



Name: _____

Abiturprüfung 2020

Chemie, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Polyvinylbutyral macht Scheiben sicher

1. Stellen Sie die Synthese von Polyvinylbutyral (PVB) ausgehend von Ethin und Essigsäure in einem Fließschema dar. Geben Sie den Reaktionstyp der Synthese von Vinylacetat aus Ethin und Essigsäure an. Erläutern Sie die einzelnen Reaktionsschritte für die Bildung von Polyvinylacetat aus Vinylacetat mithilfe von vereinfachten Strukturformeln. (20 Punkte)
2. Geben Sie die Reaktionsgleichung und den Reaktionstyp der Umsetzung von Polyvinylacetat und Methanol an. Geben Sie den Namen des Stoffes an, der neben Polyvinylalkohol bei der Reaktion entsteht. Erläutern Sie Möglichkeiten, die Produktausbeute bei dieser Reaktion zu erhöhen. (12 Punkte)
3. Ordnen Sie Butanal einer Stoffklasse zu. Geben Sie die Reaktionsgleichung der Reaktion von 1-Butanol mit Sauerstoff zu Butanal und Wasser an und prüfen Sie, ob es sich bei dieser Reaktion um eine Redoxreaktion handelt. Erläutern Sie Schritt 2 der Synthese von PVB aus Butanal und Polyvinylalkohol in Einzelschritten mithilfe von vereinfachten Strukturformeln. (18 Punkte)
4. Begründen Sie mithilfe der Molekülstruktur die Erwärmung der PVB-Folie auf 135 °C – 145 °C während des Herstellungsprozesses. Skizzieren Sie eine vereinfachte modellhafte Darstellung der Wechselwirkungen zwischen der Terpolymer-Folie und Glas auf molekularer Ebene. Erläutern Sie mögliche zwischenmolekulare Wechselwirkungen an der Kontaktfläche. (16 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

- Taschenrechner (grafikfähiger Taschenrechner / CAS-Taschenrechner)
- Periodensystem
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung



Name: _____

Fachspezifische Vorgaben:

Polyvinylbutyral macht Scheiben sicher

Bei Autounfällen geht eine Verletzungsgefahr von umherfliegenden Glassplittern aus. Daher ist für Windschutzscheiben sogenanntes Verbundsicherheitsglas (VSG) vorgeschrieben. Hierbei sind zwei Glasscheiben über eine in der Mitte liegende Kunststofffolie fest zusammengefügt. Diese Folie besteht bei modernen Scheiben in der Regel aus dem Kunststoff Polyvinylbutyral (PVB).

Herstellung von Polyvinylbutyral (PVB)

PVB lässt sich nicht direkt aus Monomeren herstellen, daher ist ein mehrstufiges Syntheseverfahren notwendig.

Zuerst wird aus Ethin und Essigsäure Vinylacetat gewonnen, welches mithilfe eines Radikalstarters zu Polyvinylacetat umgesetzt wird. Dieser so gewonnene Kunststoff reagiert dann mit Methanol zu Polyvinylalkohol und einem weiteren Produkt. Polyvinylalkohol wird schließlich mit Butanal zu PVB und Wasser umgesetzt.

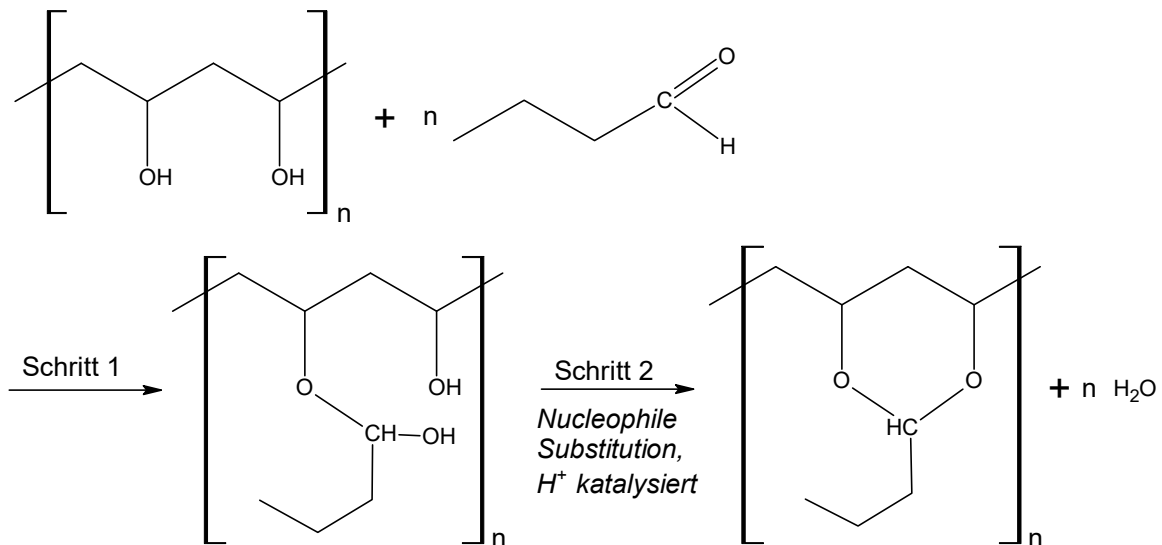


Abbildung 1: Polyvinylalkohol und Butanal reagieren zu PVB und Wasser

Das benötigte Butanal lässt sich unter anderem aus 1-Butanol herstellen, welches unter Einsatz eines Katalysators mit Sauerstoff umgesetzt wird.

Um die besondere Wechselwirkung des Kunststoffs PVB mit der Glasscheibe zu verstehen, ist es wichtig zu wissen, dass die Reaktionsschritte zur Herstellung von Polyvinylalkohol und PVB nur unvollständig ablaufen. Deshalb handelt es sich eigentlich um ein Terpolymer, d. h. das Polymer enthält sowohl Acetat- als auch Hydroxy- und Butyralgruppen.

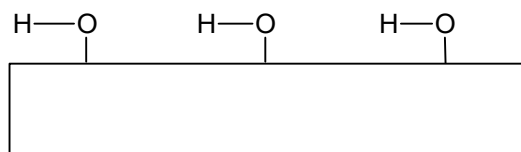


Name: _____

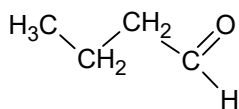
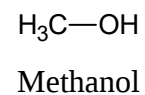
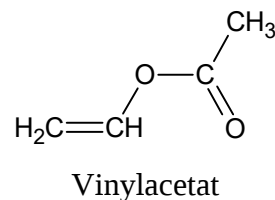
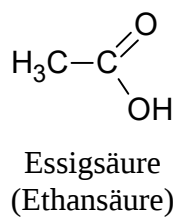
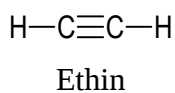
Herstellung der Verbundsicherheitsglasscheiben

Die beiden Glasscheiben werden gereinigt und in einem Reinraum mit der Folie aus PVB zusammengefügt. Hierzu wird die Folie auf 135 °C – 145 °C erwärmt und dann mit den beiden Glasscheiben verpresst.

