konjugierten π -Bindungen. (0,5 P)

Dieser Chromophor ist nach dem Angriff von OH^- am zentralen C-Atom nicht mehr vorhanden. (1,0 P)

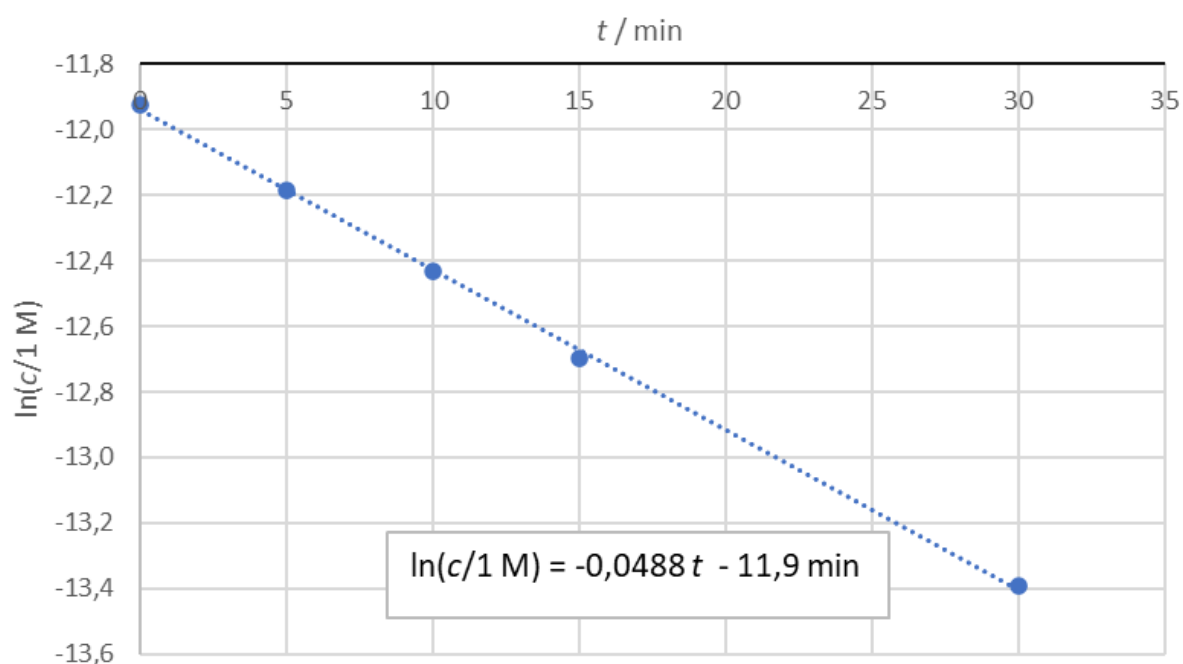
Insgesamt 1,5 P

Zu einer Lösung von E133 in Wasser wurde zum Zeitpunkt t_0 NaOH-Lösung im Überschuss zugegeben. Es wurde sofort eine Probe der Lösung genommen und die Extinktion im Photometer unter denselben Bedingungen wie bei Aufgabe h) gemessen. In unregelmäßigen Abständen wurde weitere Proben genommen und entsprechend untersucht.

- j) **Bestimme** die Geschwindigkeitskonstante der Reaktion. Gib dein Ergebnis in der Einheit h^{-1} an.

Hinweis: Die Reaktion kann als Reaktion erster Ordnung betrachtet werden. Solltest du Aufgabe h) nicht gelöst haben, verwende den Extinktionskoeffizienten $\varepsilon_{\lambda} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

t in min	0	5	10	15	30
E	0,65	0,50	0,39	0,30	0,15
c_{E133}	$6,6 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
$\ln(c_{E133})$	-11,9	-12,2	-12,4	-12,7	-13,4



$k = \underline{\quad 2,93 \quad} \text{h}^{-1}$

Bewertung:

Je korrekt ausgefüllter Tabellenspalte: 5x **0,5 P**

Je korrekt aus der eigenen Tabelle übertragener Wert: 5x **0,5 P**

Sauberkeit der Zeichnung (Achsen, Platzausnutzung, Beschriftung): **1,0 P**

Folgerichtiges Ergebnis: **1,0 P**

Insgesamt **7,0 P**

Aufgabe 2-04**Super Basic****17 Punkte**a) **Vervollständige** die Sätze.

- i. Im Sinne des Säure-Base-Konzepts nach Brønstedt und Lowry sind Säuren Protonendonatoren und Basen Protonenakzeptoren.
- ii. Eine wässrige Lösung mit $\text{pH} = 10$ bezeichnet man als basisch/alkalisch/Base/Lauge.
- iii. Eine starke Säure (z. B. Salzsäure) mit einer Konzentration von 1 mol L^{-1} hat einen pH-Wert von 0; eine starke Base (z. B. Natronlauge) mit einer Konzentration von 1 mol L^{-1} hat einen pH-Wert von 14.
- iv. Eine starke Säure hat einen niedrigen pK_s -Wert.

Je **0,5 P**Insgesamt **3 P**

b) **Ergänze** in der folgenden Tabelle die Summenformeln und Namen der genannten Stoffe bzw. der wässrigen Lösungen der genannten Stoffe. **Gib** in der letzten Spalte **an**, ob bei Reaktion mit Wasser eine saure, neutrale oder basische Lösung entsteht.

Nr.	Summenformel	Name	Reaktion mit Wasser: sauer/neutral/basisch
1	NaOH	Natronlauge (Natriumhydroxid)	B
2	HCl	Salzsäure	S
3	H ₂ SO ₄	Schwefelsäure (Dihydrogensulfat)	S
4	NaCl	Natriumchlorid	N
5	K	Kalium	B
6	NH ₄ Cl	Ammoniumchlorid	S

Je **0,2** für Summenformel oder Name; **0,3** für S/N/BInsgesamt **3,0 P**

Es werden sowohl die Namen der wässrigen Lösungen der Säuren/Basen als auch die Namen der jeweiligen Säuren/Basen akzeptiert.

c) **Gib** die ausgeglichenen Reaktionsgleichungen für die Reaktionen von **1**, **5** und **6** aus Aufgabe b) mit Wasser **an**, aus denen hervorgeht, ob eine saure, neutrale oder basische Lösung entsteht.

$\text{NaOH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Na}^+ + \text{OH}^-$
$2 \text{K} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2 \text{K}^+ + 2 \text{OH}^- + \text{H}_2$
$\text{NH}_4\text{Cl} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$

Je vollständig korrekter Reaktionsgleichung **0,5 P**, Insgesamt **1,5 P**

d) **Gib** die molare Masse von Kaliumdihydrogenphosphat **an**.

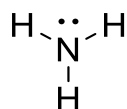
$$M(\text{KH}_2\text{PO}_4) = M(\text{K}) + 2M(\text{H}) + M(\text{P}) + 4M(\text{O}) = 136,09 \text{ g mol}^{-1}$$

Rechenweg muss nicht erkennbar sein, **0,5 P**

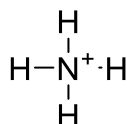
e) **Zeichne** die Lewisformeln der folgenden Verbindungen und **benenne** die Geometrie gemäß VSEPR-Modell:

- NH_3
- NH_4^+
- NO_3^-

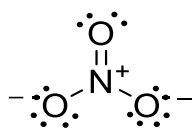
a. tetraedisch (verzerrt) / trigonal pyramidal (beides ist korrekt, verzerrt trigonal planar ist nicht richtig)



b. tetraedisch



c. trigonal planar (mehrere mesomere Grenzformeln sind nicht nötig, aber als richtig zu werten.)



