



Name: _____

Abiturprüfung 2020

Chemie, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Gelbe Farbstoffe in Götterspeise

1. Geben Sie die Strukturformel für Edukt 2 an. Entwickeln Sie unter Angabe der entsprechenden Reaktionstypen Reaktionsgleichungen für die einzelnen Schritte der Gelborange S-Synthese ausgehend von 4-Aminobenzolsulfonat-Ionen und Edukt 2. Begründen Sie den Ort der Anlagerung der Diazonium-Ionen an Edukt 2. (20 Punkte)
2. Erklären Sie mithilfe des Absorptionsspektrums (Extinktionsspektrums) von Gelborange S (Abbildung 2) und unter Bezug auf Tabelle 2 den Zusammenhang zwischen Lichtabsorption und Farbigkeit. Begründen Sie anhand der Molekülstruktur die Farbigkeit von Gelborange S im neutralen Milieu. Erläutern Sie anhand der Molekülstruktur die Farbigkeit von Carthamidin im Vergleich zu Gelborange S. (18 Punkte)
3. Erklären Sie die Anlagerung von Wasser-Molekülen an Gelatine. Stellen Sie eine Reaktionsgleichung für die Hydrolyse der Gelatine mit verdünnter Salzsäure auf, indem Sie sich auf den angegebenen Strukturausschnitt der Gelatine beschränken. Beurteilen Sie, ob auch eine alkalische Hydrolyse der Gelatine möglich ist. (14 Punkte)
4. Stellen Sie anhand der Werte aus Tabelle 1 die Abhängigkeit der Extinktion von der Konzentration einer Gelborange S-Lösung graphisch dar. Bestimmen Sie die Masse an Gelborange S in 200 g der gekauften gelben Götterspeise. Beurteilen Sie, ob ein 35 kg schweres Kind 200 g dieser Götterspeise pro Tag essen sollte. (14 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

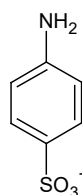
- Taschenrechner (grafikfähiger Taschenrechner / CAS-Taschenrechner)
- Periodensystem
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung



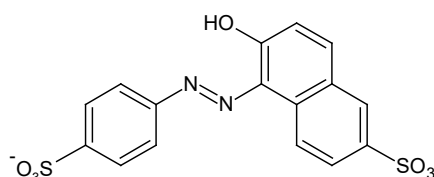
Name: _____

Fachspezifische Vorgaben:

Bis zum Jahr 2010 wurde gelbe Götterspeise meist mit Gelborange S gefärbt. Zur Synthese des Azofarbstoffes Gelborange S (E 110) werden zwei organische Edukte benötigt. Zunächst wird eine Lösung von Edukt 1 mit Natriumnitrit (NaNO_2) und konzentrierter Salzsäure ($\text{HCl}(\text{aq})$) versetzt. Die dabei entstehenden Diazonium-Ionen lässt man anschließend mit Edukt 2 zum Farbstoff reagieren.



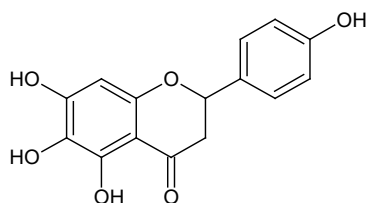
Edukt 1
4-Aminobenzolsulfonat-Ion



Gelborange S

Gelborange S ist gut wasserlöslich und führt bereits in geringen Mengen zu einer intensiv gelben Färbung wasserhaltiger Lebensmittel. Der Farbstoff behält seine Farbe über einen weiten pH-Bereich von stark sauer bis leicht alkalisch und ist hitzebeständig.

Die erlaubte Tagesdosis von Gelborange S (acceptable daily intake = ADI-Wert) liegt aktuell bei einem Wert von maximal 4,0 mg/kg Körpergewicht. Es wird ein kausaler Zusammenhang zwischen der Aufnahme von Azofarbstoffen und der Hyperaktivität von Kindern vermutet. Seit Juli 2010 müssen Lebensmittel, die Azofarbstoffe enthalten, in der Europäischen Union daher mit dem Warnhinweis „Kann Aktivität und Aufmerksamkeit bei Kindern beeinträchtigen“ gekennzeichnet werden. Diese Kennzeichnungspflicht führte dazu, dass Azofarbstoffe in den meisten Lebensmitteln durch natürliche Farbstoffe ersetzt wurden. Heute kommt in Lebensmitteln wie Götterspeise in der Regel der gelbe Naturfarbstoff Carthamidin aus der Färberdistel (*Carthamus tinctorius*) zum Einsatz.



Carthamidin

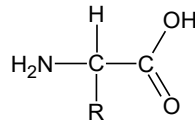
Ein Hauptbestandteil von Götterspeise ist das Protein Gelatine, ein natürliches Polyamid, das durch Anlagerung von Wasser-Molekülen aufquillt und einen geleeartigen Charakter erhält. Um festzustellen, ob eine fertig zubereitete gelbe Götterspeise aus dem Supermarkt den Farbstoff Gelborange S enthält, kann eine säurekatalysierte Hydrolyse der Gelatine mit verdünnter Salzsäure durchgeführt werden. Dabei werden die Amidbindungen der Gelatine



Name: _____

getrennt und die Gelatine in die einzelnen Aminosäuren gespalten. Die vorliegende Lösung kann dann fotometrisch untersucht werden. Von 200 g Götterspeise, die mit Salzsäure hydrolysiert und anschließend mit Natronlauge neutralisiert wurden, erhielt man 425 mL Lösung. Das Absorptionsspektrum (Extinktionsspektrum) dieser Lösung war mit dem Absorptionsspektrum von Gelborange S in neutraler Lösung identisch. Bei einer Wellenlänge von $\lambda = 478 \text{ nm}$ betrug die Extinktion der untersuchten Götterspeiselösung 0,841 bei einer Schichtdicke $d = 1,0 \text{ cm}$.

Zusatzinformationen:



Allgemeine Strukturformel einer Aminosäure; R steht für einen variablen Rest (Beispiele für mögliche Reste: -H, -CH₃, -CH₂-COOH, -(CH₂)₄-NH₂)

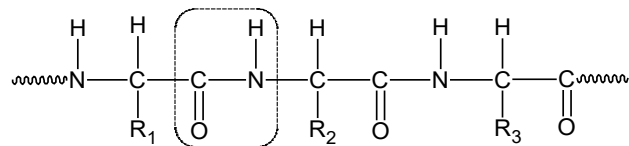


Abbildung 1: Strukturausschnitt von Gelatine
(R₁ bis R₃: variable Reste; gekennzeichnet: eine der dargestellten Amidbindungen)

