



Name: _____

Abiturprüfung 2015

Chemie, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Gewinnung von Titan und Titanverbindungen durch Elektrolyse

1. Erläutern Sie anhand einer beschrifteten Skizze für eine Elektrolyse-Apparatur die Vorgänge bei der Schmelzflusselektrolyse von Titan(III)-chlorid (Modellversuch 1). Ermitteln Sie unter Annahme von Standardbedingungen die Spannung, die für eine Elektrolyse von geschmolzenem Titan(III)-chlorid mindestens benötigt wird. (18 Punkte)
2. Begründen Sie anhand von Redoxpotentialen, warum bei der Reaktion zwischen Titan und Titan(IV)-chlorid Titan(III)-chlorid gebildet wird. Erklären Sie anhand von Oxidationszahlen das Stoffmengenverhältnis der Reaktionspartner bei der Reaktion zwischen Titan und Titan(IV)-chlorid. (10 Punkte)
3. Berechnen Sie die für die Gewinnung von $m(\text{Ti}) = 3,04 \text{ g}$ Titan aus Titan(III)-chlorid theoretisch benötigte Ladung Q . Vergleichen Sie die im Modellversuch 1 insgesamt erhaltene Titanmasse mit dem theoretisch zu erzielenden Wert, auch unter Berücksichtigung der Zugabe von Titan(IV)-chlorid. (20 Punkte)
4. Erklären Sie die Beobachtungen während des Modellversuchs 2. Begründen Sie mithilfe von Redoxpotentialen unter Annahme von Standardbedingungen, welche Reaktionen bevorzugt ablaufen. (18 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit)
- Periodensystem
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung



Name: _____

Fachspezifische Vorgaben:

Titan zählt zu den häufigsten Elementen in der Erdkruste, kommt jedoch nur in Verbindungen vor. Titandioxid ist ein weißes Pigment für die Farbenherstellung. Titanlegierungen werden in vielen Hightech-Produkten eingesetzt. Dazu zählen Bauteile für den Flugzeugbau ebenso wie Gelenkprothesen.

Im Labormaßstab kann reines Titan durch die sogenannte Schmelzflusselektrolyse einer Schmelze von Titan(III)-chlorid (TiCl_3) gewonnen werden. In der Schmelze liegt Titan(III)-chlorid in einer Mischung mit verschiedenen Salzen vor, die bei der Elektrolyse nicht reagieren. Als Kathode wird ein Blech aus Edelstahl eingesetzt, die Anode besteht aus Graphit. Bei einer Temperatur von 600 bis 800 °C entsteht an der Kathode Titan und an der Anode Chlor. Das Chlorgas wird aus der Apparatur abgeleitet, um störende Nebenreaktionen zu vermeiden. Titan bildet ähnlich wie Aluminium an der Oberfläche eine Oxidschicht, die bei der weiteren Verarbeitung stört. Daher wird über die Salzschmelze ein Schutzgas geleitet.

In der Salzschmelze muss der Gehalt von Titan(III)-chlorid aus technischen Gründen niedrig gewählt werden. Um die Ausbeute an Titan bei einem Reaktionsansatz zu erhöhen, wird nach einiger Zeit an der Kathode gasförmiges Titan(IV)-chlorid eingeleitet, das mit bereits vorhandenem Titan unter Bildung von Titan(III)-chlorid gemäß $3 \text{TiCl}_4 + \text{Ti} \rightarrow 4 \text{TiCl}_3$ reagiert.

Die Gewinnung von Titan im Labormaßstab wurde mit dem folgenden Experiment untersucht.

Modellversuch 1:

Eine Salzschmelze mit Titan(III)-chlorid wurde elektrolysiert. Bei einer Stromstärke von $I = 2,5 \text{ A}$ bildete sich dabei während einer Zeitspanne von $t = 3600 \text{ s}$ eine Stoffmenge von $n = 0,03 \text{ mol}$ Titan.

Dann wurden der Schmelze am Minuspol $n = 0,032 \text{ mol}$ Titan(IV)-chlorid zugeführt und während einer Zeitspanne von $t = 5400 \text{ s}$ weiter elektrolysiert, wieder mit einer Stromstärke von $I = 2,5 \text{ A}$. Nach Waschen und Trocknen erhielt man insgesamt $m = 3,04 \text{ g}$ Titan.

Durch Elektrolyse von Titanverbindungen in wässriger Lösung erhält man kein metallisches Titan. Zur Untersuchung dieses Sachverhalts wurde das folgende Experiment durchgeführt.

Modellversuch 2:

In eine schwefelsaure Lösung von Titan(IV)-oxidsulfat (TiOSO_4) wurden zwei Edelstahlelektroden getaucht. Nach Anlegen einer Spannung von $U = 3 \text{ V}$ bildeten sich an beiden Elektroden Gasbläschen. Die Lösung färbte sich in der Nähe des Minuspols violett.

Eine Probe der violetten Lösung wurde am Pluspol zugegeben. Nach kurzer Zeit war dort keine violette Färbung mehr erkennbar.



Name: _____

Zusatzinformationen:

Lösungen von Titan(IV)-Verbindungen sind farblos oder gelb. Lösungen von Titan(III)-Verbindungen sind purpur oder violett gefärbt.

Für die Entwicklung von Gasen an einer metallischen Oberfläche wird stets eine höhere Spannung benötigt, als sich rechnerisch durch Vergleich der Redoxpotentiale ergibt.

Molare Masse: $M(\text{Ti}) = 47,87 \text{ g/mol}$

Faraday-Konstante: $F = 96485 \text{ C/mol} = 96485 \text{ As/mol}$

Elektrochemische Spannungsreihe

Redoxpotentiale in V ($c = 1 \text{ mol/L}$, bei $\vartheta = 25 \text{ °C}$ und $p = 101,3 \text{ kPa}$)

1.	Ti/Ti ³⁺	-1,21
2.	H ₂ /2 H ⁺	0,00
3.	Ti ³⁺ /Ti ⁴⁺	0,10
4.	2 H ₂ O/O ₂ , 4 H ⁺	1,23
5.	2 Cl ⁻ /Cl ₂	1,36

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2015

Chemie, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die auf fachspezifischen Vorgaben basiert

2. Aufgabenstellung¹

Gewinnung von Titan und Titanverbindungen durch Elektrolyse

1. Erläutern Sie anhand einer beschrifteten Skizze für eine Elektrolyse-Apparatur zur Schmelzflusselektrolyse von Titan(III)-chlorid die Vorgänge bei der Elektrolyse. Ermitteln Sie unter Annahme von Standardbedingungen die Spannung, die für eine Elektrolyse von geschmolzenem Titan(III)-chlorid mindestens benötigt wird. (18 Punkte)
2. Begründen Sie anhand von Redoxpotentialen, warum bei der Reaktion zwischen Titan und Titan(IV)-chlorid bevorzugt Titan(III)-chlorid gebildet wird. Erklären Sie anhand von Oxidationszahlen das Stoffmengenverhältnis der Reaktionspartner bei der Reaktion zwischen Titan und Titan(IV)-chlorid. (10 Punkte)
3. Berechnen Sie die für die Gewinnung von $m(\text{Ti}) = 3,04 \text{ g}$ Titan aus Titan(III)-chlorid theoretisch benötigte Ladung Q . Vergleichen Sie die im Modellversuch 1 insgesamt erhaltene Titanmasse mit dem theoretisch zu erzielenden Wert, auch unter Berücksichtigung der Zugabe von Titan(IV)-chlorid. (20 Punkte)
4. Erklären Sie die Beobachtungen während des Modellversuchs 2. Begründen Sie mithilfe von Redoxpotentialen unter Annahme von Standardbedingungen, welche Reaktionen bevorzugt ablaufen. (18 Punkte)

3. Materialgrundlage

- http://www.for1372.tu-clausthal.de/Teilprojekt3-Dateien/2010_Friedrich_Reitz_Moeller_Bolivar.pdf (Zugriff 02.03.2014)
- <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/titan/titan.htm> (Zugriff 18.01.2014)
- <http://www.freepatentsonline.com/20100243468A1.pdf> (Zugriff 18.01.2014)
- Handbook of Chemistry and Physics, CRC Press, 67th Edition, D-151ff
- http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/metalle_8_1.html (Zugriff 02.03.2014)

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

4. Bezüge zu den Vorgaben 2015

<p>1. <i>Inhaltliche Schwerpunkte</i></p> <p>Themenfeld: Gewinnung, Speicherung und Nutzung elektrischer Energie in der Chemie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einfache Elektrolyse im Labor und Faraday-Gesetze • Batterien und Akkumulatoren: Grundprinzip der Funktionsweise • Galvanische Zelle: Vorgänge an Elektroden, Potentialdifferenz • Spannungsreihe der Metalle/Nichtmetalle: Additivität der Spannungen, Standardelektrodenpotential • Nernst-Gleichung (quantitative Behandlung) am Beispiel folgender Systeme <ul style="list-style-type: none"> – Metall/Metallion – Wasserstoff/Oxoniumion – Hydroxidion/Sauerstoff <p>2. <i>Medien/Materialien</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • entfällt
--

5. Zugelassene Hilfsmittel

- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit)
- Periodensystem
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