Je Zeichnung und Benennung der Geometrie **0,5 P**; die Lewisformeln müssen die Geometrie nicht zeigen. Nicht-bindende Elektronenpaare dürfen als Punktpaar oder Strich dargestellt werden. **Insgesamt 3,0 P**

Die Konzentration einer Säure oder Base kann mittels Titration bestimmt werden. Um festzustellen, wann der Äquivalenzpunkt erreicht ist, bedient man sich häufig eines pH-Indikators.

f) **Nenne** drei Eigenschaften, die ein pH-Indikator für eine Titration aufweisen muss.

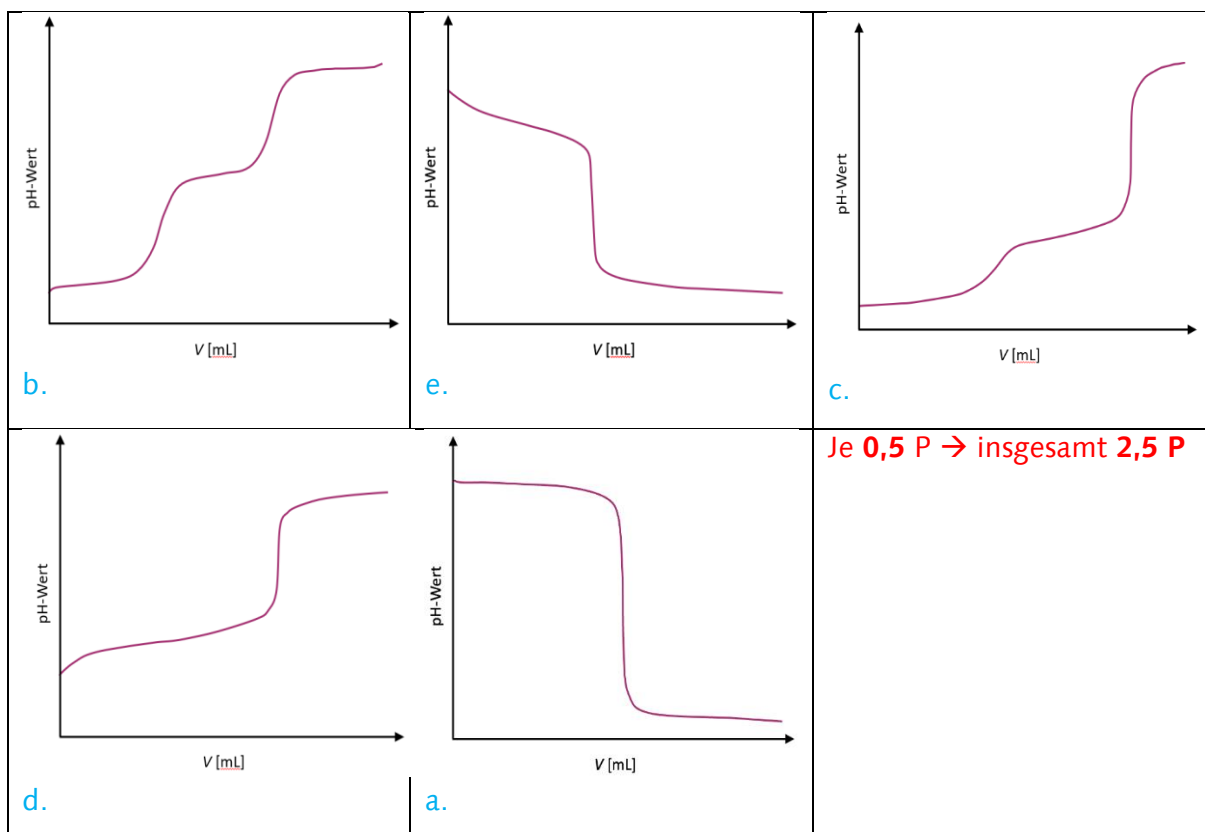
- Selbst als Säure bzw. Base reagieren
- Löslich im Reaktionsmedium
- Deutlich sichtbarer Farbumschlag
- Farbumschlag im Bereich des Äquivalenzpunktes der Titration
- Farbumschlag reversibel
- Keine anderweitigen Reaktionen mit Probe oder Titrant als Protonierung/Deprotonierung

Je korrekter Eigenschaft **0,5 P**; sollten mehr als drei Punkte genannt sein, gelten die drei erstgenannten.

Insgesamt **1,5 P**

g) **Ordne** die Titrationskurven den folgenden Szenarien **zu**:

- NaOH mit HCl
- H_3PO_4 mit NaOH
- H_2SO_4 mit NaOH
- CH_3COOH mit NaOH
- $NH_3(aq)$ mit HCl (aq)



Nach einem Versuch sind 34,2 mL wässrige NaOH-Lösung übriggeblieben. Der pH-Wert der Lösung beträgt 12,3. Die Natronlauge soll mit 0,1 M Salzsäure neutralisiert werden.

h) **Berechne** das benötigte Volumen an 0,1 M Salzsäure.

$$n(OH^-) = c(OH^-) \cdot V(OH^-) = 10^{-(14-12.3)} \text{ mol L}^{-1} \cdot 0,034 \text{ L} = 0,682 \text{ mmol}$$

$$V(HCl) = \frac{0,682 \text{ mmol}}{c(H^+)} = \frac{0,682 \text{ mmol}}{0,1 \text{ mol L}^{-1}} = 6,82 \text{ mL}$$

Es werden 6,82 mL 0,1 M HCl benötigt.

2,0 P

Aufgabe 2-05**Die Dreigroschenaufgabe****30 Punkte**

Die Schweizer Chemikerin Elena hat den Auftrag bekommen, die Zusammensetzung einer alten 1-Franken-Münze zu bestimmen, die aus Kupfer und Nickel besteht. Dafür nutzt sie die Methode der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), bei der die Münze zerstörungsfrei auf ihre enthaltenen Elemente untersucht wird. Außer dem Massenanteil kann mit der RFA sogar bestimmt werden, bei welcher Tiefe im Material das Element auftritt. Elena nutzt ein Röntgenfluoreszenzgerät mit einer Rhodium-Anode. Sie erhält folgende Ergebnisse:



Element	Massenanteil in %	Tiefe in μm
Cu	74,7 %	60
Ni	25,0 %	49
Ti	0,09 %	4,1
Cl	0,07 %	2,9
S	0,03 %	2,0
Si	0,01 %	0,9
Fe	< 0,01 %	33
Ca	< 0,01 %	1,2
Rh	< 0,01 %	0,3

Bei der Analyse fällt auf, dass nicht nur ein Metall den Hauptbestandteil der Münze ausmacht.

- a) **Nenne** den Namen für ein solches - makroskopisch betrachtet - homogenes Gemisch von zwei Metallen in fester Form. **Nenne** zwei Vorteile, die solch ein Gemisch gegenüber einem Reinmetall als Material hat.

