

HALBFINALE - Textaufgaben

Liebe SchülerInnen,

Wir gratulieren Euch zur Teilnahme an der Chemieolympiade und wünschen Euch viel Erfolg in dieser zweiten Prüfung. Wir gratulieren Euch ebenfalls, dass Ihr die erste Prüfung erfolgreich abgeschlossen habt, was Euch erlaubt am Halbfinale „Textaufgaben“ teilzunehmen. **Lest vor dem Test, die folgenden Erklärungen aufmerksam durch!**

Ihr findet in diesem Test vier Textaufgaben welche folgenden Bereiche der Chemie behandeln: Allgemeine Chemie, Stöchiometrie, pH-Wert, Redoxreaktionen und die organische Chemie.

Ihr habt **zwei Stunden** Zeit zur Bearbeitung der Fragen. Ihr dürft einen nicht programmierbaren Taschenrechner benutzen, aber ihr dürft keine persönlichen Dokumente verwenden.

Schreibt Euren Namen und den Namen eures Lycées jeweils an den Anfang jeder Frage. Antwortet auf jede Textaufgabe auf das Blatt (Vorder- und Rückseite, falls notwendig) wo sich die Fragen befinden. **Der Rechenweg und Eure Überlegungen müssen klar ersichtlich sein. Begründet Eure Antworten und gebt die Einheiten der Endergebnisse an.** Das letzte Blatt des Fragebogens ist ein Blatt zur Vorbereitung Eurer Antworten. Dieses Blatt wird nicht gewertet. Trennt die beiden ersten Seiten von Test ab und bewahrt sie auf.

Im Zuge dieser Halbfinale werden die 12 besten Schüler ermittelt, welche an der letzten, praktischen Prüfung teilnehmen dürfen. Diese findet **Samstag, den 30. April 2022 im Labor der Universität de Luxembourg (Standort Limpertsberg)** statt. In der letzten Runde werden die vier Gewinner der nationalen Chemieolympiade bestimmt, welche das luxemburgische Team für die 54te IChO bilden werden, welche vom 10. bis zum 20. Juli 2022 stattfinden wird. Weitere Information findet Ihr auf <https://chimie.olympiades.lu/>.

Die Resultate dieser zweiten Prüfung werden zur Ermittlung der vier Finalisten mit herangezogen!!!

Viel Erfolg!

Die Organisatoren der Chemieolympiade

Trennen Sie diese Seite ab und bewahren Sie sie auf!



NAME : _____

Vorname : _____

Lycée : _____

Aufgabe I: Phosphorverbindungen

1a	1b	1c	1d	1e	1f	1g	Summe Aufgabe I
1	2	3	5	3	1	3	18

Phosphorsäure wird in der anorganischen und in der organischen Chemie häufig verwendet, aber auch in der Lebensmittelindustrie. Hier ist sie zum Beispiel in Cola zu finden.

Phosphorsäure ist eine dreiwertige Säure, welche folgende Säurekonstanten aufweist:

$$pK_{S_1} = 2,16; \quad pK_{S_2} = 7,21; \quad pK_{S_3} = 12,3;$$

- a) Stellen Sie die Gleichung der ersten Protolyse für Phosphorsäure auf:

- b) Berechnen Sie den pH-Wert einer 0,05 M H_3PO_4 Lösung.

- c) Berechnen Sie den pH-Wert einer Lösung von 100 mL, die 13,61 g KH_2PO_4 und 17,42 g K_2HPO_4 enthält.



- d) Berechnen Sie das Volumen an HCl 0,5 M, das man Lösung A hinzufügen müsste, um eine Lösung mit $\text{pH} = 7,12$ zu erhalten.

Das Element Phosphor kommt in vielen anorganischen Stoffen vor, welche wiederum sehr unterschiedliche Strukturen aufweisen können.

- e) Geben Sie die räumliche Struktur der folgenden Stoffe an.

P_4	PCl_3	PCl_5



In Gasphase zersetzt sich Phosphorpentachlorid zu Phosphortrichlorid und zu Chlor. Dabei handelt es sich um ein chemisches Gleichgewicht mit der einer Gleichgewichtskonstante $K = 3,25$.

Für eine Mol PCl_5 gilt: $\Delta_{\text{R}}H_{\text{T}}^0 = 72,2 \text{ kJ}$ und $\Delta_{\text{R}}S_{\text{T}}^0 = 143 \text{ J/K}$

- f) Formulieren Sie die Reaktionsgleichung der Zersetzung von Phosphorpentachlorid. Geben Sie die Aggregatzustände aller Stoffe in der Gleichung an.

- g) Bestimmen Sie rechnerisch die Temperatur, bei der die Zersetzung von Phosphorpen-
tachlorid spontan abläuft.





