



Name: \_\_\_\_\_

## Abiturprüfung 2014

### Chemie, Leistungskurs

---

#### Aufgabenstellung:

##### Sonnenstrom auch nachts – Energiespeichersysteme

1. Zeichnen Sie eine beschriftete Skizze einer Blei-Akkumulator-Zelle. Ermitteln Sie, welches Redox-Paar den positiven bzw. den negativen Pol der Zelle darstellt. Erläutern Sie die Elektrodenprozesse in den Halbzellen beim Laden des Blei-Akkumulators unter Verwendung von Reaktionsgleichungen der Reaktionen an Plus- und Minuspol.  
(18 Punkte)
2. Erläutern Sie, warum das Elektrodenpotential der Blei-Elektrode eines Blei-Akkumulators negativer ist als das Standardpotential einer Blei-Elektrode. Erläutern Sie die Änderungen der Säure-Konzentration im Elektrolyten beim Betrieb des Blei-Akkumulators.  
(10 Punkte)
3. Ermitteln Sie die Reaktionsgleichung für die in Elektrolyt II einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie (VRFB) ablaufende Reaktion für den Fall, dass Vanadium(III)-Ionen durch die Membran in diesen Elektrolyt gelangen. Begründen Sie, dass Cross-over von Vanadium-Ionen zwar zu einer Entladung der VRFB führt, jedoch deren Funktion nicht beeinträchtigt. Erklären Sie, warum eine für Ionen durchlässige Membran für den Betrieb der VRFB erforderlich ist.  
(20 Punkte)
4. Erklären Sie die Änderungen des Potentials der Elektrode in Elektrolyt I einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie in Abhängigkeit von den Konzentrationen der Vanadium(II)- und Vanadium(III)-Ionen. Berechnen Sie das Potential dieser Elektrode für  $c(\text{V}^{2+}) = 1,75 \text{ mol/L}$  und  $c(\text{V}^{3+}) = 0,5 \text{ mol/L}$ . Erläutern Sie, warum es notwendig ist, Elektrolyt I der VRFB frei von gelöstem Sauerstoff zu halten.  
(18 Punkte)

#### Zugelassene Hilfsmittel:

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



Name: \_\_\_\_\_

### Fachspezifische Vorgaben:

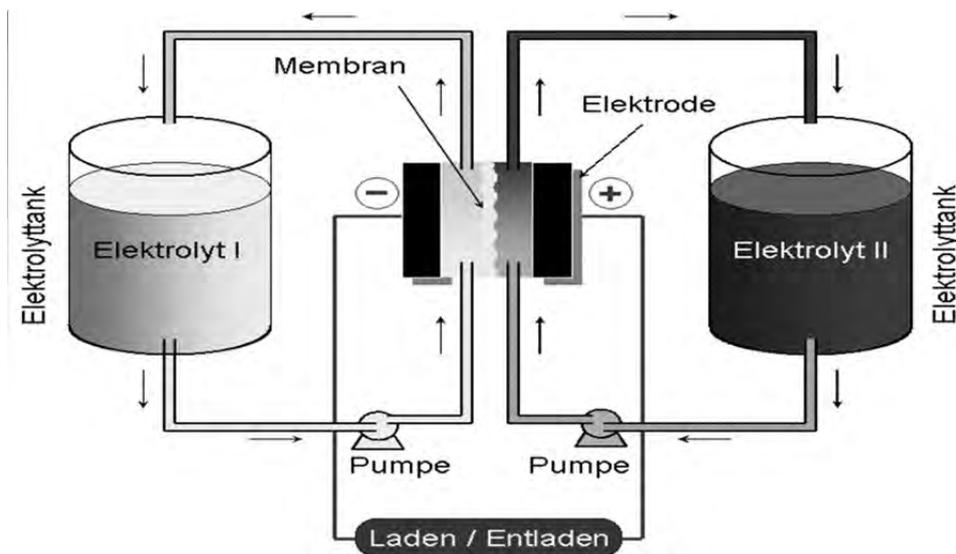
Strom aus Photovoltaik- und Windkraftanlagen wird üblicherweise dem Stromnetz zugeführt. Wegen der wachsenden Zahl dieser Anlagen gewinnen elektrochemische Systeme zur Speicherung der erneuerbaren Energie immer mehr an Bedeutung.

Das gängige elektrochemische Speichersystem für elektrische Energie ist bisher vor allem der Blei-Akkumulator. Er besitzt eine hohe Speicherkapazität und kann bis zu tausendmal be- und entladen werden.