Teilleistungen – Kriterien

a) inhaltliche Leistung

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1a	<p>erläutert anhand einer beschrifteten Skizze für eine Elektrolyse-Apparatur zur Schmelzflusselektrolyse von Titan(III)-chlorid die Vorgänge bei der Elektrolyse, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Skizze der Elektrolyse-Apparatur mit Kathode aus Edelstahl, Anode aus Graphit, gemeinsamer Schmelze, Ableitung von Chlor im Bereich der Anode, Heizung und Stromzufuhr. 	6
1b	<p>erläutert anhand einer beschrifteten Skizze für eine Elektrolyse-Apparatur zur Schmelzflusselektrolyse von Titan(III)-chlorid die Vorgänge bei der Elektrolyse, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Minuspol: Reduktion $\text{Ti}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Ti}$ • Pluspol: Oxidation $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ 	8
2	<p>ermittelt unter Annahme von Standardbedingungen die Spannung, die für eine Elektrolyse von geschmolzenem Titan(III)-chlorid mindestens benötigt wird:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $U(\text{Elektrolyse}) \geq U^\circ(\text{Cl}^-/\text{Cl}_2) - U^\circ(\text{Ti}/\text{Ti}^{3+}) = 1,36\text{ V} - (-1,21\text{ V}) = 2,57\text{ V}$ 	4
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	begründet anhand von Redoxpotentialen, warum bei der Reaktion zwischen Titan und Titan(IV)-chlorid bevorzugt Titan(III)-chlorid gebildet wird, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • $U^\circ(\text{Ti}^{3+}/\text{Ti}^{4+}) > U^\circ(\text{Ti}/\text{Ti}^{3+})$ • Bei der freiwillig ablaufenden Reaktion zwischen Titan und Titan(IV)-Ionen wird daher Titan zu Titan(III)-Ionen oxidiert und Titan(IV)-Ionen werden zu Titan(III)-Ionen reduziert. 	4
2	erklärt anhand von Oxidationszahlen das Stoffmengenverhältnis der Reaktionspartner bei der Reaktion zwischen Titan und Titan(IV)-chlorid, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Titan mit der OZ 0 wird zu Titan(III)-Ionen mit der OZ +III oxidiert. • Titan(IV)-Ionen mit der OZ +IV werden zu Titan(III)-Ionen mit der OZ +III reduziert. • Da bei der Oxidation genauso viele Elektronen abgegeben werden, wie bei der Reduktion aufgenommen werden, reagieren Titan und Titan(IV)-Ionen in einem Stoffmengenverhältnis von $n(\text{Ti}) : n(\text{Ti}^{4+}) = 1 : 3$. 	6
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	berechnet die für die Gewinnung von $m(\text{Ti}) = 3,04 \text{ g}$ Titan aus Titan(III)-chlorid theoretisch benötigte Ladung Q , z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • $Q = I \cdot t = z \cdot n \cdot F; n = m : M$ • Mit $z = 3; m(\text{Ti}) = 3,04 \text{ g}; M(\text{Ti}) = 47,87 \text{ g/mol}; F = 96485 \text{ As/mol}$ erhält man: $Q = 18382 \text{ As}$. 	6
2a	vergleicht die im Modellversuch 1 insgesamt erhaltene Titanmasse mit dem theoretisch zu erzielenden Wert, auch unter Berücksichtigung der Zugabe von Titan(IV)-chlorid, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • $m = I \cdot t \cdot M / (z \cdot F)$ • Mit $I = 2,5 \text{ A}; t = 9000 \text{ s}; M(\text{Ti}) = 47,87 \text{ g/mol}; z = 3; F = 96485 \text{ As/mol}$ ergibt sich: $m = 3,72 \text{ g}$. 	4
2b	vergleicht die im Modellversuch 1 insgesamt erhaltene Titanmasse mit dem theoretisch zu erzielenden Wert, auch unter Berücksichtigung der Zugabe von Titan(IV)-chlorid, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Nach der Zugabe von Titan(IV)-chlorid reagiert ein Teil des neu gebildeten Titans wieder zu Titan(III). • Mit $n(\text{Ti}^{4+}) = 0,032 \text{ mol}$ reagieren $n(\text{Ti}) = 0,032 \text{ mol} / 3 \approx 0,0107 \text{ mol}$ Titan. • Dadurch werden $m(\text{Ti}) = 0,51 \text{ g}$ Titan wieder umgesetzt, sodass $m(\text{Ti}) = 3,21 \text{ g}$ zu erwarten sind. 	6
2c	vergleicht die im Modellversuch 1 erhaltene Titanmasse mit dem theoretisch zu erzielenden Wert und unter Berücksichtigung der Zugabe von Titan(IV)-chlorid, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Die im Modellversuch erhaltene Titanmasse $m(\text{Ti}) = 3,04 \text{ g}$ ist aufgrund möglicher Nebenreaktionen kleiner als die theoretisch erzielbare Masse. 	4
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1a	erklärt die Beobachtungen während des Modellversuchs 2, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> Die Gasbläschen deuten auf die Bildung von Wasserstoff und Sauerstoff durch Elektrolyse hin, denn unter den gegebenen Bedingungen kann eine Elektrolyse von Wasser stattfinden. Am Minuspol wird Wasserstoff gebildet. Am Pluspol wird Sauerstoff gebildet. 	6
1b	erklärt die Beobachtungen während des Modellversuchs 2, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> Die violette Färbung der Lösung in der Nähe des Minuspols zeigt, dass Titan(III)-Ionen gebildet werden. Am Pluspol entfärbt sich die violette Lösung wieder, weil dort die zugegebenen Titan(III)-Ionen zu Titan(IV)-Ionen oxidiert werden. 	4
2	begründet mithilfe von Redoxpotentialen unter Annahme von Standardbedingungen, welche Reaktionen bevorzugt ablaufen, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> $U^\circ(\text{H}_2/\text{H}^+) < U^\circ(\text{Ti}^{3+}/\text{Ti}^{4+})$ Am Minuspol werden daher bevorzugt Titan(IV)-Ionen zu Titan(III)-Ionen reduziert. $U^\circ(\text{Ti}^{3+}/\text{Ti}^{4+}) < U^\circ(\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2, \text{H}^+)$ Am Pluspol werden daher bevorzugt Titan(III)-Ionen oxidiert, wenn Titan(III)-Ionen vorliegen wie in Versuch 2 nach der Zugabe der violetten Titan(III)-Ionen enthaltenden Lösung. (Hinweis: Eine Argumentation unter Verwendung von Zersetzungsspannungen wird ebenfalls akzeptiert.)	8
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	führt seine Gedanken schlüssig, stringent und klar aus.	5
2	<ul style="list-style-type: none"> strukturiert seine Darstellung sachgerecht und übersichtlich, verwendet eine differenzierte und präzise Sprache, veranschaulicht seine Ausführungen durch geeignete Skizzen, Schemata etc., gestaltet seine Arbeit formal ansprechend. 	4

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Teilaufgabe 1

Anforderungen		Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
1a	erläutert anhand einer ...	6			
1b	erläutert anhand einer ...	8			
2	ermittelt unter Annahme ...	4			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 1. Teilaufgabe		18			

Teilaufgabe 2

Anforderungen		Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	begründet anhand von ...	4			
2	erklärt anhand von ...	6			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 2. Teilaufgabe		10			

² EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	berechnet die für ...	6			
2a	vergleicht die im ...	4			
2b	vergleicht die im ...	6			
2c	vergleicht die im ...	4			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 3. Teilaufgabe	20			

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1a	erklärt die Beobachtungen ...	6			
1b	erklärt die Beobachtungen ...	4			
2	begründet mithilfe von ...	8			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 4. Teilaufgabe	18			
	Summe der 1., 2., 3. und 4. Teilaufgabe	66			

Darstellungsleistung

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	führt seine Gedanken ...	5			
2	strukturiert seine Darstellung ...	4			
	Summe Darstellungsleistung	9			

	Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)	75			
--	---	-----------	--	--	--

Festlegung der Gesamtnote (Bitte nur bei der letzten bearbeiteten Aufgabe ausfüllen.)

