

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

Name, Vorname: _____

Bundesland: _____

Beginne erst, wenn das Startsignal gegeben wird.

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

Viel Erfolg!

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	1.0079	2	He	4.0026
3	Li	6.941	9	F	18.998
4	Be	9.0122	10	Ne	20.180
11	Na	22.990	17	Cl	35.453
12	Mg	24.305	18	Ar	39.948
19	K	39.098	32	Ge	72.61
20	Ca	40.078	33	As	74.922
21	Sc	44.956	34	Se	78.96
22	Ti	47.867	35	Br	79.904
23	V	50.942	36	Kr	83.80
24	Cr	51.996	37	Rb	85.468
25	Mn	54.938	38	Sr	87.62
26	Fe	55.845	39	Y	88.906
27	Co	58.933	40	Zr	91.224
28	Ni	58.693	41	Nb	92.906
29	Cu	63.546	42	Mo	95.94
30	Zn	65.39	43	Tc*	98.906
31	Ga	69.723	44	Ru	101.07
32	Ge	72.61	45	Rh	102.91
33	As	74.922	46	Pd	106.42
34	Se	78.96	47	Ag	107.87
35	Br	79.904	48	Cd	112.41
36	Kr	83.80	49	In	114.82
37	Rb	85.468	50	Sn	118.71
38	Sr	87.62	51	Sb	121.76
39	Y	88.906	52	Te	127.60
40	Zr	91.224	53	I	126.90
41	Nb	92.906	54	Xe	131.29
42	Mo	95.94	55	Cs	132.91
43	Tc*	98.906	56	Ba	137.33
44	Ru	101.07	57	La	138.91
45	Rh	102.91	58	Ce	140.12
46	Pd	106.42	59	Pr	140.91
47	Ag	107.87	60	Nd	144.24
48	Cd	112.41	61	Pm*	146.92
49	In	114.82	62	Sm	150.36
50	Sn	118.71	63	Eu	151.97
51	Sb	121.76	64	Gd	157.25
52	Te	127.60	65	Tb	158.93
53	I	126.90	66	Dy	162.50
54	Xe	131.29	67	Ho	164.93
55	Cs	132.91	68	Er	167.26
56	Ba	137.33	69	Tm	168.93
57	La	138.91	70	Yb	173.04
58	Ce	140.12	71	Lu	174.97
59	Pr	140.91	72	Hf	178.49
60	Nd	144.24	73	Ta	180.95
61	Pm*	146.92	74	W	183.84
62	Sm	150.36	75	Re	186.21
63	Eu	151.97	76	Os	190.23
64	Gd	157.25	77	Ir	192.22
65	Tb	158.93	78	Pt	195.08
66	Dy	162.50	79	Au	196.97
67	Ho	164.93	80	Hg	200.59
68	Er	167.26	81	Tl	204.38
69	Tm	168.93	82	Pb	207.2
70	Yb	173.04	83	Bi	208.98
71	Lu	174.97	84	Po*	208.98
72	Hf	178.49	85	At*	209.99
73	Ta	180.95	86	Rn*	222.02
74	W	183.84	87	Fr*	223.02
75	Re	186.21	88	Ra*	226.03
76	Os	190.23	89	Ac*	227.03
77	Ir	192.22	90	Th*	232.04
78	Pt	195.08	91	Pa*	231.04
79	Au	196.97	92	U*	238.03
80	Hg	200.59	93	Np*	237.05
81	Tl	204.38	94	Pu*	244.06
82	Pb	207.2	95	Am*	243.06
83	Bi	208.98	96	Cm*	247.07
84	Po*	208.98	97	Bk*	247.07
85	At*	209.99	98	Cf*	251.08
86	Rn*	222.02	99	Es*	252.08
87	Fr*	223.02	100	Fm*	257.10
88	Ra*	226.03	101	Md*	258.10
89	Ac*	227.03	102	No*	259.10
90	Th*	232.04	103	Lr*	260.11
91	Pa*	231.04	104		
92	U*	238.03	105		
93	Np*	237.05	106		
94	Pu*	244.06	107		
95	Am*	243.06	108		
96	Cm*	247.07	109		
97	Bk*	247.07	110		
98	Cf*	251.08	111		
99	Es*	252.08	112		
100	Fm*	257.10	113		
101	Md*	258.10	114		
102	No*	259.10	115		
103	Lr*	260.11	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		

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?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
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?

<input type="checkbox"/>				
Ge	N	Sb	Cl	Mg

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

<input type="checkbox"/>				
1,0	0,7	2,0	1,7	1,4

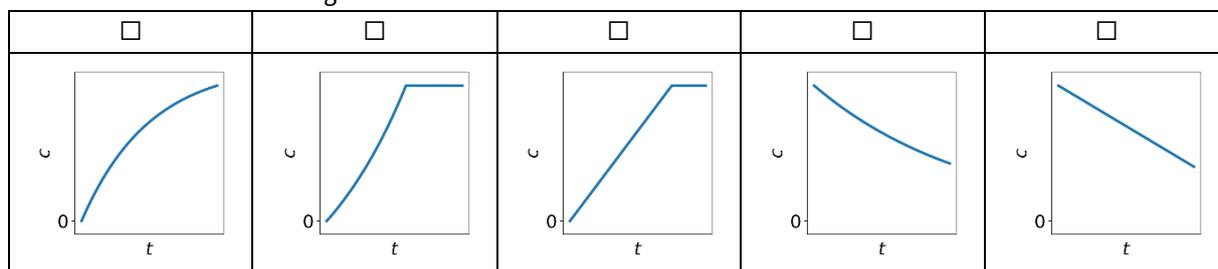
- d) Welches dieser Salze ist bei 20 °C gut ($> 10 \text{ g L}^{-1}$) in Wasser löslich?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
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?

<input type="checkbox"/>				
$m(\text{C})$	$c(\text{O}_2)$	$c(\text{CO}_2)$	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?

<input type="checkbox"/>				
Temperatur	Druck	Volumen	Innere Energie	Entropie

- h) Welche Verbindung ist farbig?

<input type="checkbox"/>				
	Toluol			<i>m</i> -Nitroanilin

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

<input type="checkbox"/>				
Isopropanol	Acetaldehyd	Aceton	Ethanol	Methansäure

- j) Was ist ein Isomer von Cyclobutanol?

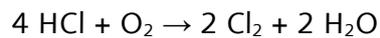
<input type="checkbox"/>				

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

Bereits Ende des 18. 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.