Die Elektroden bestehen aus einem Gitter aus Blei. Im ungeladenen Zustand sind die Gitter mit einer Schicht aus dem in Wasser schwer löslichem Blei(II)-sulfat überzogen. Der Elektrolyt besteht aus einer wässrigen Schwefelsäure-Lösung ( $c(\text{H}_2\text{SO}_4) \approx 2 \text{ mol/L}$ ).

Beim erstmaligen Speichern von elektrischer Energie schließt man die Pole des Akkumulators an die Pole einer äußeren Gleichspannungsquelle an. In Abhängigkeit von der Polung der Spannungsquelle werden die Halbzellen ausgebildet: An einem Pol wird aus Blei(II)-sulfat elementares Blei gebildet, auf der Gegenseite wird Blei(II)-sulfat zu Blei(IV)-oxid umgewandelt. Blei und Blei(IV)-oxid bilden einen Überzug auf dem Gitter aus Blei. Der wässrige Elektrolyt ist an der Reaktion beteiligt.

Ein neues elektrochemisches Speichersystem ist die Vanadium-Redox-Flow-Batterie (VRFB). Die folgende Abbildung zeigt schematisch deren Aufbau:



Quelle: <http://www.isea.rwth-aachen.de/eess/technology/redox-flow>

In der Vanadium-Redox-Flow-Batterie werden in den beiden Elektrolyten Vanadium-Salze eingesetzt, die in Schwefelsäure,  $c(\text{H}_2\text{SO}_4) \approx 2 \text{ mol/L}$ , gelöst sind. In Elektrolyt I liegen Vanadium(II)- und Vanadium(III)-Ionen vor, in Elektrolyt II Oxovanadium(IV)- und Dioxovanadium(V)-Ionen.



Name: \_\_\_\_\_

Zur Energieumwandlung strömen die beiden Elektrolyte durch eine elektrochemische Zelle, die durch eine für Kationen durchlässige Membran in zwei Halbzellen mit je einer Elektrode aus Graphit unterteilt ist. Elektrolyt I und II werden parallel zueinander durch die beiden Halbzellen gepumpt. Die Elektrolyte werden in Tanks gelagert, deren Volumen die Speicherkapazität der Batterie bestimmt, sodass durch Wahl entsprechend großer Tanks die Energie eines gesamten Windparks in einer einzigen VRFB gespeichert werden kann.

Beim Laden der VRFB werden in Elektrolyt I Vanadium(III)-Ionen ( $V^{3+}$ ) zu Vanadium(II)-Ionen ( $V^{2+}$ ) reduziert. In Elektrolyt II werden Oxovanadium(IV)-Ionen ( $VO^{2+}$ ) zu Dioxovanadium(V)-Ionen ( $VO_2^+$ ) oxidiert. Aus beiden Elektrolyten wird beim ersten Ladevorgang gelöster Sauerstoff vollständig entfernt. Danach werden die Elektrolyt-Tanks gasdicht versiegelt.

Wenn Vanadium(II)- oder Vanadium(III)-Ionen durch die Membran in den Elektrolyt II wandern (Cross-over), reagieren sie dort zu Oxovanadium(IV)-Ionen und umgekehrt bilden sich Vanadium(III)-Ionen, wenn Oxovanadium(IV)- bzw Dioxovanadium(V)-Ionen durch die Membran in den Elektrolyt I wandern. Dies wirkt wie eine Entladung der Batterie, führt jedoch nicht zu Schäden an der Anlage, da die Elektrolyte beim darauf folgenden Ladevorgang regeneriert werden.

### Zusatzinformationen:

Im Elektrolyt des Blei-Akkumulators beträgt die Blei-Ionen-Konzentration  $c(Pb^{2+}) \approx 0,75 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L}$ .

**Elektrodenpotentiale:** (Wenn keine andere Konzentration angegeben ist, gilt  $c = 1 \text{ mol/L}$ .)

$Pb(s) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + 2 e^-$	- 0,13 V
$Pb(s) + SO_4^{2-}(aq) \rightleftharpoons PbSO_4(s) + 2 e^-$	- 0,36 V für $c(H_2SO_4) \approx 2 \text{ mol/L}$
$Pb^{2+}(aq) + 6 H_2O(l) \rightleftharpoons PbO_2(s) + 4 H_3O^+(aq) + 2 e^-$	+ 1,46 V für $pH = 0$
$PbSO_4(s) + 6 H_2O(l) \rightleftharpoons PbO_2(s) + 4 H_3O^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2 e^-$	+ 1,69 V für $c(H_2SO_4) \approx 2 \text{ mol/L}$
$V \rightleftharpoons V^{2+} + 2 e^-$	- 1,18 V
$V^{2+} \rightleftharpoons V^{3+} + e^-$	- 0,26 V
$V^{3+} + 3 H_2O \rightleftharpoons VO^{2+} + 2 H_3O^+ + e^-$	+ 0,34 V für $c(H_2SO_4) \approx 2 \text{ mol/L}$
$VO^{2+} + 3 H_2O \rightleftharpoons VO_2^+ + 2 H_3O^+ + e^-$	+ 1,00 V für $c(H_2SO_4) \approx 2 \text{ mol/L}$
$6 H_2O/O_2, 4 H_3O^+$	+ 1,27 V für $c(H_2SO_4) \approx 2 \text{ mol/L}$

