

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2026

Aufgaben für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Cyanotypie – fotochemischer Blaudruck
Anforderungsniveau	erhöht
Inhaltsbereiche	♦ Stoffe, Strukturen, Eigenschaften ♦ Chemische Bindung ♦ koordinative Bindung ♦ Strukturen ausgewählter organischer und anorganischer Stoffe ♦ Molekülgeometrie (EPA-Modell) ♦ Chemische Reaktionen ♦ Elektronenübergänge ♦ Redoxreaktionen als Elektronenübergang ♦ Elektrolyse ♦ Faraday-Gesetze
Materialien	♦ M 1 Die Cyanotypie – blaue Bilder durch Sonnenlicht ♦ M 2 Zur Chemie der Cyanotypie ♦ M 3 Vorbereitung eines Schnuppertags
Quellenangaben	♦ M 1 ♦ Kraft, A. (2022). <i>Berliner Blau. Vom frühneuzeitlichen Pigment zum modernen Hightech-Material</i> (2. Aufl.). GNT Verlag. ♦ M 2 ♦ Kraft, A. (2022). <i>Berliner Blau. Vom frühneuzeitlichen Pigment zum modernen Hightech-Material</i> (2. Aufl.). GNT Verlag. ♦ Holleman, A. F., Wiberg, E. & Wiberg, N. (2007). <i>Lehrbuch der anorganischen Chemie</i> (102. Aufl.). de Gruyter. ♦ M 3 ♦ Roesky, H. W. & Möckel, K. (1994). <i>Chemische Kabinettstücke</i> (1. Aufl.). VCH Verlag. ♦ Lauritsen, K. (2024). <i>Cyanotypie</i>. Science On Stage. https://www.science-on-stage.de/sites/default/files/material/unterrichtsmaterial-des-monats-cyanotypie.pdf (Zugriff am: 30.12.2024) ♦ Holleman, A. F., Wiberg, E. & Wiberg, N. (2007). <i>Lehrbuch der anorganischen Chemie</i> (102. Aufl.). de Gruyter.

Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	ja ☐ nein ☒ Zeitzuschlag: —

1 Aufgabe

Cyanotypie – fotochemischer Blaudruck

John Herschel entwickelte 1842 die Cyanotypie, ein fotografisches Verfahren, welches blau eingefärbte Bilder liefert. Durch den Einsatz vollautomatischer Belichtungsapparate in den 1920er Jahren entstand der Begriff Blaupause für diese Technik. In der heutigen Zeit wird die Cyanotypie vor allem von Künstlern verwendet.

	BE
1 Erklären Sie mithilfe des EPA-Modells die räumliche Anordnung der Liganden im Hexacyanidoferrat(II)-Ion ($[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$) um das zentrale Eisen(II)-Ion (M 2). Beschreiben Sie die koordinative Bindung an diesem Beispiel (M 2).	7
2 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Reaktion des Trioxalatoferat(III)-Ions bei der Belichtung mit UV-Licht (M 2). Begründen Sie, dass es sich hierbei um eine Redoxreaktion handelt.	6
3 Erstellen Sie zu den Stoffumwandlungen bei der Cyanotypie ein Fließschema, das von der Belichtung von Kaliumtrioxalatoferat(III) zum Blaupigment führt (M 1, M 2). Begründen Sie, dass die unterschiedlichen Löslichkeiten der verwendeten Stoffe für die Erstellung einer Cyanotypie eine Rolle spielen (M 2).	7
4 Zeichnen Sie eine beschriftete Elektrolysezelle für die elektrochemische Gewinnung von rotem Blutlaugensalz (M 2, M 3). Formulieren Sie für die bei der Elektrolyse ablaufenden Reaktionen die Teilgleichungen sowie die Gesamtgleichung (M 2, M 3). Berechnen Sie die Dauer der Elektrolyse, um 10 Gramm rotes Blutlaugensalz unter den beschriebenen Bedingungen elektrolytisch herzustellen (M 2, M 3).	14
5 Erläutern Sie anhand von insgesamt drei Sicherheits- und Umweltaspekten Überlegungen, die bei der Planung des Experiments für den Schnuppertag getätigt werden sollten (M 2, M 3).	6