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
Übertrag der Punktzahl aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	75			
Übertrag der Punktzahl aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	75			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	150			
aus der Punktzahl resultierende Note gemäß nachfolgender Tabelle				
Note ggf. unter Absenkung um bis zu zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
Paraphe				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktzahlen aus EK und ZK: _____

ggf. arithmetisches Mittel der Notenurteile aus EK und ZK: _____

Die Klausur wird abschließend mit der Note: _____ (____ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum:

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

Für die Zuordnung der Notenstufen zu den Punktzahlen ist folgende Tabelle zu verwenden:

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	150 – 143
sehr gut	14	142 – 135
sehr gut minus	13	134 – 128
gut plus	12	127 – 120
gut	11	119 – 113
gut minus	10	112 – 105
befriedigend plus	9	104 – 98
befriedigend	8	97 – 90
befriedigend minus	7	89 – 83
ausreichend plus	6	82 – 75
ausreichend	5	74 – 68
ausreichend minus	4	67 – 60
mangelhaft plus	3	59 – 50
mangelhaft	2	49 – 40
mangelhaft minus	1	39 – 30
ungenügend	0	29 – 0



Name: _____

Abiturprüfung 2015

Chemie, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Citronensäure in Lebensmitteln und Zahngesundheit

1. Skizzieren Sie einen beschrifteten Versuchsaufbau zur Titration des Eistees. Berechnen Sie unter Angabe einer Reaktionsgleichung für die bei der Titration ablaufende Reaktion die Konzentration der Citronensäure im untersuchten Eistee unter der vereinfachenden Annahme, dass Citronensäure als einzige Säure vorliegt. Vergleichen Sie das Ergebnis mit der Herstellerangabe. *(20 Punkte)*
2. Erläutern Sie anhand der Säure-Base-Theorie nach Brönsted die Reaktion von Citronensäure mit Wasser für die erste Protolysestufe. Erläutern Sie das Protolysediagramm der Citronensäure bei den pH-Werten 2, 4, 6 und 8. Begründen Sie, welche der angegebenen Indikatoren zur Titration bei Versuch 1 geeignet sind. *(18 Punkte)*
3. Geben Sie Reaktionsgleichungen für die ablaufenden Reaktionen im Versuch 2 an. Erklären Sie unter Berücksichtigung des Protolysediagramms und der pK_S -Werte der Citronensäure, in welchen Protolysestufen die Citronensäure des Bonbons im Versuch 2 nach Zugabe von $V(\text{NaHCO}_3) = 20 \text{ mL}$ überwiegend vorliegt. *(16 Punkte)*
4. Erläutern Sie, welche Auswirkung das Kauen eines citronensäurehaltigen Fruchtgummis auf den pH-Wert des Speichels sowie auf das Hydroxylapatit des Zahnschmelzes hat. Begründen Sie, warum ein geringer pH-Wert der Zahnpasten die Fluorapatitbildung begünstigt. *(12 Punkte)*

Zugelassene Hilfsmittel:

- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit)
- Periodensystem
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung



Name: _____

Fachspezifische Vorgaben:

Einige Süßwaren und Getränke wie saure Drops, saure Weingummiprodukte oder Eistee enthalten neben Zucker auch einen hohen Anteil an Citronensäure.

Citronensäure ist eine dreiprotonige Säure, die in wässriger Lösung in verschiedenen Protolysestufen vorliegt, wie das folgende Diagramm zeigt.

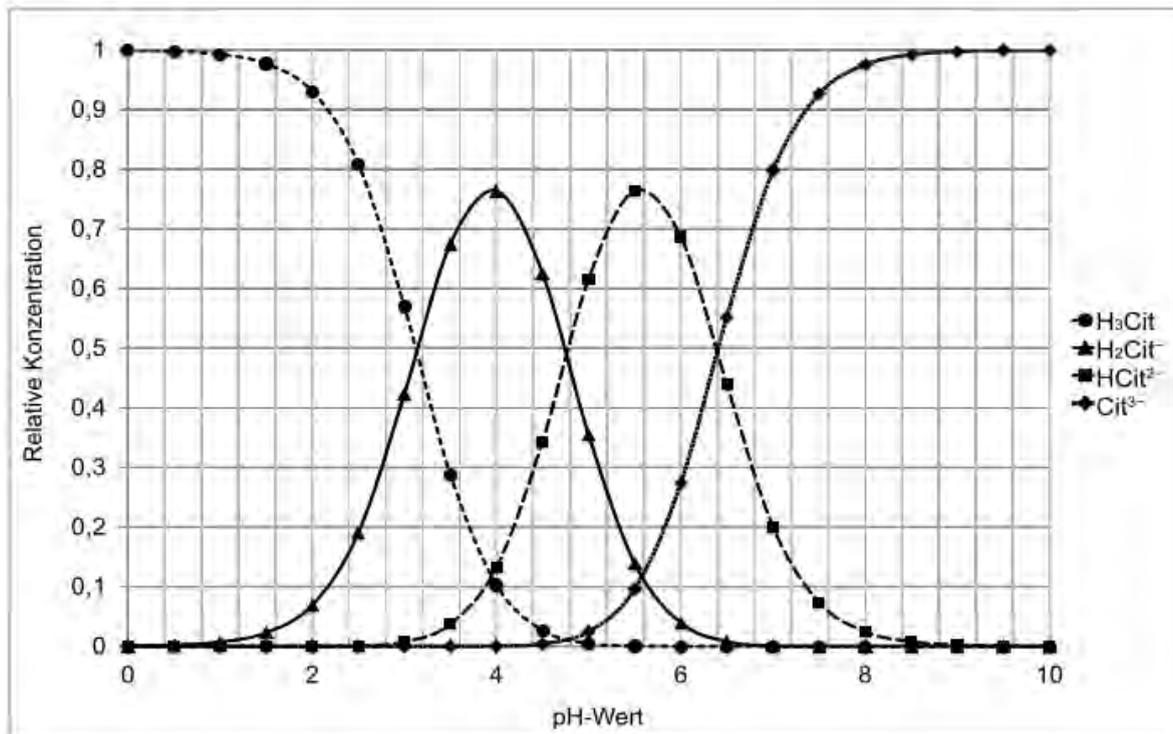


Abbildung 1: Protolysediagramm der Citronensäure

Citronensäure ist als Zusatzstoff für Lebensmittel zugelassen. Ein Volumen von $V = 100$ mL eines handelsüblichen Eistees enthält laut Herstellerangaben etwa 250 mg Citronensäure und 8 g Zucker. In einem Versuch wurde der Citronensäuregehalt von Eistee bestimmt.

Versuch 1:

Ein Volumen von $V = 10$ mL Eistee wurde mit destilliertem Wasser auf ca. 100 mL aufgefüllt, mit einem Indikator versetzt und mit Natronlauge ($c(\text{NaOH}) = 0,1$ mol/L) vollständig titriert. Es wurden $V(\text{NaOH}) = 3,5$ mL Natronlauge bis zum Farbumschlag verbraucht.

Zucker- und citronensäurehaltige Getränke können die Bildung von Karies fördern. Zahnschmelz besteht weitgehend aus Hydroxylapatit, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, der härtesten Substanz unseres Körpers, die aber durch Säuren angegriffen werden kann. Bei pH-Werten des Speichels von $\text{pH} < 5,5$ kann Zahnschmelz angelöst werden, wobei Calcium- und Hydrogenphosphat-Ionen in Lösung gehen:





Name: _____

Speichel, der Hydrogencarbonat-Ionen enthält, kann diesem Prozess entgegenwirken. Für die Reaktion eines solchen Speichels mit Citronensäure wurde folgender Versuch durchgeführt.

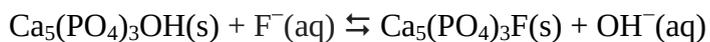
Versuch 2:

Verschiedene Volumina Natriumhydrogencarbonat-Lösung ($c(\text{NaHCO}_3) = 20 \text{ mmol/L}$) wurden mit jeweils einem citronensäurehaltigen Bonbon versetzt. Nach dem Auflösen des Bonbons unter Gasentwicklung wurde der pH-Wert gemessen.

Ergebnis:

$V(\text{NaHCO}_3)$	20 mL	40 mL	60 mL
pH-Wert der Lösung nach Auflösen eines citronensäurehaltigen Bonbons	3,70	5,28	6,01

Zur Härtung von Zahnschmelz enthalten viele Zahnpasten Fluorid-Ionen. Diese können in den Zahnschmelz eingebaut werden, es entsteht Fluorapatit:



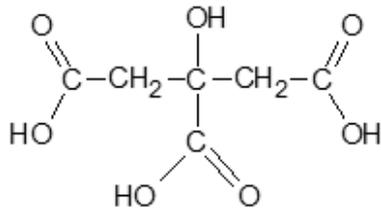
Viele Fluorid-Ionen-haltige Zahnpasten haben einen pH-Wert kleiner als 7, die Fluorapatitbildung kann dadurch begünstigt werden.



Name: _____

Zusatzinformationen:

Strukturformel der Citronensäure:



Bei der Bearbeitung der vorliegenden Aufgabe können für Citronensäure die vereinfachte Formel H_3Cit sowie für die Dihydrogencitrat-, Hydrogencitrat- und Citrat-Ionen die vereinfachten Formeln H_2Cit^- , $HCit^{2-}$ und Cit^{3-} benutzt werden.

$$M(H_3Cit) = 192,13 \text{ g/mol}$$

$$pK_S\text{-Werte der Citronensäure: } pK_{S1} = 3,1; \quad pK_{S2} = 4,8; \quad pK_{S3} = 6,4$$

Tabelle: Farbumschlag und Umschlagbereiche ausgewählter Indikatoren

Indikator	Farbumschlag	pH-Bereich
Methylorange	rot-orangegelb	3,1 – 4,4
Methylrot	rot-gelb	4,4 – 6,2
Bromthymolblau	gelb-blau	6,0 – 7,6
Thymolblau (Base)	gelb-blau	8,0 – 9,6
Phenolphthalein	farblos-rot	8,2 – 10,0

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2015

Chemie, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die auf fachspezifischen Vorgaben basiert