Legierung (1P)

- härter/langlebiger (1P)
- deutlich beständiger gegenüber Korrosion (1P)

Andere plausible Vorteile auch bepunktet (z.B. bessere Verformbarkeit, auch wenn das bei Münzen nicht unbedingt sinnvoll erscheint)

insgesamt Σ 3.0 P

Elena ist sich sicher, dass einige der in der Analyse gefundenen Elemente nicht aus der Münze kommen können, sondern von Verunreinigungen stammen müssen. Die Verunreinigungen wiederum können bei der Münzherstellung, aber auch durch den jahrelangen täglichen Gebrauch eingetragen worden sein.

- b) **Ordne** die per Röntgenfluoreszenzanalyse gefundenen Elemente (in der Tabelle unten) der Verunreinigungsquelle (Auflistung unter der Tabelle), aus der sie hauptsächlich stammen, **zu**.

Hinweis: Pro Element wird eine Antwort erwartet. Jede Antwortmöglichkeit soll außerdem nur einmal verwendet werden.

Si	S	Cl	Ti	Fe	Ca	Rh
Sand (vii)	Haar- partikel (v)	Schweiß (vi)	Sonnen- creme (i)	aus kupfer- haltigen Erzen (iv)	Leitungs- wasser (ii)	Messgerät (iii)

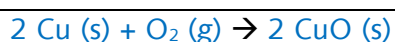
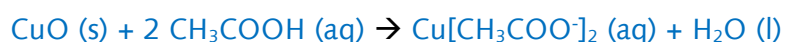
[0.5 P pro richtiger Zuordnung]**Σ 3.5 P**

- i) Sonnencreme
- ii) Leitungswasser
- iii) Messgerät
- iv) aus kupferhaltigen Erzen
- v) Haarpartikel
- vi) Schweiß
- vii) Sand

Aufgrund ihres Alters ist die Münze bereits dunkel verfärbt. Die Verunreinigung, die der Münze diesen Farbton verleiht, entsteht durch Oxidation der Münze an der Luft. Elena versucht die Münze mit einer Mischung aus Essig und Kochsalz zu säubern.

- c) **Gib** die Reaktionsgleichung sowohl für den Verfärbungsprozess als auch die Säuberung **an** und **kennzeichne** die Aggregatzustände aller beteiligten Reaktionspartner.

Hinweis: Lediglich das Kupfer aus der Münze ist an diesen Prozessen beteiligt. Außerdem entsteht beim Säuberungsprozess ein Chelatkomplex.

**[1P]****[2P]**

[1 bzw. 2 P. für ausgeglichene Reaktionsgleichung, jeweils 1,0 P. für richtige Aggregatzustände]

Σ 5.0 P

Elena hat vergessen, die Münzen nach der Behandlung abzuwaschen, und hat sie an der Luft liegen lassen. Als sie ein paar Stunden später die Münzen betrachtet, ist sie über die grüne Färbung dieser verwundert.

- d) **Nenne** den Stoff, der für die grüne Verfärbung verantwortlich ist.

Das Kupferacetat ist für die Grünfärbung verantwortlich (genauer: acetathaltiger Grünspan)

1.0 P. (auch, wenn nur $\text{Cu}^{2+}[\text{CH}_3\text{COO}^-]_2$ oder $\text{Cu}(\text{OAc})_2$ oder andere sinnvolle Form genannt wurde)

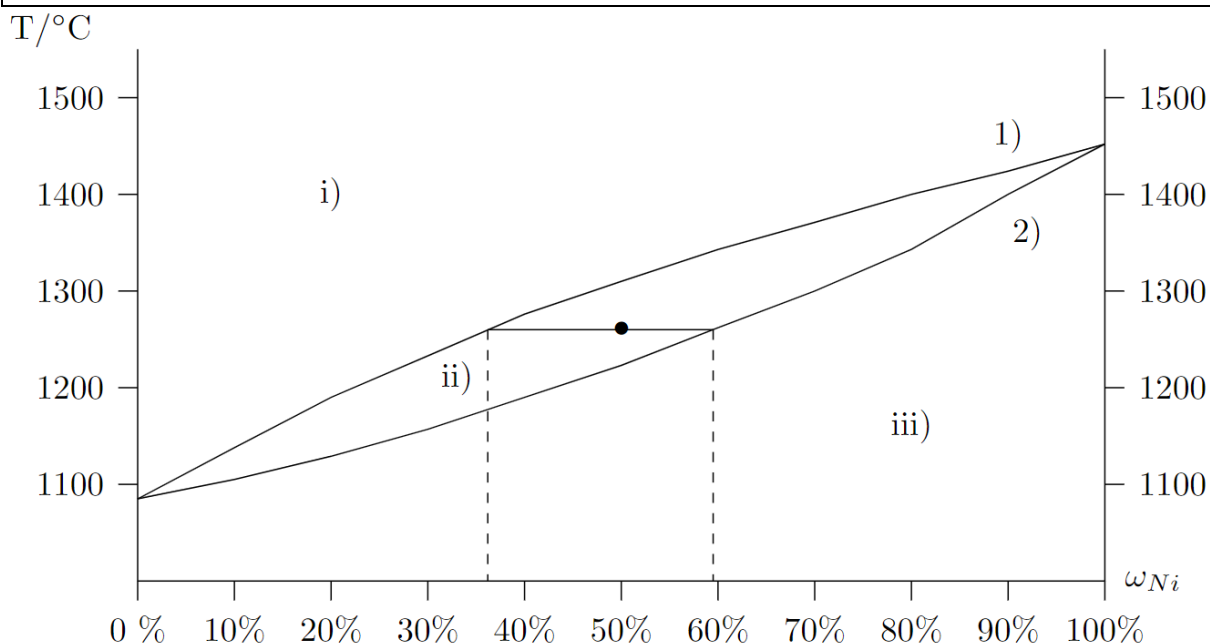
(0.5 P., wenn Kupfer(II)-chlorid genannt wurde)

Σ 1.0 P

Während man Nickel in verdünnter Salpetersäure unter Bildung von Wasserstoff und Nickelnitrat auflösen kann, benötigt man zum Auflösen von Kupfer konzentrierte Salpetersäure. Bei der Reaktion entsteht ein rotbraunes Gas.

- e) **Gib** die Reaktionsgleichung für i) die Auflösung von elementarem Nickel in verdünnter Salpetersäure und ii) von elementarem Kupfer in konzentrierter Salpetersäure **an**.

i) $\text{Ni} + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{Ni}^{2+} + \text{H}_2$	[1 P]
(auch volle Punktzahl wenn Nitrat drinsteht)	
ii) $3 \text{Cu} + 2 \text{HNO}_3 + 6 \text{H}^+ \rightarrow 3 \text{Cu}^{2+} + 2 \text{NO} + 4 \text{H}_2\text{O}$	[2 P]
bzw. $\text{Cu} + 2 \text{HNO}_3 + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2 \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	
(auch volle Punktzahl wenn Nitrat drinsteht)	Σ 3.0 P



Im Phasendiagramm von Kupfer und Nickel finden sich drei verschiedene Phasen, diese umfassen die Schmelze, den Festkörperbereich sowie die Mischphase. Diese Phasen werden durch die Phasengrenzlinien Solidus- und Liquiduskurve getrennt.