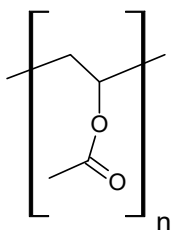
Zusatzinformationen



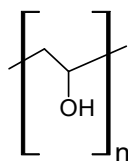
Stark vereinfachte modellhafte Darstellung der Oberfläche einer Glasscheibe



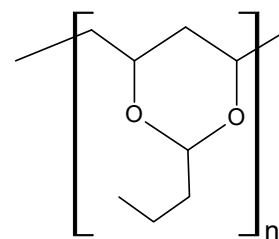
Butanal



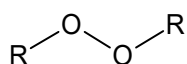
Polyvinylacetat



Polyvinylalkohol



Polyvinylbutyral (PVB)



Allgemeine Form eines Peroxids als Beispiel für einen Radikalstarter

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2020

Chemie, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die auf fachspezifischen Vorgaben basiert

2. Aufgabenstellung¹

Polyvinylbutyral macht Scheiben sicher

1. Stellen Sie die Synthese von Polyvinylbutyral (PVB) ausgehend von Ethin und Essigsäure in einem Fließschema dar. Geben Sie den Reaktionstyp der Synthese von Vinylacetat aus Ethin und Essigsäure an. Erläutern Sie die einzelnen Reaktionsschritte für die Bildung von Polyvinylacetat aus Vinylacetat mithilfe von vereinfachten Strukturformeln. (20 Punkte)
2. Geben Sie die Reaktionsgleichung und den Reaktionstyp der Umsetzung von Polyvinylacetat und Methanol an. Geben Sie den Namen des Stoffes an, der neben Polyvinylalkohol bei der Reaktion entsteht. Erläutern Sie Möglichkeiten, die Produktausbeute bei dieser Reaktion zu erhöhen. (12 Punkte)
3. Ordnen Sie Butanal einer Stoffklasse zu. Geben Sie die Reaktionsgleichung der Reaktion von 1-Butanol mit Sauerstoff zu Butanal und Wasser an und prüfen Sie, ob es sich bei dieser Reaktion um eine Redoxreaktion handelt. Erläutern Sie Schritt 2 der Synthese von PVB aus Butanal und Polyvinylalkohol in Einzelschritten mithilfe von vereinfachten Strukturformeln. (18 Punkte)
4. Begründen Sie mithilfe der Molekülstruktur die Erwärmung der PVB-Folie auf 135 °C – 145 °C während des Herstellungsprozesses. Skizzieren Sie eine vereinfachte modellhafte Darstellung der Wechselwirkungen zwischen der Terpolymer-Folie und Glas auf molekularer Ebene. Erläutern Sie mögliche zwischenmolekulare Wechselwirkungen an der Kontaktfläche. (16 Punkte)

3. Materialgrundlage

- Ensslen, Frank: Zum Tragverhalten von Verbund-Sicherheitsglas unter Berücksichtigung der Alterung der Polyvinylbutyral-Folie, Dissertation, Bochum 2005
- Cichecki, Piotr; Gioello, Antonio et al.: Sanco Glasbuch, 6. Auflage, Nördlingen 2018, S. 57 ff.

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

4. Bezüge zum Kernlehrplan und zu den Vorgaben 2020

Die Aufgaben weisen vielfältige Bezüge zu den Kompetenzerwartungen und Inhaltsfeldern des Kernlehrplans bzw. zu den in den Vorgaben ausgewiesenen Fokussierungen auf. Im Folgenden wird auf Bezüge von zentraler Bedeutung hingewiesen.

<p>1. <i>Inhaltsfelder und inhaltliche Schwerpunkte</i> Organische Produkte – Werkstoffe und Farbstoffe</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organische Verbindungen und Reaktionswege • Reaktionsabläufe • Organische Werkstoffe • Farbstoffe und Farbigkeit • Konzentrationsbestimmung durch Lichtabsorption <p>2. <i>Medien/Materialien</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

- Taschenrechner (grafikfähiger Taschenrechner / CAS-Taschenrechner)
- Periodensystem
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

Teilleistungen – Kriterien

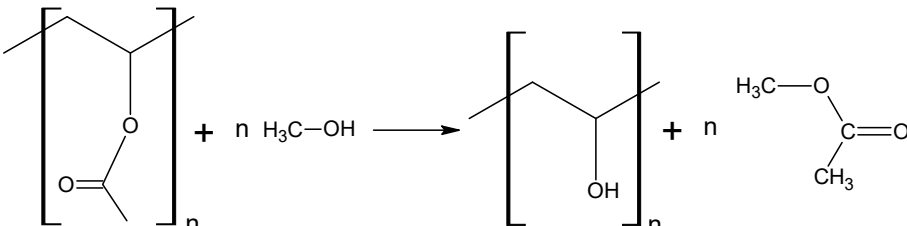
a) inhaltliche Leistung

Teilaufgabe 1

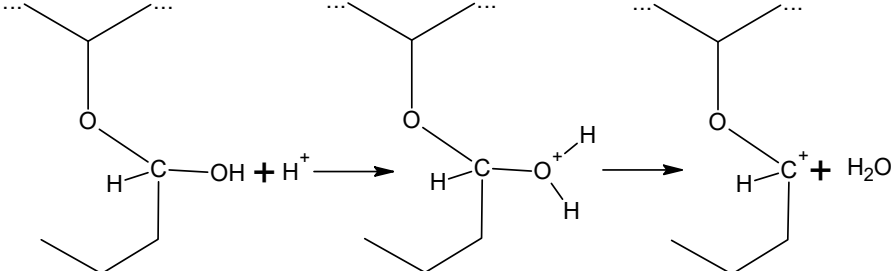
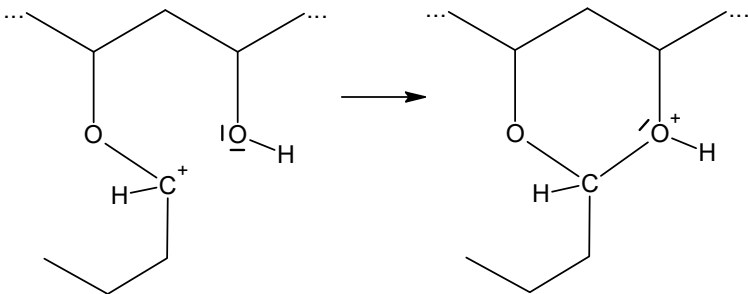
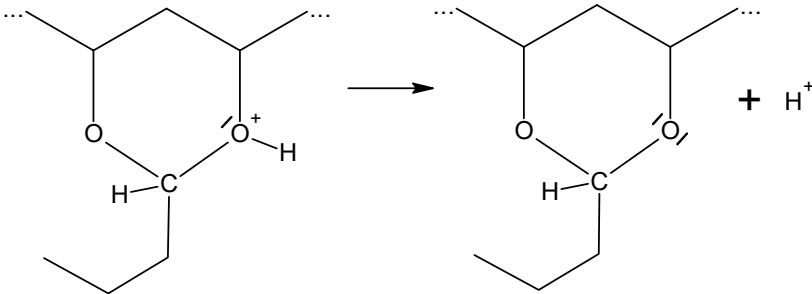
	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	stellt die Synthese von Polyvinylbutyral (PVB) ausgehend von Ethin und Essigsäure in einem Fließschema dar, z. B.: Ethin und Ethansäure (Essigsäure) ↓ Vinylacetat ↓ Radikalstarter Polyvinylacetat ↓ Umsetzung mit Methanol Polyvinylalkohol ↓ Reaktion mit Butanal Polyvinylbutyral	6