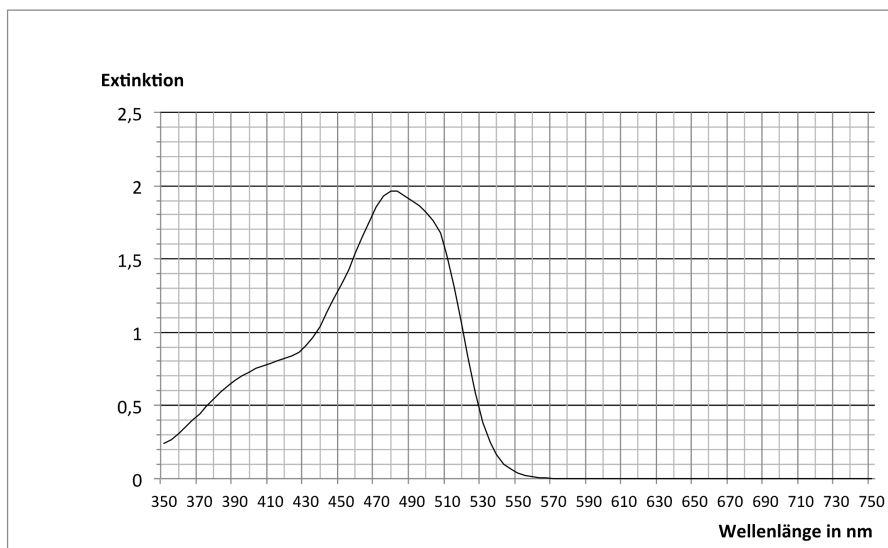


Abbildung 2: Absorptionsspektrum (Extinktionsspektrum) einer wässrigen Gelborange S-Lösung, pH-Wert = 7



Name: _____

Tabelle 1: Experimentell ermittelte Extinktion unterschiedlich konzentrierter Gelborange S-Lösungen mit einem pH-Wert von 7 bei einer Wellenlänge von $\lambda = 478$ nm. Die Schichtdicke der Lösung beträgt jeweils $d = 1,0$ cm.

β (Gelborange S) [mg/L]	E_{478}
2,5	0,124
5,0	0,246
10,0	0,486
15,0	0,745
20,0	0,981
25,0	1,233
30,0	1,477
35,0	1,719
40,0	1,967

Tabelle 2: Zusammenhang von absorbierter Strahlung, zugehöriger Spektralfarbe und beobachteter Komplementärfarbe

Wellenlänge λ in nm	Spektralfarbe	Komplementärfarbe
< 400	ultraviolett (UV)	farblos
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 2020****Chemie, Leistungskurs****1. Aufgabenart**

Bearbeitung einer Aufgabe, die auf fachspezifischen Vorgaben basiert

2. Aufgabenstellung¹**Gelbe Farbstoffe in Götterspeise**

1. Geben Sie die Strukturformel für Edukt 2 an. Entwickeln Sie unter Angabe der entsprechenden Reaktionstypen Reaktionsgleichungen für die einzelnen Schritte der Gelborange S-Synthese ausgehend von 4-Aminobenzolsulfonat-Ionen und Edukt 2. Begründen Sie den Ort der Anlagerung der Diazonium-Ionen an Edukt 2. (20 Punkte)
2. Erklären Sie mithilfe des Absorptionsspektrums (Extinktionsspektrums) von Gelborange S (Abbildung 2) und unter Bezug auf Tabelle 2 den Zusammenhang zwischen Lichtabsorption und Farbigkeit. Begründen Sie anhand der Molekülstruktur die Farbigkeit von Gelborange S im neutralen Milieu. Erläutern Sie anhand der Molekülstruktur die Farbigkeit von Carthamidin im Vergleich zu Gelborange S. (18 Punkte)
3. Erklären Sie die Anlagerung von Wasser-Molekülen an Gelatine. Stellen Sie eine Reaktionsgleichung für die Hydrolyse der Gelatine mit verdünnter Salzsäure auf, indem Sie sich auf den angegebenen Strukturausschnitt der Gelatine beschränken. Beurteilen Sie, ob auch eine alkalische Hydrolyse der Gelatine möglich ist. (14 Punkte)
4. Stellen Sie anhand der Werte aus Tabelle 1 die Abhängigkeit der Extinktion von der Konzentration einer Gelborange S-Lösung graphisch dar. Bestimmen Sie die Masse an Gelborange S in 200 g der gekauften gelben Götterspeise. Beurteilen Sie, ob ein 35 kg schweres Kind 200 g dieser Götterspeise pro Tag essen sollte. (14 Punkte)

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

3. Materialgrundlage

- <https://www.efsa.europa.eu/de/press/news/140715> (Zugriff: 15.12.2019)
- https://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/10.e110_gelborange_s.html (Zugriff: 15.12.2019)
- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Carthamidin> (Zugriff: 15.12.2019)
- <http://www.parmentier.de/gpfneu/gelatine/deutsch/abbau.php> (Zugriff: 15.12.2019)

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

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

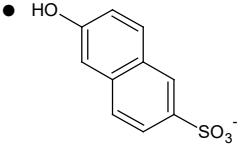
- Taschenrechner (grafikfähiger Taschenrechner / CAS-Taschenrechner)
- Periodensystem
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

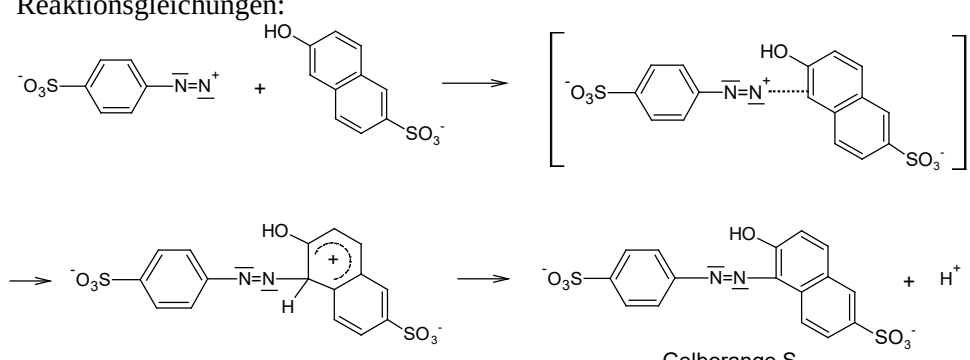
6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

Teilleistungen – Kriterien

a) inhaltliche Leistung

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	gibt die Strukturformel für Edukt 2 an, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> •  	2

2a	<p>entwickelt unter Angabe der entsprechenden Reaktionstypen Reaktionsgleichungen für die einzelnen Schritte der Gelborange S-Synthese ausgehend von 4-Aminobenzolsulfonat-Ionen und Edukt 2, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diazotierung: Im ersten Schritt werden 4-Aminobenzolsulfonat-Ionen diazotiert, indem sie mit Natriumnitrit in saurer Lösung versetzt werden. • Reaktionsgleichung: $\text{O}_3\text{S}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}_2 + 2 \text{H}^+ + \text{NO}_2^- \longrightarrow \text{O}_3\text{S}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{N}=\text{N}^+ + 2 \text{H}_2\text{O}$ <p><i>Alternativ: Darstellung eines Angriffs durch ein freies Elektronenpaar der Aminogruppe des 4-Aminobenzolsulfonat-Ions an einem Nitrosyl-Kation, das sich in saurer Natriumnitrit-Lösung bzw. in salpetriger Säure bildet.</i></p>	6
2b	<p>entwickelt unter Angabe der entsprechenden Reaktionstypen Reaktionsgleichungen für die einzelnen Schritte der Gelborange S-Synthese ausgehend von 4-Aminobenzolsulfonat-Ionen und Edukt 2, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Im zweiten Reaktionsschritt erfolgt eine Azokupplung (alternativ: elektrophile Substitution). • Reaktionsgleichungen:  <p style="text-align: center;">Gelborange S</p>	6
3	<p>begründet den Ort der Anlagerung der Diazonium-Ionen an Edukt 2, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Bindung der Diazonium-Ionen erfolgt bevorzugt an dem Ring, der die Hydroxygruppe trägt, da dieser Ring durch den +M-Effekt der Hydroxygruppe aktiviert ist. • Funktionelle Gruppen, die ein aromatisches System durch den +M-Effekt aktivieren, dirigieren weitere Substituenten in ortho- oder para-Stellung. • Durch den zweiten Ring ist eine Substitution in para-Stellung in diesem Fall nicht möglich, sodass der elektrophile Angriff bevorzugt an einer der beiden ortho-Positionen stattfinden wird. <p><i>Hinweis: Die Angabe von Grenzstrukturen des Sigma-Komplexes zur Verdeutlichung, dass bei einem Angriff in ortho-Position durch den +M-Effekt der Hydroxygruppe die positive Ladung besser stabilisiert werden kann als bei einem Angriff in meta-Position, stellt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium dar.</i></p>	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