- f) **Ordne** die Namen der Phasen sowie die der Phasengrenzlinien im Diagramm **zu**.

i)	ii)	iii)	1)	2)
Schmelze	Mischphase	Festkörper	Liquiduskurve	Soliduskurve

[pro richtiger Zuordnung 0.5 P] Σ 2.5 P

Die Zusammensetzung einer Mischung aus Kupfer und Nickel ändert sich beim Phasenübergang. Im obigen Phasendiagramm wird diese Zusammensetzung beispielhaft abgelesen:

Eine Schmelze mit der Zusammensetzung $\omega(\text{Ni}) = 50\%$ wurde von $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ beginnend auf $1260\text{ }^{\circ}\text{C}$ abgekühlt. Der Massenanteil von Nickel im Feststoff, der sich abgeschieden hat, $\omega(\text{Ni}, \text{s}, 1260\text{ }^{\circ}\text{C})$, ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Horizontalen bei $1260\text{ }^{\circ}\text{C}$ mit der Soliduskurve. Der Massenanteil $\omega(\text{Ni}, \text{l}, 1260\text{ }^{\circ}\text{C})$ in der verbleibenden Schmelze ergibt sich entsprechend aus dem Schnittpunkt der Horizontalen bei $1260\text{ }^{\circ}\text{C}$ mit der Liquiduskurve.

- g) **Gib** für eine Kupfer-Nickel-Mischung mit $\omega(\text{Ni}) = 75\%$ bei der Temperatur $T = 1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ die Zusammensetzungen der bei diesen Bedingungen vorliegenden Phasen **an**.

$\omega(\text{Cu})$ im Festkörper	$\omega(\text{Ni})$ im Festkörper	$\omega(\text{Cu})$ in Flüssigphase	$\omega(\text{Ni})$ in Flüssigphase
18%	82%	38%	62%

[0.5 P. pro richtiger Massenanteil, Abweichung von $\pm 3\%$ -Punkten gibt auch volle Punktzahl]

Hinweis Folgefehler: Kein Punktabzug, wenn Festkörper und Flüssigphase vertauscht sind und in d) die Zuordnung ebenfalls falsch vorgenommen wurde, ansonsten -1 P. **$\Sigma 2.0\text{ P}$**

- h) **Beschreibe**, wie sich der Massenanteil von Kupfer in der festen und der flüssigen Phase beim Abkühlen der Schmelze aus Aufgabenteil g) verändert. **Gib** die Massenanteile von Kupfer und Nickel **an**, sobald die Schmelze komplett erstarrt ist.

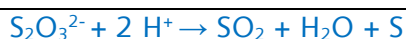
Beim Abkühlen erhöht sich der Massenanteil von Kupfer in der festen Phase **[1 P]** sowie in der flüssigen Phase. **[1 P]**

Massenanteil Nickel und Kupfer: $\omega(\text{Ni}) = 75\%$, $\omega(\text{Cu}) = 25\%$ **[1 P]**
 $\Sigma 3,0\text{ P}$

Elena beauftragt ihre Praktikantin Felicitas damit, die Zusammensetzung einer **anderen** Münze, die ebenfalls aus Kupfer und Nickel besteht, komplexometrisch zu bestimmen.

Bei dieser Doppelbestimmung nutzt sie die Eigenschaft von Thiosulfat-Ionen aus, einen stabileren Komplex mit Kupfer-Ionen als Ethylendiamintetraacetat (EDTA) zu bilden. Es ist allerdings wichtig, dass die Thiosulfat-Lösung entweder frisch hergestellt ist oder als deutlich basische Lösung aufbewahrt wurde.

- i) **Begründe** mit einer Reaktionsgleichung, warum es wichtig ist, dass der pH-Wert der Thiosulfat-Lösung bei der Aufbewahrung basisch ist. **Beschreibe**, was man beobachtet, wenn man eine saure Thiosulfat-Lösung lange stehen lässt.

**[1,5 P]**

Man beobachtet die Abscheidung von festem (gelbem) Schwefel.
(Farbe nicht verlangt)

[0,5 P]**Σ 2.0 P**

Zu Beginn ihrer Bestimmung wiegt sie die Münze ($m = 8,43 \text{ g}$) und löst sie anschließend vollständig in Königswasser auf. Nach Abrauchen wird die Lösung auf ein Volumen von 100,0 mL aufgefüllt. Dann entnimmt sie 10,0 mL der Lösung, gibt eine Pufferlösung sowie einen geeigneten Indikator hinzu und titriert die Lösung mit einer Natrium-EDTA-Maßlösung ($c = 1,00 \text{ mol L}^{-1}$). Bei der Titration hat sie einen Verbrauch von $V_1 = 13,9 \text{ mL}$ der Maßlösung.

Im nächsten Schritt entnimmt sie erneut 10,0 mL der Stammlösung, gibt den Indikator hinzu, puffert auf einen basischen pH-Wert und gibt eine Natriumthiosulfat-Lösung im Überschuss hinzu, wodurch bei dieser Titration nur die Nickelionen mit EDTA einen Komplex bilden. Bei diesem Versuch hat sie mit der gleichen Natrium-EDTA-Maßlösung einen Verbrauch von $V_2 = 8,3 \text{ mL}$.

- j) **Berechne** die Massenanteile von Kupfer und Nickel in der Münze.

$$n_{\text{ges}} = 13,9 \text{ mL} \cdot 1,00 \text{ mmol mL}^{-1} = 13,9 \text{ mmol}$$

[1 P]

$$n_{\text{Ni}} = 8,3 \text{ mL} \cdot 1,00 \text{ mmol mL}^{-1} = 8,3 \text{ mmol}$$

[1 P]

$$n_{\text{Cu}} = 13,9 \text{ mmol} - 8,3 \text{ mmol} = 5,6 \text{ mmol}$$

[1 P]

$$m_{\text{Ni}} = 10 \cdot 8,3 \text{ mmol} \cdot 58,7 \text{ mg mmol}^{-1} = 4,87 \text{ g}$$

[0.5 P]

$$m_{\text{Cu}} = 10 \cdot 5,6 \text{ mmol} \cdot 63,6 \text{ mg mmol}^{-1} = 3,56 \text{ g}$$

[0.5 P]

(alternativ kann auch der Faktor 10 weggelassen werden; volle Punktzahl, wenn Endergebnis richtig ist)

$$w_{\text{Ni}} = \frac{4,87 \text{ g}}{4,87 \text{ g} + 3,56 \text{ g}} = 57,8\%$$

[0.5 P]

$$w_{\text{Cu}} = \frac{3,56 \text{ g}}{4,87 \text{ g} + 3,56 \text{ g}} = 42,2\%$$

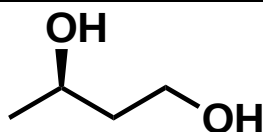
[0.5 P]**Σ 5.0 P**

Aufgabe 2-06**Ketone – (k)eine Dopingfrage?****20 Punkte**

Im Leistungssport – besonders im Radsport – wird seit einigen Jahren eine erbitterte Diskussion über die Einnahme von „Ketonen“ zur Steigerung von Leistung und Regenerationsfähigkeit geführt. Von der Welt-Antidopingagentur (WADA) werden „Ketone“ nicht als Doping klassifiziert, sie sind sogar frei verkäuflich erhältlich. Auf der Homepage des Marktführers für „Ketone“ wird das Produkt u.a. folgendermaßen beworben:

„Ketone-IQ enthält (R)-1,3-Butandiol (BDO). BDO ist ein trinkbares Keton, das bei der Einnahme den Ketonspiegel im Blut erhöhen kann. Ein erhöhter Ketonspiegel kann zu höherer Ausdauer, verbesserter Erholung oder gesteigerter mentaler Kapazität führen.“

a) **Zeichne** die Strukturformel von BDO unter Berücksichtigung der Stereochemie.