2	gibt den Reaktionstyp der Synthese von Vinylacetat aus Ethin und Essigsäure an. • Addition	2
3a	erläutert die einzelnen Reaktionsschritte für die Bildung von Polyvinylacetat aus Vinylacetat, z. B.: • Bildung von zwei Startradikalen aus einem radikalbildenden Molekül, • Reaktion eines Startradikals mit einem Vinylacetat-Molekül, wobei ein neues Radikal entsteht (Kettenstart), • Reaktion des neu gebildeten Radikals mit einem weiteren Vinylacetat-Molekül (Kettenwachstum), • Reaktion zweier Radikale zu einem Molekül, das kein Radikal ist, sodass die Reaktionskette abbricht (Kettenabbruch durch Rekombination) oder eine alternative Abbruchreaktion.	6
3b	erläutert die einzelnen Reaktionsschritte für die Bildung von Polyvinylacetat aus Vinylacetat mithilfe von vereinfachten Strukturformeln. <i>Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling für die oben genannten Einzelschritte entsprechende Reaktionsschemata angibt.</i>	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

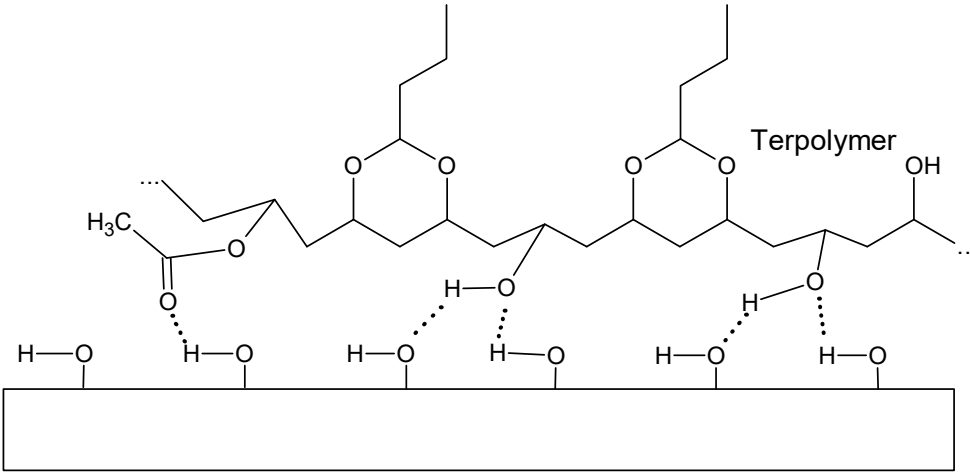
Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
1	gibt die Reaktionsgleichung und den Reaktionstyp der Umsetzung von Polyvinylacetat und Methanol an, z. B.:  Bei der Reaktion handelt es sich um eine Additions-/Eliminierungs- bzw. eine Substitutionsreaktion. <i>Hinweis: Alternativ wird auch die Einordnung als Kondensations- bzw. Umesterungsreaktion akzeptiert.</i>	6
2	gibt den Namen des Stoffes an, der neben Polyvinylalkohol bei der Reaktion entsteht. • Es entsteht Ethansäuremethylester.	2
3	erläutert Möglichkeiten, die Produktausbeute bei dieser Reaktion zu erhöhen, z. B.: • Da es sich bei dieser Reaktion um eine Gleichgewichtsreaktion handelt, kann die Produktausbeute erhöht werden, indem der entstehende Ester, z. B. durch Destillation, entfernt wird. • Die Erhöhung der Konzentration eines Eduktes, in diesem Fall die des Methanols, vergrößert ebenfalls die Ausbeute.	4
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
1	ordnet Butanal einer Stoffklasse zu. • Stoffklasse: Aldehyd/Alkanal	2
2	gibt die Reaktionsgleichung der Reaktion von 1-Butanol mit Sauerstoff zu Butanal und Wasser an, z. B.: $2 \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH} + \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{O} + 2 \text{H}_2\text{O}$	4
3	prüft, ob es sich bei dieser Reaktion um eine Redoxreaktion handelt, z. B.: • Das C-1-Atom im 1-Butanolmolekül hat die Oxidationszahl $-I$. Die Sauerstoffatome im Sauerstoffmolekül haben die Oxidationszahl 0 . Das C-1-Atom im Butanalmolekül hat die Oxidationszahl $+I$. Das Sauerstoffatom im Wassermolekül hat die Oxidationszahl $-II$. • Die Oxidationszahl des C-1-Atoms erhöht sich von $-I$ auf $+I$ bei der Bildung von Butanal (Oxidation) und die Oxidationszahl des Sauerstoffatoms sinkt von 0 auf $-II$ bei der Bildung von Wasser (Reduktion). Es handelt sich um eine Redoxreaktion.	4
4	erläutert Schritt 2 der Synthese von PVB aus Butanal und Polyvinylalkohol in Einzelschritten mithilfe von vereinfachten Strukturformeln, z. B.:  <p>beschreibt die Protonierung (Katalysator) und die Abspaltung von Wassermolekülen.</p>  <p>beschreibt den nucleophilen Angriff.</p>  <p>beschreibt die Abspaltung des H^+-Ions. <i>Hinweis: Andere sinnvolle Lösungen sind ebenfalls zu akzeptieren.</i></p>	8
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
1	begründet mithilfe der Molekülstruktur die Erwärmung der PVB-Folie auf 135 °C – 145 °C während des Herstellungsprozesses, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Bei PVB handelt es sich um einen thermoplastischen Kunststoff, da lineare Makromoleküle vorliegen. • PVB erweicht daher bei höheren Temperaturen und passt sich den Glasoberflächen an. 	4
2	skizziert eine vereinfachte modellhafte Darstellung der Wechselwirkungen zwischen der Terpolymer-Folie und Glas auf molekularer Ebene, z. B.: <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  <p>Terpolymer</p> </div> <p>⋯ Wasserstoffbrücken</p> <p><i>Hinweise:</i> Eine sehr vereinfachte Darstellung des Terpolymers ist ausreichend. Zentral ist, dass die Wechselwirkungen zwischen Glasoberfläche und Terpolymer dargestellt werden. Weitere zwischenmolekulare Wechselwirkungen sind möglich.</p>	6

3	erläutert mögliche zwischenmolekulare Wechselwirkungen an der Kontaktfläche, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Die Glasoberfläche besitzt polare Hydroxy-Gruppen. • Insbesondere die Acetatgruppen und die Hydroxygruppen des Kunststoffmoleküls bilden mit den Hydroxygruppen der Glasoberfläche Wasserstoffbrücken aus. 	6
4	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 die Synthese ...	6			
2	gibt den Reaktionstyp ...	2			
3a	erläutert die einzelnen ...	6			
3b	erläutert die einzelnen ...	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	gibt die Reaktionsgleichung ...	6			
2	gibt den Namen ...	2			
3	erläutert Möglichkeiten, die ...	4			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 2. Teilaufgabe	12			

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

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	ordnet Butanal einer ...	2			
2	gibt die Reaktionsgleichung ...	4			
3	prüft, ob es ...	4			
4	erläutert Schritt 2 ...	8			
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 3. Teilaufgabe	18			

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	begründet mithilfe der ...	4			
2	skizziert eine vereinfachte ...	6			
3	erläutert mögliche zwischenmolekulare ...	6			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 4. Teilaufgabe	16			
	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				

Berechnung der Endnote nach Anlage 4 der Abiturverordnung auf der Grundlage von § 34 APO-GOST

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 – 41
mangelhaft minus	1	40 – 30
ungenügend	0	29 – 0



Name: _____

Abiturprüfung 2020

Chemie, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Recycling von Natriumsulfat durch Elektrodialyse