Das Verfahren wird bei einer Temperatur von 420 °C durchgeführt, wobei 80 % des eingesetzten Chlorwasserstoffs umgesetzt werden. Wird eine stöchiometrische Mischung von HCl und O₂ 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.

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.

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**.

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

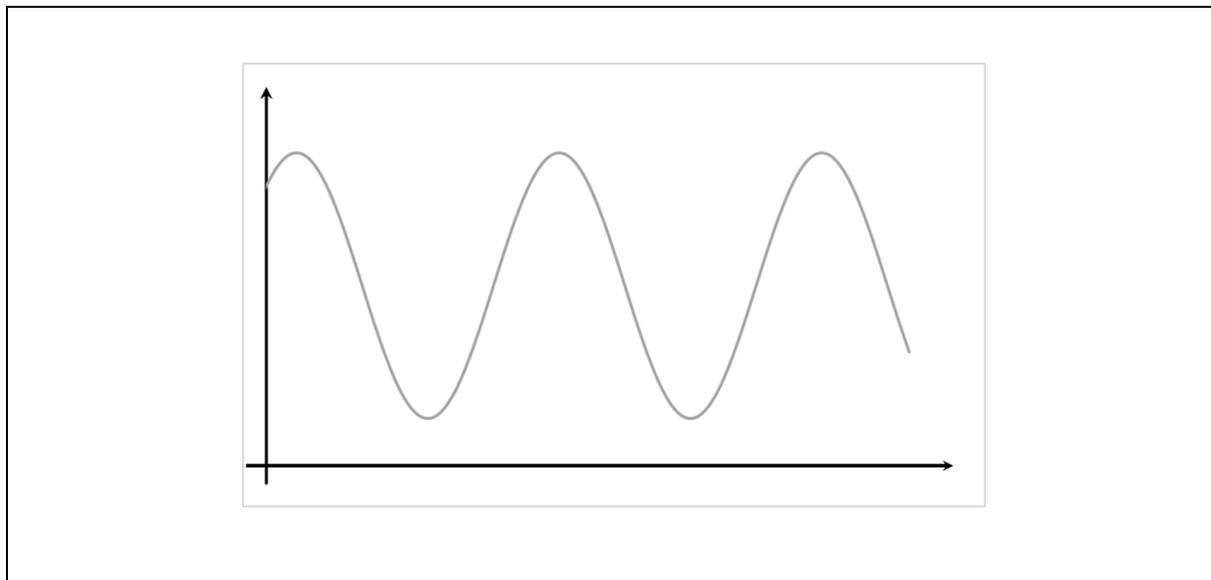
e) **Berechne** (1) die Masse an Natrium in kg und (2) das Volumen an Chlorgas in L, die bei einer Elektrolysedauer von 5 h entstehen.

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

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

Elektromagnetische Strahlung lässt sich als eine 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.

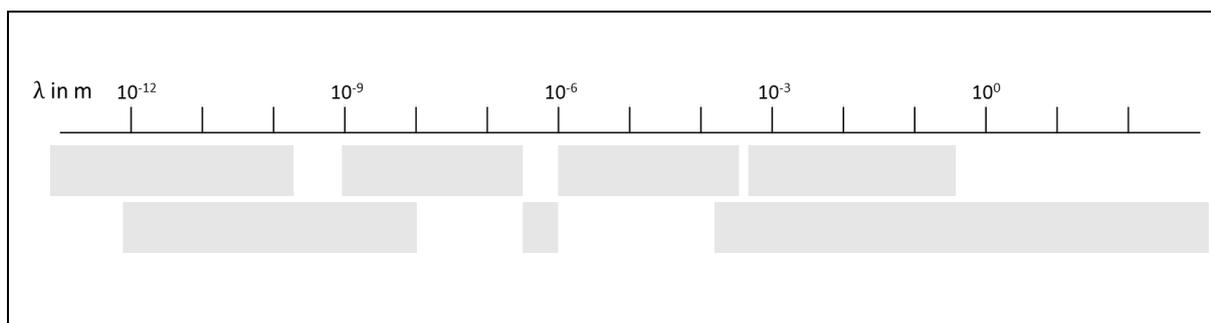


Abhängig von der jeweiligen Energie der Strahlung wird das elektromagnetische Spektrum in verschiedene Bereiche unterteilt.

- 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.



- 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
$5,55 \cdot 10^{-7}$			
		10,1	
	$2,99 \cdot 10^{14}$		

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**

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

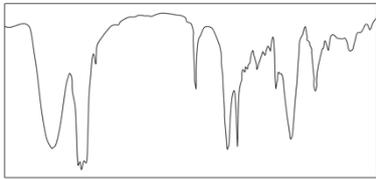
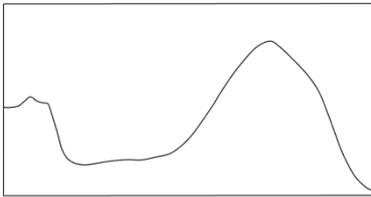
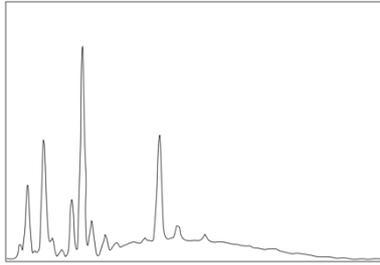
Name: _____

i.

ii.

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

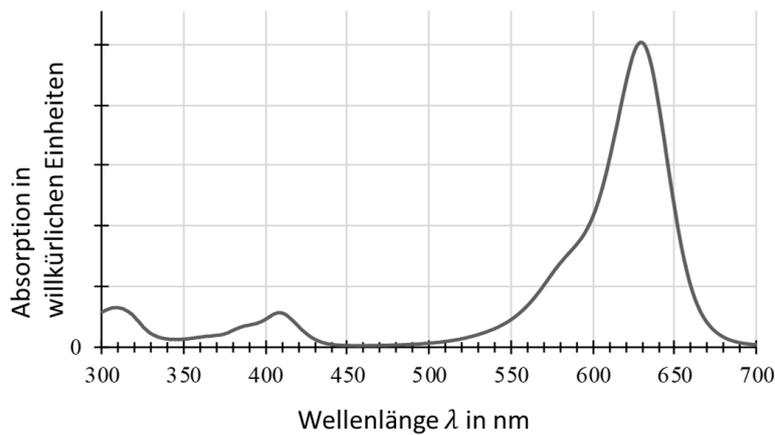
	UV/Vis	IR	XRF
Spektrum			
Anregung			
Information			

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**.