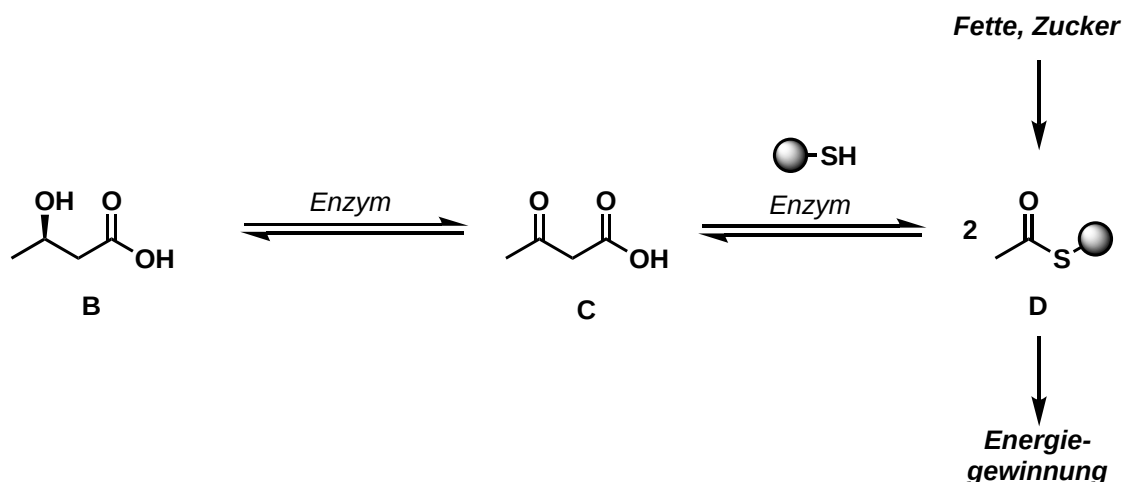
Bei falscher Stereochemie wird 1 P., bei allen anderen Fehlern 0 P. vergeben.

(2 P.)

b) **Gib an**, wie viele Stereoisomere von BDO existieren.

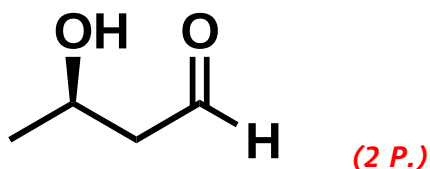
2 Stereoisomere **(1 P.)**

Im Körper wird BDO über ein Zwischenprodukt **A** ($C_4H_8O_2$) in (R)-3-Hydroxybutansäure **B** überführt, welche als wichtiger, im Körper mobiler Energieträger dienen kann. Eine enzymatische Umsetzung zu Acetessigsäure **C**, gefolgt von einer weiteren enzymatischen Reaktion mit einem Thiol (hier abgekürzt dargestellt) liefert das Intermediat **D**, das ein wichtiges Zwischenprodukt bei der Verdauung von Fetten und Zuckern darstellt. Umgekehrt kann der Körper – gerade wenn Zuckermangel herrscht – (R)-3-Hydroxybutansäure **B** aus Intermediat **D** herstellen, um so das Gehirn mit Energie zu versorgen. Dieser Zustand wird medizinisch als *Ketose* bezeichnet.



c) **Kreuze** die korrekten Aussagen **an**. (3,5 P.)

	wahr	falsch
Für die Umwandlung von 3-Hydroxybutansäure in Acetessigsäure benötigt der Körper ein Oxidationsmittel.	☒	☐
Acetessigsäure C enthält genau ein Kohlenstoffatom mit der Oxidationszahl +II.	☒	☐
BDO kann im Körper zu 3-Hydroxybutansäure reduziert werden.	☐	☒
C besitzt zwei Stereoisomere.	☐	☒
Ähnlich wie Fette ist 3-Hydroxybutansäure schlecht in Wasser löslich und kann somit nur schlecht über das Blut transportiert werden.	☐	☒
In Patienten mit erhöhtem Blutdruck kann die Erhöhung des Drucks zur Verschiebung des Gleichgewichts zwischen B und C führen (Prinzip von Le Chatelier).	☐	☒
Wird dem Körper extern 3-Hydroxybutansäure zugeführt, so kann er dies auch bei ausreichender Verfügbarkeit von Glucose zur Energiegewinnung nutzen.	☒	☐

d) **Gib** die Struktur von Verbindung **A** unter Berücksichtigung der Stereochemie **an**.

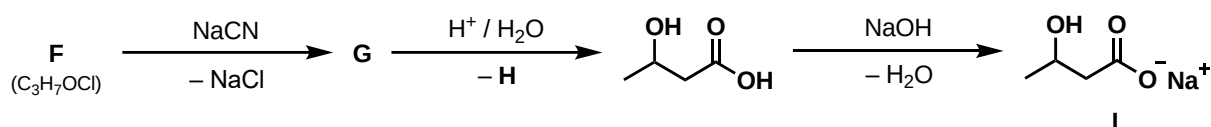
Wird die Stereochemie nicht oder falsch angegeben, wird 1 P. vergeben.

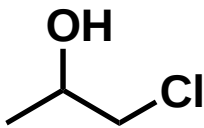
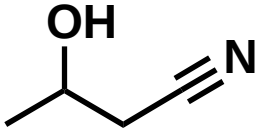
e) **Gib** die Summenformel des Nebenprodukts **an**, das bei der Überführung von Acetessigsäure in Intermediat **D** gebildet wird.

Medizinisch wird eine *Ketose* identifiziert, indem im Urin oder im Atem eines Patienten das Nebenprodukt **E** nachgewiesen wird, welches durch Decarboxylierung (CO_2 -Abspaltung) aus Acetessigsäure gebildet wird.

f) **Gib** die Struktur des Nebenprodukts **E an**.

Neben der Verabreichung von BDO in flüssiger Form wird eine Reihe weiterer „Keton“-Präparate angeboten. Werden „Ketone“ in fester Form (z.B. in Energie-Riegeln) verabreicht, so wird zumeist das Natriumsalz der 3-Hydroxybutansäure (Verbindung I) verwendet. Dieses wird industriell wie folgt hergestellt:

g) **Gib** die Strukturen der Verbindungen **F**, **G** und **H an**. (5 P.)

F (2 P.) 	G (2 P.) 
H (1 P.) NH₃ NH ₄ ⁺ wird ebenfalls als korrekt bewertet.	Für falsche Moleküle werden keine Teilpunkte vergeben.

h) **Kreuze an**, welcher pH-Wert beim Lösen von Verbindung **I** in Wasser zu erwarten ist. (1 P.)