1. Zeichnen Sie den Versuchsaufbau des Modellexperiments der einfachen Elektrolyse einer Natriumsulfat-Lösung. Erläutern Sie die Beobachtungen des Modellexperiments unter Angabe von Reaktionsgleichungen. Erläutern Sie den Sachverhalt, dass im Modell-experiment an der Kathode kein elementares Natrium gebildet wird. *(18 Punkte)*
2. Geben Sie im schematischen Aufbau der Elektrodialysezelle (siehe Anlage) alle beteiligten Stoffe und Ionen an. Erläutern Sie die Entstehung von Natronlauge und Schwefel-säure als Produkte beim Betreiben der Anlage. Begründen Sie die Untauglichkeit der Versuchsanordnung des Modellexperiments zur Verwertung von überschüssigem Natrium-sulfat. *(18 Punkte)*
3. Berechnen Sie die Potenziale im Kathodenraum und im Anodenraum vor Beginn der Elektrodialyse bei $\text{pH} = 7$ unter Verwendung der Nernst-Gleichung. Bestimmen Sie daraus die Gesamtspannung, die mindestens angelegt werden muss, um die Elektrodialyse unter den angegebenen Bedingungen zu starten. Prüfen Sie, ob sich dieser Wert beim Betreiben der Anlage verändert. *(18 Punkte)*
4. Berechnen Sie die Schwefelsäurekonzentration in der zur Prozesskontrolle entnommenen Lösung. Geben Sie in diesem Zusammenhang auch die der Titration zugrunde liegende Reaktionsgleichung an. *(12 Punkte)*

Zugelassene Hilfsmittel:

- Taschenrechner (grafikfähiger Taschenrechner / CAS-Taschenrechner)
- Periodensystem
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung



Name: _____

Fachspezifische Vorgaben:

Bei einer Vielzahl von industriellen chemischen Prozessen fällt Natriumsulfat (Na_2SO_4) als Nebenprodukt an. Zur sinnvollen Nutzung dieser Überschüsse kann daraus mittels Elektrodialyse Natronlauge und Schwefelsäure gewonnen werden.

Um das Verfahren der Elektrodialyse zu verstehen, geht man in einem Modellexperiment zunächst von einer einfachen Elektrolysezelle aus.

Modellexperiment:

Eine Natriumsulfat-Lösung wird in ein Becherglas gegeben. Nach Zugabe von Universalindikator färbt sich die Lösung gelbgrün. Zwei Platin-Elektroden werden in die Lösung eingetaucht. Bei Anlegen einer Spannung entwickelt sich an der einen Elektrode Wasserstoff, an der anderen Sauerstoff. Die Lösung färbt sich an der Anode rot, an der Kathode blau.

Elektrodialysezelle:

Zur Aufarbeitung der Natriumsulfat-Überschüsse ist die Versuchsanordnung des Modellexperiments untauglich. Hierzu müssen dreiteilige Elektrodialysezellen eingesetzt werden.

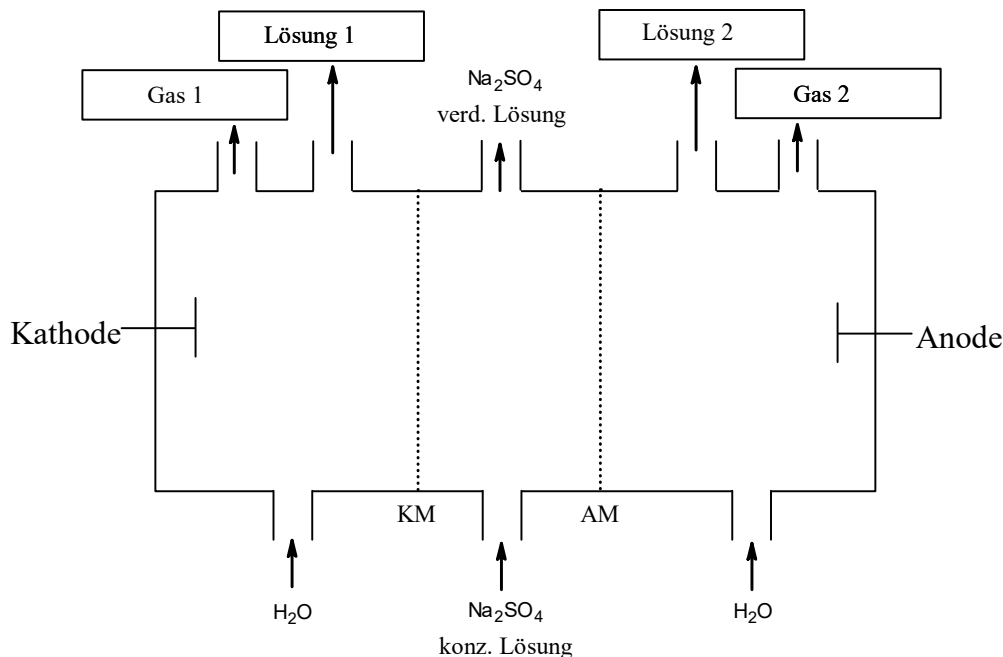


Abbildung 1: Schematischer Aufbau einer dreiteiligen Elektrodialysezelle von Na_2SO_4 -Lösung

Die Natriumsulfat-Lösung wird in die mittlere Kammer eingeleitet. Der Kathodenraum ist durch eine nur für Kationen durchlässige semipermeable Kationen-Membran (KM), der Anodenraum durch eine nur für Anionen durchlässige semipermeable Anionen-Membran (AM) abgetrennt.



Name: _____

Vor Beginn der Elektrodialyse beträgt der pH-Wert in allen Kammern $\text{pH} = 7$.

Zur Prozesskontrolle wird aus dem Anodenraum eine Probe mit einem Volumen von $V = 20,0 \text{ mL}$ entnommen, um die Konzentration der Schwefelsäure zu bestimmen. Die Probe wird gegen Natronlauge der Konzentration $c(\text{NaOH}) = 1,0 \text{ mol/L}$ titriert. Am Endpunkt der Titration erhält man einen Verbrauch von $V(\text{NaOH}) = 25,6 \text{ mL}$.

Zusatzinformationen:

Elektrochemische Spannungsreihe

Tabelle 1: Elektrodenpotenziale/Standardpotenziale (bei $25 \text{ }^\circ\text{C}$ und $101,3 \text{ kPa}$)

Stoff	Teilgleichung	Elektrodenpotenzial (E)
Natrium/Natrium-Kation	$\text{Na} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{e}^-$	$-2,71 \text{ V}$
Wasserstoff/Oxonium-Ion bei $\text{pH} = 0$	$\text{H}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2 \text{H}_3\text{O}^+ + 2\text{e}^-$	0 V
Wasserstoff/Wasser bei $\text{pH} = 14$	$\text{H}_2 + 2 \text{OH}^- \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	$-0,83 \text{ V}$
Wasser/Sauerstoff bei $\text{pH} = 0$	$6 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{O}_2 + 4 \text{H}_3\text{O}^+ + 4 \text{e}^-$	$1,23 \text{ V}$
Hydroxid-Ion/Sauerstoff bei $\text{pH} = 14$	$4 \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^-$	$0,40 \text{ V}$
Sulfat-Ion/Peroxodisulfat-Ion	$2 \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{e}^-$	$2,01 \text{ V}$

Nernst-Gleichung

$$E = E^0(\text{Red/Ox}) + \frac{0,059 \text{ V}}{z} \cdot \lg \frac{c(\text{Ox})}{c(\text{Red})}$$