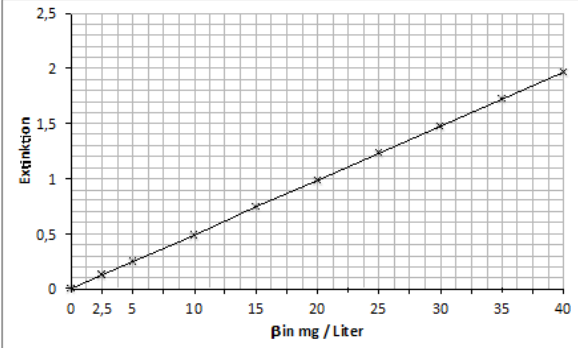
Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>erklärt mithilfe des Absorptionsspektrums (Extinktionsspektrums) von Gelborange S (Abbildung 2) und unter Bezug auf Tabelle 2 den Zusammenhang zwischen Lichtabsorption und Farbigkeit.</p> <p><i>Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling Aussagen macht zu den Spektralfarben des weißen Lichts, der Anregung von Elektronen und dem Energiestufenmodell der Lichtabsorption, dem Zusammenhang zwischen absorbierter Spektralfarbe, hier blau bis grünblau, und Eigenfarbe des Farbstoffs, hier gelb bis orange.</i></p>	6
2	<p>begründet anhand der Molekülstruktur die Farbigkeit von Gelborange S im neutralen Milieu.</p> <p><i>Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling am Beispiel von Gelborange S Aussagen zum vorliegenden ausgedehnten System konjugierter Doppelbindungen (Chromophor) und zum Mesomeriemodell macht; mesomere Grenzstrukturen, Delokalisation von konjugierten π-Elektronen, Einfluss von Donator-/Akzeptorgruppen, hier z. B. der Hydroxygruppe als Donatorgruppe.</i></p>	6
3	<p>erläutert anhand der Molekülstruktur die Farbigkeit von Carthamidin im Vergleich zu Gelborange S, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Chromophor von Carthamidin besteht aus dem aromatischen System in Kombination mit der Carbonylgruppe am benachbarten Ring und umfasst somit weniger π-Elektronen als der Farbstoff Gelborange S. • Die Hydroxygruppen wirken mit ihrem +M-Effekt als Donator-, die Carbonylgruppe mit ihrem –M-Effekt als Akzeptorgruppen. • Durch diese funktionellen Gruppen wird der Bindungsausgleich zwischen Einzel- und Doppelbindungen so stark erhöht, dass trotz der geringeren Ausdehnung des Chromophors in einem ähnlichen Wellenlängenbereich wie beim Gelborange S absorbiert wird. <p><i>Hinweis: Es wird nicht erwartet, dass der Prüfling darauf eingeht, dass nur zwei der drei phenolischen Hydroxygruppen mit ihrem +M-Effekt als Donatorgruppen wirken, sich keine Grenzstruktur aufstellen lässt, bei der die mittlere Hydroxygruppe eine positive Ladung trägt und diese daher zur Farbigkeit des Moleküls kaum beiträgt.</i></p>	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
1	<p>erklärt die Anlagerung von Wasser-Molekülen an Gelatine, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gelatine enthält z. T. polare oder (je nach pH-Wert) sogar geladene funktionelle Gruppen an den Resten der Aminosäuren, gleichzeitig sind die Amidbindungen polar. • Zahlreiche Wasser-Moleküle können sich unter Ausbildung stabiler Wasserstoffbrücken an diese polaren Gruppen im Molekül anlagern, sodass Gelatine eine geleeartige Konsistenz erhält. 	4
2	<p>stellt eine Reaktionsgleichung für die Hydrolyse der Gelatine mit verdünnter Salzsäure auf, indem er sich auf den angegebenen Strukturausschnitt der Gelatine beschränkt, z. B.:</p> $ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{~~~~~N}-\text{C}-\text{C}-\text{N}-\text{C}-\text{C}-\text{N}-\text{C}-\text{C}~~~~~ \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{R}_1 \quad \text{O} \quad \quad \text{R}_2 \quad \text{O} \quad \quad \text{R}_3 \quad \text{O} \end{array} + 2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow $ $ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{OH} \\ \quad \quad / \\ \text{~~~~~N}-\text{C}-\text{C} \\ \quad \quad \\ \text{R}_1 \quad \text{O} \end{array} + \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{OH} \\ \quad / \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{C} \\ \quad \\ \text{R}_2 \quad \text{O} \end{array} + \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{C}~~~~~ \\ \quad \\ \text{R}_3 \quad \text{O} \end{array} $	6
3	<p>beurteilt, ob auch eine alkalische Hydrolyse der Gelatine möglich ist, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hydroxid-Ionen wirken als starke Nucleophile, die mit den Kohlenstoff-Atomen der Amidgruppen reagieren könnten. Eine alkalische Hydrolyse von Amiden sollte daher grundsätzlich möglich sein (ähnlich einer alkalischen Esterspaltung, Verseifung). • Das Carbonyl-Kohlenstoff-Atom der Amidbindung besitzt jedoch nur eine schwach positive Partialladung (schwächer als bei einer Esterbindung), sodass möglicherweise stärkere Konzentrationen an Lauge bzw. höhere Temperaturen eingesetzt werden müssten. 	4
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 4

Anforderungen		maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
1	<p>stellt anhand der Werte aus Tabelle 1 die Abhängigkeit der Extinktion von der Konzentration einer Gelborange S-Lösung graphisch dar, z. B.:</p> 	4
2	<p>bestimmt die Masse an Gelborange S in 200 g der gekauften gelben Götterspeise, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die zeichnerische Bestimmung der Massenkonzentration β(Gelborange S) bei einer Extinktion von $E = 0,841$ ergibt ca. 17,2 mg/L. Berechnung der Masse m(Gelborange): $m(\text{Gelborange}) = \beta(\text{Gelborange}) \cdot V(\text{Lösung}) = 17,2 \text{ mg/L} \cdot 0,425 \text{ L} = 7,31 \text{ mg}$ 200 g Götterspeise enthalten demnach eine Masse von 7,31 mg Gelborange S. <p><i>Hinweis: Der Prüfling kann alternativ rechnerisch über die Steigung der Eichgeraden den Extinktionskoeffizienten ϵ ermitteln, anhand des Lambert-Beerschen-Gesetzes die Massenkonzentration und damit die Masse an Farbstoff in der Götterspeise berechnen.</i></p>	6
3	<p>beurteilt, ob ein 35 kg schweres Kind 200 g dieser Götterspeise pro Tag essen sollte, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Der ADI-Wert für Gelborange S beträgt 4 mg pro Kilogramm Körpergewicht. Ein 35 kg schweres Kind könnte $35 \cdot 4 \text{ mg} = 140 \text{ mg}$ Gelborange S pro Tag zu sich nehmen. Der Verzehr von 200 g Götterspeise pro Tag ist demnach selbst dann unbedenklich, wenn das Kind noch andere mit Gelborange S gefärbte Lebensmittel an einem Tag isst. 	4
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			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK ²	ZK	DK
1	gibt die Strukturformel ...	2			
2a	entwickelt unter Angabe ...	6			
2b	entwickelt unter Angabe ...	6			
3	begründet den Ort ...	6			
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 mithilfe des ...	6			
2	begründet anhand der ...	6			
3	erläutert anhand der ...	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	erklärt die Anlagerung ...	4			
2	stellt eine Reaktionsgleichung ...	6			
3	beurteilt, ob auch ...	4			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 3. Teilaufgabe	14			