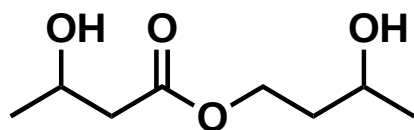
pH-Wert	1,4	3,6	5,4	7,0	9,7
	☐	☐	☐	☐	☒

Ein weiteres flüssiges „Keton“-Präparat enthält als Hauptbestandteil Verbindung **J**.

- Verbindung **J** enthält doppelt so viele Wasserstoffatome wie Kohlenstoffatome, aber nur halb so viele Sauerstoffatome. Weitere Atome sind nicht enthalten.
- Eine NMR-spektroskopische Untersuchung hat ergeben, dass Verbindung **J** genau eine $\text{R}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{R}'$ -Einheit enthält, wobei R und R' keine Wasserstoffatome sein können.
- Im sauren Milieu des Magens reagiert Verbindung **J** mit Wasser, wobei unter anderem 3-Hydroxybutansäure freigesetzt wird.
- Die molare Masse von **J** beträgt nicht mehr als 200 g mol^{-1} .

i) **Zeichne** die Strukturformel der Verbindung **J**.

Hinweis: Stereochemische Aspekte müssen nicht berücksichtigt werden.

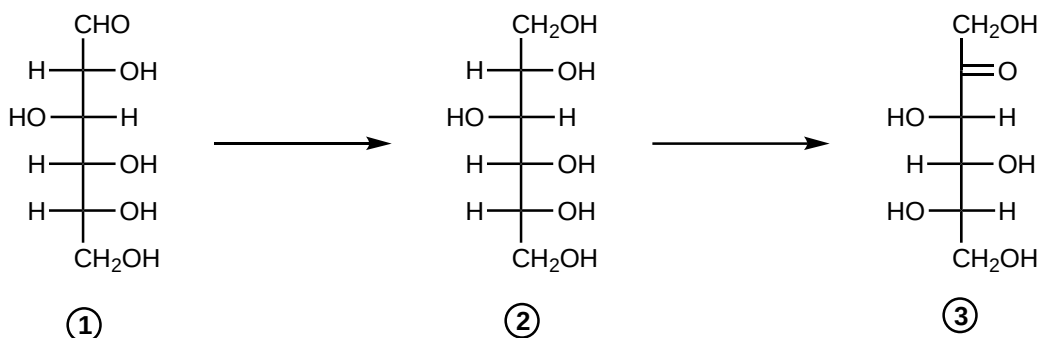


(3 P.)

Erfüllt die Verbindung zumindest zwei der genannten drei Kriterien, wird 1 P. vergeben.

Aufgabe 2-07**Vitamin C - Jetzt nicht aufbrausend werden!****30 Punkte**

Für Jugendliche ist es wichtig, sich ausgewogen und vitaminreich zu ernähren – das heißt jedoch nicht zwingend, dass du Obst und Gemüse essen musst. Deinen Bedarf an zum Beispiel Vitamin C, das konzentrations- und stimmungsfördernd wirkt, kannst du auch durch den Verzehr entsprechender Brausetabletten decken. Die darin enthaltene Ascorbinsäure (= Vitamin C) wird zumeist synthetisch aus Verbindung (1) hergestellt. Die folgende Abbildung zeigt den ersten Teil dieser Synthese.



- a) **Ordne** den Verbindungen (1), (2) und (3) jeweils ihren Namen sowie die Art von Kohlenhydrat, zu der sie gehören, zu. Verbinde dazu die entsprechenden Kästen mit Linien.

L-Sorbose	1 2 3	Aldose
D-Glucose		Ketose
D-Sorbit		Weder Aldose, noch Ketose

3 P: 0,5 P je korrekte Zuordnung

- b) **Wähle** aus folgenden Möglichkeiten die richtige Kombination an Reaktionsbedingungen für die Schritte (1) → (2) und (2) → (3) aus.

	(1) → (2)	(2) → (3)
☐	H ₂ O ₂	H ₂ / Ni
☐	H ₂ / Ni	KMnO ₄
☒	H ₂ / Ni	Mikrobiologische Fermentation (Oxidation)
☐	Mikrobiologische Fermentation (Reduktion)	KMnO ₄
☐	konz. H ₂ SO ₄	O ₂ / Pt

2 P: 2 P korrekte Antwort, 0 P bei mehr als einem Kreuz

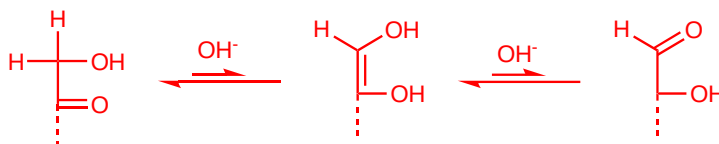
Eine einfache Möglichkeit, verschiedene Kohlenhydrate zu unterscheiden, ist die Fehling-Probe. Dabei kommt eine alkalische Lösung eines speziellen Kupferkomplexes zum Einsatz, aus der in Anwesenheit eines reduzierenden Zuckers ein roter Niederschlag ausfällt.

c) **Gib** für jede der Verbindungen (1), (2) und (3) **an**, welchen Ausgang du für die Fehling-Probe erwartest und **begründe** deine Antworten **kurz**.

(1): Positive Fehling-Probe (0,5 P), wegen Anwesenheit einer reduzierenden Aldehydgruppe in der offenkettigen Form der D-Glucose (0,5 P)

(2): Negative Fehling-Probe (0,5 P), wegen Abwesenheit irgendeiner reduzierenden Gruppe (0,5 P)

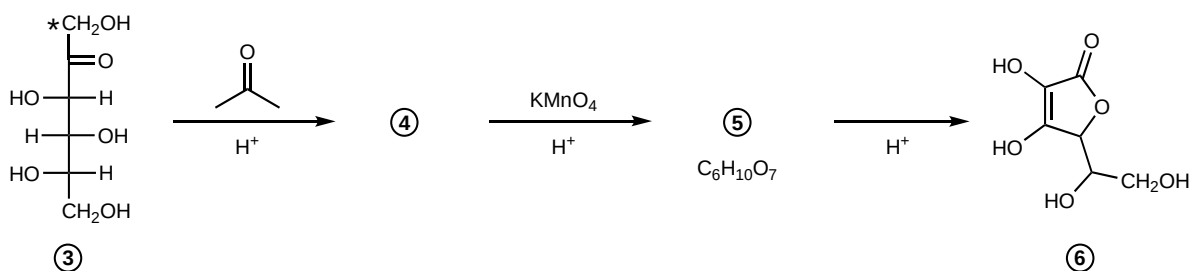
(3): Positive Fehling-Probe (0,5 P), weil in basischer Lösung ein Gleichgewicht (Tautomerie) zwischen der abgebildeten offenkettigen Form der L-Sorbose und einer alternativen Form mit einer reduzierend wirkenden Aldehydgruppe vorliegt (1 P):



Auch wenn nur ein sehr kleiner Teil von (3) in der rechten Form vorliegt, reicht dies für eine positive Probe, da diese mit dem Reagenz reagiert und dadurch stetig nachgebildet wird (0,5 P).