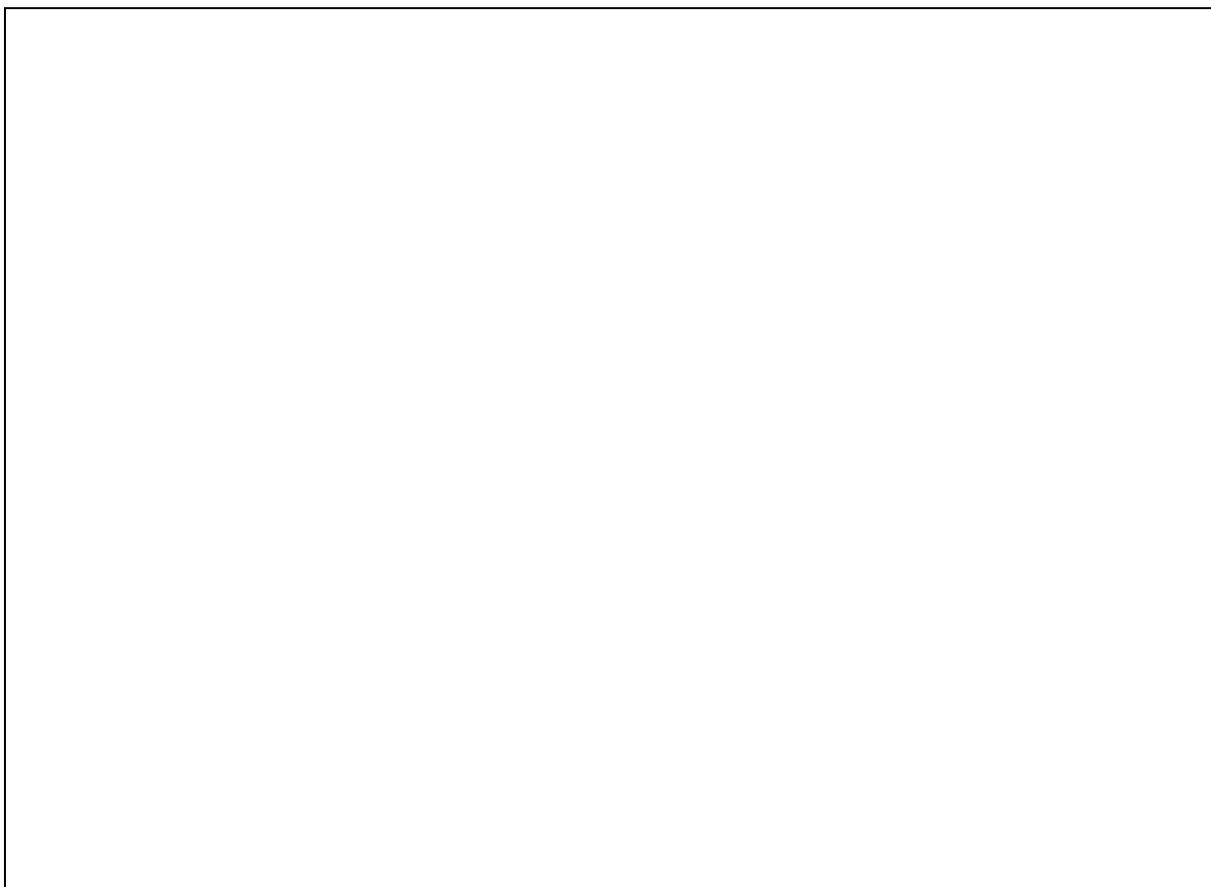
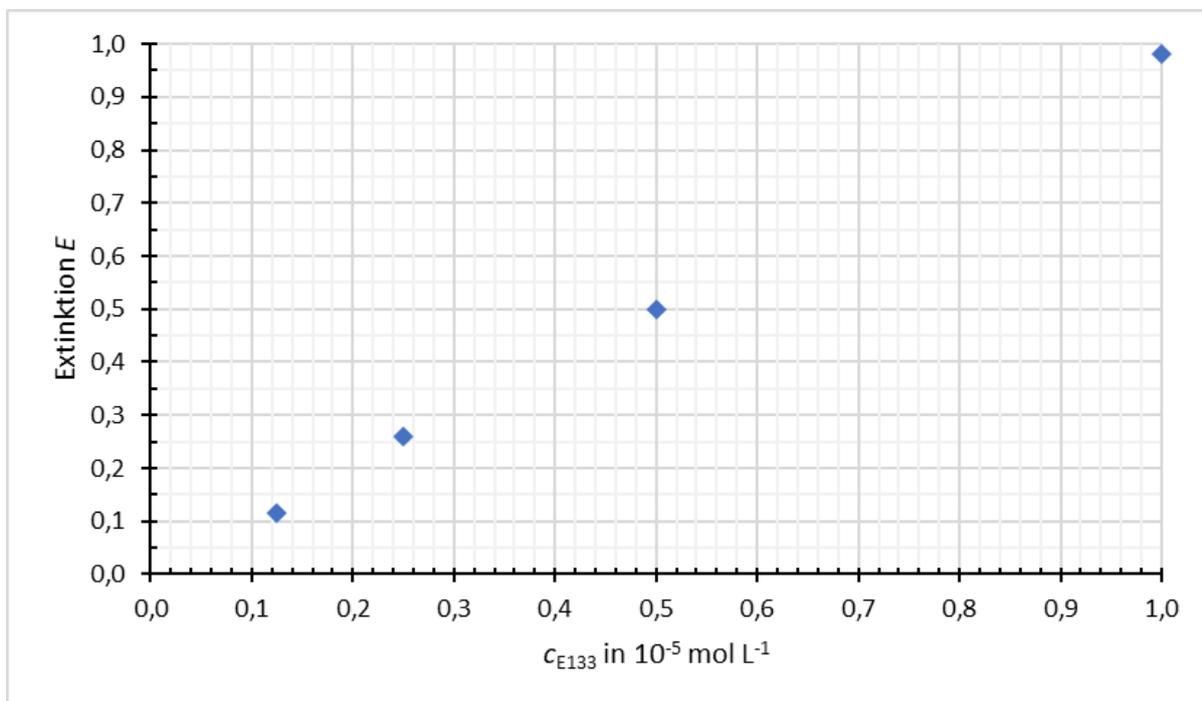
In der Abbildung ist das Absorptionsspektrum des Lebensmittelfarbstoffs E133 gezeigt.