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	stellt anhand der ...	4			
2	bestimmt die Masse ...	6			
3	beurteilt, ob ein ...	4			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 4. Teilaufgabe	14			
	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				

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:

Bernsteinsäure: Vom Instant-Getränk zum biologisch abbaubaren Kunststoff

1. Skizzieren Sie in einem Fließdiagramm die beschriebenen Schritte zur Synthese von Bernsteinsäure, ausgehend von *n*-Butan und unter Angabe der jeweiligen Reaktionstypen. Vergleichen Sie Bernsteinsäure und Maleinsäure hinsichtlich ihrer Struktur. Begründen Sie mithilfe von Oxidationszahlen, dass es sich bei der Synthese von Maleinsäureanhydrid um eine Oxidation des *n*-Butans handelt. (14 Punkte)
2. Skizzieren Sie den theoretisch zu erwartenden Kurvenverlauf der beschriebenen pH-metrischen Titration von Bernsteinsäure und erläutern Sie die charakteristischen Punkte. (16 Punkte)
3. Erläutern Sie unter Angabe des Reaktionstyps und einer Reaktionsgleichung mit Strukturformeln die Synthese von Polybutylensuccinat (PBS) aus Bernsteinsäure und 1,4-Butandiol. Stellen Sie unter Beschreibung der jeweiligen Struktur eine Hypothese auf, warum PBS im Gegensatz zu Polyethen (PE) biologisch abbaubar ist und eine höhere Zugfestigkeit als PE besitzt. Ordnen Sie PBS begründet einem Kunststofftyp zu. Erläutern Sie, wie die Kettenlänge die Schmelztemperatur von PBS beeinflusst. (22 Punkte)
4. Beurteilen Sie, auch mithilfe einer Berechnung, ob die empfohlene Höchstmenge für Bernsteinsäure in dem untersuchten Instant-Getränk eingehalten wurde. Diskutieren Sie die Verwendung von Einweg-Kaffeebechern aus PBS, dessen Ausgangsstoffe fermentativ gewonnen wurden. (14 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

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



Name: _____

Fachspezifische Vorgaben:

Bernsteinsäure ist ein Zwischenprodukt des Energiestoffwechsels und damit Bestandteil aller lebenden Zellen. In der Lebensmittelindustrie wird sie z. B. in Instant-Getränken als Säuerungsmittel und Säureregulator eingesetzt. Die empfohlene Höchstmenge in Getränken liegt bei 3 g pro Liter.

Synthesen:

Die technische Synthese von Bernsteinsäure erfolgt z. B. durch Hydrierung von Maleinsäure, die sich ihrerseits durch Hydrolyse von Maleinsäureanhydrid bei Temperaturen um 150 °C herstellen lässt. Maleinsäureanhydrid wird synthetisiert, indem *n*-Butan und Sauerstoff bei Temperaturen von 390 °C bis 430 °C katalytisch reagieren.

Bernsteinsäure lässt sich auch fermentativ mithilfe von Bakterien herstellen, wobei Kohlenstoffdioxid gebunden wird. Als Ausgangsstoffe können sowohl Nebenprodukte der Biodieselherstellung, wie z. B. Glycerin, als auch nachwachsende Rohstoffe verwendet werden. Lässt man so gewonnene Bernsteinsäure mit ebenfalls biotechnologisch hergestelltem 1,4-Butandiol reagieren, bildet sich Polybutylensuccinat (PBS). Dieser Kunststoff kann z. B. für kompostierbare Kaffeebecher verwendet werden; seine Eigenschaften lassen sich über die Kettenlänge gezielt beeinflussen.

Abbaubarkeit:

Bei der Kompostierung solcher Kaffeebecher zersetzen Mikroorganismen das PBS zu Kohlenstoffdioxid und Wasser. Im Gegensatz hierzu lassen sich Gegenstände aus Polyethen nicht kompostieren. Zudem weist Polyethen bei vergleichbarer Kettenlänge eine geringere Zugfestigkeit auf.

In einem Experiment sollte die Konzentration an Bernsteinsäure in einem Instant-Getränk untersucht werden:

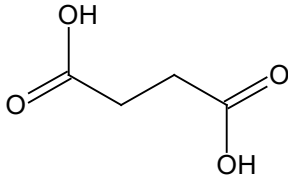
Experiment: Konzentrationsbestimmung von Bernsteinsäure

200 mL eines zubereiteten Instant-Getränks mit unbekannter Bernsteinsäure-Konzentration wurden pH-metrisch mit Natronlauge der Konzentration $c(\text{NaOH}) = 0,5 \text{ mol/L}$ titriert. Der zweite Äquivalenzpunkt wurde bei $V(\text{NaOH}) = 20,0 \text{ mL}$ ermittelt. Weitere Säuren waren nicht enthalten.

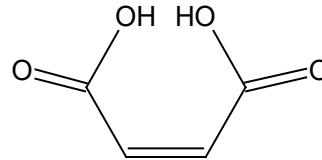


Name: _____

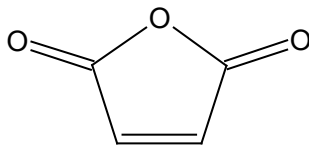
Zusatzinformationen:



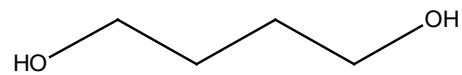
Bernsteinsäure



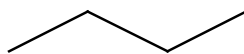
Maleinsäure



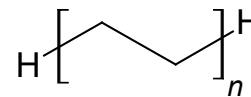
Maleinsäureanhydrid



1,4-Butandiol



n-Butan



Polyethen

Bernsteinsäure ist eine schwache, zweiprotonige Säure, d. h., sie protolysiert zweistufig:

pK_{S1} : 4,21

pK_{S2} : 5,64

Molare Masse $M(\text{Bernsteinsäure}) = 118 \text{ g/mol}$

Instant-Getränk: Getränk in Form eines pulverisierten Extrakts, das durch Hinzufügen einer [heißen] Flüssigkeit in kürzester Zeit trinkfertig ist. Beispiele sind Instant-Kaffee oder -Kakao.

Fermentation: Abbau oder Umbau organischer Stoffe durch Mikroorganismen oder enzymatisch-chemische Veränderungen durch (isolierte) Enzyme zur Bildung bestimmter organischer Produkte.