NAME : _____

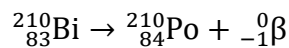
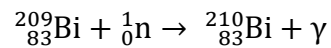
Vorname : _____

Lycée : _____

Aufgabe II: Polonium

2a	2b	2c	2d	2e	2f	2g	Summe Aufgabe II
2	1	3	5	4	1	5	21

Polonium ist ein radioaktives Element der Gruppe VI, welches 1898 durch Marie Curie entdeckt wurde. Man findet das Element in Kleinstmengen in manchen Mineralien, allerdings wird Polonium heutzutage überwiegend durch Neutronenstrahlung von $^{209}_{83}\text{Bi}$ gewonnen. Aus diesem wird dann $^{210}_{83}\text{Bi}$ gebildet, welches eine kurze Lebensdauer hat und in Polonium zerfällt, unter Aussendung eines β^- Teilchens (Elektron):



Polonium-210 hat eine Halbwertszeit von 138 Tagen und zerfällt durch Aussenden eines Alpha-Teilchens (He^{2+}).

- a) Geben Sie die vollständige Elektronenkonfiguration von Polonium an.

- b) Geben Sie das chemische Symbol des Nuklids an, das beim Zerfall von Polonium-210 gebildet wird.

Wegen seiner sehr kurzen Halbwertszeit und der Impedanz der ausgesandten Alpha-Teilchen, sind metallisches Polonium und seine Verbindungen selbsterhitzend; 1 g Metall erzeugt 141 W. Aus diesem Grund wird Polonium in Radioisotop-Heizeinheiten (radioisotope heater units, RHU) eingesetzt, um Satelliten im Weltraum warm und funktionstüchtig zu halten, und in Radioisotop-Thermogeneratoren (radioisotope thermal generators, RTG) um Strom zu erzeugen. Neuerdings wird Plutonium-238 anstelle von Polonium verwendet. ^{238}Pu hat eine viel längere Halbwertszeit, allerdings wird auch weniger Energie frei ($0,56 \text{ W} \cdot \text{g}^{-1}$).

- c) Berechnen Sie die Leistung (in $\text{W} \cdot \text{g}^{-1}$) welche Polonium-210 nach einem Jahr noch erbringt.



- f) Bestimmen Sie die Anzahl an Polonium-Atomen, welche sich in einer Elementarzelle befinden.

- g) Berechnen Sie den Atomradius von Polonium-210 in Picometer, unter der Annahme, dass die Dichte $9,142 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ beträgt.





NAME : _____

Vorname : _____

Lycée : _____

Aufgabe III: Infrarotspektroskopie und Ascorbinsäure

3a	3b	3c	3c	Summe Aufgabe III
5	2	2	10	19

Die Infrarotspektroskopie (IR) beruht auf der Eigenschaft, dass die meisten Moleküle Licht aus dem infraroten Bereich der elektromagnetischen Strahlung absorbieren und die aufgenommene Energie in innermolekulare Bewegungen umwandeln. Die absorbierten Wellenlängen entsprechen präzisen funktionellen Gruppen in den Molekülen. Mit einem Spektrometer lässt sich die Absorption der Probe im Infrarot-Bereich in Funktion der Wellenlänge bestimmen, typische Werte der Wellenzahl liegen zwischen 4000 und 600 cm^{-1} . Die Wellenzahl entspricht der Anzahl der Wellen in 1 cm . Bei einer Wellenlänge von $\lambda = 5\text{ Mikrometer}$ beträgt die Wellenzahl $1/0,0005\text{ cm} = 2000\text{ cm}^{-1}$.

Im infraroten Spektrum wird der Anteil (in %) des infraroten Lichts gemessen, welcher die Probe durchquert hat in Funktion der Anzahl der Wellen an benutztem IR-Licht. Dieser Prozentsatz ist, im Allgemeinen, nahe an 100% – außer, wenn die Strahlung durch eine funktionelle Gruppe in der Probe absorbiert wird. Dies ist dann als Absorptionssignal im Spektrum sichtbar.

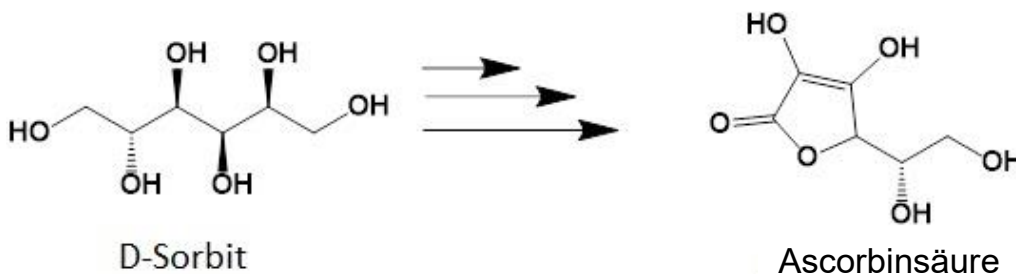
In folgender Tabelle sind die Wellenzahlen angegeben bei denen verschiedene chemische Bindungen das IR Licht absorbieren.