**Unterlagen für die Lehrkraft****Abiturprüfung 2014**  
**Chemie, Leistungskurs****1. Aufgabenart**

Bearbeitung einer Aufgabe, die auf fachspezifischen Vorgaben basiert

**2. Aufgabenstellung<sup>1</sup>****Sonnenstrom auch nachts – Energiespeichersysteme**

1. Zeichnen Sie eine beschriftete Skizze einer Blei-Akkumulator-Zelle. Ermitteln Sie, welches Redox-Paar den positiven bzw. den negativen Pol der Zelle darstellt. Erläutern Sie die Elektrodenprozesse in den Halbzellen beim Laden des Blei-Akkumulators unter Verwendung von Reaktionsgleichungen der Reaktionen an Plus- und Minuspol. (18 Punkte)
2. Erläutern Sie, warum das Elektrodenpotential der Blei-Elektrode eines Blei-Akkumulators negativer ist als das Standardpotential einer Blei-Elektrode. Erläutern Sie die Änderungen der Säure-Konzentration im Elektrolyten beim Betrieb des Blei-Akkumulators. (10 Punkte)
3. Ermitteln Sie die Reaktionsgleichung für die in Elektrolyt II einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie (VRFB) ablaufende Reaktion für den Fall, dass Vanadium(III)-Ionen durch die Membran in diesen Elektrolyt gelangen. Begründen Sie, dass Cross-over von Vanadium-Ionen zwar zu einer Entladung der VRFB führt, jedoch deren Funktion nicht beeinträchtigt. Erklären Sie, warum eine für Ionen durchlässige Membran für den Betrieb der VRFB erforderlich ist. (20 Punkte)
4. Erklären Sie die Änderungen des Potentials der Elektrode in Elektrolyt I einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie in Abhängigkeit von den Konzentrationen der Vanadium(II)- und Vanadium(III)-Ionen. Berechnen Sie das Potential dieser Elektrode für  $c(\text{V}^{2+}) = 1,75 \text{ mol/L}$  und  $c(\text{V}^{3+}) = 0,5 \text{ mol/L}$ . Erläutern Sie, warum es notwendig ist, Elektrolyt I der VRFB frei von gelöstem Sauerstoff zu halten. (18 Punkte)

<sup>1</sup> Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

### 3. Materialgrundlage

- <http://www.freepatentsonline.com/4786567.html> (26.05.2014)
- <http://www.isea.rwth-aachen.de/eess/technology/redox-flow> (26.05.2014)

### 4. Bezüge zu den Vorgaben 2014

#### 1. Inhaltliche Schwerpunkte

Themenfeld: Gewinnung, Speicherung und Nutzung elektrischer Energie in der Chemie

- Einfache Elektrolyse im Labor und Faraday-Gesetze
- Batterien und Akkumulatoren: Grundprinzip der Funktionsweise
- Galvanische Zelle: Vorgänge an Elektroden, Potentialdifferenz
- Spannungsreihe der Metalle/Nichtmetalle: Additivität der Spannungen, Standardelektrodenpotential
- Nernst-Gleichung am Beispiel folgender Systeme
  - Metall/Metallion
  - Wasserstoff/Oxoniumion
  - Hydroxidion/Sauerstoff