Farben der Universalindikator-Lösung

Saure Lösung: rot

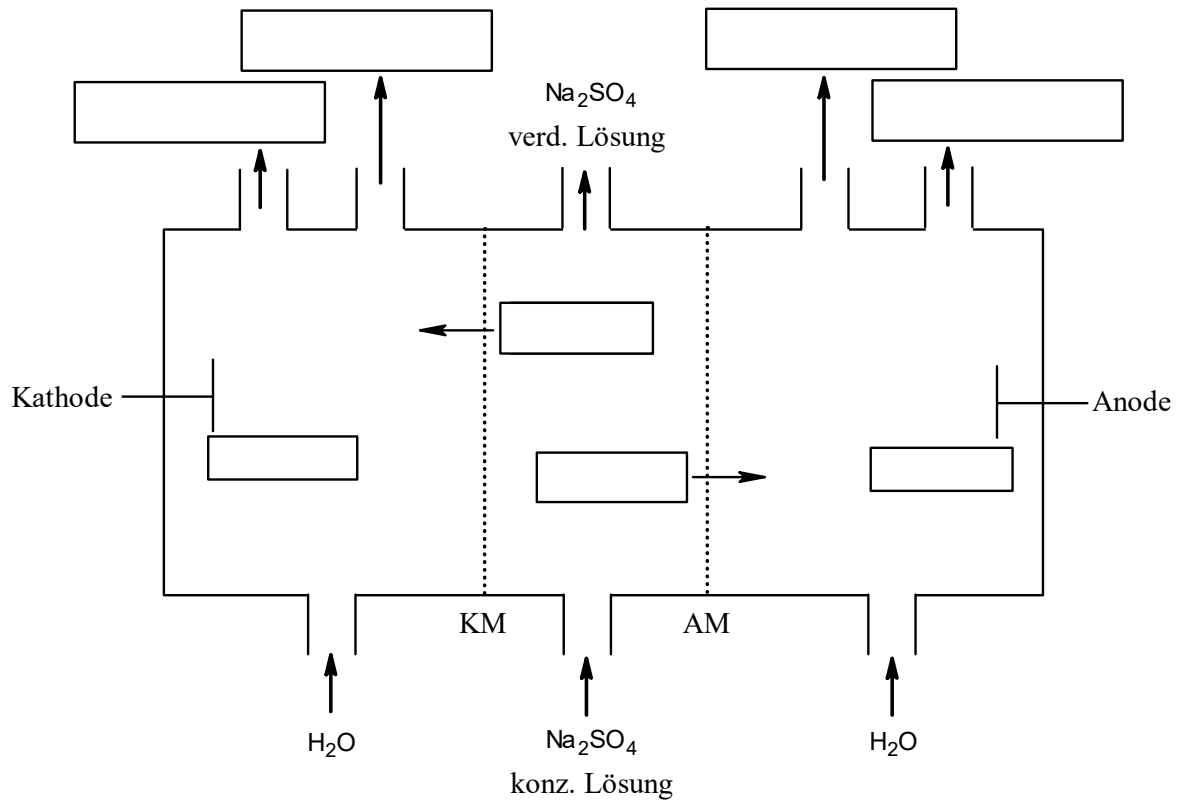
Neutrale Lösung: gelbgrün

Alkalische Lösung: blau



Name: _____

Anlage: Zum Ausfüllen für Aufgabe 2.1



Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2020

Chemie, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die auf fachspezifischen Vorgaben basiert

2. Aufgabenstellung¹

Recycling von Natriumsulfat durch Elektrodialyse

1. Zeichnen Sie den Versuchsaufbau des Modellexperiments der einfachen Elektrolyse einer Natriumsulfat-Lösung. Erläutern Sie die Beobachtungen des Modellexperiments unter Angabe von Reaktionsgleichungen. Erläutern Sie den Sachverhalt, dass im Modell-experiment an der Kathode kein elementares Natrium gebildet wird. (18 Punkte)
2. Geben Sie im schematischen Aufbau der Elektrodialysezelle (siehe Anlage) alle beteiligten Stoffe und Ionen an. Erläutern Sie die Entstehung von Natronlauge und Schwefel-säure als Produkte beim Betreiben der Anlage. Begründen Sie die Untauglichkeit der Versuchsanordnung des Modellexperiments zur Verwertung von überschüssigem Natrium-sulfat. (18 Punkte)
3. Berechnen Sie die Potenziale im Kathodenraum und im Anodenraum vor Beginn der Elektrodialyse bei $\text{pH} = 7$ unter Verwendung der Nernst-Gleichung. Bestimmen Sie daraus die Gesamtspannung, die mindestens angelegt werden muss, um die Elektrodialyse unter den angegebenen Bedingungen zu starten. Prüfen Sie, ob sich dieser Wert beim Betreiben der Anlage verändert. (18 Punkte)
4. Berechnen Sie die Schwefelsäurekonzentration in der zur Prozesskontrolle entnommenen Lösung. Geben Sie in diesem Zusammenhang auch die der Titration zugrunde liegende Reaktionsgleichung an. (12 Punkte)

3. Materialgrundlage

- Wambach, Heinz (Hrsg.): Materialien-Handbuch Kursunterricht Chemie, Band 4 Elektrochemie – Energetik, Aulis Verlag Deubner, Köln 1994, S. 197 –199
- www.igb.fraunhofer.de/elektrodialyse (Zugriff: 11.12.2019)

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

4. Bezüge zum Kernlehrplan und zu den Vorgaben 2020

Die Aufgaben weisen vielfältige Bezüge zu den Kompetenzerwartungen und Inhaltsfeldern des Kernlehrplans bzw. zu den in den Vorgaben ausgewiesenen Fokussierungen auf. Im Folgenden wird auf Bezüge von zentraler Bedeutung hingewiesen.

1. Inhaltsfelder und inhaltliche Schwerpunkte

Säuren, Basen und analytische Verfahren

- Eigenschaften und Struktur von Säuren und Basen
- Konzentrationsbestimmung von Säuren und Basen
- Titrationsmethoden im Vergleich

Elektrochemie

- Elektrochemische Gewinnung von Stoffen
- Mobile Energiequellen
- Quantitative Aspekte elektrochemischer Prozesse
- Korrosion und Korrosionsschutz

2. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

- Taschenrechner (grafikfähiger Taschenrechner / CAS-Taschenrechner)
- 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>zeichnet den Versuchsaufbau des Modellexperiments der einfachen Elektrolyse einer Natriumsulfat-Lösung.</p> <p><i>Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling in seiner Zeichnung folgende für die Durchführung der Elektrolyse notwendigen Geräte und Chemikalien verwendet: 2 Platinelektroden, die in eine wässrige Natriumsulfat-Lösung eintauchen und über eine Gleichspannungsquelle leitend verbunden sind.</i></p>	4

2a	<p>erläutert die Beobachtungen des Modellexperiments unter Angabe von Reaktionsgleichungen, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Anodenreaktion: $6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{H}_3\text{O}^+ + \text{O}_2 + 4 \text{e}^-$ Kathodenreaktion: $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{OH}^- + \text{H}_2$ <p><i>Hinweis: Der Prüfling kann aufgrund der Autoprotolyse des Wassers die Reaktionsgleichungen auch in der folgenden Form angeben: $4 \text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^-$ bzw. $2 \text{H}_3\text{O}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$</i></p>	4
2b	<p>erläutert die Beobachtungen des Modellexperiments unter Angabe von Reaktionsgleichungen, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die rote Färbung an der Anode weist auf die Entstehung einer sauren Lösung hin. An der Anode werden Wassermoleküle unter Bildung von Sauerstoffmolekülen oxidiert, dadurch bilden sich Oxonium-Ionen. Die blaue Färbung an der Kathode weist auf die Entstehung einer alkalischen Lösung hin. An der Kathode werden Wassermoleküle unter Bildung von Wasserstoffmolekülen reduziert, dadurch bilden sich Hydroxid-Ionen. 	4
3	<p>erläutert den Sachverhalt, dass im Modellexperiment an der Kathode kein elementares Natrium gebildet wird, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> An der Kathode wird der Stoff mit dem höchsten Redox-Potenzial abgeschieden. Wasserstoff hat ein Standardpotential von $E = 0 \text{ V}$ bei $\text{pH} = 0$, Natrium ein Standardpotential von $E^0 = -2,71 \text{ V}$. Wasserstoff hat das höhere Redox-Potenzial. <p><i>Hinweis: Eine Diskussion des Konzentrationseinflusses und der Überspannung wird nicht erwartet.</i></p>	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
1	<p>gibt im schematischen Aufbau der Elektrodialysezelle alle beteiligten Stoffe und Ionen an, z. B.:</p>	4