2. Aufgabenstellung¹

Citronensäure in Lebensmitteln und Zahngesundheit

1. Skizzieren Sie einen beschrifteten Versuchsaufbau zur Titration des Eistees. Berechnen Sie unter Angabe einer Reaktionsgleichung für die bei der Titration ablaufende Reaktion die Konzentration der Citronensäure im untersuchten Eistee unter der vereinfachenden Annahme, dass Citronensäure als einzige Säure vorliegt. Vergleichen Sie das Ergebnis mit der Herstellerangabe. (20 Punkte)
2. Erläutern Sie anhand der Säure-Base-Theorie nach Brönsted die Reaktion von Citronensäure mit Wasser für die erste Protolysestufe. Erläutern Sie das Protolysediagramm der Citronensäure bei den pH-Werten 2, 4, 6 und 8. Begründen Sie, welche der angegebenen Indikatoren zur Titration bei Versuch 1 geeignet sind. (18 Punkte)
3. Geben Sie Reaktionsgleichungen für die ablaufenden Reaktionen im Versuch 2 an. Erklären Sie unter Berücksichtigung des Protolysediagramms und der pK_S -Werte der Citronensäure, in welchen Protolysestufen die Citronensäure des Bonbons im Versuch 2 nach Zugabe von $V(\text{NaHCO}_3) = 20 \text{ mL}$ überwiegend vorliegt. (16 Punkte)
4. Erläutern Sie, welche Auswirkung das Kauen eines citronensäurehaltigen Fruchtgummis auf den pH-Wert des Speichels sowie auf das Hydroxylapatit des Zahnschmelzes hat. Begründen Sie, warum ein geringer pH-Wert der Zahnpasten die Fluorapatitbildung begünstigt. (12 Punkte)

3. Materialgrundlage

- Brown, T. L.; LeMay, H. E.; Bursten, B. E.: Chemie Studieren kompakt, 10. Aufl., Pearson Deutschland GmbH, München 2011
- Meyer-Lückel, H.; Paris, S.; Ekstrand, K. R.: Karies, 1. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2012
- Schmuck, C.; Engels, B.; Schimeister, T.; Fink, R.: Chemie für Mediziner, 1. Aufl., Pearson Studium, München 2008
- Roulet, J. F.; Zimmer, S.: Prophylaxe und Präventivzahnmedizin, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2002

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

4. Bezüge zu den Vorgaben 2015

1. Inhaltliche Schwerpunkte

Themenfeld: Analytische Verfahren zur Konzentrationsbestimmung

- Protolysen als Gleichgewichtsreaktionen: Säure-Base-Begriff nach Brönsted, Autoprotolyse des Wassers, pH-, pKs-Wert
- Einfache Titrations mit Endpunktbestimmungen
- pH-metrische Titrations
- Redoxtitration

2. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit)
- Periodensystem
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

Teilleistungen – Kriterien

a) inhaltliche Leistung

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	skizziert einen beschrifteten Versuchsaufbau zur Titration des Eistees. (Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling Vorlage und Bürette mit eingefüllten Flüssigkeiten darstellt und beschriftet.)	6
2	berechnet unter Angabe einer Reaktionsgleichung für die bei der Titration ablaufende Reaktion die Konzentration der Citronensäure im untersuchten Eistee, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • $\text{H}_3\text{Cit} + 3 \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_3\text{Cit} + 3 \text{H}_2\text{O}$ • $n(\text{H}_3\text{Cit}) : n(\text{NaOH}) = 1 : 3$ • $n(\text{H}_3\text{Cit}) = 1/3 \cdot c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = 1/3 \cdot 0,1 \text{ mol/L} \cdot 3,5 \text{ mL} = 0,117 \text{ mmol}$ • $c(\text{H}_3\text{Cit}) = n(\text{H}_3\text{Cit}) : V(\text{H}_3\text{Cit}) = 0,117 \text{ mmol} : 10 \text{ mL} = 0,0117 \text{ mol/L}$ 	8
3	vergleicht das Ergebnis mit der Herstellerangabe, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Masse von Citronensäure in 1 L Eistee: $m(\text{H}_3\text{Cit}) = n(\text{H}_3\text{Cit}) \cdot M(\text{H}_3\text{Cit}) = 0,0117 \text{ mol} \cdot 192,13 \text{ g/mol} = 2,242 \text{ g}$ • Das ermittelte Ergebnis liegt etwas unterhalb des vom Hersteller angegebenen Wertes von 250 mg/100 mL bzw. 2,5 g/L. 	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>erläutert anhand der Säure-Base-Theorie nach Brönsted die Reaktion von Citronensäure mit Wasser für die erste Protolysestufe, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\text{H}_3\text{Cit} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{Cit}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ • Citronensäure-Moleküle: Säure (Protonendonator), Dihydrogencitrat-Ionen: korrespondierende Base, • Wasser-Moleküle: Base (Protonenakzeptor), Oxonium-Ionen: korrespondierende Säure. 	6
2	<p>erläutert das Protolysediagramm der Citronensäure bei den pH-Werten 2, 4, 6 und 8, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei pH = 2 liegt aufgrund der hohen Oxonium-Ionen-Konzentration überwiegend unprotolysierte Citronensäure (relative Konzentration ca. 0,92) vor, in geringer relativer Konzentration von ca. 0,08 liegen Dihydrogencitrat-Ionen vor. • Bei pH = 4 ist die relative Konzentration der unprotolysierten Citronensäure auf ca. 0,1 abgesunken, die Konzentration von Dihydrogencitrat-Ionen hat ihr Maximum von ca. 0,77 erreicht, die relative Konzentration von Hydrogencitrat-Ionen ist auf ca. 0,12 angestiegen. • Bei pH = 6 liegen überwiegend Hydrogencitrat-Ionen in einer relativen Konzentration von ca. 0,69 vor sowie Citrat-Ionen in einer relativen Konzentration von ca. 0,28. In geringer relativer Konzentration von ca. 0,03 liegen Dihydrogencitrat-Ionen vor. • Bei pH = 8 sind Citronensäure bzw. Hydrogencitrat- und Dihydrogencitrat-Ionen aufgrund der niedrigen Oxonium-Ionen-Konzentration nahezu vollständig zu Citrat-Ionen (relative Konzentration ca. 0,99) protolysiert. 	8
3	<p>begründet, welche der angegebenen Indikatoren zur Titration bei Versuch 1 geeignet sind, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erst bei pH-Werten von $\text{pH} > 8,0$ ist Citronensäure vollständig protolysiert und es liegen ausschließlich Citrat-Ionen vor, als Indikatoren können daher Phenolphthalein oder Thymolblau gewählt werden. 	4
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>gibt die Reaktionsgleichungen für die ablaufenden Reaktionen im Versuch 2 an, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • (1) $\text{H}_3\text{Cit}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{Cit}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ • (2) $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{HCO}_3^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ • (3) $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ <p>(Hinweis: Die Reaktionsgleichungen (2) und (3) können zusammengefasst werden.)</p>	8

2	<p>erklärt unter Berücksichtigung des Protolysediagramms und der pK_S-Werte der Citronensäure, in welchen Protolysestufen die Citronensäure des Bonbons im Versuch 2 nach Zugabe von $V(\text{NaHCO}_3) = 20 \text{ mL}$ überwiegend vorliegt, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der pH-Wert des ersten Versuchsansatzes ($V = 20 \text{ mL}$) beträgt $\text{pH} = 3,70$, der pK_{S1} der Citronensäure beträgt $pK_{S1} = 3,1$. • Bei $\text{pH} = 3,1$ ist daher das Verhältnis $c(\text{H}_3\text{Cit}) : c(\text{H}_2\text{Cit}^-) = 1 : 1$, bei $\text{pH} = 3,7$ ist $c(\text{H}_3\text{Cit})$ deutlich kleiner als $c(\text{H}_2\text{Cit}^-)$, nach dem Protolysediagramm beträgt das Verhältnis der relativen Konzentrationen etwa 0,19 zu 0,73. • Der pK_{S2} der Citronensäure beträgt $pK_{S2} = 4,8$, die Dihydrogencitrat-Ionen protolysieren bei $\text{pH} = 3,7$ nur zu einem geringen Teil zu Hydrogencitrat-Ionen. 	8
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>erläutert, welche Auswirkung das Kauen eines citronensäurehaltigen Fruchtgummis auf den pH-Wert des Speichels sowie auf das Hydroxylapatit des Zahnschmelzes hat, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durch das Kauen eines citronensäurehaltigen Fruchtgummis wird Citronensäure im Speichel gelöst, die teilweise unter Bildung von Oxonium-Ionen protolysiert. • Die Konzentration an Oxonium-Ionen im Speichel steigt an, der pH-Wert des Speichels sinkt. • Durch die erhöhte Konzentration an Oxonium-Ionen im Speichel wird in der angegebenen Gleichgewichtsreaktion die Bildung der hydratisierten Calcium-Ionen und Hydrogenphosphat-Ionen bevorzugt. 	8
2	<p>begründet, warum ein geringer pH-Wert der Zahnpasten die Fluorapatitbildung begünstigt. (Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling beispielsweise ausführt, dass im angegebenen Gleichgewicht Hydroxid-Ionen entstehen und dass diese mit Oxonium-Ionen zu Wasser reagieren. Durch die Entfernung der Hydroxid-Ionen wird die Bildung von Fluorapatit bevorzugt.)</p>	4
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	führt seine Gedanken schlüssig, stringent und klar aus.	5
2	<ul style="list-style-type: none"> • strukturiert seine Darstellung sachgerecht und übersichtlich, • verwendet eine differenzierte und präzise Sprache, • veranschaulicht seine Ausführungen durch geeignete Skizzen, Schemata etc., • gestaltet seine Arbeit formal ansprechend. 	4

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	skizziert einen beschrifteten ...	6			
2	berechnet unter Angabe ...	8			
3	vergleicht das Ergebnis ...	6			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 1. Teilaufgabe	20			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	erläutert anhand der ...	6			
2	erläutert das Protolysediagramm ...	8			
3	begründet, welche der ...	4			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 2. Teilaufgabe	18			

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	gibt die Reaktionsgleichungen ...	8			
2	erklärt unter Berücksichtigung ...	8			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 3. Teilaufgabe	16			

² EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	erläutert, welche Auswirkung ...	8			
2	begründet, warum ein ...	4			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 4. Teilaufgabe	12			
	Summe der 1., 2., 3. und 4. Teilaufgabe	66			

Darstellungsleistung

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	führt seine Gedanken ...	5			
2	strukturiert seine Darstellung ...	4			
	Summe Darstellungsleistung	9			

	Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)	75			
--	---	-----------	--	--	--

Festlegung der Gesamtnote (Bitte nur bei der letzten bearbeiteten Aufgabe ausfüllen.)