Quellen (ggf. verändert):

- [1] Kraft, A. (2022). *Berliner Blau. Vom frühneuzeitlichen Pigment zum modernen Hightech-Material* (2. Aufl.). GNT Verlag.
- [2] Holleman, A. F., Wiberg, E. & Wiberg, N. (2007). *Lehrbuch der anorganischen Chemie* (102. Aufl.). de Gruyter.
- [3] Roesky, H. W., Möckel, K. (1994). *Chemische Kabinettstücke* (1. Aufl.). VCH Verlag.
- [4] Lauritsen, K. (2024). *Cyanotypie*. Science On Stage. <https://www.science-on-stage.de/sites/default/files/material/unterrichtsmaterial-des-monats-cyanotypie.pdf> (Zugriff am: 30.12.2024)

2 Material

Material 1: Die Cyanotypie – blaue Bilder durch Sonnenlicht [1]

Cyanotypie, auch als Eisenblaudruck bekannt, ist ein fotochemisches Druckverfahren, das Bilder mit blauen Tönen liefert. Die Blaufärbung ist auf „Berliner Blau“ zurückzuführen.

Für die Cyanotypie wird speziell vorbereitetes weißes Papier benötigt. Dieses wird mit einer Lösung aus den Salzen rotes Blutlaugensalz ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) und Kaliumtrioxalatoferrat(III) ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]$) getränkt und danach getrocknet.

Man legt Gegenstände wie zum Beispiel Blätter, Blumen oder Schlüssel auf das vorbereitete Papier. Danach wird das Papier fünf bis zehn Minuten in die Sonne gelegt oder mit UV-Licht bestrahlt. Auf den nicht bedeckten Flächen entsteht das blaue Pigment Berliner Blau ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$).

Berliner Blau entsteht wie folgt: Während der Belichtung werden aus den Trioxalatoferrat(III)-Ionen Eisen(II)-Ionen freigesetzt, die dann mit dem roten Blutlaugensalz zu Berliner Blau reagieren.



Abb. 1: Cyanotypie

Material 2: Zur Chemie der Cyanotypie [1] – [3]

Kaliumtrioxalatoferrat(III)

Das Salz besteht aus Kalium-Ionen und den komplex gebauten Trioxalatoferrat(III)-Anionen ($[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$).

Bei Belichtung mit UV-Licht reagieren die komplexen Anionen zu Kohlenstoffdioxid-Molekülen, Oxalat-Ionen ($\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$) und Eisen(II)-Ionen.

Blutlaugensalze

Gelbes Blutlaugensalz ($\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) besteht aus Kalium-Ionen und komplex gebauten Anionen. In den Anionen koordiniert ein zentrales Eisen(II)-Ion sechs Cyanid-Ionen (CN^-).

Kristalle von gelbem Blutlaugensalz sind gelb, die Lösungen hellgelb.

Bei **rotem** Blutlaugensalz ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) besteht das Anion aus einem zentralen Eisen(III)-Ion und ebenfalls sechs Cyanid-Ionen.

Aus einer Lösung aus gelbem Blutlaugensalz lässt sich durch Oxidation eine Lösung aus rotem Blutlaugensalz gewinnen. Rotes Blutlaugensalz bildet rote Kristalle und dunkelgelbe Lösungen.