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

<input type="checkbox"/> blau	<input type="checkbox"/> gelb	<input type="checkbox"/> orange	<input type="checkbox"/> rot	<input type="checkbox"/> violett
-------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	------------------------------	----------------------------------

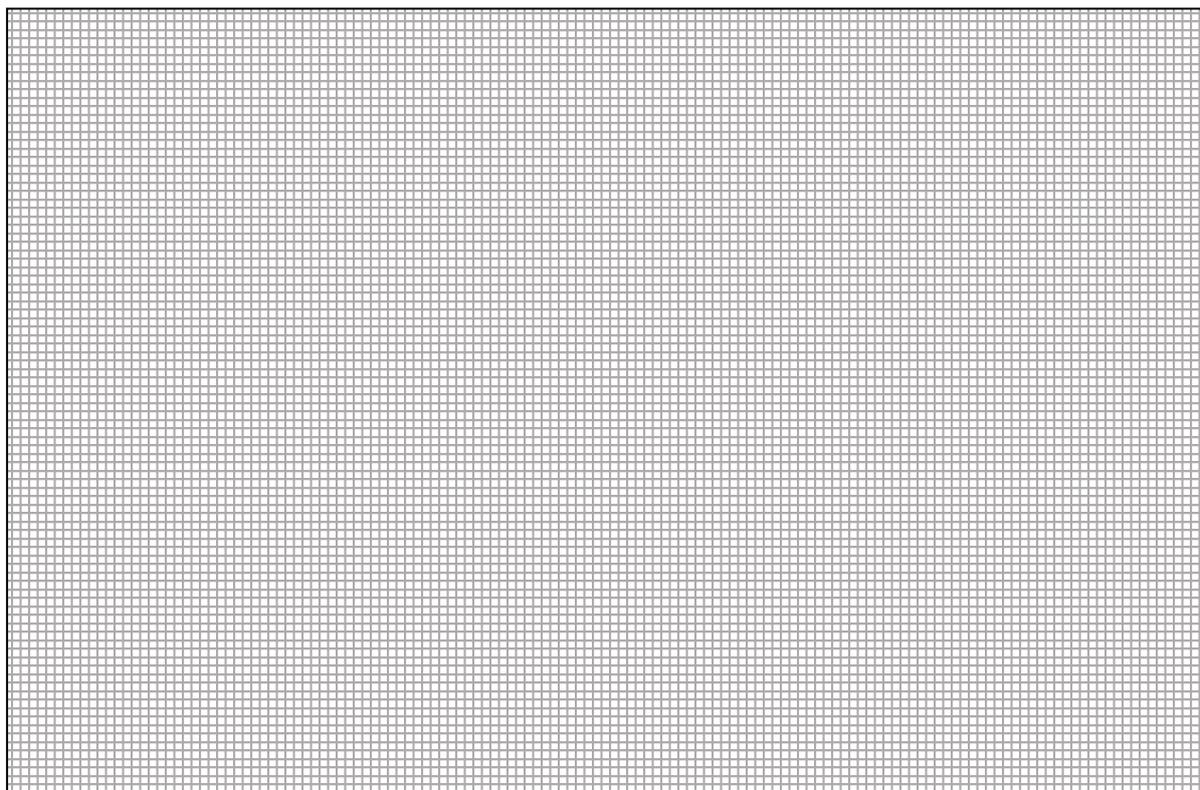
- h) **Bestimme** aus dem Diagramm den Extinktionskoeffizienten ε_λ von E133 bei den angegebenen Messbedingungen: $\lambda = 627 \text{ nm}$, Innendurchmesser Küvette: 1 cm , Lösemittel: Wasser



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}					
$\ln(c_{E133})$					



Aufgabe 2-04**Super Basic****17,5 Punkte**a) **Vervollständige** die Sätze.

i.	Im Sinne des Säure-Base-Konzepts nach Brønstedt und Lowry sind Säuren _____ und Basen _____.
ii.	Eine wässrige Lösung mit pH = 10 bezeichnet man als _____.
iii.	Eine starke Säure (z. B. Salzsäure) mit einer Konzentration von 1 mol L ⁻¹ hat einen pH-Wert von _____; eine starke Base (z. B. Natronlauge) mit einer Konzentration von 1 mol L ⁻¹ hat einen pH-Wert von _____.
iv.	Eine starke Säure hat einen _____ pKs-Wert.

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		
2		Salzsäure	
3	H ₂ SO ₄		
4		Natriumchlorid	
5	K		
6		Ammoniumchlorid	

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.