Bindung	Wellenlänge (cm^{-1})	Form der Absorptionsband
O – H Alkohol	3200 – 3700	stark, breit
O – H Carbonsäure	2500 – 3200	stark bis mittel, breit
C – H	2800 – 3100	stark oder mittel
C = O	1650 – 1740	stark

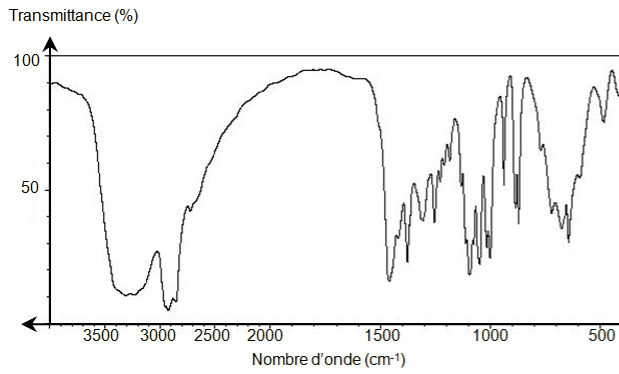
Industrielle Synthese von Ascorbinsäure

Ascorbinsäure ($M = 176\text{ g/mol}$), auch als Vitamin C bezeichnet, ist wesentlich für den Menschen und für viele Tierarten. Ein Mangel verursacht das Auftreten schmerzhafter Zahnfleisch- und Gelenkschwellungen, Knochenläsionen und Blutungen – eine Erkrankung, die unter dem Namen Skorbut bekannt ist.

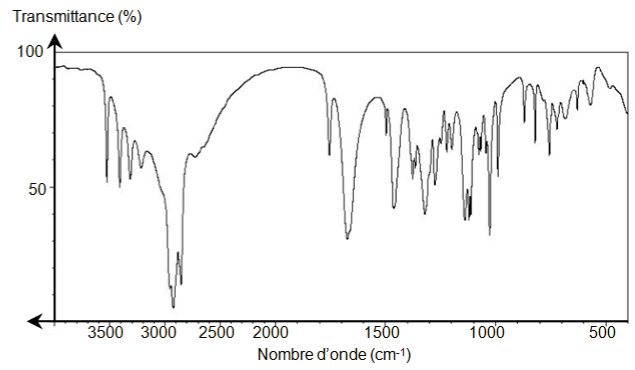
Die Synthese erfolgt ausgehend von Sorbit. Die Synthese nach Reichstein erfolgt in mehreren Stufen; ein vereinfachtes Reaktionsschema ist hier beschrieben.



a) Die Kontrolle des Syntheseverlaufs kann mittels IR Spektroskopie erfolgen. Ordnen Sie die beiden Spektren A und B den Molekülen D-Sorbit und Ascorbinsäure zu. Begründen Sie Ihre Antwort!



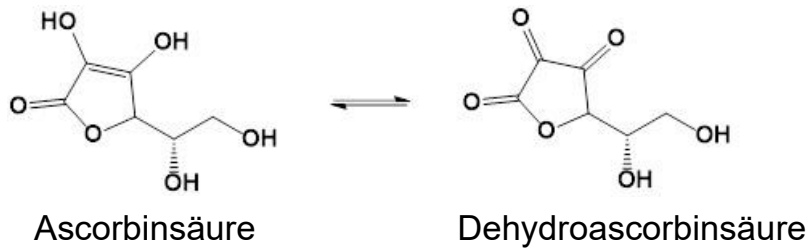
Spektrum A



Spektrum B

Empty box for student response.

Ascorbinsäure ist eine mehrwertige Säure ($pK_{S_1} = 4,2$ und $pK_{S_2} = 11,6$) aber ebenso das Reduktionsmittel des Redox-Paares $C_6H_6O_6 / C_6H_8O_6$ (0,166 V).



Eine Vitamintablette von 3,0 g enthält, unter anderem, Ascorbinsäure. Zur Bestimmung der Vitamin C Konzentration wird die Tablette vollständig in einer kleinen Menge destilliertem Wasser gelöst, anschließend quantitativ in einen Messkolben überführt und auf 100,0 mL aufgefüllt. Mit einer Vollpipette werden 10,0 mL dieser Lösung entnommen. Zu der Probe werden 20,0 mL einer Iod-Lösung ($c = 0,1 \text{ mol/L}$) hinzugegeben. Wir nehmen weiterhin an, dass Ascorbinsäure der einzige Stoff in der Probe ist, der mit Iod reagiert.