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
Übertrag der Punktzahl aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	75			
Übertrag der Punktzahl aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	75			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	150			
aus der Punktzahl resultierende Note gemäß nachfolgender Tabelle				
Note ggf. unter Absenkung um bis zu zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
Paraphe				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktsommen aus EK und ZK: _____

ggf. arithmetisches Mittel der Notenurteile aus EK und ZK: _____

Die Klausur wird abschließend mit der Note: _____ (____ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum:

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

Für die Zuordnung der Notenstufen zu den Punktzahlen ist folgende Tabelle zu verwenden:

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	150 – 143
sehr gut	14	142 – 135
sehr gut minus	13	134 – 128
gut plus	12	127 – 120
gut	11	119 – 113
gut minus	10	112 – 105
befriedigend plus	9	104 – 98
befriedigend	8	97 – 90
befriedigend minus	7	89 – 83
ausreichend plus	6	82 – 75
ausreichend	5	74 – 68
ausreichend minus	4	67 – 60
mangelhaft plus	3	59 – 50
mangelhaft	2	49 – 40
mangelhaft minus	1	39 – 30
ungenügend	0	29 – 0



Name: _____

Abiturprüfung 2015

Chemie, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Farbnachweise für die Aminosäuren Phenylalanin und Tyrosin

1. Geben Sie die Farbstoffklasse für den bei der Pauly-Reaktion mit Tyrosin gebildeten Farbstoff A an. Erläutern Sie anhand von Strukturformeln die charakteristischen Reaktionsschritte (Mechanismus) und Reaktionsbedingungen der Pauly-Reaktion am Beispiel von Tyrosin. Begründen Sie, warum Phenylalanin im Gegensatz zu Tyrosin keine positive Pauly-Reaktion zeigt. *(20 Punkte)*
2. Erklären Sie den Zusammenhang zwischen Farbigkeit und Molekülstruktur anhand des bei der Pauly-Reaktion mit Tyrosin gebildeten roten Farbstoffs A. Skizzieren Sie ein mögliches Absorptionsspektrum von Farbstoff A. Geben Sie zu Farbstoff A zwei mesomere Grenzstrukturen an. *(16 Punkte)*
3. Geben Sie die Reaktionsgleichung für die Xanthoprotein-Reaktion am Beispiel von Phenylalanin an. Geben Sie begründet die Strukturformeln für die aus Tyrosin und Phenylalanin entstehenden farbigen Produkte B und C an. Begründen Sie, warum das farbige Produkt B einen Farbwechsel im Alkalischen zeigt. *(18 Punkte)*
4. Erklären Sie, welche Beobachtungen bei Versuch 3 zu erwarten sind. Entwickeln Sie mithilfe der vorgestellten Reaktionen einen Versuch, der eine Abschätzung des Tyrosin-Phenylalanin-Verhältnisses im Blutserum ermöglicht. *(12 Punkte)*

Zugelassene Hilfsmittel:

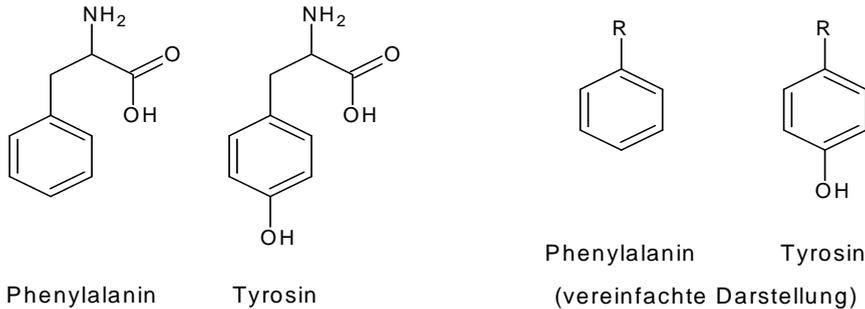
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit)
- Periodensystem
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung



Name: _____

Fachspezifische Vorgaben:

Die Aminosäure Tyrosin ist Ausgangsverbindung für die Bildung einiger Hormone. Sie wird – in Proteinen gebunden – mit der Nahrung aufgenommen. Weiterhin entsteht Tyrosin beim Stoffwechsel im Organismus durch enzymatische Hydroxylierung von Phenylalanin, das ebenfalls mit der Nahrung aufgenommen wird.



Zur Diagnose einer Stoffwechselerkrankung, bei der die Umwandlung von Phenylalanin in Tyrosin gestört ist, muss das Verhältnis von Phenylalanin und Tyrosin im Blutserum überprüft werden.

Zum qualitativen Nachweis und zur Unterscheidung von Tyrosin und Phenylalanin können folgende Farbnachweise herangezogen werden.

Versuch 1: Pauly-Reaktion

Eine Lösung von Sulfanilsäure in verdünnter Salzsäure wird unter Kühlung mit einer Natriumnitrit-Lösung versetzt. Diese Mischung wird zu einer alkalischen, farblosen Tyrosin-Lösung gegeben. Es bildet sich eine intensiv rot gefärbte Lösung (Farbstoff A). Führt man den gleichen Versuch mit Phenylalanin durch, ist keine Färbung zu erkennen.

Versuch 2: Xanthoprotein-Reaktion

Eine Tyrosin-Lösung wird mit konzentrierter Salpetersäure-Lösung versetzt und erhitzt. Es tritt eine intensive Gelbfärbung (Produkt B) auf. Bei Zugabe von Natronlauge ist ein Farbwechsel nach orange zu beobachten. Gibt man zu einer Phenylalanin-Lösung Salpetersäure und erhitzt, ist ebenfalls eine intensive Gelbfärbung (Produkt C) zu erkennen, die aber bei Zugabe von Natronlauge bestehen bleibt.

Versuch 3:

Es werden Lösungen, die Tyrosin und Phenylalanin enthalten, hergestellt:

- Lösung 1 mit einem hohen Tyrosin- und einem geringen Phenylalanin-Gehalt,
- Lösung 2 mit einem geringen Tyrosin- und einem hohen Phenylalanin-Gehalt.

Diese Lösungen werden geteilt. Mit dem einen Teil wird die Pauly-Reaktion, mit dem anderen Teil die Xanthoprotein-Reaktion durchgeführt.

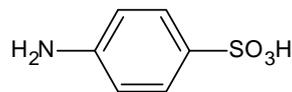


Name: _____

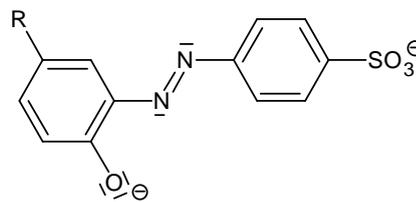
Zusatzinformationen:

Es kann davon ausgegangen werden, dass in Salpetersäure (HNO_3) Nitryl-Kationen (NO_2^+) gebildet werden, die als reaktive Teilchen in der Xanthoprotein-Reaktion wirksam sind.

Des Weiteren kann davon ausgegangen werden, dass der in den Strukturformeln von Phenylalanin und Tyrosin dargestellte organische Rest (-R) einen +I-Effekt und keinen M-Effekt ausübt.