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

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

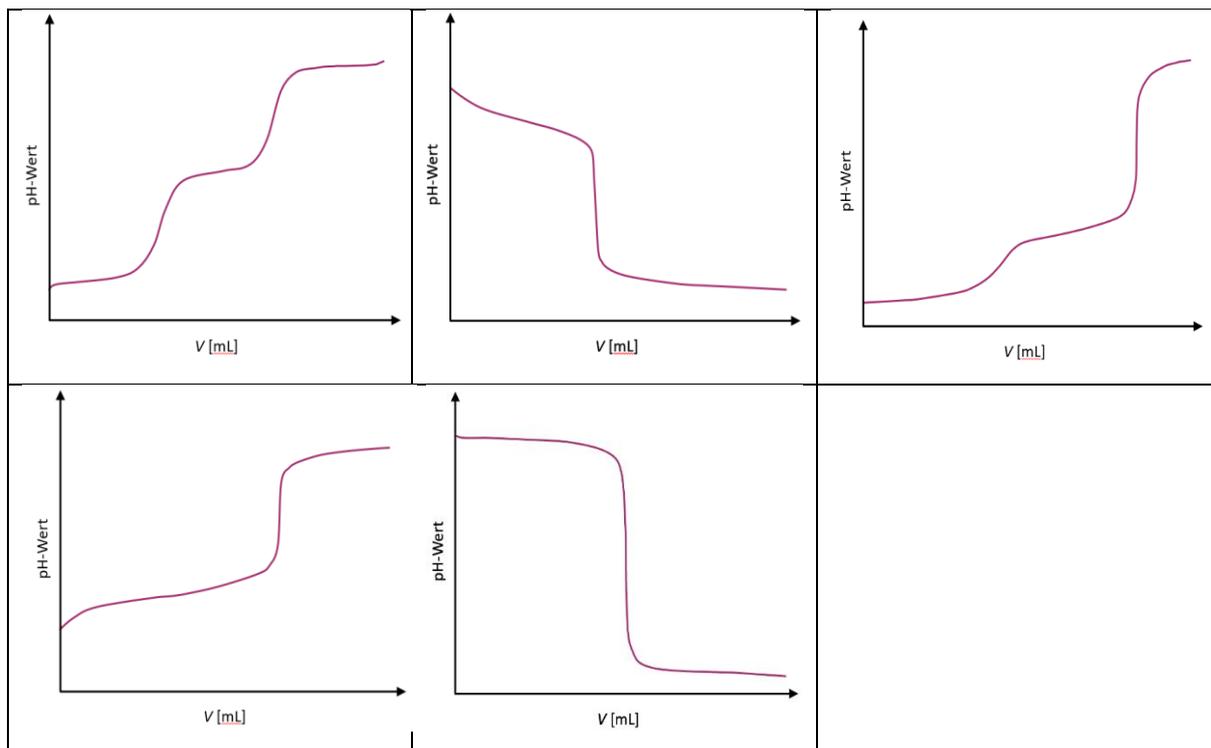
- a. NH_3
- b. NH_4^+
- c. NO_3^-

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.

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

- NaOH mit HCl (aq)
- 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.

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 %
Cu	74,7 %
Ni	25,0 %
Ti	0,09 %
Cl	0,07 %
S	0,03 %
Si	0,01 %
Fe	< 0,01 %
Ca	< 0,01 %
Rh	< 0,01 %

Wie bereits erwartet, besteht die Münze hauptsächlich aus zwei verschiedenen Metallen.

- 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.

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

- i) Sonnencreme
- ii) Leitungswasser
- iii) Messgerät
- iv) kupferhaltige Erze
- 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.

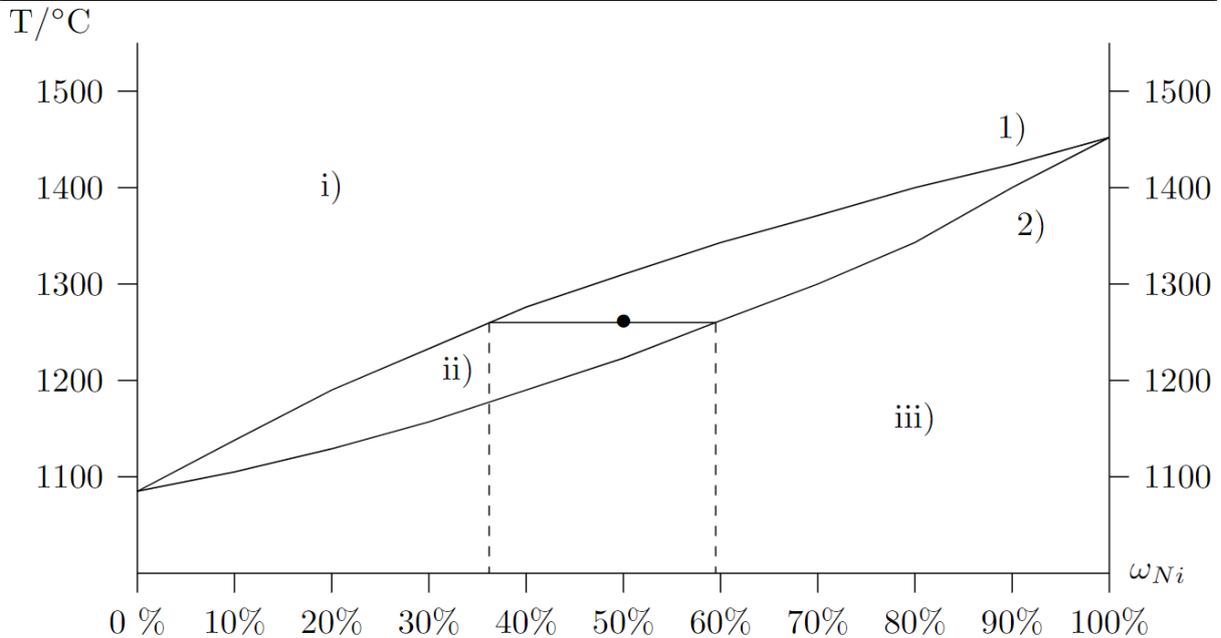
Elena hat vergessen, die Münzen nach der Behandlung abzuwaschen, und hat sie an der Luft liegen lassen. Als sie ein paar Stunden später die Münzen betrachtet, ist sie über die grüne Färbung dieser verwundert.

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

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)	
ii)	



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)

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

- 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.

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.

Zu Beginn ihrer Bestimmung wiegt sie die Münze ($m = 8,43 \text{ g}$) und löst sie anschließend vollständig in Königswasser auf. Nach Abbrauchen 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.

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

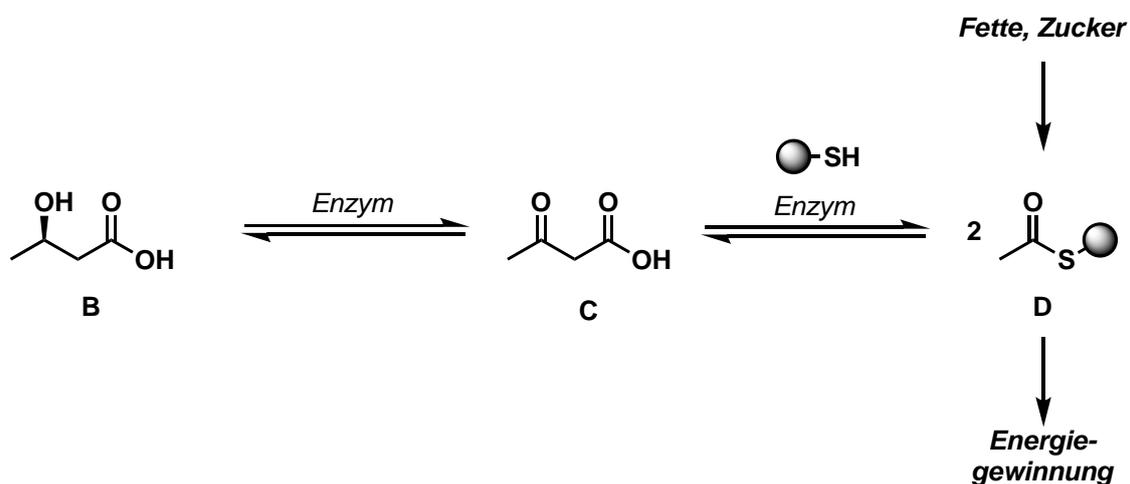
Im Leistungssport – besonders im Radsport – wird seit einigen Jahren eine erbitterte Diskussion über die Einnahme von „Ketonen“ zur Steigerung von Leistung und Regenerationsfähigkeit geführt. Von der Welt-Antidopingagentur (WADA) werden „Ketone“ nicht als Doping klassifiziert, sie sind sogar frei verkäuflich 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.