Der Überschuss an Iod wird mit einer Thiosulfat-Lösung ($c = 0,1 \text{ mol/L}$) in Gegenwart einiger Tropfen Stärke titriert. Der Äquivalenzpunkt ist erreicht, wenn die blaue Farbe verschwindet. Dies erfolgt nach Zugabe von 12,9 mL Thiosulfat-Lösung.

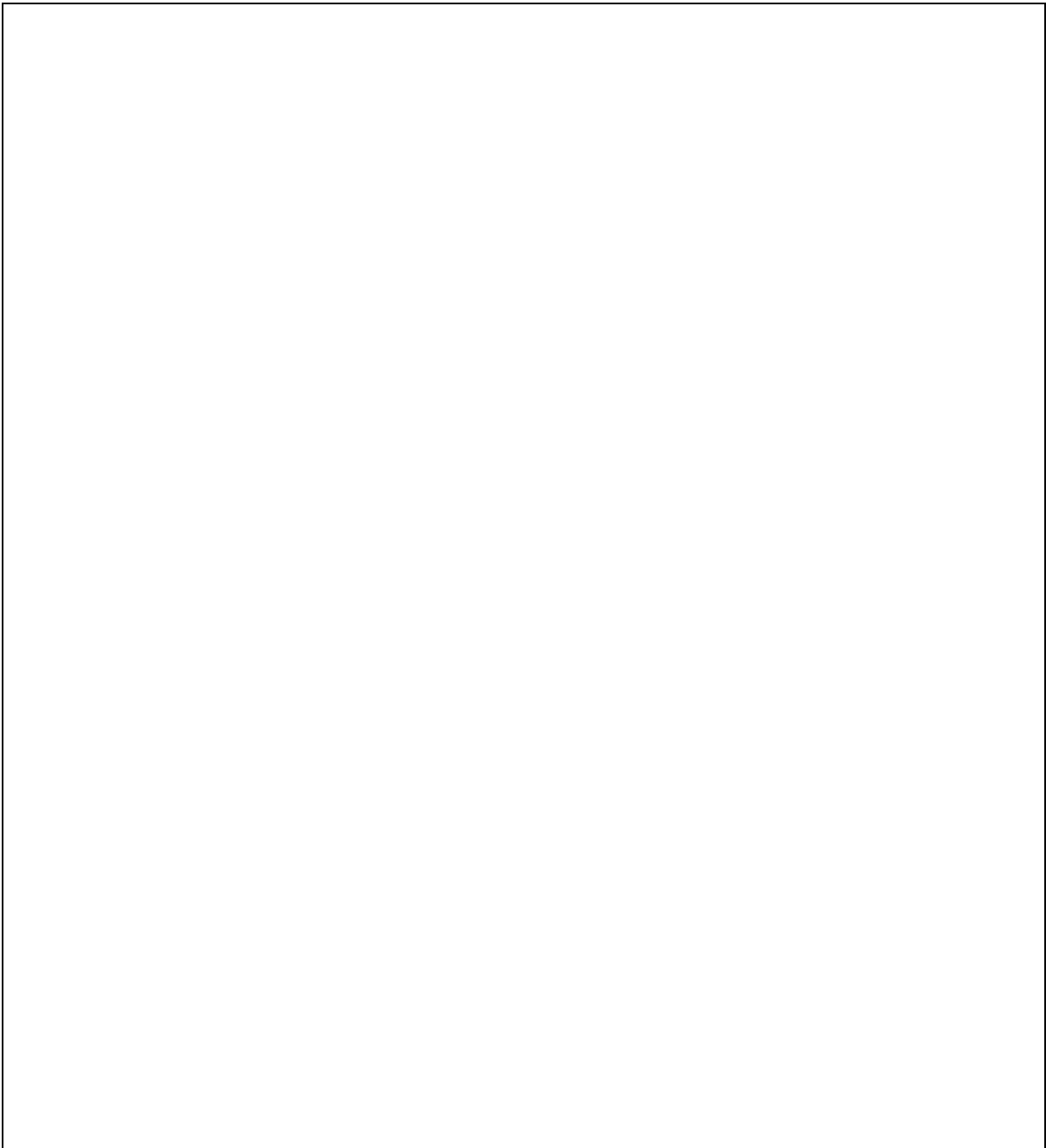
$$I_2 / I^- : 0,53 \text{ V}$$

$$S_4O_6^{2-} / S_2O_3^{2-} : 0,09 \text{ V}$$

b) Formulieren Sie die Gleichung der Redoxreaktion von Ascorbinsäure mit Iod.

c) Formulieren Sie die Gleichung der Redoxreaktion von Iod mit Thiosulfat.

d) Berechnen Sie den Massenanteil in Prozent der Ascorbinsäure in einer Tablette.