Sulfanilsäure



Farbstoff A
(in alkalischer Lösung)

Zusammenhang von absorbierter Strahlung, zugehöriger Spektralfarbe und beobachteter Komplementärfarbe

Wellenlänge λ in nm	Spektralfarbe	Komplementärfarbe
400 – 435	violett	gelbgrün
435 – 480	blau	gelb
480 – 490	grünblau	orange
490 – 500	blaugrün	rot
500 – 560	grün	purpur
560 – 580	gelbgrün	violett
580 – 595	gelb	blau
595 – 605	orange	grünblau
605 – 770	rot	blaugrün

Unterlagen für die Lehrkraft**Abiturprüfung 2015****Chemie, Leistungskurs****1. Aufgabenart**

Bearbeitung einer Aufgabe, die auf fachspezifischen Vorgaben basiert

2. Aufgabenstellung¹**Farbnachweise für die Aminosäuren Phenylalanin und Tyrosin**

1. Geben Sie die Farbstoffklasse für den bei der Pauly-Reaktion mit Tyrosin gebildeten Farbstoff A an. Erläutern Sie anhand von Strukturformeln die charakteristischen Reaktionsschritte (Mechanismus) und Reaktionsbedingungen der Pauly-Reaktion am Beispiel von Tyrosin. Begründen Sie, warum Phenylalanin im Gegensatz zu Tyrosin keine positive Pauly-Reaktion zeigt. (20 Punkte)
2. Erklären Sie den Zusammenhang zwischen Farbigkeit und Molekülstruktur anhand des bei der Pauly-Reaktion mit Tyrosin gebildeten roten Farbstoffs A. Skizzieren Sie ein mögliches Absorptionsspektrum von Farbstoff A. Geben Sie zu Farbstoff A zwei mesomere Grenzstrukturen an. (16 Punkte)
3. Geben Sie die Reaktionsgleichung für die Xanthoprotein-Reaktion am Beispiel von Phenylalanin an. Geben Sie begründet die Strukturformeln für die aus Tyrosin und Phenylalanin entstehenden farbigen Produkte B und C an. Begründen Sie, warum das farbige Produkt B einen Farbwechsel im Alkalischen zeigt. (18 Punkte)
4. Erklären Sie, welche Beobachtungen bei Versuch 3 zu erwarten sind. Entwickeln Sie mithilfe der vorgestellten Reaktionen einen Versuch, der eine Abschätzung des Tyrosin-Phenylalanin-Verhältnisses im Blutserum ermöglicht. (12 Punkte)

3. Materialgrundlage

- Eisenbrandt, G.; Schreier, P.: RÖMPP Lexikon Lebensmittelchemie, Thieme-Verlag, Stuttgart 2006, Stichworte: Phenylalanin, Tyrosin
- <http://www.seilnacht.com/Lexikon/xantho.html> (Zugriff 08.05.2014)
- <http://online-media.uni-marburg.de/physiolchem/praktikum/Aminosaeuren.pdf> (Zugriff 08.05.2014)

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

4. Bezüge zu den Vorgaben 2015

<p>1. <i>Inhaltliche Schwerpunkte</i> Theoriekonzept: Das aromatische System Themenfeld: Farbstoffe und Farbigkeit (Azofarbstoffe, Triphenylmethanfarbstoffe, Indigofarbstoffe)</p> <p>2. <i>Medien/Materialien</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • entfällt
--

5. Zugelassene Hilfsmittel

- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit)
- Periodensystem
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

Teilleistungen – Kriterien

a) inhaltliche Leistung

Teilaufgabe 1

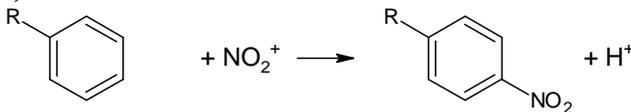
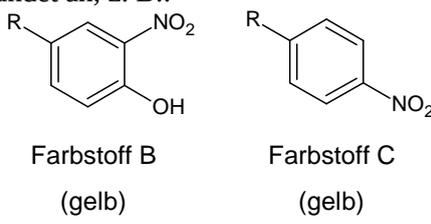
	Anforderungen	Maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	gibt die Farbstoffklasse für den bei der Pauly-Reaktion mit Tyrosin gebildeten Farbstoff A an: <ul style="list-style-type: none"> • Das Molekül des Farbstoffs A enthält die charakteristische Azogruppe (-N=N-) und ist daher der Farbstoffklasse der Azofarbstoffe zuzuordnen. 	2
2a	erläutert anhand von charakteristischen Reaktionsschritten (Mechanismus) die Pauly-Reaktion am Beispiel von Tyrosin, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Bildung von salpetriger Säure bzw. Nitrosyl-Kationen aus Natriumnitrit und Salzsäure, • Bildung von Diazonium-Ionen durch Reaktion der Nitrosyl-Kationen mit Sulfanilsäure, • Notwendigkeit der Kühlung, um die Zersetzung des Diazonium-Ions zu unterbinden. 	6
2b	erläutert anhand von Strukturformeln die charakteristischen Reaktionsschritte und Reaktionsbedingungen der Pauly-Reaktion am Beispiel von Tyrosin. <i>(Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling Aussagen zum elektrophilen Angriff des Diazonium-Ions an den Phenylring, zur Bildung des π- und σ-Komplexes, zur Protonenabspaltung und Rearomatisierung unter Bildung des roten Farbstoffes A macht.)</i>	8

3	begründet, warum Phenylalanin im Gegensatz zu Tyrosin keine positive Pauly-Reaktion zeigt. (Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling in seiner Begründung auf die Aktivierung des Tyrosins für elektrophile Substitutionen durch die Hydroxygruppe und auf das Fehlen einer aktivierenden Gruppe bei Phenylalanin als Grund für das Ausbleiben eines Farbnachweises bei Phenylalanin sachgerecht und zusammenhängend eingeht.)	4
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	erklärt den Zusammenhang zwischen Farbigkeit und Struktur für den bei der Pauly-Reaktion mit Tyrosin gebildeten roten Farbstoff A. (Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling in seiner Erklärung auf den Zusammenhang zwischen der roten Farbe des Farbstoffes A und der Absorption von blau-grünem Licht (Wellenlängenbereich ca. 490 nm bis 500 nm), auf die Anregung von delokalisierten Elektronen, das Vorliegen eines ausgedehnten π -Elektronensystems, das sich über zwei durch eine Azogruppe verbundene Phenylringe erstreckt, und auf den Einfluss der Hydroxygruppe bzw. des in alkalischer Lösung vorliegenden negativ geladenen Sauerstoff-Atoms eingeht.)	6
2	skizziert ein mögliches Absorptionsspektrum von Farbstoff A. (Hinweis: Es wird erwartet, dass das skizzierte Spektrum ein Absorptionsmaximum im Wellenlängenbereich von ca. 490 nm bis 500 nm aufweist.)	4
3	gibt zu Farbstoff A zwei mesomere Grenzstrukturen an.	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	gibt die Reaktionsgleichung für die Xanthoprotein-Reaktion am Beispiel von Phenylalanin an, z.B.: 	4
2a	gibt die Strukturformeln für die aus Tyrosin und Phenylalanin entstehenden farbigen Produkte B und C begründet an, z. B.: 	4

2b	gibt die Strukturformeln für die aus Tyrosin und Phenylalanin entstehenden Farbstoffe B und C begründet an, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> Die Substitution am Tyrosin erfolgt in ortho-Stellung zur Hydroxygruppe, die aufgrund ihres überwiegenden +M-Effektes die Substitution bevorzugt in ortho- oder para-Stellung dirigiert. Die para-Stellung ist durch den organischen Rest R blockiert. Die Substitution am Phenylalanin erfolgt aufgrund des +I-Effektes des organischen Restes bevorzugt in para-Stellung. Die ortho-Stellung ist sterisch behindert. 	6
3	begründet, warum der Farbstoff B einen Farbwechsel im Alkalischen zeigt. (Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling in seiner Begründung Aussagen zur Deprotonierung der Hydroxygruppe des gelben Farbstoffes B, zur daraus folgenden Verstärkung des +M-Effektes und der damit verbundenen Verschiebung der Absorption in den langwelligeren Bereich von blau (Wellenlängen 435 nm bis 480 nm) zu grünblau (Wellenlängen 480 nm bis 490 nm) macht und die Komplementärfarbe Orange als sichtbare Farbe nennt.)	4
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	erklärt, welche Beobachtungen bei Versuch 3 zu erwarten sind, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> In Lösung 1 mit hohem Tyrosin- und kleinem Phenylalanin-Anteil ist bei der Pauly-Reaktion eine deutliche Rotfärbung zu erwarten. In Lösung 2 mit niedrigem Tyrosin- und hohem Phenylalanin-Anteil ist bei der Pauly-Reaktion nur eine schwache Rotfärbung zu erwarten, da nur Tyrosin zu einem roten Azofarbstoff reagiert, Phenylalanin dagegen nicht. In beiden Lösungen ist eine positive Xanthoprotein-Reaktion mit einer deutlichen Gelbfärbung zu erwarten, da sowohl Tyrosin als auch Phenylalanin zu einem gelben Farbstoff reagieren. 	4
2	entwickelt mithilfe der vorgestellten Reaktionen einen Versuch, der eine Abschätzung des Tyrosin-Phenylalanin-Verhältnisses im Blutserum ermöglicht. (Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling einen Versuch entwickelt, der mithilfe der Pauly- und Xanthoprotein-Reaktion eine (halb-)quantitative kolorimetrische Auswertung aufgrund der unterschiedlichen Farbeindrücke der Lösungen zulässt. Es handelt sich hierbei um eine offene Fragestellung, die verschiedene Lösungen zulässt.)	8
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	führt seine Gedanken schlüssig, stringent und klar aus.	5
2	<ul style="list-style-type: none"> strukturiert seine Darstellung sachgerecht und übersichtlich, verwendet eine differenzierte und präzise Sprache, veranschaulicht seine Ausführungen durch geeignete Skizzen, Schemata etc., gestaltet seine Arbeit formal ansprechend. 	4

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Teilaufgabe 1

Anforderungen		Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
1	gibt die Farbstoffklasse ...	2			
2a	erläutert anhand von ...	6			
2b	erläutert anhand von ...	8			
3	begründet, warum Phenylalanin ...	4			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 1. Teilaufgabe		20			

Teilaufgabe 2

Anforderungen		Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	erklärt den Zusammenhang ...	6			
2	skizziert ein mögliches ...	4			
3	gibt zu Farbstoff ...	6			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 2. Teilaufgabe		16			

² EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	gibt die Reaktionsgleichung ...	4			
2a	gibt die Strukturformeln ...	4			
2b	gibt die Strukturformeln ...	6			
3	begründet, warum der ...	4			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 3. Teilaufgabe	18			

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	erklärt, welche Beobachtungen ...	4			
2	entwickelt mithilfe der ...	8			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 4. Teilaufgabe	12			
	Summe der 1., 2., 3. und 4. Teilaufgabe	66			

Darstellungsleistung

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	führt seine Gedanken ...	5			
2	strukturiert seine Darstellung ...	4			
	Summe Darstellungsleistung	9			

	Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)	75			
--	---	-----------	--	--	--

Festlegung der Gesamtnote (Bitte nur bei der letzten bearbeiteten Aufgabe ausfüllen.)