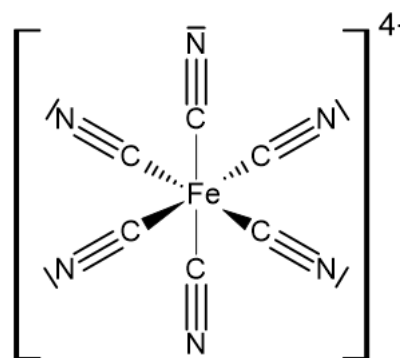


Abb. 1: Strukturformel des komplexen Anions im gelben Blutlaugensalz

Berliner Blau

Bei Zugabe von Eisen(II)-Ionen zu einer Lösung aus rotem Blutlaugensalz entsteht ein blauer Niederschlag aus $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$, der als „Berliner Blau“ bezeichnet wird. Mit Berliner Blau wurden die preußischen Uniformen gefärbt, es dient als Pigment für Kunstmaler und als Sensormaterial in der Elektrochemie.

Tabelle 1: Informationen zu relevanten Verbindungen

Name	Formel mit Angabe der der Oxidationszahlen für die Eisen-Ionen	Löslichkeit in Wasser	Gefährdung
Gelbes Blutlaugensalz	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{+II}$	löslich	deutlich wassergefährdend
Rotes Blutlaugensalz	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{+III}$	löslich	 - deutlich wassergefährdend - in der Schule Tätigkeitsverbot bis einschließlich Klasse 4 - mögliche Bildung von giftiger Blausäure (HCN) bei unsachgemäßem Umgang
Kaliumtrioxalato-ferrat(III)	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{+III}$	löslich	
Berliner Blau	$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3^{+III +II}$	praktisch unlöslich	schwach wassergefährdend

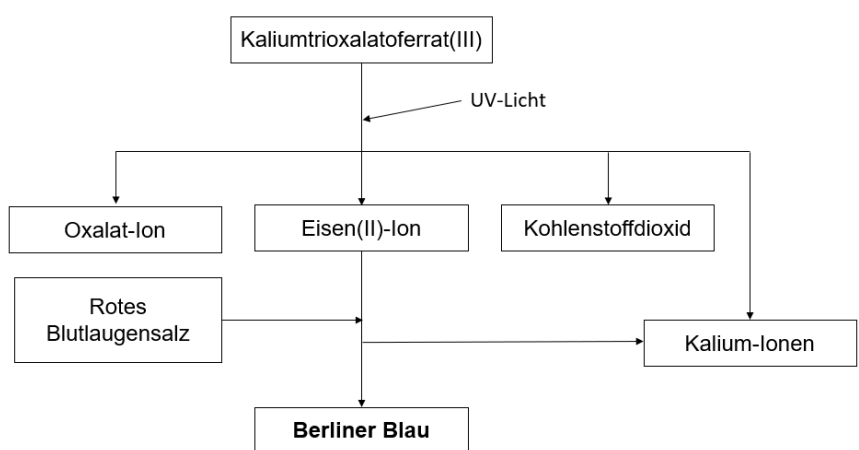
Material 3: Vorbereitung eines Schnuppertags [2] – [4]