NAME : _____

Vorname : _____

Lycée : _____

Aufgabe IV: Struktur organischer Verbindungen

4a	4b	4c	Summe Aufgabe IV
5	11	6	22

Carotinoide sind fettlösliche Pigmente von gelber bis rötlicher Farbe. Sie kommen natürlich in bestimmten Lebensmitteln wie Karotten, Mais, Pfifferlingen oder Lachs vor. Es wird empfohlen Lebensmitteln zu essen, die reich an Carotinoiden sind, da Carotinoide zur Klasse der Provitamin A Moleküle gehören, d.h. es sind Moleküle, die vom menschlichen Körper zu Vitamin A, auch Retinol genannt, verstoffwechselt werden. Retinol ist besonders am Knochenwachstum beteiligt und ist ein Antioxidans, welches das Krebsrisiko senkt.

Carotinoide	molare Masse (g/mol)	$\epsilon_{i,444}$ (L.mol ⁻¹ .cm ⁻¹)
Echinenon	550,86	2158
Canthaxanthin	562,84	2200
Zeaxanthin	568,89	2348
β -Kryptoxanthin	552,85	2386
α -Carotin	536,87	2805



Es gibt verschiedene analytische Methoden, die Carotinoide zu bestimmen. Drei Methoden werden in der Folge vorgestellt. Bestimmen Sie die Carotinoide in folgenden Aufgaben anhand der obigen Tabelle.

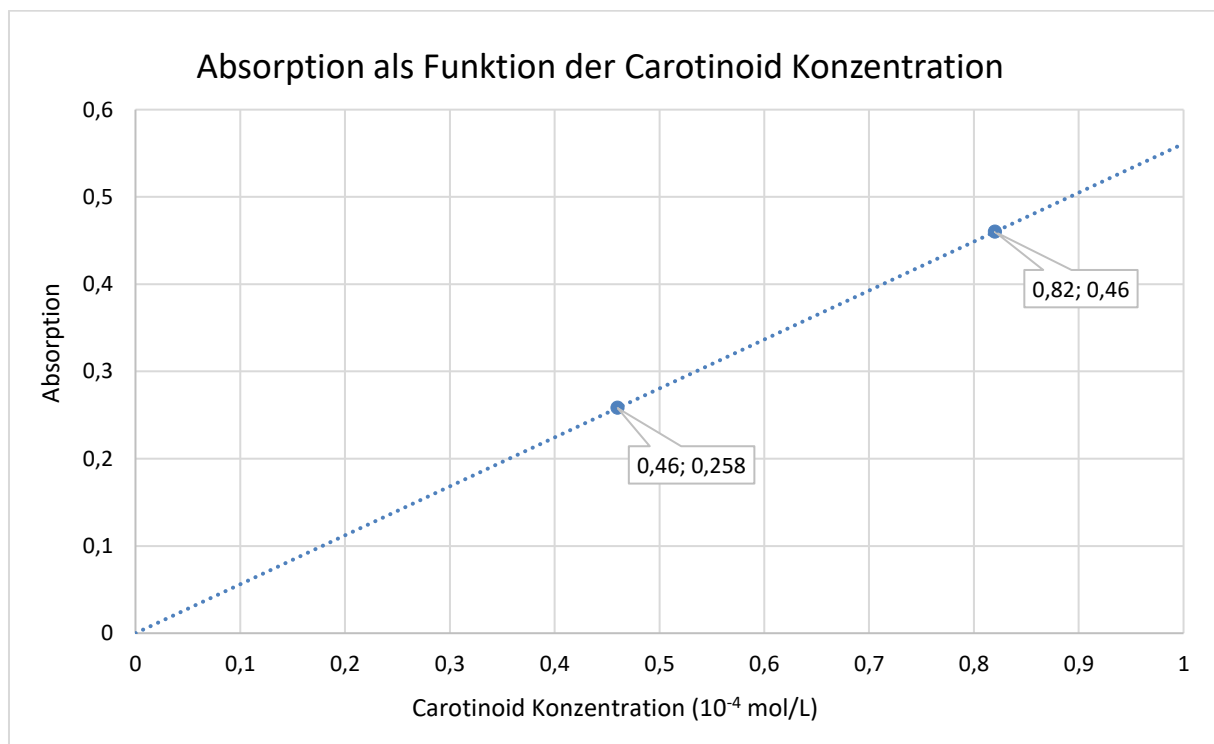
Die Absorption A ist die Fähigkeit einer Lösung, einen Lichtstrahl einer genauen Wellenlänge zu absorbieren. Die Absorption hängt von 3 Faktoren ab: dem Extinktionskoeffizient ($\epsilon_{i,\lambda}$, eine stoffspezifische Größe einer Substanz bei einer bestimmten Wellenlänge), der Strecke durch die Lösung (L) und der Konzentration der Substanz in der Lösung ($[i]$).