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2020

Chemie, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die auf fachspezifischen Vorgaben basiert

2. Aufgabenstellung¹

Bernsteinsäure: Vom Instant-Getränk zum biologisch abbaubaren Kunststoff

1. Skizzieren Sie in einem Fließdiagramm die beschriebenen Schritte zur Synthese von Bernsteinsäure, ausgehend von *n*-Butan und unter Angabe der jeweiligen Reaktionstypen. Vergleichen Sie Bernsteinsäure und Maleinsäure hinsichtlich ihrer Struktur. Begründen Sie mithilfe von Oxidationszahlen, dass es sich bei der Synthese von Maleinsäureanhydrid um eine Oxidation des *n*-Butans handelt. (14 Punkte)
2. Skizzieren Sie den theoretisch zu erwartenden Kurvenverlauf der beschriebenen pH-metrischen Titration von Bernsteinsäure und erläutern Sie die charakteristischen Punkte. (16 Punkte)
3. Erläutern Sie unter Angabe des Reaktionstyps und einer Reaktionsgleichung mit Strukturformeln die Synthese von Polybutylensuccinat (PBS) aus Bernsteinsäure und 1,4-Butandiol. Stellen Sie unter Beschreibung der jeweiligen Struktur eine Hypothese auf, warum PBS im Gegensatz zu Polyethen (PE) biologisch abbaubar ist und eine höhere Zugfestigkeit als PE besitzt. Ordnen Sie PBS begründet einem Kunststofftyp zu. Erläutern Sie, wie die Kettenlänge die Schmelztemperatur von PBS beeinflusst. (22 Punkte)
4. Beurteilen Sie, auch mithilfe einer Berechnung, ob die empfohlene Höchstmenge für Bernsteinsäure in dem untersuchten Instant-Getränk eingehalten wurde. Diskutieren Sie die Verwendung von Einweg-Kaffeebechern aus PBS, dessen Ausgangsstoffe fermentativ gewonnen wurden. (14 Punkte)

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

3. Materialgrundlage

- http://www.gesetze-im-internet.de/zzulv_1998/anlage_4.html (Zugriff: 12.03.2020)
- Mitsubishi Chemical Corporation: <https://www.mcgp-global.com/de/europa/produkte/brand/biopbsTM/> (Zugriff: 12.03.2020)
- Römpf Enzyklopädie Online (2019), Stuttgart: Thieme Verlag
<https://roempf.thieme.de/roempf4.0/do/Welcome.do> (Zugriff: 13.05.2019)
- Türk, Oliver (2014): Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Grundlagen – Werkstoffe – Anwendungen. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 388 – 392

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

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	<p>skizziert in einem Fließdiagramm die beschriebenen Schritte zur Synthese von Bernsteinsäure, ausgehend von <i>n</i>-Butan und unter Angabe der jeweiligen Reaktionstypen, z. B.:</p> $ \begin{array}{ccccc} n\text{-Butan} & \xrightarrow[\text{Addition / Eliminiierung}]{\text{O}_2, \text{Kat}} & \text{Maleinsäureanhydrid} & \xrightarrow[\text{Hydrolyse / Substitution}]{\text{H}_2\text{O}} & \text{Maleinsäure} & \xrightarrow[\text{Hydrierung / Addition}]{\text{H}_2} & \text{Bernsteinsäure} \end{array} $	4
2	<p>vergleicht Bernsteinsäure und Maleinsäure hinsichtlich ihrer Struktur:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gemeinsamkeiten: Beide Säuren besitzen zwei endständige Carboxygruppen. • Unterschiede: Maleinsäure besitzt eine Doppelbindung, die dazu führt, dass Isomerie auftritt. <p><i>Hinweis: Die Benennung als EZ- bzw. cis/trans-Isomerie wird nicht vorausgesetzt und stellt ggf. ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium dar.</i></p>	4
3	<p>begründet mithilfe von Oxidationszahlen, dass es sich bei der Synthese von Maleinsäureanhydrid um eine Oxidation des <i>n</i>-Butans handelt, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oxidationszahlen der Kohlenstoff-Atome im <i>n</i>-Butan-Molekül: -II/-III, • Oxidationszahlen der Kohlenstoff-Atome im Maleinsäureanhydrid-Molekül: -I/III, • Bei jeweils zwei weiteren Kohlenstoff-Atomen hat sich die Oxidationszahl von -II auf -I erhöht und von -III auf III → Oxidation. 	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
1	<p>skizziert den theoretisch zu erwartenden Kurvenverlauf der beschriebenen pH-metrischen Titration von Bernsteinsäure:</p> <p><i>Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling ein Koordinatensystem mit pH-Skala auf der Y-Achse und V(NaOH) auf der X-Achse zeichnet und darin eine Titrationskurve mit je einem pH-Sprung bei 10 mL (ÄP1, optional) und bei 20 mL (ÄP2) einzeichnet. Bei 5 mL befindet sich der erste HÄP (Ordinatenwert 4,21, pK_{S1}), bei 15 mL befindet sich der zweite HÄP (Ordinatenwert 5,64, pK_{S2}).</i></p> <p><i>In der Praxis ist der erste ÄP nicht zu sehen, da die Differenz der beiden pKs-Werte zu gering ist. Der Graph steigt in diesem Bereich lediglich leicht an.</i></p>	8

2	<p>erläutert die charakteristischen Punkte, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der erste Äquivalenzpunkt (ÄP) muss bei 10 mL liegen, da hier die Hälfte der Protonen neutralisiert ist, was zu einem pH-Sprung führt. • Bei 20 mL (ÄP2) sind sämtliche Protonen neutralisiert. • Die zugefügten Hydroxid-Ionen werden nicht mehr durch Protonen neutralisiert, wodurch sich der pH-Wert sprunghaft erhöht. • Am Halbäquivalenzpunkt (HÄP) gilt: $c(\text{HA}) = c(\text{A}^-)$, da 50 % der jeweiligen Protolysestufe erreicht sind. Am HÄP ist der pH-Wert gleich dem pK_s-Wert. • Bei 5 mL befindet sich der erste HÄP. Der Ordinatenwert 4,21 entspricht dem pK_{s1}. • Bei 15 mL befindet sich der zweite HÄP. Der Ordinatenwert 5,64 entspricht dem pK_{s2}. <p><i>Hinweis: Die Angabe der Henderson-Hasselbalch-Gleichung wird nicht erwartet und stellt ggf. ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium dar.</i></p>	8
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1a	<p>gibt den Reaktionstyp an, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Polykondensation (Veresterung) 	2
1b	<p>erläutert unter Angabe einer Reaktionsgleichung mit Strukturformeln die Synthese von Polybutylensuccinat (PBS) aus Bernsteinsäure und 1,4-Butandiol, z. B.:</p> $n \begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{O}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \\ \text{OH} \end{array} + n \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH} \longrightarrow$ $\left[\text{HO}-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O} \right]_n + (2n-1) \text{H}_2\text{O}$ <p><i>Hinweis: Alternative Lösungen sind entsprechend zu werten.</i></p>	4
1c	<p>erläutert die Synthese von Polybutylensuccinat (PBS) aus Bernsteinsäure und 1,4-Butandiol, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Carboxygruppen der Bernsteinsäure reagieren mit den Hydroxygruppen der Butan-1,4-diol-Moleküle unter Abspaltung von Wasser-Molekülen (Kondensationsreaktion). • Der Prozess wiederholt sich, sodass sich ein Polyester bildet. • Beide Monomere besitzen jeweils zwei funktionelle Gruppen, sodass sich lineare Ketten bilden, eine Vernetzung bleibt aus. <p><i>Hinweis: Alternative Lösungen sind entsprechend zu werten.</i></p>	4