2a	<p>erläutert die Entstehung von Natronlauge als Produkt beim Betreiben der Anlage, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durch die Reduktion von Wassermolekülen oder Oxonium-Ionen entsteht in der Kathodenkammer ein Überschuss an Hydroxid-Ionen. Die Hydroxid-Ionen können die KM nicht durchdringen und reichern sich in der Kammer an. • Gleichzeitig wandern Natrium-Ionen durch die KM in die Kathodenkammer. Die Konzentration an Hydroxid-Ionen und Natrium-Ionen steigt immer weiter an. Es bildet sich Natronlauge. 	4
2b	<p>erläutert die Entstehung von Schwefelsäure als Produkt beim Betreiben der Anlage, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durch die Oxidation von Wassermolekülen/Hydroxid-Ionen entsteht in der Anodenkammer ein Überschuss an Oxonium-Ionen. Die Oxonium-Ionen können die AM nicht durchdringen und reichern sich in der Kammer an. • Gleichzeitig wandern Sulfat-Ionen durch die AM in die Anodenkammer. Die Konzentration an Oxonium-Ionen und Sulfat-Ionen steigt immer weiter an. Es bildet sich Schwefelsäure. 	4
3	<p>begründet die Untauglichkeit der Versuchsanordnung des Modellexperiments zur Verwertung von überschüssigem Natriumsulfat, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei der einfachen Elektrolyse von Natriumsulfat-Lösung entstehen als Produkte Wasserstoff und Sauerstoff. • Die entstehenden Oxonium-Ionen und Hydroxid-Ionen sind frei beweglich und reagieren zu Wasser-Molekülen. • Natriumsulfat liegt daher nach der Elektrolyse unverändert in Lösung vor. 	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>berechnet die Potenziale im Kathodenraum und im Anodenraum vor Beginn der Elektrodialyse bei $\text{pH} = 7$ unter Verwendung der Nernst-Gleichung.</p> $E(\text{H}_2 / \text{H}_3\text{O}^+) = E^0(\text{H}_2 / \text{H}_3\text{O}^+) - 0,059 \text{ V} \cdot \text{pH}$ $= 0 \text{ V} - 0,059 \text{ V} \cdot 7$ $= -0,41 \text{ V}$ $E(\text{OH}^- / \text{O}_2) = E^0(\text{OH}^- / \text{O}_2) + 0,059 \text{ V} \cdot (14 - \text{pH})$ $= +0,40 \text{ V} + 0,059 \text{ V} \cdot 7$ $= +0,81 \text{ V}$ <p><i>Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling unter Verwendung der Nernst-Gleichung oder einer vereinfachten Formel die Potenziale bei $\text{pH} = 7$ berechnet.</i></p>	8
2	<p>bestimmt daraus die Gesamtspannung, die mindestens angelegt werden muss, um die Elektrodialyse unter den angegebenen Bedingungen zu starten, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aus den Potenzialen ergibt sich eine anzulegende Spannung $U \approx 1,2 \text{ V}$. 	4

3	prüft, ob sich dieser Wert beim Betreiben der Anlage verändert, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Da im Kathodenraum der pH-Wert immer weiter steigt, wird das Potenzial hier immer kleiner. • Im Anodenraum wird der pH-Wert immer kleiner, damit wird das Potenzial hier immer größer. • Daraus resultiert, dass die benötigte Spannung steigt. <i>Hinweis: Der Prüfling kann mithilfe der Nernst-Gleichung, den gegebenen Potenzialen bei den unterschiedlichen pH-Werten oder mithilfe von Gleichgewichtsbeobachtungen argumentieren.</i>	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	berechnet die Schwefelsäurekonzentration in der zur Prozesskontrolle entnommenen Lösung, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • NaOH-Verbrauch bis zum Äquivalenzpunkt: $V(\text{NaOH}) = 25,6 \text{ mL}$ Berechnung: $n(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})$ $n(\text{NaOH}) = 0,0256 \text{ mol}$ • Am Äquivalenzpunkt gilt: $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{NaOH})$ $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,0128 \text{ mol}$ $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{H}_2\text{SO}_4) / V_{\text{Lsg.}} = 0,64 \text{ mol/L}$ 	8
2	gibt in diesem Zusammenhang auch die der Titration zugrunde liegende Reaktionsgleichung an: $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$	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			
Der Prüfling		maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
1	zeichnet den Versuchsaufbau ...	4			
2a	erläutert die Beobachtungen ...	4			
2b	erläutert die Beobachtungen ...	4			
3	erläutert den Sachverhalt ...	6			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 1. Teilaufgabe		18			

Teilaufgabe 2

Anforderungen		Lösungsqualität			
Der Prüfling		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	gibt im schematischen ...	4			
2a	erläutert die Entstehung ...	4			
2b	erläutert die Entstehung ...	4			
3	begründet die Untauglichkeit ...	6			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 2. Teilaufgabe		18			

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

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	berechnet die Potenziale ...	8			
2	bestimmt daraus die ...	4			
3	prüft, ob sich ...	6			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 3. Teilaufgabe	18			

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	berechnet die Schwefelsäurekonzentration ...	8			
2	gibt in diesem ...	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			
--	---	-----------	--	--	--

Die Festlegung der Gesamtnote erfolgt auf dem Auswertungsbogen in LK HT 1.



Name: _____

Abiturprüfung 2020

Chemie, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Rotrost und Weißrost: Korrosionsvorgänge an Eisen und Zink

1. Geben Sie die Reaktionsgleichungen für die Sauerstoffkorrosion von Eisen und Zink an und erklären Sie an diesem Beispiel den Begriff Korrosion. Entwickeln Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung von Zinkcarbonat aus Zinkhydroxid. (14 Punkte)
2. Skizzieren Sie einen beschrifteten Versuchsaufbau zur galvanischen Verzinkung eines Eisenwerkstücks. Erläutern Sie unter Angabe der Elektrodenreaktionen die elektrochemischen Prozesse während der Verzinkung. Berechnen Sie die Elektrolysedauer der Verzinkung des Eisenwürfels (Experiment 1) unter Vernachlässigung von Nebenreaktionen. (16 Punkte)
3. Berechnen Sie die Masse des Zinkabtrags bei Experiment 2. Skizzieren Sie mögliche Extinktionsspektren (Absorptionsspektren) des Erio-T-Farbstoffs vor und nach dem Erreichen des Äquivalenzpunkts. Begründen Sie die Wahl der Detektionswellenlänge $\lambda = 605 \text{ nm}$ zur Verfolgung des Umschlagspunkts der Titration. (16 Punkte)
4. Erläutern Sie die im Verlauf des Experiments 3 beschriebenen Beobachtungen und geben Sie die Teilgleichungen der ablaufenden Reaktionen an. Beurteilen Sie den Einsatz von Zink und Eisen sowie von verzinkten Bauteilen aus Eisen im Hinblick auf nachhaltigen Korrosionsschutz. (20 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

- Taschenrechner (grafikfähiger Taschenrechner / CAS-Taschenrechner)
- Periodensystem
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung



Name: _____

Fachspezifische Vorgaben:

Rotrost und Weißrost: Korrosionsvorgänge an Eisen und Zink

Bauteile aus den unedlen Metallen Eisen und Zink unterliegen, wenn sie ungeschützt einer feuchten sauerstoffhaltigen Atmosphäre ausgesetzt sind, dem Vorgang der Korrosion. Für Konstruktionen aus Eisen ist dies von besonderer Bedeutung, da die Tragfähigkeit des Bauteils durch die Bildung von Eisenhydroxiden aufgrund von Sauerstoffkorrosion stark beeinträchtigt wird. Bei Sauerstoffkorrosion entstehen Eisen(II)-hydroxid ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) und anschließend Eisen(III)-oxidhydroxid ($\text{FeO}(\text{OH})$) (Rotrost/Eisenrost).