#### 2. Medien/Materialien

- entfällt

### 5. Zugelassene Hilfsmittel

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

## 6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

### Teilleistungen – Kriterien

#### a) inhaltliche Leistung

#### Teilaufgabe 1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	zeichnet eine beschriftete Skizze einer Blei-Akkumulator-Zelle, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gefäß mit Schwefelsäure mit Konzentrationsangabe,</li> <li>• Elektroden aus Blei, Blei(IV)-oxid mit Überzug aus Blei(II)-sulfat,</li> <li>• Kennzeichnung der Pole, Zuleitungen.</li> </ul> (Hinweis: Auch Lösungen mit zwei Halbzellen sind zulässig.)	6
2	ermittelt, welches Redox-Paar den positiven bzw. den negativen Pol der Zelle darstellt, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pluspol: <math>\text{PbO}_2, 4 \text{H}_3\text{O}^+, \text{SO}_4^{2-} / \text{PbSO}_4, 6 \text{H}_2\text{O}</math></li> <li>• Minuspol: <math>\text{PbSO}_4 / \text{Pb}, \text{SO}_4^{2-}</math></li> </ul> (Hinweis: Auch Lösungen mit $\text{Pb}^{4+}/\text{Pb}^{2+}$ und $\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}$ sind zu akzeptieren.)	4
3	erläutert die Elektrodenprozesse in den Halbzellen beim Laden des Blei-Akkumulators unter Verwendung von Reaktionsgleichungen der Reaktionen an Plus- und Minuspol, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pluspol: <math>\text{PbSO}_4 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{PbO}_2 + 4 \text{H}_3\text{O}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2 \text{e}^-</math></li> <li>• Am Pluspol werden Blei(II)-Ionen zu Blei(IV)-oxid oxidiert.</li> <li>• Minuspol: <math>\text{PbSO}_4 + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}</math></li> <li>• Am Minuspol werden Blei(II)-Ionen zu elementarem Blei reduziert.</li> </ul>	8
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

#### Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	erläutert, warum das Elektrodenpotential der Blei-Elektrode eines Blei-Akkumulators negativer ist als das Standardpotential einer Blei-Elektrode, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>U(\text{Pb}/\text{Pb}^{2+}) = U^\circ(\text{Pb}/\text{Pb}^{2+}) + 0,059 \text{ V} / 2 \cdot \log(c(\text{Pb}^{2+}))</math></li> <li>• <math>c(\text{Pb}^{2+}) \approx 0,75 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L}</math></li> <li>• Der Logarithmus-Term ist bei der vorliegenden Blei(II)-Ionen-Konzentration negativ und das Elektrodenpotential ist daher kleiner als das Standardpotential einer Blei-Elektrode.</li> </ul>	6
2	erläutert die Änderungen der Säure-Konzentration im Elektrolyten beim Betrieb des Blei-Akkumulators, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beim Ladevorgang wird Wasser verbraucht und gleichzeitig Schwefelsäure gebildet, deren Konzentration daher zunimmt.</li> <li>• Beim Entladen wird die Ladereaktion umgekehrt, sodass die Säure-Konzentration sinkt.</li> </ul>	4
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

## Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	ermittelt die Reaktionsgleichung für die in Elektrolyt II einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie ablaufende Reaktion, wenn Vanadium(III)-Ionen durch die Membran in diesen Elektrolyt gelangen, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• In Elektrolyt II liegen Oxovanadium(IV)-Ionen und Dioxovanadium(V)-Ionen vor.</li> <li>• Dioxovanadium(V)-Ionen können mit Vanadium(III)-Ionen in einer Redoxreaktion zu Dioxovanadium(IV)-Ionen reagieren.</li> <li>• <math>V^{3+} + VO_2^+ \rightarrow 2 VO^{2+}</math></li> </ul>	6
2	begründet, dass Cross-over von Vanadium-Ionen zwar zu einer Entladung der Vanadium-Redox-Flow-Batterie führt, jedoch deren Funktion nicht beeinträchtigt, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• In Elektrolyt I werden nach Cross-over Vanadium(III)-Ionen gebildet, in Elektrolyt II werden Oxovanadium(IV)-Ionen gebildet.</li> <li>• Durch Reaktion von Vanadium-Ionen aus Elektrolyt I und Elektrolyt II werden jeweils Ionen gebildet, die dort im entladenen Zustand der Batterie vorkommen.</li> <li>• Durch erneutes Laden wird die Batterie regeneriert.</li> </ul>	6
3	erklärt, warum eine für Ionen durchlässige Membran für den Betrieb der Vanadium-Redox-Flow-Batterie erforderlich ist, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Während der Ladereaktion läuft am Minuspol eine Reduktion <math>V^{3+} + e^- \rightarrow V^{2+}</math> ab, am Pluspol eine Oxidation <math>VO^{2+} + 3 H_2O \rightleftharpoons VO_2^+ + 2 H_3O^+ + e^-</math>.</li> <li>• Dadurch entsteht in Elektrolyt I ein Überschuss an negativ geladenen Ionen, in Elektrolyt II ein Überschuss an positiv geladenen Ionen.</li> <li>• Zum Ladungsausgleich müssen durch die Kationen leitende Membran positiv geladene Ionen von Elektrolyt II zu Elektrolyt I gelangen, etwa Oxonium-Ionen.</li> <li>• Beim Entladevorgang müssen positiv geladene Ionen von Elektrolyt I zu Elektrolyt II gelangen.</li> </ul>	8
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

## Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>erklärt die Änderungen des Potentials der Elektrode im Elektrolyt I einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie in Abhängigkeit von den Konzentrationen der Vanadium(II)- und Vanadium(III)-Ionen, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>U(V^{2+}/V^{3+}) = U^{\circ}(V^{2+}/V^{3+}) + 0,059 \text{ V} \cdot \log(c(V^{3+}) / c(V^{2+}))</math></li> <li>• Erhöhen der Konzentration von Vanadium(III)-Ionen sowie Erniedrigen der Konzentration von Vanadium(II)-Ionen führen zu einem größeren Potential, da jeweils der Logarithmus-Term wächst.</li> <li>• Entsprechend wird das Potential kleiner, wenn die Konzentration der Vanadium(III)-Ionen erniedrigt oder die Konzentration der Vanadium(II)-Ionen erhöht wird.</li> </ul>	6
2	<p>berechnet das Potential dieser Elektrode für <math>c(V^{2+}) = 1,75 \text{ mol/L}</math> und <math>c(V^{3+}) = 0,5 \text{ mol/L}</math>, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>U(V^{2+}/V^{3+}) = -0,26 \text{ V} + 0,059 \text{ V} \cdot \log(0,5 \text{ mol/L} / 1,75 \text{ mol/L})</math></li> <li>• <math>U(V^{2+}/V^{3+}) = -0,29 \text{ V}</math></li> </ul>	4
3	<p>erläutert, warum es notwendig ist, Elektrolyt I der Vanadium-Redox-Flow-Batterie frei von gelöstem Sauerstoff zu halten, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Potential von gelöstem Sauerstoff beträgt <math>U = 1,27 \text{ V}</math>.</li> <li>• Die Potentiale für die Oxidationen von Vanadium(II)- zu Vanadium(III)-Ionen bzw. von Vanadium(III)- zu Oxovanadium(IV)-Ionen sind kleiner als <math>1,27 \text{ V}</math>.</li> <li>• Sowohl Vanadium(II)-Ionen als auch Vanadium(III)-Ionen werden daher durch im Elektrolyt gelösten Sauerstoff letztlich zu Oxovanadium(IV)-Ionen oxidiert.</li> </ul>	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"> <li>• strukturiert seine Darstellung sachgerecht und übersichtlich,</li> <li>• verwendet eine differenzierte und präzise Sprache,</li> <li>• veranschaulicht seine Ausführungen durch geeignete Skizzen, Schemata etc.,</li> <li>• gestaltet seine Arbeit formal ansprechend.</li> </ul>	4

**7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit**

Name des Prüflings: \_\_\_\_\_ Kursbezeichnung: \_\_\_\_\_

Schule: \_\_\_\_\_

**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK <sup>2</sup>	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	zeichnet eine beschriftete ...	6			
2	ermittelt, welches Redox-Paar ...	4			
3	erläutert die Elektrodenprozesse ...	8			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 1. Teilaufgabe</b>	<b>18</b>			

**Teilaufgabe 2**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	erläutert, warum das ...	6			
2	erläutert die Änderungen ...	4			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 2. Teilaufgabe</b>	<b>10</b>			

<sup>2</sup> EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

**Teilaufgabe 3**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	ermittelt die Reaktionsgleichung ...	6			
2	begründet, dass Cross-over ...	6			
3	erklärt, warum eine ...	8			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 3. Teilaufgabe</b>	<b>20</b>			

**Teilaufgabe 4**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	erklärt die Änderungen ...	6			
2	berechnet das Potential ...	4			
3	erläutert, warum es ...	8			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 4. Teilaufgabe</b>	<b>18</b>			
	<b>Summe der 1., 2., 3. und 4. Teilaufgabe</b>	<b>66</b>			

**Darstellungsleistung**

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

	<b>Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)</b>	<b>75</b>			
--	---	-----------	--	--	--

**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			
<b>Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung</b>	<b>150</b>			
aus der Punktzahl resultierende Note				
Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
Paraphe				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktzahlen aus EK und ZK: \_\_\_\_\_

ggf. arithmetisches Mittel der Notenurteile aus EK und ZK: \_\_\_\_\_

Die Klausur wird abschließend mit der Note: \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum

**Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)**

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

<b>Note</b>	<b>Punkte</b>	<b>Erreichte Punktzahl</b>
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 – 58
mangelhaft plus	3	57 – 49
mangelhaft	2	48 – 40
mangelhaft minus	1	39 – 30
ungenügend	0	29 – 0