2	<p>stellt unter Beschreibung der jeweiligen Struktur eine Hypothese auf, warum PBS im Gegensatz zu Polyethen biologisch abbaubar ist und eine höhere Zugfestigkeit als PE besitzt, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PBS ist ein Makromolekül und wird aus zwei Monomeren gebildet, die über Esterbindungen miteinander verknüpft sind. Letztere erlauben es den Mikroorganismen, das Polymer in seine Bestandteile zu zerlegen, die wiederum zu Wasser und Kohlenstoffdioxid verstoffwechselt werden. • Polyethen besteht aus linearen Polymerketten ohne funktionelle Gruppen, die einen Abbau in Monomere begünstigen würden. • Im Gegensatz zu PE existieren in PBS nicht nur van-der-Waals-Kräfte, sondern zusätzlich Dipol-Dipol-Wechselwirkungen (Sauerstoffatome) zwischen den Makromolekülketten, die für die erhöhte Zugfestigkeit verantwortlich sind. 	6
3	<p>ordnet PBS begründet einem Kunststofftyp zu, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei dem Kunststoff handelt es sich um einen Thermoplast, der durch Wärme verformbar bzw. schmelzbar ist. • Zwischen den linearen Ketten existieren keine Vernetzungen aufgrund kovalenter Bindungen, sondern lediglich schwächere zwischenmolekulare Wechselwirkungen, wie z. B. van-der-Waals-Kräfte und Dipol-Dipol-Wechselwirkungen (Sauerstoffatome). 	4
4	<p>erläutert, wie die Kettenlänge die Schmelztemperatur von PBS beeinflusst, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Je länger die Ketten sind, desto stärker wirken die zwischenmolekularen Wechselwirkungen, desto höher wird die Schmelztemperatur. 	2
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>beurteilt, auch mithilfe einer Berechnung, ob die empfohlene Höchstmenge für Bernsteinsäure in dem untersuchten Instant-Getränk eingehalten wurde, z. B.:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Stoffmenge an NaOH in der titrierten Lösung: $n(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = 0,5 \text{ mol/L} \cdot 0,02 \text{ L} = 0,01 \text{ mol}$ 2. Stoffmenge an Bernsteinsäure in der titrierten Lösung, da Bernsteinsäure zwei-protonig: $n(\text{Bernsteinsäure}) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{NaOH}) = 0,005 \text{ mol}$ 3. Masse an Bernsteinsäure in der titrierten Lösung: $m(\text{Bernsteinsäure}) = M(\text{Bernsteinsäure}) \cdot n(\text{Bernsteinsäure})$ $= 118 \text{ g/mol} \cdot 0,005 \text{ mol} = 0,59 \text{ g}$ 4. Umrechnung von 200 mL Probelösung auf 1 Liter: $0,59 \text{ g} / 0,2 \text{ L} = 2,95 \text{ g/L}$. <p>Antwort: Mit 2,95 Gramm pro Liter wird die Höchstmenge von 3 Gramm pro Liter unterschritten.</p> <p><i>Hinweis: Alternative Rechenwege sind entsprechend zu werten.</i></p>	8

2	<p>diskutiert die Verwendung von Einweg-Kaffeebechern aus PBS, dessen Ausgangsstoffe fermentativ gewonnen wurden, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kompostierbare Kaffeebecher sind vollständig biologisch abbaubar und reduzieren damit Kunststoffabfall. • Bei der Kompostierung entstehen lediglich Kohlenstoffdioxid und Wasser. • Bernsteinsäure und Butandiol können aus nachwachsenden Rohstoffen bzw. Nebenprodukten (ökonomisch vorteilhaft) gewonnen werden. • Die Nutzung von Anbauflächen für die Herstellung von Kaffeebechern ist problematisch. • Wegen ihrer vergleichsweise geringen Nutzungsdauer sind Einweg-Produkte grundsätzlich kritisch zu betrachten. <p><i>Hinweis: Alternative Lösungen sind entsprechend zu werten. Für die Vergabe der vollen Punktzahl ist die Angabe von mind. 3 Argumenten erforderlich.</i></p>	6
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 in einem ...	4			
2	vergleicht Bernsteinsäure und ...	4			
3	begründet mithilfe von ...	6			
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 den theoretisch ...	8			
2	erläutert die charakteristischen ...	8			
3	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				
1a	gibt den Reaktionstyp ...	2			
1b	erläutert unter Angabe ...	4			
1c	erläutert die Synthese ...	4			
2	stellt unter Beschreibung ...	6			
3	ordnet PBS begründet ...	4			
4	erläutert, wie die ...	2			
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 3. Teilaufgabe	22			

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	beurteilt, auch mithilfe ...	8			
2	diskutiert die Verwendung ...	6			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 4. Teilaufgabe	14			
	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 NT 1.



Name: _____

Abiturprüfung 2020

Chemie, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Korrosion von Stahl in Stahlbeton

1. Skizzieren Sie die Vorgänge der Sauerstoffkorrosion an einer feuchten Stahloberfläche. Erläutern Sie mithilfe von Standardelektrodenpotenzialen und unter Angabe von Teilgleichungen sowie einer Gesamtgleichung, welche Reaktionen ablaufen. (16 Punkte)
2. Erklären Sie unter Angabe einer Reaktionsgleichung, wie es durch die Carbonatisierung zu einem Absinken des pH-Wertes kommt. Beurteilen Sie die Eignung von Phenolphthalein als Nachweisreagenz für Bauschäden. Erläutern Sie die Farbigekeit einer Phenolphthalein-Lösung bei $\text{pH} = 10$ und die Farblosigkeit bei $\text{pH} = 6$. (18 Punkte)
3. Erläutern Sie die Endpunktsbestimmung der Titration von Chlorid-Ionen mit Silbernitratlösung. Geben Sie Reaktionsgleichungen für die bei der Titration stattfindenden Reaktionen an. Berechnen Sie die Chlorid-Ionen-Konzentration der titrierten Lösung. (16 Punkte)
4. Erläutern Sie unter Angabe von Reaktionsgleichungen die Beobachtungen, die bei einer Schadensbegrenzung von Korrosionsschäden mittels Elektrolyse gemacht werden können. Berechnen Sie die Stoffmengen an Chlor-Molekülen und an Hydroxid-Ionen, die theoretisch und ohne Berücksichtigung von Nebenreaktionen bei der Elektrolyse mit 50 Ampere in 10 Stunden entstehen. Bewerten Sie die Wirksamkeit des Verfahrens der elektrochemischen Begrenzung von Korrosionsschäden. (16 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

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



Name: _____

Fachspezifische Vorgaben:

Stahlbeton ist ein Werkstoff, der aus in Beton eingegossenen Stahlmatten besteht. Das im Beton enthaltene Wasser (Betonporenwasser) ist alkalisch. Bei frischem Beton beträgt der pH-Wert ca. 12,5. Der hohe pH-Wert schützt den Stahl vor Korrosion. Bei Verringerung des pH-Wertes auf unter acht ist dieser Schutz nicht mehr gegeben.

Korrosion

Eine solche Verringerung des pH-Wertes erfolgt z. B. durch Kohlenstoffdioxid aus der Luft, welches sich im Porenwasser löst und zu einer Carbonatisierung führt. Die Carbonatisierung ist die chemische Umwandlung des im Beton enthaltenen Calciumhydroxids ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) in Calciumcarbonat (CaCO_3). Neben der Carbonatisierung wirken auch Chlorid-Ionen, die z. B. im Winter durch natriumchloridhaltiges Schmelzwasser in den Beton eindringen können, korrodierend. In beiden Fällen kommt es durch den im Betonwasser gelösten Sauerstoff letztendlich zur Sauerstoffkorrosion des Stahls. Hierbei entsteht unter anderem Eisen-II-hydroxid ($\text{Fe}(\text{OH})_2$).