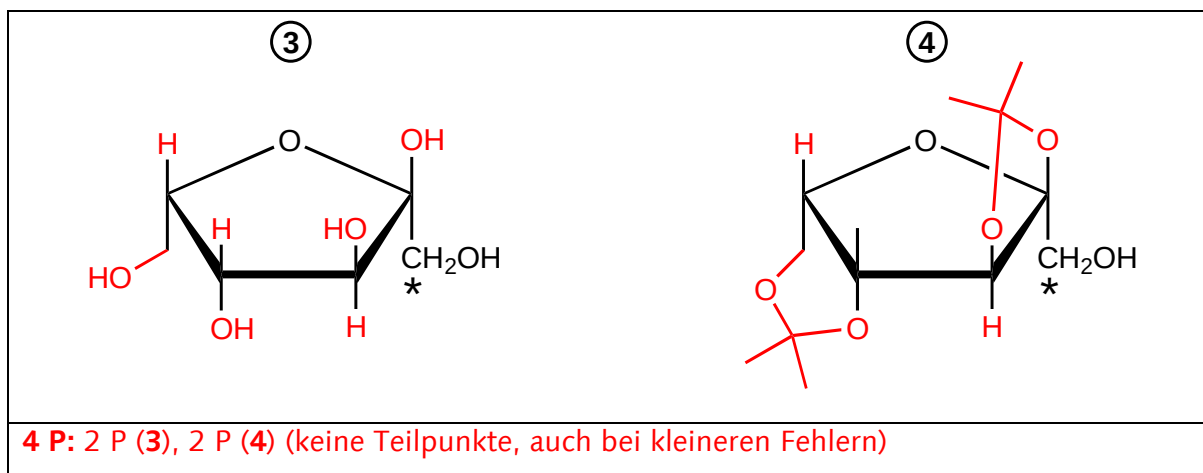
4 P: 0,5 P je Ergebnis und je Begründung für (1) und (2), 0,5 P Ergebnis (3), 1,5 P Begründung (3): 1 P tautomere Umlagerung und Bildung Aldehyd (Die Zeichnung ist nicht zwingend erforderlich, dann muss das Prinzip der tautomeren Umlagerung aber ausreichend gut beschrieben werden), 0,5 P Gleichgewichtsbetrachtung

Verbindung (3) wird anschließend gemäß folgendem Schema zu Ascorbinsäure (6) umgesetzt.

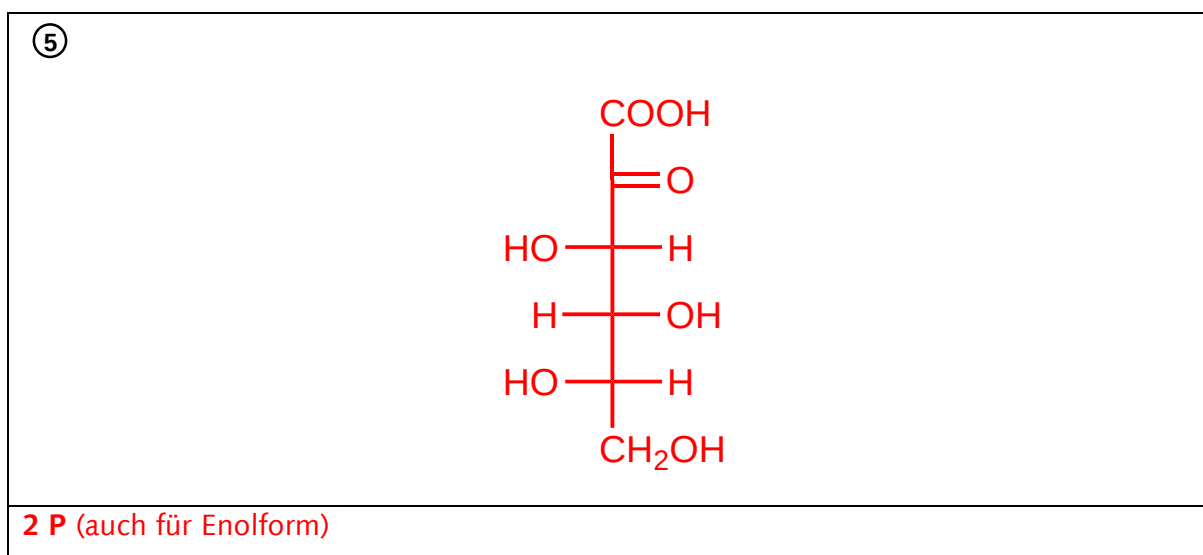


Zunächst wird dabei (3) mit Aceton unter sauren Bedingungen zu (4) umgesetzt, um vier Hydroxygruppen vor der anschließenden Oxidation mit Kaliumpermanganat zu schützen.

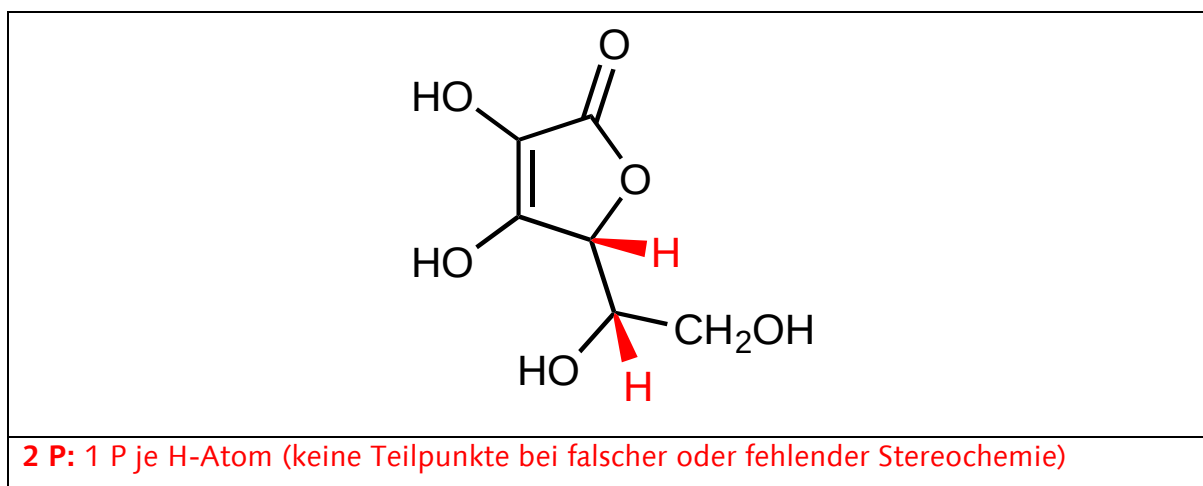
- d) **Zeichne** die Haworth-Projektionsformeln der Furanose-Formen der Verbindungen (3) und (4), indem du die gegebenen Zeichnungen vervollständigst. Hinweis: Das in der Vorlage mit einem * markierte Atom ist auch in obenstehender Abbildung mit einem * markiert.



- e) **Zeichne** die Fischer-Projektionsformel von Verbindung (5).



- f) **Vervollständige** die Keilstrich-Formel von Ascorbinsäure, indem du die fehlenden H-Atome sowie deren räumliche Orientierung einzeichnest.