Name: \_\_\_\_\_

## Abiturprüfung 2014

### Chemie, Leistungskurs

---

#### Aufgabenstellung:

##### Alter Farbstoff: Doebners Violett

1. Ordnen Sie den Farbstoff Doebners Violett einer Farbstoffklasse zu. Erklären Sie am Beispiel von Doebners Violett den Zusammenhang zwischen Farbigkeit, Lichtabsorption und Molekülstruktur. Zeichnen Sie dazu zwei mesomere Grenzstrukturen. *(14 Punkte)*
2. Geben Sie ausgehend von Toluol ein Fließschema zur Herstellung von Doebners Violett an und erläutern Sie die Reaktionsschritte der Farbstoffsynthese. Erklären Sie anhand entsprechender Reaktionsschemata, warum es bei der Chlorierung von Toluol zu Benzotrichlorid in Gegenwart von Eisen zu unerwünschten Nebenreaktionen kommen kann. *(22 Punkte)*
3. Entwickeln Sie den Ablauf (Mechanismus) der Reaktion zwischen Anilin und Benzotrichlorid in Einzelschritten anhand von Strukturformeln. Begründen Sie den Ort der Anlagerung des Benzotrichlorids an das Anilin. Erklären Sie mithilfe von Grenzstrukturen, warum das Chlorid-Ion im letzten Schritt der Farbstoffsynthese relativ leicht abgespalten wird. *(16 Punkte)*
4. Erläutern Sie die Farbänderung der Farbstofflösung bei Zugabe von Salzsäure und die Entfärbung bei Zugabe von Natronlauge. Beurteilen Sie die Verwendung von Doebners Violett als Farbstoff für dokumentenechte Tinte. *(14 Punkte)*

#### Zugelassene Hilfsmittel:

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



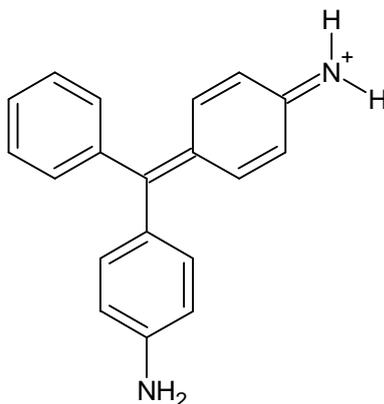
Name: \_\_\_\_\_

### Fachspezifische Vorgaben:

**Doebners Violett**, das nach dem Chemiker Oskar Doebner benannt wurde, gehört zu einer Farbstoffklasse, die früher wegen ihrer Farbbrillanz häufig in der Textilfärberei verwendet wurde. Farbstoffe aus dieser Klasse werden heute zum Färben von Papier, Tinte und teilweise auch zum Färben von Lebensmitteln verwendet.

Ausgangsstoffe für die Herstellung von Doebners Violett sind Toluol und Anilin.

- I. Toluol wird bei erhöhter Temperatur und UV-Bestrahlung mit Chlor umgesetzt. Dabei entsteht Benzotrichlorid. Diese Reaktion wird in eisenfreien Glasbehältern durchgeführt, da durch Spuren von Eisen unerwünschte Nebenreaktionen, z. B. zu p-Chlortoluol, eintreten können.
- II. Die Synthese des Farbstoffes erfolgt durch Umsetzung von 2 mol Anilin und 1 mol Benzotrichlorid in einem alkalischen Milieu. Dabei wird ein farbloses Zwischenprodukt mit der Summenformel  $C_{19}H_{17}N_2Cl$  gebildet, aus dem sich durch Abspaltung eines Chlorid-Ions Doebners Violett bildet.



Doebners Violett (Kation)

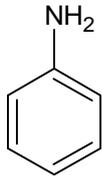
Bei Zugabe von Salzsäure zu einer purpur-violetten Lösung des Farbstoffes Doebners Violett schlägt die Farbe nach Gelb um, bei Zugabe von Natronlauge wird die Farbstofflösung entfärbt.

Dokumentenechte Tinte muss verschiedene Kriterien erfüllen. Die Farbe muss über Jahre hinweg lesbar sein, ohne zu verblassen. Unter Einfluss von Wasser darf die Tinte nicht verlaufen und muss resistent gegen bestimmte Chemikalien und Lösungsmittel sein.

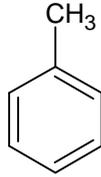


Name: \_\_\_\_\_

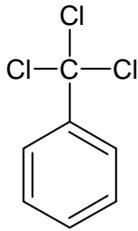
**Zusatzinformationen:**



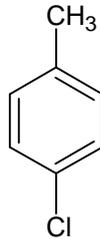
Anilin



Toluol



Benzotrichlorid



p-Chlortoluol

Zusammenhang von absorbierter Strahlung, zugehöriger Spektralfarbe und beobachteter Komplementärfarbe