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
Übertrag der Punktzahl aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	75			
Übertrag der Punktzahl aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	75			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	150			
aus der Punktzahl resultierende Note gemäß nachfolgender Tabelle				
Note ggf. unter Absenkung um bis zu zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
Paraphe				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktzahlen aus EK und ZK: _____

ggf. arithmetisches Mittel der Notenurteile aus EK und ZK: _____

Die Klausur wird abschließend mit der Note: _____ (____ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum:

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

Für die Zuordnung der Notenstufen zu den Punktzahlen ist folgende Tabelle zu verwenden:

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	150 – 143
sehr gut	14	142 – 135
sehr gut minus	13	134 – 128
gut plus	12	127 – 120
gut	11	119 – 113
gut minus	10	112 – 105
befriedigend plus	9	104 – 98
befriedigend	8	97 – 90
befriedigend minus	7	89 – 83
ausreichend plus	6	82 – 75
ausreichend	5	74 – 68
ausreichend minus	4	67 – 60
mangelhaft plus	3	59 – 50
mangelhaft	2	49 – 40
mangelhaft minus	1	39 – 30
ungenügend	0	29 – 0



Name: _____

Abiturprüfung 2015

Chemie, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Höher – schneller – leichter: Carbonfasern und ihre Verbundwerkstoffe

1. Stellen Sie den Herstellungsprozess eines carbonfaserverstärkten Kunststoffes ausgehend von Acrylnitril schematisch (z. B. in einem Fließdiagramm) dar. Nennen Sie Vor- und Nachteile, die beim Einsatz von carbonfaserverstärkten Kunststoffen entstehen.
(14 Punkte)
2. Erläutern Sie die einzelnen Reaktionsschritte der Synthese von Polyacrylnitril aus Acrylnitril mithilfe von Strukturformelausschnitten. Erklären Sie, warum Carbonfasern einen höheren Schmelzbereich und eine größere Festigkeit besitzen als Fasern aus Polyacrylnitril. Geben Sie begründet den Reaktionstyp für die Cyclisierung an.
(22 Punkte)
3. Erklären Sie die angegebene Synthese des Präpolymers aus Bisphenol A und Epichlorhydrin. Erläutern Sie mithilfe von Strukturformelausschnitten die Reaktion einer Aminogruppe mit zwei Epoxidgruppen. Begründen Sie, warum das entstehende Epoxidharz ein Duroplast ist.
(18 Punkte)
4. Erläutern Sie die Notwendigkeit der Oxidation der Oberfläche der Carbonfaser. Erläutern Sie, auch mithilfe von Skizzen, Wechselwirkungen, die zwischen den funktionellen Gruppen auf der Oberfläche der Carbonfaser und den Molekülen des angegebenen Epoxidharzes möglich sind.
(12 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit)
- Periodensystem
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung



Name: _____

Fachspezifische Vorgaben:

Ausgelöst durch die Diskussion über den Klimawandel und die immer weiter steigenden Energiepreise wurden in jüngster Zeit große Anstrengungen unternommen, um leichtere Werkstoffe für Flugzeuge und Kraftwagen zu entwickeln. Dabei müssen diese aber auch höchsten Ansprüchen in Bezug auf Belastung und Beständigkeit genügen. Carbonfasern (Kohlenstofffasern) sind hierfür derzeit die bedeutendsten Ersatzwerkstoffe. Sie werden in mehreren Schritten aus einer Kunststofffaser, wie zum Beispiel einer Polyacrylnitril-Faser, hergestellt und dann in ein Harz eingebettet. Dabei entstehen sogenannte Verbundwerkstoffe, die man carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) nennt. Im Alltag werden carbonfaserverstärkte Kunststoffe als „Carbon“ bezeichnet. Die Dichte von CFK ist etwa halb so groß wie die Dichte von Aluminium und beträgt nur ca. 1/5 der Dichte von Stahl. Dabei übertreffen carbonfaserverstärkte Kunststoffe aber vergleichbare metallische Werkstoffe in ihrer Festigkeit und Steifigkeit.

Bei der Herstellung von CFK wird in einem 1. Schritt Polyacrylnitril (PAN) durch radikalische Polymerisation aus Acrylnitril hergestellt. Danach wird aus Polyacrylnitril eine Faser gesponnen, die im nächsten Schritt bei einer Temperatur von ca. 200 °C durch Cyclisierung in eine nicht schmelzbare Faser, das sogenannte cyclisierte PAN umgewandelt wird (Abbildung 1).

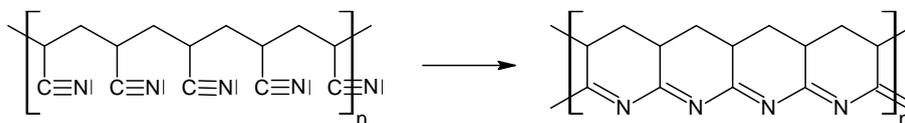


Abbildung 1: Cyclisierung von PAN

Darauf folgt die sogenannte Carbonisierung. Durch hohe Temperaturen (1300 bis 1500 °C) und unter Stickstoffatmosphäre werden in einem komplizierten Prozess die cyclisierten PAN-Fasern in Carbonfasern mit schichtartigen Strukturen (Abbildung 2) überführt. Diese Carbonfasern besitzen eine besonders hohe Festigkeit.

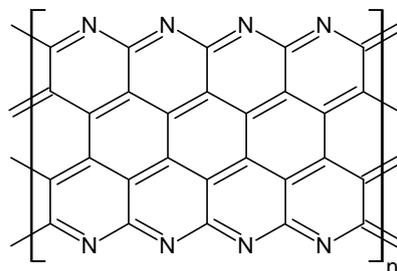


Abbildung 2: Ausschnitt aus einem Carbonfaser-Molekül

Bei der Carbonisierung nehmen Polarität und Reaktivität stark ab. Deshalb wird die Carbonfaser an der Oberfläche oxidiert. Es entstehen dort Carbonyl-, Hydroxy- und Carboxygruppen, die für eine bessere Haftung mit den Harzen, in die die Carbonfasern eingebettet werden, sorgen.

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2015

Chemie, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die auf fachspezifischen Vorgaben basiert

2. Aufgabenstellung¹

Höher – schneller – leichter: Carbonfasern und ihre Verbundwerkstoffe

1. Stellen Sie den Herstellungsprozess eines carbonfaserverstärkten Kunststoffes ausgehend von Acrylnitril schematisch (z. B. in einem Fließdiagramm) dar. Nennen Sie Vor- und Nachteile, die beim Einsatz von carbonfaserverstärkten Kunststoffen entstehen. (14 Punkte)
2. Erläutern Sie die einzelnen Reaktionsschritte der Synthese von Polyacrylnitril aus Acrylnitril mithilfe von Strukturformelausschnitten. Erklären Sie, warum Carbonfasern einen höheren Schmelzbereich und eine größere Festigkeit besitzen als Fasern aus Polyacrylnitril. Geben Sie begründet den Reaktionstyp für die Cyclisierung an. (22 Punkte)
3. Erklären Sie die angegebene Synthese des Präpolymers aus Bisphenol A und Epichlorhydrin. Erläutern Sie mithilfe von Strukturformelausschnitten die Reaktion einer Aminogruppe mit zwei Epoxidgruppen. Begründen Sie, warum das entstehende Epoxidharz ein Duroplast ist. (18 Punkte)
4. Erläutern Sie die Notwendigkeit der Oxidation der Oberfläche der Carbonfaser. Erläutern Sie, auch mithilfe von Skizzen, Wechselwirkungen, die zwischen den funktionellen Gruppen auf der Oberfläche der Carbonfaser und den Molekülen des angegebenen Epoxidharzes möglich sind. (12 Punkte)

3. Materialgrundlage

- Jäger, H.; Hauke, T.: Carbonfasern und ihre Verbundwerkstoffe. Verlag Moderne Industrie, München 2010
- VDI Zentrum Ressourceneffizienz: Publikationen: Kurzanalyse Nr. 3, Mai 2013, http://www.vdi-zre.de/fileadmin/user_upload/downloads/studien/2013_VDI_ZRE_Kohlenstofffaserverstaerkte_Kunststoffe_im_Fahrzeugbau_web.pdf (Zugriff 14.01.2014)
- https://www1.ethz.ch/structures/education/bachelor/faserverstaerkte_kunststoffe/Skript/151-0363-00L-V10-K7-Ausgangswerkstoffe.pdf (Zugriff 14.01.2014)