Schadensfeststellung

Durch das Auftragen einer Phenolphthalein-Lösung auf den Stahlbeton kann erkannt werden, ob die untersuchte Stelle durch Carbonatisierung gefährdet ist:

Sofern im Bereich der untersuchten Stelle ein pH-Wert zwischen 8,2 und 12 vorliegt, färbt sich die Phenolphthalein-Lösung rötlich. Bei pH-Werten über 12 und unter 8,2 ist die Phenolphthalein-Lösung hingegen farblos.

Bestimmung der Konzentration der Chlorid-Ionen

Zur Bestimmung der Konzentration der Chlorid-Ionen im Betonwasser wird eine Betonprobe gemahlen und mit heißem Wasser versetzt. Die im Beton enthaltenen Salze werden gelöst und durch Filtration von unlöslichen Stoffen getrennt. Das erhaltene Filtrat wird mit einer Silbernitratlösung (AgNO_3) bekannter Konzentration titriert. Bei Zugabe von Silber-Ionen zu einer chloridhaltigen Lösung entsteht sehr schwer lösliches weißes Silberchlorid. Der Endpunkt der Titration wird durch Chromat-Ionen (CrO_4^{2-}) angezeigt, die mit überschüssigen Silber-Ionen einen rotbraunen Silberchromat-Niederschlag bilden.

Bei der Titration von 20,0 mL einer chloridhaltigen Probelösung wurden bis zum Endpunkt 11,3 mL Silbernitrat-Lösung ($c(\text{Ag}^+) = 0,025 \text{ mol/L}$) verbraucht.

Schadensbegrenzung

Eine Korrosion an den Stahlmatten kann z. B. durch Elektrolyse weitestgehend aufgehalten werden. Hierzu wird die zu behandelnde Betonfläche mit einer wasserspeichernden Cellulosefaser-Masse bedeckt, in welche ein Anodennetz eingelassen ist. Dieses hat keinen direkten Kontakt zum Beton. Das Anodennetz wird über eine Spannungsquelle mit den Stahlmatten des Betons verbunden, welche als Kathode fungieren. Führt man auf einer Betonoberfläche eine wie oben beschriebene Elektrolyse mit einer Stromstärke von 50 Ampere durch, so lässt sich nach einiger Zeit ein Chlorgeruch wahrnehmen. Im Bereich des Stahls erhöht sich der pH-Wert.



Name: _____

Zusatzinformationen:

Elektrochemische Spannungsreihe

Standardelektrodenpotenziale (E°) (bei 25 °C und 101,3 kPa)

Stoff	Teilgleichung	Elektrodenpotenzial (E°)
Eisen/Eisen-Kation	$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	-0,41 V
Wasserstoff/Oxonium-Ion	$\text{H}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2 \text{H}_3\text{O}^+ + 2\text{e}^-$	0,00 V
Hydroxid-Ion/Sauerstoff	$4 \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^-$	0,40 V
Clorid-Ion/Chlor	$2 \text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{Cl}_2 + 2 \text{e}^-$	1,36 V

Faraday Gesetz:

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

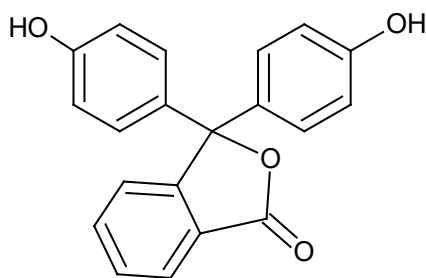
Faraday Konstante:

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

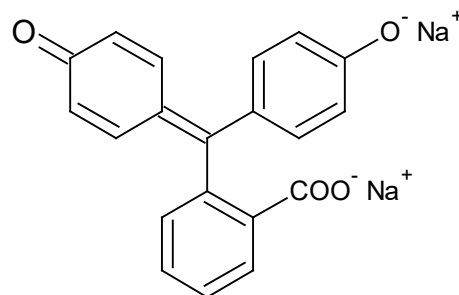
Stahl:

Werkstoff, der zum größten Teil aus Eisen besteht.

Strukturformeln von Phenolphthalein bei verschiedenen pH-Werten



pH = 0 – 8,2



pH = 8,2 – 12

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2020

Chemie, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die auf fachspezifischen Vorgaben basiert

2. Aufgabenstellung¹

Korrosion von Stahl in Stahlbeton

1. Skizzieren Sie die Vorgänge der Sauerstoffkorrosion an einer feuchten Stahloberfläche. Erläutern Sie mithilfe von Standardelektrodenpotenzialen und unter Angabe von Teilgleichungen sowie einer Gesamtgleichung, welche Reaktionen ablaufen. (16 Punkte)
2. Erklären Sie unter Angabe einer Reaktionsgleichung, wie es durch die Carbonatisierung zu einem Absinken des pH-Wertes kommt. Beurteilen Sie die Eignung von Phenolphthalein als Nachweisreagenz für Bauschäden. Erläutern Sie die Farbigkeit einer Phenolphthalein-Lösung bei pH = 10 und die Farblosigkeit bei pH = 6. (18 Punkte)
3. Erläutern Sie die Endpunktsbestimmung der Titration von Chlorid-Ionen mit Silbernitratlösung. Geben Sie Reaktionsgleichungen für die bei der Titration stattfindenden Reaktionen an. Berechnen Sie die Chlorid-Ionen-Konzentration der titrierten Lösung. (16 Punkte)
4. Erläutern Sie unter Angabe von Reaktionsgleichungen die Beobachtungen, die bei einer Schadensbegrenzung von Korrosionsschäden mittels Elektrolyse gemacht werden können. Berechnen Sie die Stoffmengen an Chlor-Molekülen und an Hydroxid-Ionen, die theoretisch und ohne Berücksichtigung von Nebenreaktionen bei der Elektrolyse mit 50 Ampere in 10 Stunden entstehen. Bewerten Sie die Wirksamkeit des Verfahrens der elektrochemischen Begrenzung von Korrosionsschäden. (16 Punkte)

3. Materialgrundlage

- WCITec Concrete Improvement Technologies GmbH. Korrosion von Stahl in Beton – Messung und Sanierung von Korrosionsschäden. Version 3.4
http://www.citec-online.com/App_Themes/Download/Technologies/Korrosion.pdf
(Zugriff: 06.04.2020)

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

- http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/farbstoffe_triphenyl/triphenylmethan.htm#2.3%20Triphenylmethanfarbstoffe (Zugriff: 06.04.2020)
- Grube, Horst; Krell, Jürgen: Zur Bestimmung der Carbonatisierungstiefe von Mörtel und Beton. In: beton 3-1986, S. 104
- Elektrochemische Chloridentfernung an Stahlbetonbauwerken. Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. Prof. Dr. H. Böhni, Dr. B. Elsener, Dipl. Ing. M. Molina. Forschungsauftrag 97/92 auf Antrag der Arbeitsgruppe Brückenunterhaltsforschung, Dezember 1992
<https://docplayer.org/59834796-Elektrochemische-chloridentfernung-an-stahlbetonbauwerken.html>
- Jander, Blasius: Einführung in das anorganisch-chemische Praktikum, 14. Auflage, Stuttgart, Leipzig 1995