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

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**.

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

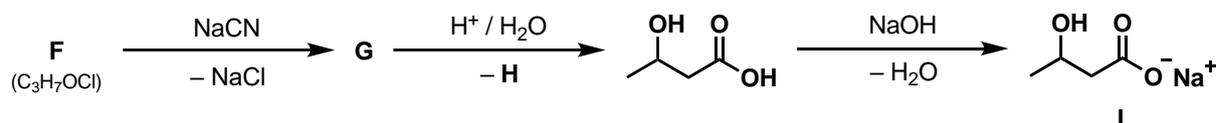
d) **Gib** die Struktur von Verbindung **A** unter Berücksichtigung der Stereochemie **an**.

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 (CO₂-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**.

F	G
H	

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

pH-Wert	1,4	3,6	5,4	7,0	9,7
	<input type="checkbox"/>				

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

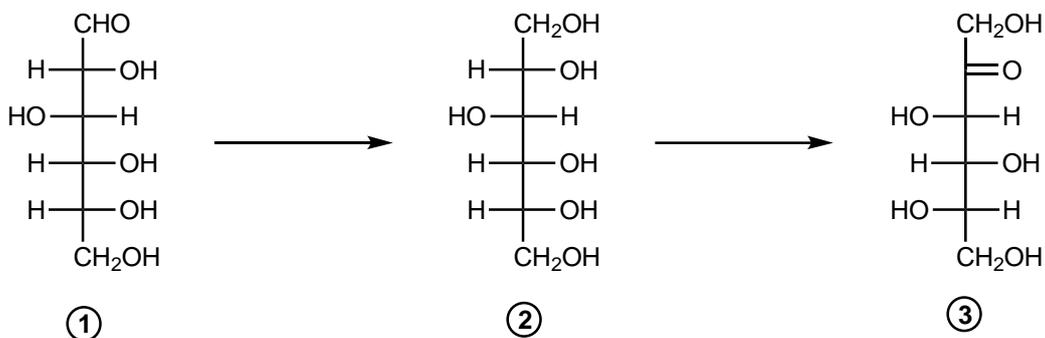
- Verbindung **J** enthält doppelt so viele Wasserstoffatome wie Kohlenstoffatome, aber nur halb so viele Sauerstoffatome. Weitere Atome sind nicht enthalten.
- Eine NMR-spektroskopische Untersuchung hat ergeben, dass Verbindung **J** genau eine $R-CH_2-CH_2-R'$ -Einheit enthält, wobei R und R' keine 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.

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.

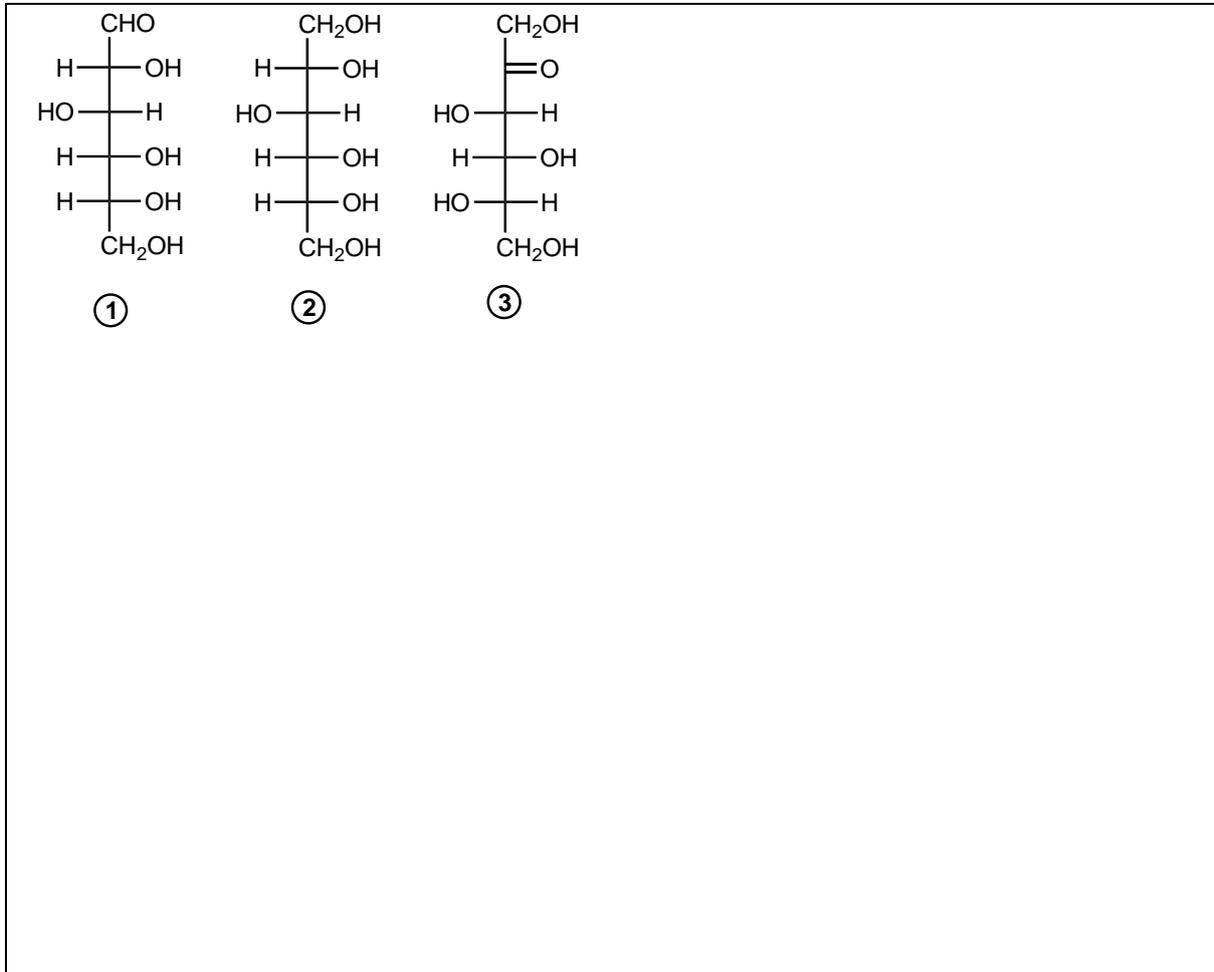
L-Sorbose	1	Aldose
D-Glucose	2	Ketose
D-Sorbit	3	Weder Aldose, noch Ketose