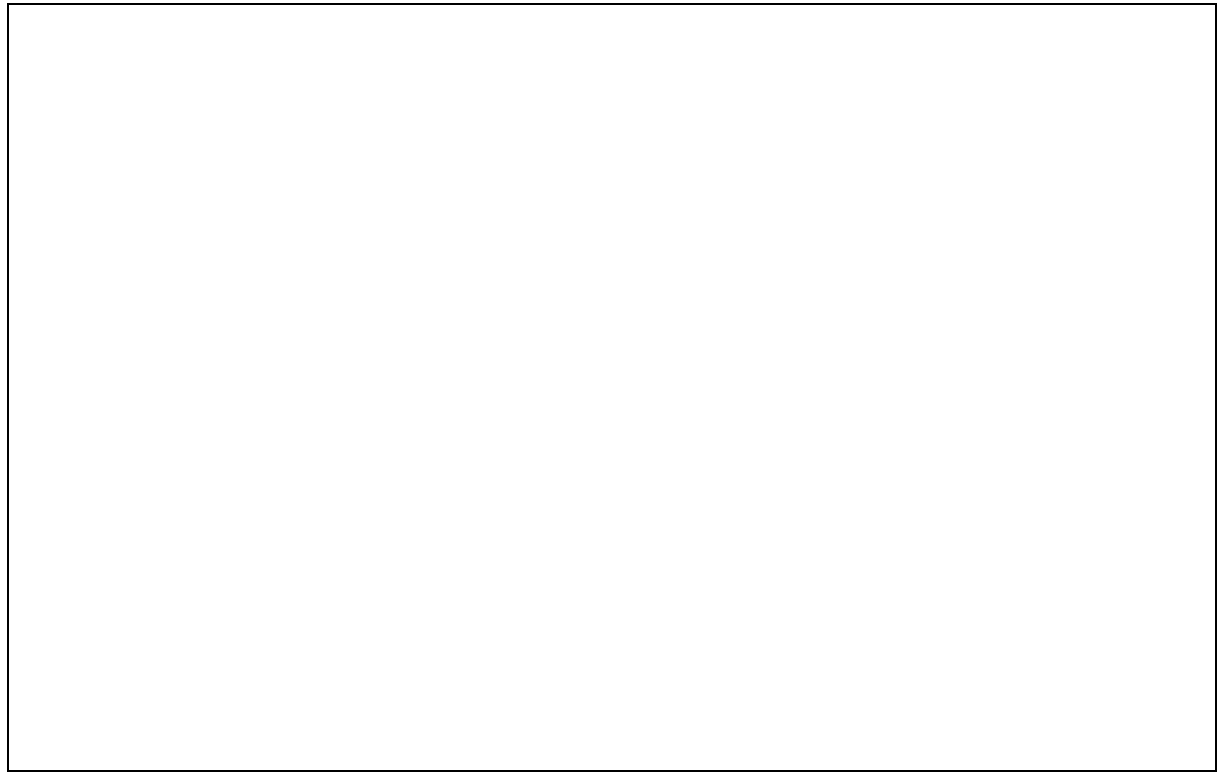
$$A = \epsilon_{i,\lambda} \cdot L \cdot [i]$$

Es ist möglich die Konzentration einer Substanz zu bestimmen, indem man die Absorption bei einer Wellenlänge bestimmt. Allerdings muss man den Extinktionskoeffizient der Probe bei dieser Wellenlänge kennen, was nicht trivial ist.

Eine Alternative zur Berechnung der Konzentration besteht darin, eine Eichgerade zu verwenden. Hierzu wird die Absorption von Lösungen bekannter Konzentrationen des zu bestimmenden Carotinoides gemessen. Anschließend kann die unbekannte Konzentration, der zu bestimmenden Probe durch Einsetzen der Absorption der Probe in die Gleichung der Eichgerade berechnet werden.

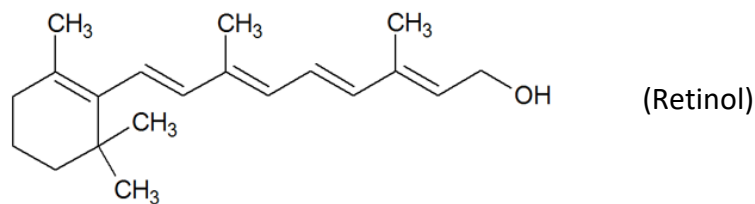
- a) Bestimmen Sie, welches Carotinoid im Kürbis enthalten ist, wenn die Absorption bei einer Wellenlänge 444 nm 0,316 beträgt, bei einer Strecke von 2,0 cm durch die Probe. Verwenden Sie hierzu untenstehendes Diagramm. Erläutern Sie ihre Überlegungen anhand von Rechnungen.