Zufällig findest du noch alte Vitamin-C-Brausetabletten, deren Verpackung jedoch verloren gegangen ist, sodass du den Ascorbinsäuregehalt selbst bestimmen musst. Dazu löst du eine Tablette in Wasser und gibst etwas verdünnte Schwefelsäure, einen Überschuss Iod ($n_0(I_2) = 20,22 \text{ mmol}$), etwas Kaliumiodid sowie Stärkelösung dazu. Dabei reagiert die Ascorbinsäure vollständig mit dem Iod. Im Anschluss bestimmst du durch Titration, dass noch $n(I_2) = 14,54 \text{ mmol}$ Iod in der Lösung enthalten sind.

g) Folgend sind alle Edukte und Produkte der Teilreaktionen von Ascorbinsäure und Iod gegeben.

i. **Bestimme** alle Oxidationszahlen, die sich bei der Reaktion ändern, und **ordne zu**, bei welcher Teilreaktion es sich um Oxidation bzw. Reduktion handelt.

ii. **Gleiche** die Teilreaktionen stöchiometrisch **aus**.

iii. **Gib an**, in welchem Stoffmengenverhältnis Ascorbinsäure und Iod reagieren.

Oxidation

1

2

H₂O

0

e⁻

→

1

2

H₃O⁺

2

e⁻

Reduktion

1

I₂

2

e⁻

→

2

I⁻

0

e⁻

$$\frac{n(\text{Ascorbinsäure})}{n(I_2)} = 1$$

3 P: i. 0,5 P OZ Ascorbinsäure / Dehydroascorbinsäure, 0,5 P OZ Iod / Iodid, 0,5 P Zuordnung Oxidation / Reduktion; ii. 0,5 P je korrekt ausgeglichene Teilgleichung (1en können auch weggelassen werden); iii. 0,5 P korrektes Verhältnis

h) **Nenne** ein sinnvolles Maßreagenz, mithilfe dessen die Stoffmenge des überschüssigen Iods bestimmt werden kann. **Erkläre** die Bedeutung der zugegebenen Stärkelösung für diese Titration.

Maßreagenz: Natriumthiosulfat (oder andere Thiosulfate oder Thiosulfat-Ionen) (1 P)

Auch akzeptabel sind andere wasserlösliche, hinreichend starke Reduktionsmittel wie Sulfite, Dithionite etc. oder auch Ascorbinsäure.

Solange molekulares Iod in der Lösung vorhanden ist, bildet dieses mit Iodid Triiodid-Anionen, die sich in die helixförmige Struktur der Stärke einlagern und einen dunkelblau gefärbten Komplex bilden (1 P). Die Stärke fungiert hier also als Indikator für die Identifizierung des Äquivalenzpunkts der Titration (1 P).

3 P: 1 P Thiosulfat, 1 P Iod-Stärke-Komplex, 1 P Indikator

- i) **Berechne** die Masse von Ascorbinsäure ($M = 176,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$), die in einer Tablette enthalten ist.

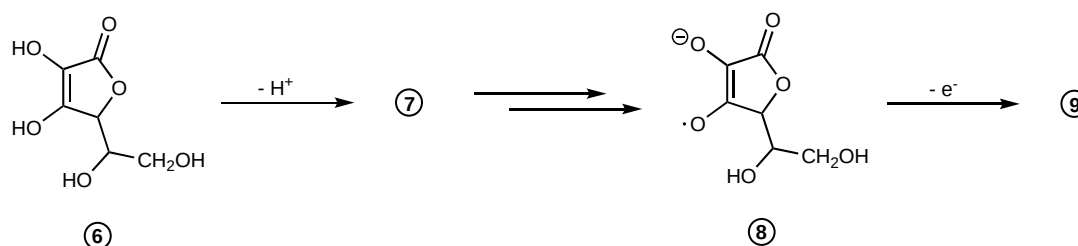
$$n_{\text{reagiert}}(I_2) = n_0(I_2) - n(I_2) = 20,22 \text{ mmol} - 14,54 \text{ mmol} = 5,68 \text{ mmol}$$

$$n(\text{Ascorbinsäure}) = n_{\text{reagiert}}(I_2) = 5,68 \text{ mmol}$$

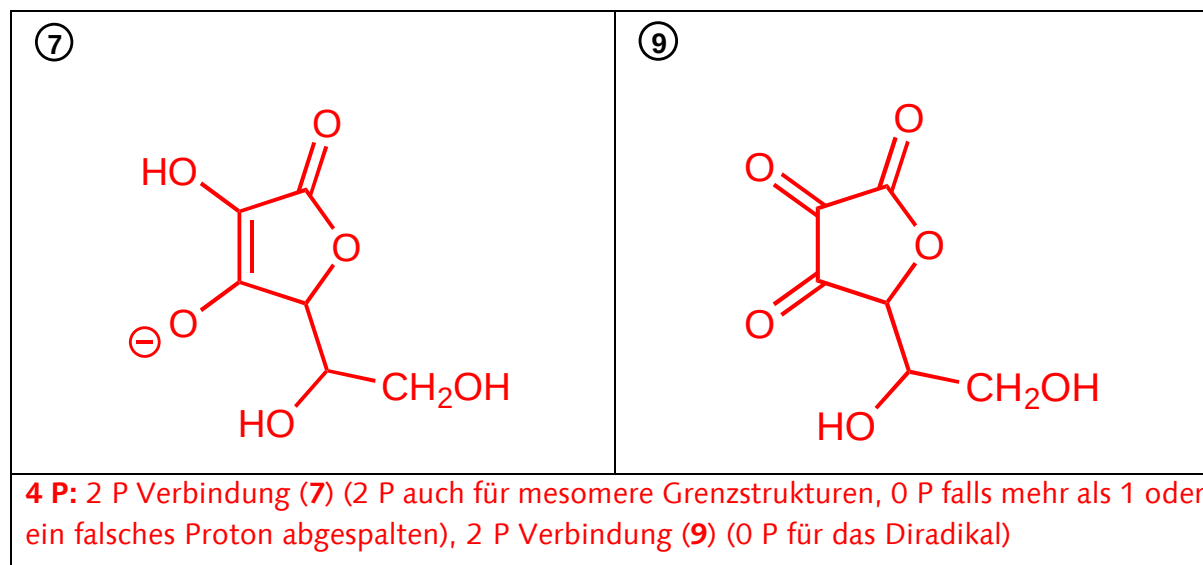
$$m(\text{Ascorbinsäure}) = n(\text{Ascorbinsäure}) \cdot M = 5,68 \text{ mmol} \cdot 176,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx 1000 \text{ mg}$$

2 P: 0,5 P $n_{\text{reagiert}}(I_2)$, 0,5 P $n(\text{Ascorbinsäure})$, 1 P $m(\text{Ascorbinsäure})$

Die biologischen Eigenschaften von Ascorbinsäure beruhen maßgeblich auf ihrer reduzierenden Wirkung, die in folgendem Schema erklärt wird. Unter physiologischen Bedingungen liegt Ascorbinsäure zunächst deprotoniert als **(7)** vor. **(7)** reagiert in einer Reihe von Reaktionen zum resonanzstabilisierten Radikal **(8)**, das schließlich zur stabilen Verbindung **(9)** reagiert.



- j) **Zeichne** die Strukturformeln der Verbindungen **(7)** und **(9)**.



Zeichne zwei weitere mesomere Grenzstrukturen von Verbindung (8), die die Resonanzstabilisierung der Verbindung zeigen. Vervollständige dazu die gegebenen Vorlagen. **Zeichne** auch die freien Elektronen der fett gedruckten Sauerstoffatome.