Bei Zink tritt unter den oben genannten Bedingungen ebenfalls Korrosion ein, d. h. es bildet sich Zinkhydroxid ($\text{Zn}(\text{OH})_2$) (Weißrost/Zinkrost). Ähnlich dem Rotrost bildet Weißrost lockere, schwerlösliche Überzüge, die nicht vor weiterer Korrosion schützen. Bei Anwesenheit von Kohlenstoffdioxid reagiert das gebildete Zinkhydroxid jedoch zu einer Mischung aus basisch reagierendem Zinkhydroxid und Zinkcarbonat (ZnCO_3). Diese fest anhaftende Schicht schützt nachhaltig vor weiterer Korrosion. Zink wird daher trotz seines unedlen Charakters häufig sogar als Überzug zum Schutz vor Korrosion verwendet. Zinküberzüge schützen Bauteile aus Eisen auch dann, wenn die Schutzschicht verletzt wurde.

Um die Langzeitstabilität von Zinküberzügen zu überprüfen, werden sogenannte Bewitterungsexperimente durchgeführt. Dabei wird das verzinkte Bauteil einer künstlichen Umgebung (z. B. Beregnung mit einer Bewitterungslösung) ausgesetzt. Im Anschluss wird die Konzentration der abgetragenen Zink-Ionen in einer Lösung durch eine Titration mit einer speziellen Maßlösung bestimmt. Der Endpunkt der Titration wird mit einem Indikatorfarbstoff, z. B. Erio T, ermittelt. Erio T, das zu Beginn der Titration eine Farbe zwischen Purpur und Violett besitzt, ändert diese am Umschlagspunkt zu Grünblau. Der Umschlagspunkt kann mithilfe eines Fotometers bei einer Wellenlänge von $\lambda = 605 \text{ nm}$ detektiert werden.

Zu den beschriebenen Vorgängen wurden in einem Labor folgende Experimente durchgeführt:

Experiment 1: Galvanische Verzinkung eines Eisenwürfels

Ein Eisenwürfel mit einer Masse von 981,03 g wurde galvanisch bei einer Stromstärke $I = 5,0 \text{ A}$ verzinkt. Nach dem Erreichen einer gleichmäßigen Schichtdicke wurde die Verzinkung beendet. Die Masse des verzinkten Eisenwürfels betrug nun 983,23 g.

Experiment 2: Bestimmung des Zinkabtrages in einem Bewitterungsexperiment

Für ein Bewitterungsexperiment wurde der in Experiment 1 verzinkte Eisenwürfel drei Monate lang einer Bewitterungslösung ($V_{\text{Lsg.}} = 1,00 \text{ L}$) ausgesetzt. 100 mL dieser Lösung wurden am Ende des Langzeitversuchs auf ihren Gehalt an Zink-Ionen untersucht. Es wurden 14,5 mL der Maßlösung bis zum Umschlagspunkt benötigt. Der Verbrauch von 1,0 mL Maßlösung entsprach $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$ Zink-Ionen.



Name: _____

Experiment 3:

Ein frisch verzinkter Eisenwürfel wurde an einer Seite so stark beschädigt, dass der Eisenkern sichtbar wurde. Anschließend wurde dieser in Salzsäure-Lösung gelegt. Nach kurzer Zeit trat eine Gasentwicklung vorwiegend am Eisenkern auf. In der Lösung konnten Zink-Ionen nachgewiesen werden.

Zusatzinformationen:

Tabelle 1: Standardpotenziale (E°)

Stoff	Teilgleichung	Standardpotenzial (E°)
Zink/Zink-Ion	$\text{Zn} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,76 V
Eisen/Eisen(II)-Ion	$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,41 V
Wasserstoff/Oxonium-Ion (pH = 0)	$\text{H}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2 \text{H}_3\text{O}^+ + 2\text{e}^-$	0,00 V
Sauerstoff/Hydroxid-Ion (pH = 14)	$4 \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^-$	0,40 V

Molare Masse

$$M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Faraday-Konstante

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

Faraday-Gesetz

$$I \cdot t = n \cdot z \cdot F$$

Tabelle 2: Zusammenhang von absorbiertem 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

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2020

Chemie, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die auf fachspezifischen Vorgaben basiert

2. Aufgabenstellung¹

Rotrost und Weißrost: Korrosionsvorgänge an Eisen und Zink

1. Geben Sie die Reaktionsgleichungen für die Sauerstoffkorrosion von Eisen und Zink an und erklären Sie an diesem Beispiel den Begriff Korrosion. Entwickeln Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung von Zinkcarbonat aus Zinkhydroxid. (14 Punkte)
2. Skizzieren Sie einen beschrifteten Versuchsaufbau zur galvanischen Verzinkung eines Eisenwerkstücks. Erläutern Sie unter Angabe der Elektrodenreaktionen die elektrochemischen Prozesse während der Verzinkung. Berechnen Sie die Elektrolysedauer der Verzinkung des Eisenwürfels (Experiment 1) unter Vernachlässigung von Nebenreaktionen. (16 Punkte)
3. Berechnen Sie die Masse des Zinkabtrags bei Experiment 2. Skizzieren Sie mögliche Extinktionsspektren (Absorptionsspektren) des Erio-T-Farbstoffs vor und nach dem Erreichen des Äquivalenzpunkts. Begründen Sie die Wahl der Detektionswellenlänge $\lambda = 605 \text{ nm}$ zur Verfolgung des Umschlagspunkts der Titration. (16 Punkte)
4. Erläutern Sie die im Verlauf des Experiments 3 beschriebenen Beobachtungen und geben Sie die Teilgleichungen der ablaufenden Reaktionen an. Beurteilen Sie den Einsatz von Zink und Eisen sowie von verzinkten Bauteilen aus Eisen im Hinblick auf nachhaltigen Korrosionsschutz. (20 Punkte)

3. Materialgrundlage

- Hütter, Leonhard A.: Wasser und Wasseruntersuchung, 6. erw. u. aktual. Aufl., Otto Salle Verlag, Frankfurt 1994
- Jander, Gerhard; Jahr, Karl Friedrich: Maßanalyse, 14. Aufl., Walter de Gruyter Verlag, Berlin 1986
- <http://fischerprofil.de> (Zugriff: 23.01.2020)

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

4. Bezüge zum Kernlehrplan und zu den Vorgaben 2020

Die Aufgaben weisen vielfältige Bezüge zu den Kompetenzerwartungen und Inhaltsfeldern des Kernlehrplans bzw. zu den in den Vorgaben ausgewiesenen Fokussierungen auf. Im Folgenden wird auf Bezüge von zentraler Bedeutung hingewiesen.