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

4. Bezüge zu den Vorgaben 2015

<p>1. <i>Inhaltliche Schwerpunkte</i> Theoriekonzept: Makromoleküle Themenfeld: Natürliche und synthetische Werkstoffe (Polymerisate durch radikalische Polymerisation; Polyester; Polyamide; Proteine; Polyurethane)</p> <p>2. <i>Medien/Materialien</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • entfällt
--

5. Zugelassene Hilfsmittel

- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit)
- Periodensystem
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

Teilleistungen – Kriterien

a) inhaltliche Leistung

Teilaufgabe 1

Anforderungen		maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
1	<p>stellt den Herstellungsprozess eines carbonfaserverstärkten Kunststoffes ausgehend von Acrylnitril schematisch (z. B. in einem Fließdiagramm) dar, z. B.:</p> <pre> graph TD A[Acrylnitril] -- Polymerisieren --> B[Polyacrylnitril] B -- Spinnen --> C[Polyacrylnitril-Faser] C -- Cyclisieren --> D[cyclisierte Polyacrylnitril-Faser] D -- Carbonisieren --> E[Carbonfaser] E -- Oxidieren der Oberfläche --> F[Carbonfaser mit funktionellen Gruppen] F -- Einbetten in ein Harz --> G[carbonfaserverstärkter Kunststoff] </pre>	8

2	nennt Vor- und Nachteile, die beim Einsatz von carbonfaserverstärkten Kunststoffen entstehen, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Vorteile: hohe Festigkeit und große Steifigkeit bei geringer Masse, dadurch Energieersparnis beim Einsatz in Flugzeugen und Kraftwagen, • Nachteile: hoher Energieeinsatz bei der Produktion, Verwendung von Erdölressourcen, Recycling wahrscheinlich nur schwer möglich. 	6
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1a	erläutert die einzelnen Reaktionsschritte der Synthese von Polyacrylnitril aus Acrylnitril mithilfe von Strukturformelausschnitten. <i>(Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling die einzelnen Reaktionsschritte wie die Bildung des Startradikals aus einem organischen Peroxid, die Anlagerung des Startradikals an ein Acrylnitril-Molekül als Kettenstart, die Reaktion des Startradikals mit einem weiteren Acrylnitril-Molekül als Kettenfortpflanzung und den Kettenabbruch, z. B. durch Rekombination zweier Radikale, erläutert.)</i>	8
1b	erläutert die einzelnen Reaktionsschritte der Synthese von Polyacrylnitril aus Acrylnitril mithilfe von Strukturformelausschnitten. <i>(Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling Strukturformelausschnitte zeichnet, die die einzelnen Reaktionsschritte, wie die Bildung des Startradikals, den Kettenstart, die Kettenfortpflanzung und den Kettenabbruch, darstellen.)</i>	6
2	erklärt, warum Carbonfasern einen höheren Schmelzbereich und eine größere Festigkeit besitzen als Fasern aus Polyacrylnitril, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Bei Polyacrylnitril können sich zwischen den einzelnen Polymerketten nur Van-der-Waals-Kräfte und Dipol-Dipol-Wechselwirkungen ausbilden. Die einzelnen Ketten sind gegeneinander beweglich. • Durch die Cyclisierung und die Carbonisierung entstehen Molekülschichten, die starrer sind als die ursprünglichen Polymerketten. Zwischen den Molekülschichten können sich stärkere zwischenmolekulare Wechselwirkungen ausbilden. Dadurch erhöhen sich Festigkeit und Schmelzbereich der Faser. <i>(Hinweis: Auch andere plausible Erklärungen sind möglich.)</i>	4
3	gibt begründet den Reaktionstyp für die Cyclisierung an, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Nucleophile Addition an die Kohlenstoff-Stickstoff-Dreifachbindung. • Das negativ polarisierte Stickstoff-Atom einer Nitrilgruppe reagiert im ersten Schritt mit dem positiv polarisierten Kohlenstoff-Atom der nächsten Nitrilgruppe, dabei wird die Dreifachbindung aufgebrochen. 	4
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>erklärt die angegebene Synthese des Präpolymers aus Bisphenol A und Epichlorhydrin, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Hydroxygruppen von Bisphenol A-Molekülen reagieren mit den Epoxidgruppen von Epichlorhydrin-Molekülen, dabei reagieren die Hydroxygruppen als Nukleophile und die Epoxidringe werden gespalten. Weiterhin können ein Bisphenol A-Molekül und ein Epichlorhydrin-Molekül unter Abspaltung eines HCl-Moleküls miteinander reagieren: Kondensation. Durch die Verknüpfung der Monomere entsteht ein Polymer. 	8
2	<p>erläutert mithilfe von Strukturformelausschnitten die Reaktion einer Aminogruppe mit zwei Epoxidgruppen, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Aminogruppe kann analog zur Hydroxygruppe unter Aufspaltung des Ringes mit einer Epoxidgruppe reagieren. Angabe von geeigneten Strukturformelausschnitten, z. B.: $R_1-NH_2 + 2 \begin{array}{c} O \\ \diagup \quad \diagdown \\ H_2C \quad CH-R_2 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} OH \\ \\ R_2-CH-CH_2 \\ \\ N \\ \\ R_1 \\ \\ CH_2-CH-R_2 \\ \\ OH \end{array}$	6
3	<p>begründet, warum das entstehende Epoxidharz ein Duroplast ist, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Da jede Aminogruppe mit zwei Epoxidgruppen reagieren kann und Diamine eingesetzt werden, entsteht eine dreidimensionale Vernetzung der Makromoleküle. Daher ist das Epoxidharz duroplastisch. 	4
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>erläutert die Notwendigkeit der Oxidation der Oberfläche der Carbonfaser, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ohne funktionelle Gruppen sind die Moleküle in den Carbonfasern unpolar und können nur Van-der-Waals Kräfte mit anderen Molekülen ausbilden. Die schwachen Van-der-Waals Kräfte reichen für die gewünschte Festigkeit des Verbundwerkstoffes nicht aus. Mit der Einführung von funktionellen Gruppen wie Hydroxy-, Carbonyl- oder Carboxygruppen sind stärkere zwischenmolekulare Wechselwirkungen möglich. Der Verbundwerkstoff wird durch stärkere zwischenmolekulare Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Molekülen fester. 	8
2	<p>erläutert, auch mithilfe von Skizzen, Wechselwirkungen, die zwischen den funktionellen Gruppen auf der Oberfläche der Carbonfaser und den Molekülen des angegebenen Epoxidharzes möglich sind.</p> <p>(Hinweis: Es wird erwartet dass der Prüfling auf mögliche Dipol-Dipol-Wechselwirkungen und Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Hydroxy-, Carboxy- oder Carbonylgruppen auf der Oberfläche der Carbonfaser und den Molekülen des angegebenen Epoxidharzes eingeht und entsprechende Strukturformelausschnitte zeichnet.)</p>	4
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	führt seine Gedanken schlüssig, stringent und klar aus.	5
2	<ul style="list-style-type: none">• strukturiert seine Darstellung sachgerecht und übersichtlich,• verwendet eine differenzierte und präzise Sprache,• veranschaulicht seine Ausführungen durch geeignete Skizzen, Schemata etc.,• gestaltet seine Arbeit formal ansprechend.	4

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	stellt den Herstellungsprozess ...	8			
2	nennt Vor- und ...	6			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 1. Teilaufgabe	14			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1a	erläutert die einzelnen ...	8			
1b	erläutert die einzelnen ...	6			
2	erklärt, warum Carbonfasern ...	4			
3	gibt begründet den ...	4			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 2. Teilaufgabe	22			

² EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	erklärt die angegebene ...	8			
2	erläutert mithilfe von ...	6			
3	begründet, warum das ...	4			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 3. Teilaufgabe	18			

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	erläutert die Notwendigkeit ...	8			
2	erläutert, auch mithilfe ...	4			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 4. Teilaufgabe	12			
	Summe der 1., 2., 3. und 4. Teilaufgabe	66			

Darstellungsleistung

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	führt seine Gedanken ...	5			
2	strukturiert seine Darstellung ...	4			
	Summe Darstellungsleistung	9			

	Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)	75			
--	---	-----------	--	--	--

Festlegung der Gesamtnote (Bitte nur bei der letzten bearbeiteten Aufgabe ausfüllen.)

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
Übertrag der Punktzahl aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	75			
Übertrag der Punktzahl aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	75			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	150			
aus der Punktzahl resultierende Note gemäß nachfolgender Tabelle				
Note ggf. unter Absenkung um bis zu zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
Paraphe				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktzahlen aus EK und ZK: _____

ggf. arithmetisches Mittel der Notenurteile aus EK und ZK: _____

Die Klausur wird abschließend mit der Note: _____ (____ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum:

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

Für die Zuordnung der Notenstufen zu den Punktzahlen ist folgende Tabelle zu verwenden:

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	150 – 143
sehr gut	14	142 – 135
sehr gut minus	13	134 – 128
gut plus	12	127 – 120
gut	11	119 – 113
gut minus	10	112 – 105
befriedigend plus	9	104 – 98
befriedigend	8	97 – 90
befriedigend minus	7	89 – 83
ausreichend plus	6	82 – 75
ausreichend	5	74 – 68
ausreichend minus	4	67 – 60
mangelhaft plus	3	59 – 50
mangelhaft	2	49 – 40
mangelhaft minus	1	39 – 30
ungenügend	0	29 – 0