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

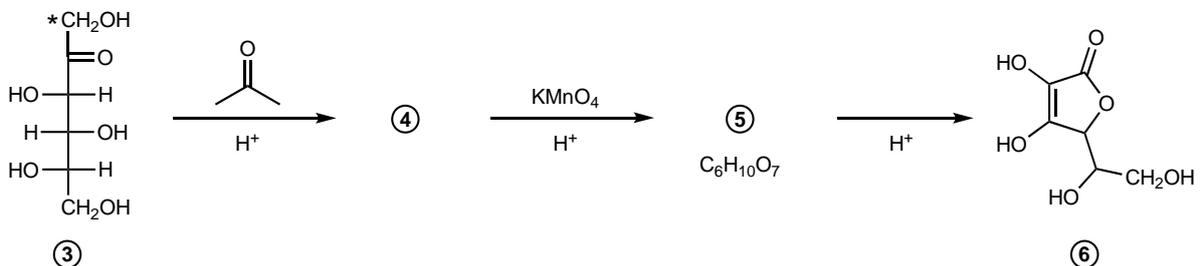
	(1) → (2)	(2) → (3)
<input type="checkbox"/>	H ₂ O ₂	H ₂ / Ni
<input type="checkbox"/>	H ₂ / Ni	KMnO ₄
<input type="checkbox"/>	H ₂ / Ni	Mikrobiologische Fermentation (Oxidation)
<input type="checkbox"/>	Mikrobiologische Fermentation (Reduktion)	KMnO ₄
<input type="checkbox"/>	konz. H ₂ SO ₄	O ₂ / Pt

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**.

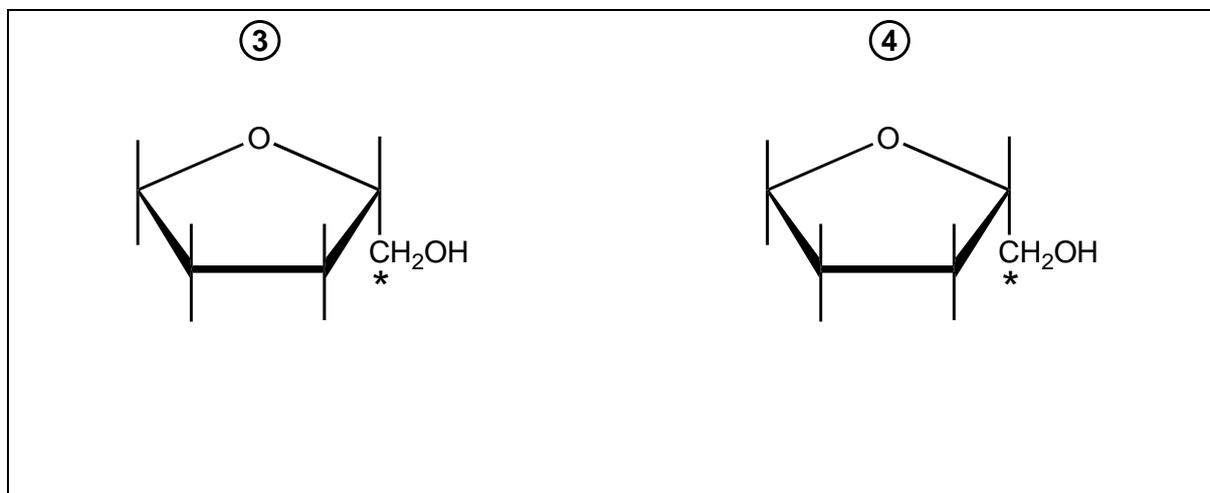


Verbindung (3) wird anschließend gemäß folgendem Schema zu Ascorbinsäure (6) umgesetzt.

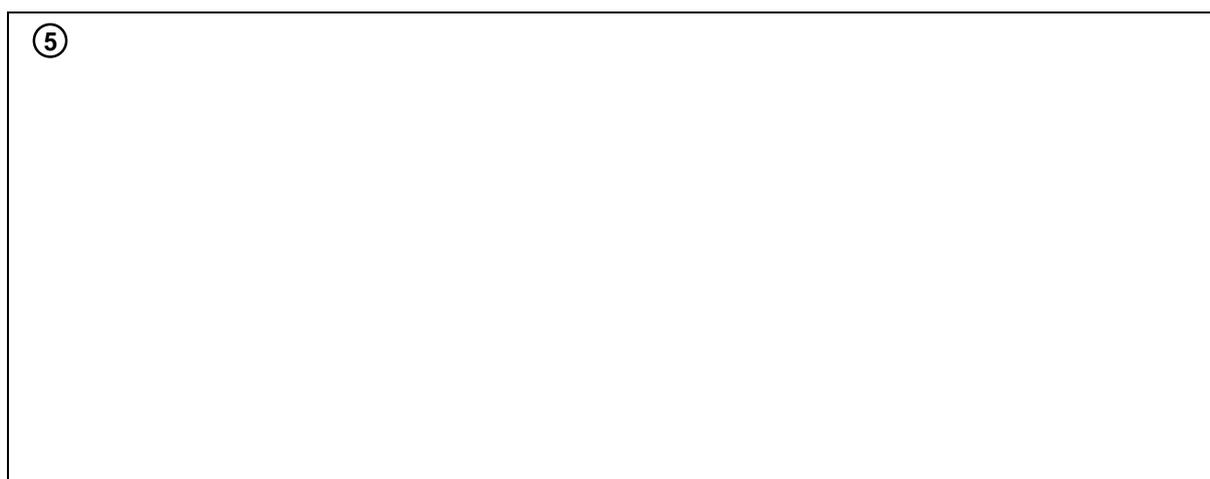


Zunächst wird dabei (3) mit Aceton unter sauren Bedingungen zu (4) umgesetzt, um vier Hydroxygruppen vor der anschließenden Oxidation mit Kaliumpermanganat zu schützen.