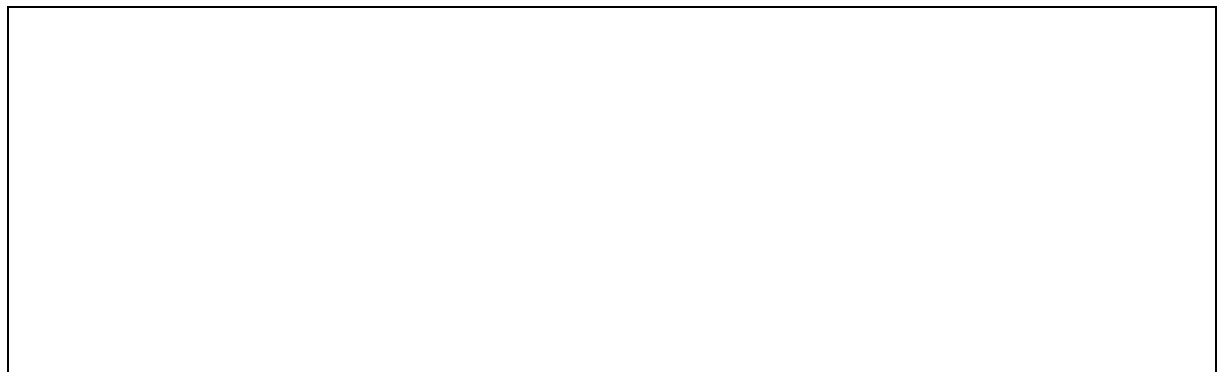


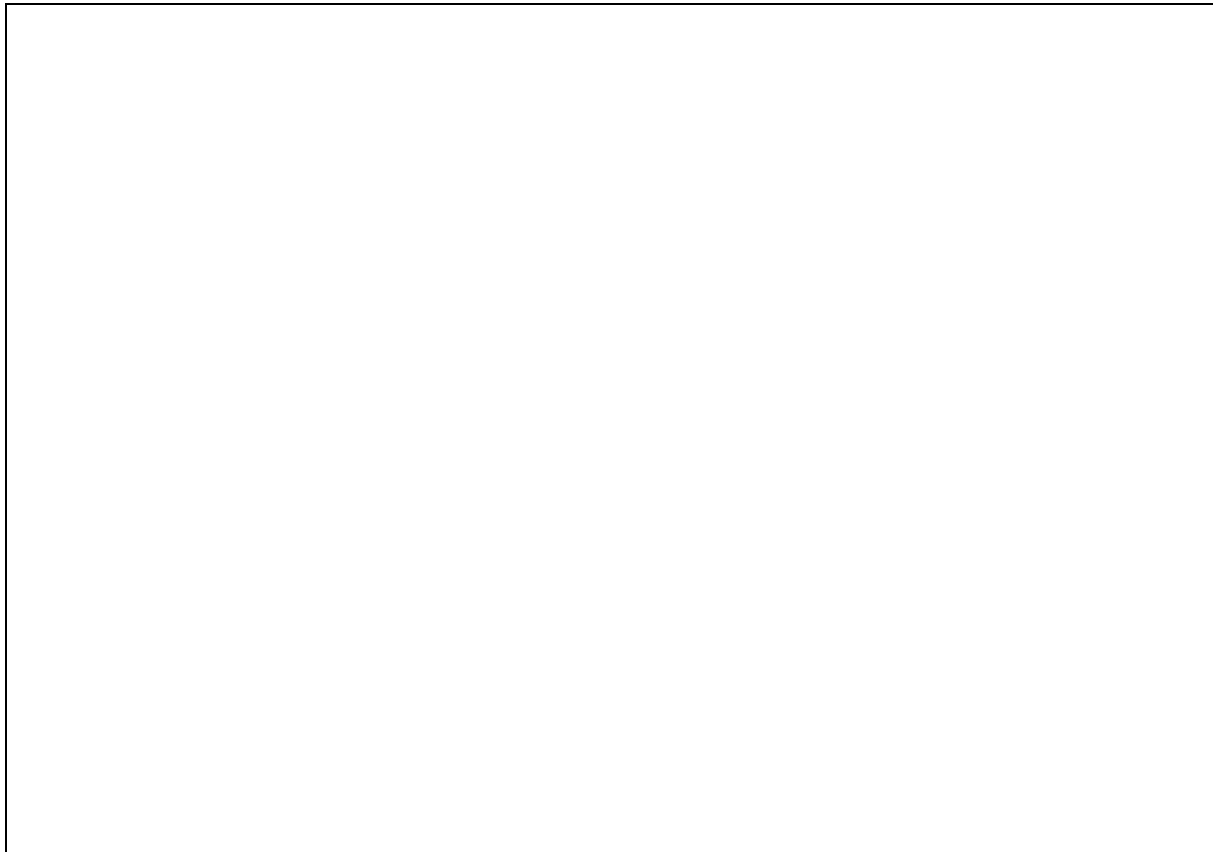
Durch den Stoffwechsel von Carotinoiden werden 2 Äquivalente Vitamin A, auch Retinol genannt, erzeugt. Retinol hat ein saures Proton, welches mit einer Base titriert werden kann. Hierzu werden 50,0 mL einer Lösung A, welche Retinol enthält, entnommen und werden in einem Erlenmeyer mit 100,0 mL demineralisiertem Wasser verdünnt und mit Phenolphthalein als Farbindikator versetzt.