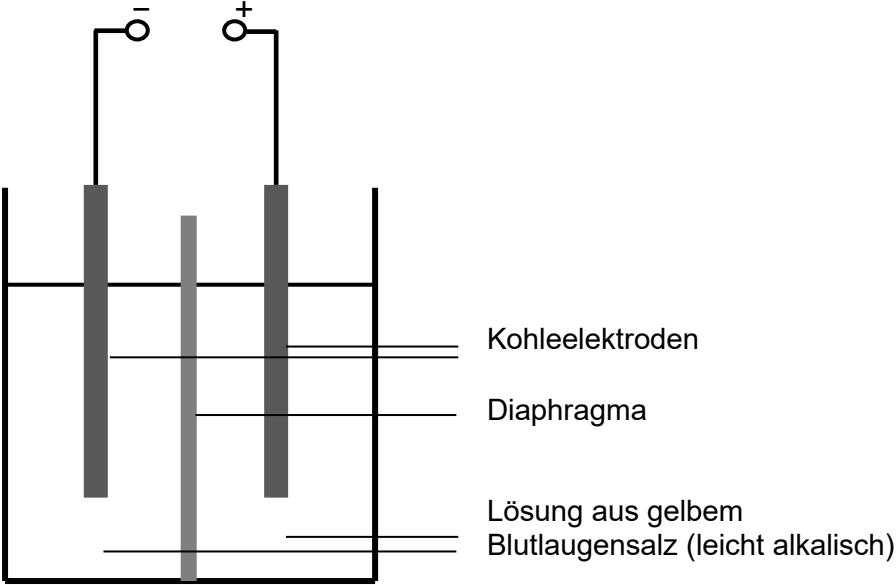
An einer Schule ist geplant, am Schnuppertag für Grundschulkinder die praktische Herstellung von Blaudrucken durchzuführen und den Kindern als Andenken mitzugeben. Dabei wird ein Papier mit einer wässrigen Lösung aus rotem Blutlaugensalz und Kaliumtrioxalato-ferrat(III) getränkt, danach mit Schablonen oder Pflanzen belegt und mit UV-Licht belichtet. Das so hergestellte Negativbild wird zur Haltbarmachung 15 Minuten lang unter fließendem Leitungswasser gespült, um sämtliche Chemikalienreste zu entfernen.

Die benötigte Lösung aus rotem Blutlaugensalz soll durch Elektrolyse einer leicht alkalischen Lösung aus gelbem Blutlaugensalz hergestellt werden. Mithilfe von Kohleelektroden wird bei einer Stromstärke von $I = 0,1 \text{ A}$ so lange elektrolysiert, bis man die benötigten 10 Gramm rotes Blutlaugensalz erhält. Die Halbzellen der Elektrolysezellen werden durch ein Diaphragma getrennt. An der Kathode ist eine Gasentwicklung zu beobachten, an der Anode färbt sich die Lösung deutlich dunkler (dunkelgelb).

3 Erwartungshorizont

Der Erwartungshorizont stellt für jede Teilaufgabe eine mögliche Lösung dar. Nicht dargestellte korrekte Lösungen sind als gleichwertig zu akzeptieren.

		BE/AFB		
		I	II	III
1	<u>Erklärung der räumlichen Anordnung der Liganden:</u> - Das zentrale Eisen(II)-Ion wird von sechs Cyanid-Ionen umgeben, die sich oktaedrisch um das Zentralteilchen anordnen. - Diese Anordnung ermöglicht einen größtmöglichen Abstand der sich untereinander abstoßenden bindenden Elektronenpaare (Elektronenpaarabstoßungsmodell). <u>Beschreibung der koordinativen Bindung:</u> - Bei einer koordinativen Bindung stammt das Elektronenpaar der Bindung von nur einem Bindungspartner. - Ausbildung von Elektronenpaarbindungen zwischen dem Eisen(II)-Ion und den Cyanid-Ionen. - Die bindenden Elektronenpaare stammen von den Cyanid-Ionen.	2	2	
2	<u>Formulierung der Reaktionsgleichung:</u> $2 [\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-} \rightarrow 2 \text{Fe}^{2+} + 2 \text{CO}_2 + 5 \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ <u>Begründung der Redoxreaktion:</u> - Eine Redoxreaktion ist eine Elektronenübertragungsreaktion, verbunden mit Änderungen von Oxidationszahlen. - Die Oxidationszahl des Kohlenstoff-Atoms ändert sich von +III im Oxalat-Ion zu +IV im Kohlenstoffdioxid-Molekül. - Die Oxidationszahl des Eisen-Ions ändert sich von +III zu +II.	2	1	
3	<u>Erstellung eines Fließschemas:</u> - Erfassung der Struktur - konkrete Schritte mit allen Edukten und Produkten  <pre> graph TD A[Kaliumtrioxalatoferrat(III)] -- UV-Licht --> B[Oxalat-Ion] A -- UV-Licht --> C[Eisen(II)-Ion] A -- UV-Licht --> D[Kohlenstoffdioxid] B --> E[Rotes Blutlaugensalz] C --> F[Berliner Blau] D --> G[Kalium-Ionen] E --> F F --> G </pre>	1 1	2	
	<u>Begründung der Löslichkeit der Stoffe für den Prozess:</u> Rotes Blutlaugensalz und Kaliumtrioxalatoferrat(III) müssen in Wasser ausreichend löslich sein, weil die Salze gleichmäßig auf das Papier aufgetragen werden müssen.			3