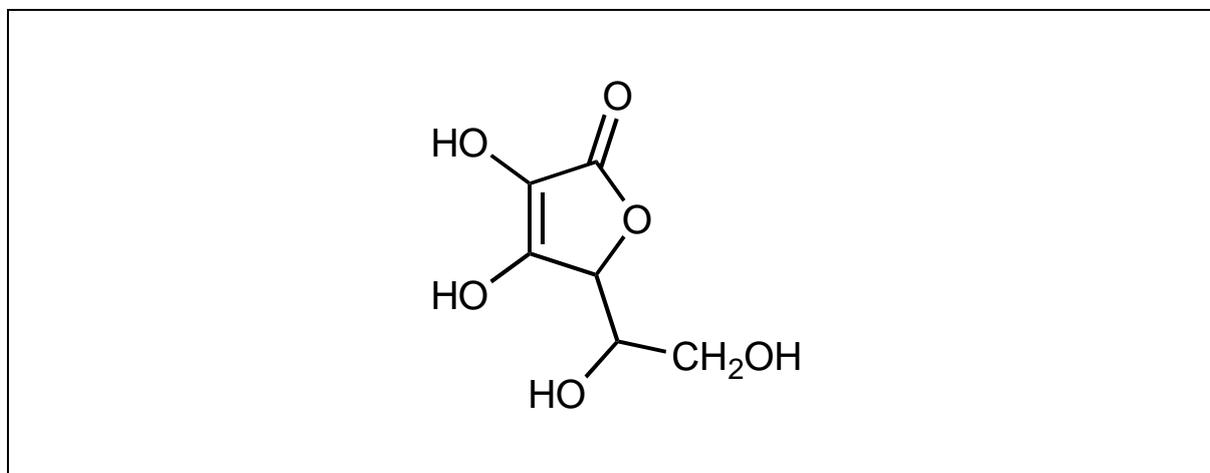
- d) **Zeichne** die Haworth-Projektionsformeln der Furanose-Formen der Verbindungen (3) und (4), indem du die gegebenen Zeichnungen vervollständigst. Hinweis: Das in der Vorlage mit einem * markierte Atom ist auch in obenstehender Abbildung mit einem * markiert.



- 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.



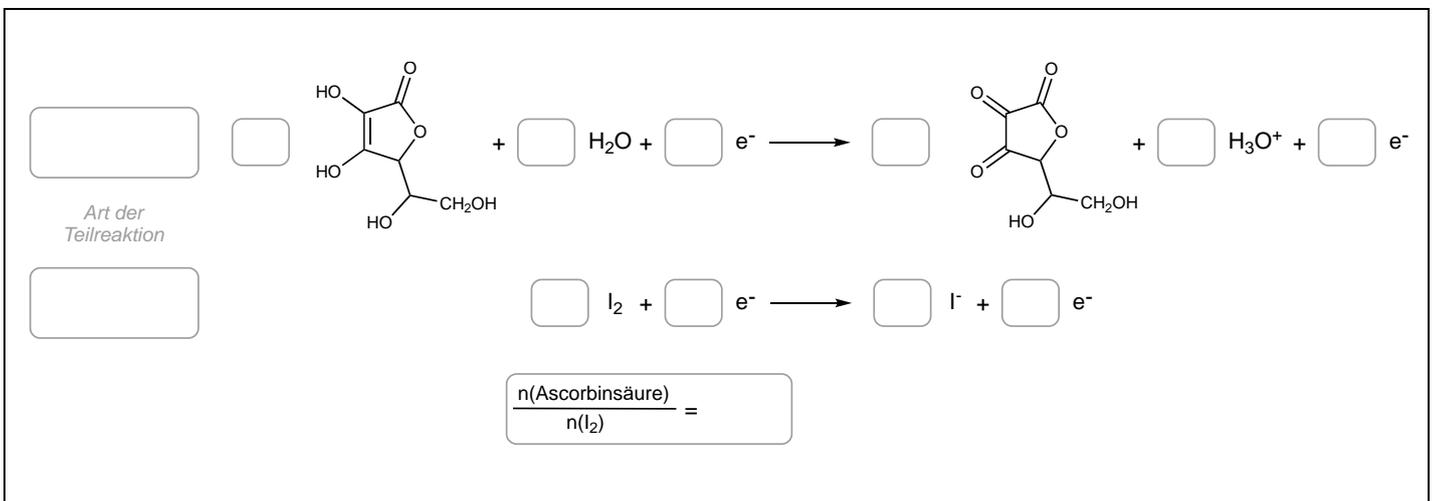
Zufällig findest du noch alte Vitamin-C-Brausetabletten, deren Verpackung jedoch verloren gegangen ist, sodass du den Ascorbinsäuregehalt selbst bestimmen musst. Dazu löst du eine Tablette in Wasser und gibst etwas verdünnte Schwefelsäure, einen Überschuss Iod ($n_0(I_2) = 20,22 \text{ mmol}$), etwas 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**.

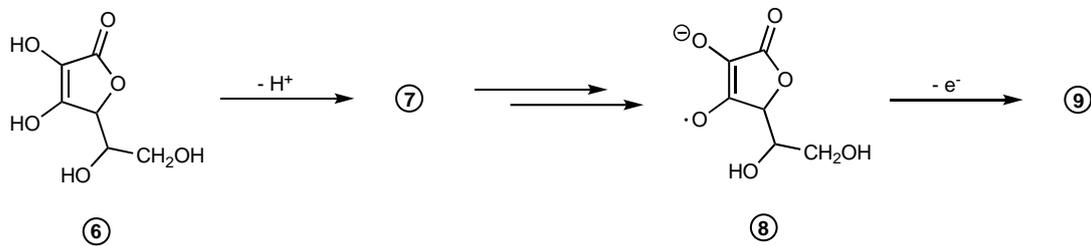
iii. **Gib an**, in welchem Stoffmengenverhältnis Ascorbinsäure und Iod reagieren.



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

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

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 Rektionen zum resonanzstabilisierten Radikal (8), das schließlich zur stabilen Verbindung (9) reagiert.



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

(7)	(9)
-----	-----

- k) **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.