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 (graphikfähiger 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>skizziert die Vorgänge bei der Sauerstoffkorrosion an einer feuchten Stahloberfläche. Es wird erwartet, dass folgende Elemente in der Skizze enthalten sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stahl (Eisenatome), • Lösung mit Hydroxid-Ionen, Eisen-Ionen, Sauerstoff-Molekülen, • Elektronenübergang. 	6
2a	<p>erläutert mithilfe von Standardelektrodenpotenzialen und unter Angabe von Teilgleichungen sowie einer Gesamtgleichung, welche Reaktionen ablaufen, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eisen hat ein geringeres Standardelektrodenpotenzial als Sauerstoff. Daher geben Eisen-Atome Elektronen an Sauerstoff-Moleküle ab. • Sauerstoff-Moleküle reagieren unter Elektronenaufnahme mit Wasser-Molekülen. Hierbei entstehen Hydroxid-Ionen. 	4
2b	<p>erläutert mithilfe von Standardelektrodenpotenzialen und unter Angabe von Teilgleichungen sowie einer Gesamtgleichung, welche Reaktionen ablaufen, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ • $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ • $2\text{Fe} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + 4\text{OH}^-$ 	6
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>erklärt unter Angabe einer Reaktionsgleichung, wie es durch die Carbonatisierung zu einem Absinken des pH-Wertes kommt, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Das im Betonporenwasser gelöste Kohlenstoffdioxid reagiert mit dem Calciumhydroxid zu Calciumcarbonat und Wasser: $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ • Durch die Verringerung der Calciumhydroxid-Konzentration sinkt der pH-Wert. <p><i>Hinweis: Eine Erklärung unter Einbezug von Kohlensäure ist ebenfalls möglich.</i></p>	4
2	<p>beurteilt die Eignung von Phenolphthalein als Nachweisreagenz für Bauschäden, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei einer Rotfärbung liegt der pH-Wert zwischen 8,2 – 12 und der Stahlbeton ist nicht gefährdet. • Liegt ein pH-Wert unter 8,2 vor, ist Phenolphthalein farblos und der Stahlbeton ist gefährdet. • Bei frischem Beton mit einem pH-Wert über 12 sollte der Test nicht eingesetzt werden, da hier durch die farblose Phenolphthalein-Lösung fälschlicherweise ein Bauschaden angezeigt würde. • In allen anderen Fällen ist Phenolphthalein als Nachweisreagenz für Schäden durch Carbonatisierung geeignet. 	6

3a	erläutert die Farbigkeit einer Phenolphthaleinlösung bei pH = 10, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Das Farbstoff-Anion besitzt ein System delocalisierter π-Elektronen, das sich über drei Phenylringe (Chromophor) erstreckt. • Die π-Elektronen werden von sichtbarem Licht angeregt, die Lösung erscheint farbig. 	4
3b	erläutert die Farblosigkeit einer Phenolphthaleinlösung bei pH = 6, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Das Molekül besitzt drei isolierte Phenylringe, deren π-Elektronensysteme nicht verbunden sind. • Die π-Elektronen können von sichtbarem Licht nicht angeregt werden, die Lösung ist farblos. 	4
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	erläutert die Endpunktsbestimmung der Titration von Chlorid-Ionen mit Silbernitratlösung, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Zur chloridhaltigen Lösung wird eine Silbernitratlösung bekannter Konzentration zugegeben. Es bildet sich schwer lösliches, weißes Silberchlorid. • Wenn keine Chlorid-Ionen mehr in der Lösung sind, entsteht bei weiterer Zugabe rötlich braunes Silberchromat. • An der Farbänderung von weiß nach rötlich braun ist der Endpunkt der Titration erkennbar. 	6
2	gibt die Reaktionsgleichungen für die bei der Titration stattfindenden Reaktionen an, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • $\text{Cl}^-(\text{aq}) + \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$ • $2 \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{CrO}_4^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s})$ 	4
3	berechnet die Chlorid-Ionen-Konzentration der titrierten Lösung, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Stoffmenge an Silber-Ionen in der verbrauchten Maßlösung: $n(\text{Ag}^+) = c(\text{Ag}^+) \cdot V(\text{Ag}^+) = 0,025 \text{ mol/L} \cdot 0,0113 \text{ L} = 2,83 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ • Stoffmenge an Chlorid-Ionen in der titrierten Lösung: $n(\text{Cl}^-) = n(\text{Ag}^+) = 2,83 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ • Konzentration der Chlorid-Ionen in der Probelösung: $c(\text{Cl}^-) = n(\text{Cl}^-) / V(\text{Cl}^-) = 2,83 \cdot 10^{-4} \text{ mol} / 0,020 \text{ L} = 0,014 \text{ mol/L}$ 	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>erläutert unter Angabe von Reaktionsgleichungen die Beobachtungen, die bei einer Schadensbegrenzung von Korrosionsschäden mittels Elektrolyse gemacht werden können, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> An der Anode entsteht Chlorgas durch die Reaktion von Chlorid-Ionen unter Abgabe von Elektronen: $2 \text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2 \text{e}^-$ Die Erhöhung des pH-Wertes ist auf das Vorhandensein von Hydroxid-Ionen zurückzuführen, die im Bereich der Kathode entstehen: $2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$ <p><i>Alternativ ist auch die folgende Reaktionsgleichung zu akzeptieren:</i> $\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2 \text{OH}^- + \text{H}_2$</p>	6
2	<p>berechnet die Stoffmengen an Chlor-Molekülen und an Hydroxid-Ionen, die theoretisch und ohne Berücksichtigung von Nebenreaktionen bei der Elektrolyse mit 50 Ampere in 10 Stunden entstehen, z. B.:</p> <p>Geg.: $t = 10 \text{ h} = 36000 \text{ s}$; $I = 50 \text{ A}$</p> <p>Lsg.: $n = \frac{I \cdot t}{z \cdot F} \rightarrow n(\text{Cl}_2) = \frac{50 \text{ A} \cdot 36000 \text{ s} \cdot \text{mol}}{2 \cdot 96485 \text{ A} \cdot \text{s}} \approx 9,33 \text{ mol}$</p> <p>$n(\text{OH}^-) = 2 n(\text{Cl}_2) = 18,66 \text{ mol}$</p>	6
3	<p>bewertet die Wirksamkeit des Verfahrens der elektrochemischen Begrenzung von Korrosionsschäden, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Chlorid-Ionen, welche mitverantwortlich für die Korrosion sind, werden aus dem Stahlbeton entfernt. Hierdurch wird das Ausmaß der Korrosion begrenzt. Hydroxid-Ionen sorgen für eine Erhöhung des pH-Wertes des Stahlbetons. Hierdurch ist der Stahl vor weiterer Korrosion geschützt. Das Verfahren eignet sich demnach dazu, das Ausmaß der Schäden an Stahlbeton zu begrenzen. 	4
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	skizziert die Vorgänge ...	6			
2a	erläutert mithilfe von ...	4			
2b	erläutert mithilfe von ...	6			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 1. Teilaufgabe	16			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	erklärt unter Angabe ...	4			
2	beurteilt die Eignung ...	6			
3a	erläutert die Farbbigkeit ...	4			
3b	erläutert die Farblosigkeit.....	4			
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	erläutert die Endpunktsbestimmung ...	6			
2	gibt die Reaktionsgleichungen ...	4			
3a	berechnet die Chlorid-Ionen-Konzentration...	6			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 3. Teilaufgabe	16			

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	erläutert unter Angabe ...	6			
2	berechnet die Stoffmengen ...	6			
3	bewertet die Wirksamkeit ...	4			
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
	Der Prüfling				
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 NT 1.