	♦ Nach der Belichtung müssen die nicht verbrauchten Edukte leicht vom Papier entfernt werden können, weil ansonsten unter Tageslicht das Papier auf Dauer gleichmäßig blau wird. ♦ Berliner Blau muss dagegen auch beim Auswaschen auf dem Papier bleiben, weil sonst das Bild zerstört wird. Dies ist gegeben, da Berliner Blau praktisch unlöslich ist.			
4	<u>Beschriftete Zeichnung der Elektrolysezelle:</u>  <u>Formulierung der Teilgleichungen und der Gesamtgleichung:</u> ♦ Pluspol: $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \rightarrow [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} + \text{e}^-$ ♦ Minuspol: $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$ ♦ Gesamt: $2 [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} + \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$ <u>Berechnung der Dauer der Elektrolyse:</u> ♦ $M(\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = 329,2 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ ♦ Ermittlung der Stoffmenge $n = \frac{m}{M}; \quad n = \frac{10 \text{g}}{329,2 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}; \quad n = 0,030 \text{ mol.}$ ♦ Anwendung der Faraday-Gesetze $t = \frac{n \cdot z \cdot F}{I}$ $t = \frac{0,03 \text{mol} \cdot 1 \cdot 96485 \frac{\text{As}}{\text{mol}}}{0,1 \text{A}}$ $t = 28946 \text{ s}$	3	2	
			1	2
		1	2	
		1	2	

5	<u>Erläuterung von Überlegungen bei der Planung des Experiments:</u> ♦ Die Cyanotypie ist als Mitmachangebot für Kinder bis einschließlich 4. Klasse nicht möglich, da der Umgang mit den Chemikalien für diese Kinder nicht erlaubt ist. ♦ Die fertigen Bilder können nach Hause mitgenommen werden, da sie keine gesundheitliche Gefährdung darstellen. ♦ Rotes Blutlaugensalz darf nicht mit Säuren in Kontakt kommen, da die Gefahr der Blausäurebildung besteht. ♦ Die Spülflüssigkeit muss aufgefangen und gesammelt werden, da Blutlaugensalze deutlich gewässergefährdend sind.		3	3
	Summe¹	12	20	8

¹ Bei jeder Aufgabe liegen die Anzahlen der Bewertungseinheiten – abhängig vom Anforderungsniveau – in den Bereichen, die der folgenden Tabelle zu entnehmen sind:

Anforderungsniveau	erhöht			grundlegend		
Anforderungsbereich	I	II	III	I	II	III
Anzahl der BE	11 - 13	17 - 21	8 - 10	10 - 12	13 - 16	4 - 6

4 Standardbezug²

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	13	7		
2	7, 16			
3	2		7	
4	16, 17		7	
5				7, 11

5 Bewertungshinweise

Die Bewertung der erbrachten Prüfungsleistungen hat sich für jede Teilaufgabe nach der am rechten Rand der Aufgabenstellung angegebenen Anzahl maximal erreichbarer Bewertungseinheiten (BE) zu richten.

Für die Bewertung der Gesamtleistung eines Prüflings ist ein Bewertungsraster³ vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

Stand von März 2025.

² Zu jeder Teilaufgabe sind zu jedem Kompetenzbereich die Nummern der Standards gemäß den Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife genannt, die zur Bearbeitung der Aufgabe erforderlich sind.

³ Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.