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

**Unterlagen für die Lehrkraft****Abiturprüfung 2014**  
**Chemie, Leistungskurs****1. Aufgabenart**

Bearbeitung einer Aufgabe, die auf fachspezifischen Vorgaben basiert

**2. Aufgabenstellung<sup>1</sup>****Alter Farbstoff: Doebners Violett**

1. Ordnen Sie den Farbstoff Doebners Violett einer Farbstoffklasse zu. Erklären Sie am Beispiel von Doebners Violett den Zusammenhang zwischen Farbigkeit, Lichtabsorption und Molekülstruktur. Zeichnen Sie dazu zwei mesomere Grenzstrukturen. (14 Punkte)
2. Geben Sie ausgehend von Toluol ein Fließschema zur Herstellung von Doebners Violett an und erläutern Sie die Reaktionsschritte der Farbstoffsynthese. Erklären Sie anhand entsprechender Reaktionsschemata, warum es bei der Chlorierung von Toluol zu Benzotrichlorid in Gegenwart von Eisen zu unerwünschten Nebenreaktionen kommen kann. (22 Punkte)
3. Entwickeln Sie den Ablauf (Mechanismus) der Reaktion zwischen Anilin und Benzotrichlorid in Einzelschritten anhand von Strukturformeln. Begründen Sie den Ort der Anlagerung des Benzotrichlorids an das Anilin. Erklären Sie mithilfe von Grenzstrukturen, warum das Chlorid-Ion im letzten Schritt der Farbstoffsynthese relativ leicht abgespalten wird. (16 Punkte)
4. Erläutern Sie die Farbänderung der Farbstofflösung bei Zugabe von Salzsäure und die Entfärbung bei Zugabe von Natronlauge. Beurteilen Sie die Verwendung von Doebners Violett als Farbstoff für dokumentenechte Tinte. (14 Punkte)

**3. Materialgrundlage**

- <http://www.old.uni-bayreuth.de/departements/didaktikchemie/umat/farbstoffe1/triphenylmethan.htm> (26.05.2014)
- <http://www.chemie.de/lexikon/d/Dokumentenechtheit> (26.05.2014)

<sup>1</sup> Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

#### 4. Bezüge zu den Vorgaben 2014

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

#### 5. Zugelassene Hilfsmittel

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

#### 6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

##### Teilleistungen – Kriterien

a) inhaltliche Leistung

##### Teilaufgabe 1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	ordnet den Farbstoff Doebners Violett der Klasse der Triphenylmethanfarbstoffe zu.	2
2	erklärt am Beispiel von Doebners Violett den Zusammenhang zwischen Farbigkeit, Lichtabsorption und Molekülstruktur, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die purpur-violette Farbstofflösung absorbiert im grünen bis gelbgrünen Spektralbereich.</li> <li>• Die Moleküle besitzen ein delokalisiertes <math>\pi</math>-Elektronensystem mit drei Phenylringen (Chromophor), die von sichtbarem Licht angeregt werden.</li> <li>• Die Aminogruppe mit +M-Effekt erweitert das <math>\pi</math>-Elektronensystem.</li> </ul>	8
3	zeichnet dazu zwei mesomere Grenzstrukturen.	4
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

## Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	gibt ein Fließschema zur Herstellung von Doebners Violett mit den Strukturformeln von Toluol, Benzotrchlorid, Anilin und den entsprechenden Reaktionsprodukten an.	6
2	erläutert die Reaktionsschritte der Farbstoffsynthese. <i>(Hinweis: Es wird erwartet, dass der Prüfling auf die Substitution der Wasserstoff-Atome der Methylgruppe durch Chlor-Atome, auf die Substitution der zwei Chlor-Atome des Benzotrchlorids durch Anilin-Moleküle, auf die Elektrophilie von Benzotrchlorid (1. Schritt) und substituiertem Benzodichlorid (2. Schritt) sowie auf die Entstehung des Farbstoffes durch Abspaltung eines Chlorid-Ions aus dem farblosen Zwischenprodukt eingeht.)</i>	8
3	erklärt anhand entsprechender Reaktionsschemata, warum es bei der Chlorierung von Toluol zu Benzotrchlorid in Gegenwart von Eisen zu unerwünschten Nebenreaktionen kommen kann, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• In Anwesenheit von Eisen entsteht durch Reaktion mit Chlor Eisentrchlorid (hierzu Reaktionsschema).</li> <li>• Eisentrchlorid wirkt als Katalysator.</li> <li>• Es findet eine Chlorierung des Toluols am Kern statt (hierzu Reaktionsschema).</li> </ul>	8
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

## Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	entwickelt den Ablauf (Mechanismus) der Reaktion zwischen Anilin und Benzotrchlorid in Einzelschritten anhand von Strukturformeln, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wechselwirkung des elektrophilen Teilchens Benzotrchlorid mit den <math>\pi</math>-Elektronen des Anilins und Bildung eines Carbenium-Ions,</li> <li>• Protonen-Abspaltung und Neutralisation in alkalischer Lösung,</li> <li>• Rückbildung des aromatischen Systems.</li> </ul>	6
2	begründet den Ort der Anlagerung des Benzotrchlorids an das Anilin, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Aminogruppe dirigiert in o- und p-Stellung.</li> <li>• Die p-Stellung wird aus sterischen Gründen bevorzugt.</li> </ul>	4
3	erklärt mithilfe von mesomeren Grenzstrukturen, warum das Chlorid-Ion relativ leicht abgespalten wird, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entstehung eines mesomeriestabilisierten, energiearmen Carbenium-Ions (mesomere Grenzstrukturen),</li> <li>• das konjugierte Doppelbindungssystem wird über das zentrale Kohlenstoff-Atom auf drei Phenylringe erweitert.</li> </ul>	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

## Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1a	erläutert die Farbänderung der Farbstofflösung bei Zugabe von Salzsäure, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Farbänderung nach Gelb (Absorption von energiereicherem, blauen Licht) deutet auf eine Verkleinerung des <math>\pi</math>-Elektronensystems hin.</li> <li>Diese wird durch die Protonierung der Aminogruppe, die zum Verlust des +M-Effektes führt, hervorgerufen.</li> </ul>	4
1b	stellt die Protolysegleichung für die Reaktion von Döbners Violett mit Säure auf.	2
2a	erläutert die Entfärbung der Farbstofflösung bei Zugabe von Natronlauge, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Entfärbung der Farbstofflösung zeigt eine Aufhebung des delokalisierten <math>\pi</math>-Elektronensystems an.</li> <li>Das zentrale C-Atom wird durch Addition eines Hydroxid-Ions blockiert.</li> </ul>	4
2b	stellt die Gleichung für die Addition eines Hydroxid-Ions an das zentrale C-Atom auf.	2
3	beurteilt die Verwendung von Döbners Violett als Farbstoff für dokumentenechte Tinte, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>Der gelöste Farbstoff ist nicht resistent gegenüber Säuren und Laugen und kann deshalb nicht als dokumentenechte Tinte verwendet werden.</li> </ul>	2
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"> <li>strukturiert seine Darstellung sachgerecht und übersichtlich,</li> <li>verwendet eine differenzierte und präzise Sprache,</li> <li>veranschaulicht seine Ausführungen durch geeignete Skizzen, Schemata etc.,</li> <li>gestaltet seine Arbeit formal ansprechend.</li> </ul>	4

## 7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: \_\_\_\_\_ Kursbezeichnung: \_\_\_\_\_

Schule: \_\_\_\_\_

### Teilaufgabe 1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK <sup>2</sup>	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	ordnet den Farbstoff ...	2			
2	erklärt am Beispiel ...	8			
3	zeichnet dazu zwei ...	4			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 1. Teilaufgabe</b>	<b>14</b>			

### Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	gibt ein Fließschema ...	6			
2	erläutert die Reaktionsschritte ...	8			
3	erklärt anhand entsprechender ...	8			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 2. Teilaufgabe</b>	<b>22</b>			

<sup>2</sup> EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

**Teilaufgabe 3**

	Anforderungen  Der Prüfling	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	entwickelt den Ablauf ...	6			
2	begründet den Ort ...	4			
3	erklärt mithilfe von ...	6			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 3. Teilaufgabe</b>	<b>16</b>			

**Teilaufgabe 4**

	Anforderungen  Der Prüfling	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1a	erläutert die Farbänderung ...	4			
1b	stellt die Protolysegleichung ...	2			
2a	erläutert die Entfärbung ...	4			
2b	stellt die Gleichung ...	2			
3	beurteilt die Verwendung ...	2			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 4. Teilaufgabe</b>	<b>14</b>			
	<b>Summe der 1., 2., 3. und 4. Teilaufgabe</b>	<b>66</b>			

**Darstellungsleistung**

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

	<b>Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)</b>	<b>75</b>			
--	---	-----------	--	--	--

**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			
<b>Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung</b>	<b>150</b>			
aus der Punktzahl resultierende Note				
Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST				
Paraphe				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktzahlen aus EK und ZK: \_\_\_\_\_

ggf. arithmetisches Mittel der Notenurteile aus EK und ZK: \_\_\_\_\_

Die Klausur wird abschließend mit der Note: \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum

**Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)**

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

<b>Note</b>	<b>Punkte</b>	<b>Erreichte Punktzahl</b>
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 – 58
mangelhaft plus	3	57 – 49
mangelhaft	2	48 – 40
mangelhaft minus	1	39 – 30
ungenügend	0	29 – 0