1. Inhaltsfelder und inhaltliche Schwerpunkte

Säuren, Basen und analytische Verfahren

- Eigenschaften und Struktur von Säuren und Basen
- Konzentrationsbestimmung von Säuren und Basen
- Titrationsmethoden im Vergleich

Elektrochemie

- Elektrochemische Gewinnung von Stoffen
- Mobile Energiequellen
- Quantitative Aspekte elektrochemischer Prozesse
- Korrosion und Korrosionsschutz

Organische Produkte – Werkstoffe und Farbstoffe

- Organische Verbindungen und Reaktionswege
- Reaktionsabläufe
- Organische Werkstoffe
- Farbstoffe und Farbigkeit
- Konzentrationsbestimmung durch Lichtabsorption

2. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

- Taschenrechner (grafikfähiger Taschenrechner / CAS-Taschenrechner)
- 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 Reaktionsgleichungen für die Sauerstoffkorrosion von Eisen und Zink an, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • $2 \text{ Fe} + \text{O}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ Fe(OH)}_2$ • $4 \text{ Fe(OH)}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{ FeO(OH)} + 2 \text{ H}_2\text{O}$ • $2 \text{ Zn} + \text{O}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ Zn(OH)}_2$ 	6
2	erklärt an diesem Beispiel den Begriff Korrosion, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Bei den Metallen Eisen und Zink werden die Metall-Atome zu den entsprechenden Metall-Kationen oxidiert und Sauerstoff-Moleküle unter Beteiligung von Wassermolekülen zu Hydroxid-Ionen reduziert. • Es findet eine Redoxreaktion statt. • Die Bildung von Zink- oder Eisen-Ionen führt zur Veränderung der Metalloberfläche (Korrosion). 	6
3	entwickelt die Reaktionsgleichung für die Bildung von Zinkcarbonat aus Zinkhydroxid, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • $\text{Zn(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Zn(CO}_3) + \text{H}_2\text{O}$ 	2
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	skizziert einen beschrifteten Versuchsaufbau zur galvanischen Verzinkung eines Eisenwerkstücks. <i>Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling den Versuchsaufbau unter Verwendung einer Zinksalz-Lösung, einer Zinkelektrode als Anode und dem Eisenwerkstück als Kathode nachvollziehbar skizziert.</i>	5
2	erläutert unter Angabe der Elektrodenreaktionen die elektrochemischen Prozesse während der Verzinkung, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Anode (Oxidation): Zink-Atome werden unter Abgabe von Elektronen zu Zink-Ionen oxidiert. • Kathode (Reduktion): Zink-Ionen werden unter Aufnahme von Elektronen zu Zink-Atomen reduziert. • Zink scheidet sich als Feststoff auf dem Eisen ab. • Anode (Oxidation): $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2 \text{ e}^-$ • Kathode (Reduktion): $\text{Zn}^{2+} + 2 \text{ e}^- \rightarrow \text{Zn}$ 	5

3	berechnet die Elektrolysedauer der Verzinkung des Eisenwürfels (Experiment 1) unter Vernachlässigung von Nebenreaktionen, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> Berechnung: $m(\text{Zn}) = 2,2 \text{ g}$ mit $n = \frac{m}{M}$ und $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $n(\text{Zn}) \approx 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ $t = \frac{n \cdot z \cdot F}{I}$ $t \approx \frac{0,034 \text{ mol} \cdot 2 \cdot 96485 \cdot \text{A} \cdot \text{s}}{5 \text{ A} \cdot \text{mol}} \approx 1312 \text{ s} \approx 22 \text{ min}$ 	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
1	berechnet die Masse des Zinkabtrags bei Experiment 2, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> Berechnung: $n(\text{Zn}) = V(\text{Maßlösung}) \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{mL}^{-1}$ $n(\text{Zn}) = 0,000145 \text{ mol}$ mit $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g/mol}$ folgt: $m(\text{Zn}) \approx 0,0095 \text{ g}$ in 100 mL bezogen auf das Gesamtvolumen von 1,0 L ist $m_{\text{Abtrag}}(\text{Zn}) \approx 0,095 \text{ g}$ 	6
2	skizziert mögliche Extinktionsspektren (Absorptionsspektren) des Erio-T-Farbstoffs vor und nach dem Erreichen des Äquivalenzpunkts. <i>Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling eine graphische Auftragung der Extinktion gegen die Wellenlänge vor und nach dem Erreichen des Äquivalenzpunkts anfertigt und die zwei Absorptionsbanden (Maxima bei ca. 560 nm und ca. 600 nm) deutlich erkennbar sind.</i>	4
3	begründet die Wahl der Detektionswellenlänge $\lambda = 605 \text{ nm}$ zur Verfolgung des Umschlagspunkts der Titration, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> Vor Erreichen des Äquivalenzpunkts absorbiert der in Lösung vorliegende Farbstoff im Wellenlängenbereich um 560 nm. Nach Erreichen des Äquivalenzpunkts absorbiert der in Lösung gebildete grünblaue Farbstoff (ggf. Farbstoffgemisch) im Wellenlängenbereich zwischen 595 nm und 605 nm. Die Detektionswellenlänge ist geeignet, da der Extinktionswert am Äquivalenzpunkt zunimmt. 	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>erläutert die im Verlauf des Experiments 3 beschriebenen Beobachtungen, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es handelt sich um eine Säure-Korrosion. • Die Freisetzung des Gases erfolgt am Eisen, da sich zwischen Eisen und Zink ein Lokalelement ausbildet. • Zink hat das niedrigere Redoxpotenzial, daher werden Zink-Atome zu Zink-Ionen oxidiert. • Oxonium-Ionen werden reduziert, es entsteht Wasserstoff. 	6
2	<p>gibt die Teilgleichungen der ablaufenden Reaktionen an, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oxidation: $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2 \text{e}^-$ • Reduktion: $2 \text{H}_3\text{O}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ 	6
3	<p>beurteilt den Einsatz von Zink und Eisen sowie von verzinkten Bauteilen aus Eisen in Hinblick auf nachhaltigen Korrosionsschutz, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zink ist durch die Ausbildung der Schicht aus Zinkhydroxid und Zinkcarbonat nachhaltig vor Korrosion geschützt. • Ohne Schutz korrodiert Eisen, wodurch Bauteile zerstört werden. • Verzinkte Bauteile aus Eisen sind passiv durch die Verzinkung geschützt. • Wird eine Verzinkung beschädigt, ist das Bauteil aus Eisen so lange weiter geschützt, bis das ganze Zink oxidiert ist (aktiver Schutz). 	8
4	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	gibt die Reaktionsgleichungen ...	6			
2	erklärt an diesem ...	6			
3	entwickelt die Reaktionsgleichung ...	2			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 1. Teilaufgabe	14			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	skizziert einen beschrifteten ...	5			
2	erläutert unter Angabe ...	5			
3	berechnet die Elektrolysedauer ...	6			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 2. Teilaufgabe	16			

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

Teilaufgabe 3

Anforderungen		Lösungsqualität			
Der Prüfling		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	berechnet die Masse ...	6			
2	skizziert mögliche Extinktionsspektren ...	4			
3	begründet die Wahl ...	6			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 3. Teilaufgabe		16			

Teilaufgabe 4

Anforderungen		Lösungsqualität			
Der Prüfling		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	erläutert die im ...	6			
2	gibt die Teilgleichungen ...	6			
3	beurteilt den Einsatz ...	8			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 4. Teilaufgabe		20			
Summe der 1., 2., 3. und 4. Teilaufgabe		66			

Darstellungsleistung

Anforderungen		Lösungsqualität			
Der Prüfling		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			
---	--	-----------	--	--	--

Die Festlegung der Gesamtnote erfolgt auf dem Auswertungsbogen in LK HT 1.