Während der allmählichen Zugabe von NaOH wird eine Farbänderung von Phenolphthalein nach einer Zugabe von 48,2 mL beobachtet. Die Lauge wurde zuvor kalibriert durch eine Titration mit Oxalsäure; für 278,1 mg Oxalsäure $H_2C_2O_4$ (zweiwertige Säure) wurden 47,8 mL Natronlauge verbraucht.

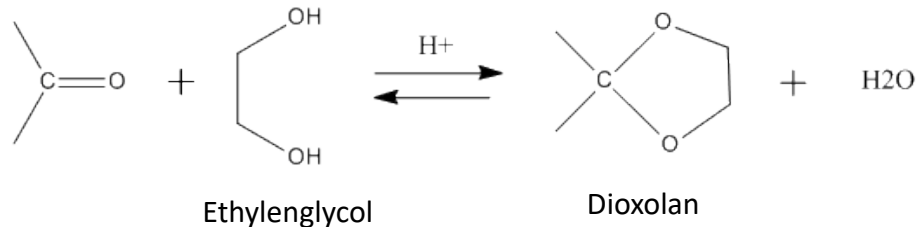


- b) Das in der Lösung vorhandene Retinol ist durch Metabolisierung von 1,773 g eines Carotinoids aus Mais entstanden. Bestimmen Sie, um welches es sich handelt und erklären Sie ihre Überlegungen anhand von Rechnungen.





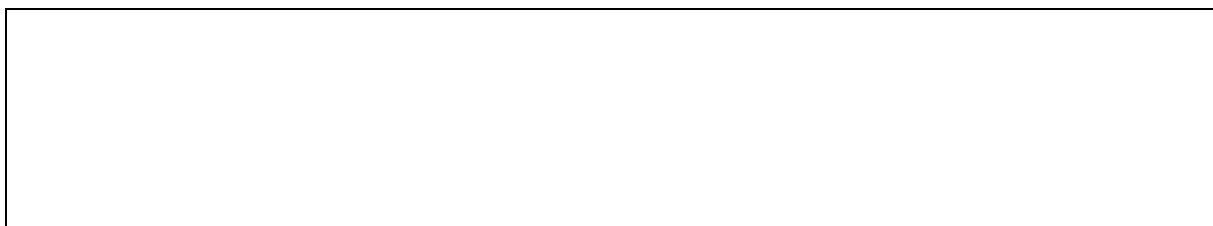
Bei der Reaktion von Aldehyden oder Ketonen mit Diolen werden ringförmige Acetale gebildet, welche zu der Familie der Dioxolane gehören. Diese Reaktion kann ebenfalls verwendet werden, um Carotinoide zu bestimmen und zu quantifizieren.



So kann der Fortschritt der Acetal-Bildungsreaktion mittels Infrarotspektroskopie beobachtet werden. Nach Zugabe von 12,3 mL Ethylenglycol zu 100 mL eines Pfifferlingkonzentrats, kann ein Signal bestimmt werden, welches einen Überschuss an Diol (unter der Annahme, dass im Pfifferlingkonzentrat nur das Carotinoide mit Ethylenglycol reagiert) anzeigt. Die Konzentration des Carotinoids im Pfifferlingkonzentrat wurde zuvor durch Absorption bestimmt zu 1,1 mol/L.

- c) Welches im Pfifferlingkonzentrat enthaltene Carotinoid gibt ihm seine orange Farbe ? Belegen Sie ihre Antwort anhand einer mathematischen Argumentation.

($C_2H_6O_2$: $\rho = 1,11$ kg/L)





Vorbereitungsblatt

