

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2026

Aufgaben für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Elektrolytische Herstellung von Reinstsilber
Anforderungsniveau	erhöht
Inhaltsbereiche	♦ Chemische Reaktionen ♦ Elektronenübergänge ♦ Redoxreaktionen als Elektronenübergang ♦ elektrochemische Spannungsreihe ♦ Elektrolyse ♦ Nernst-Gleichung ♦ Faraday-Gesetze ♦ Gleichgewichtsreaktionen ♦ chemisches Gleichgewicht ♦ Prinzip von Le Chatelier ♦ Lebenswelt und Gesellschaft ♦ Aktuelle Technologien und chemische Produkte ♦ Rohstoffgewinnung und -verarbeitung ♦ ein technisches Syntheseverfahren
Materialien	♦ M 1 Elektrolyse einer verdünnten Lösung von Silber(I)-nitrat ♦ M 2 Elektrolytische Raffination von Silber nach dem Moebius-Verfahren ♦ M 3 Grundlage der historischen Definition der Einheit „Ampere“
Quellenangaben	♦ M 1 ♦ Fischer, R., Novotny, J., Schedy, A. & Oetken, M. (2018). Das Silberbaum-Paradoxon – verblüffende Effekte bei der Elektrolyse von Silbersalzlösungen. <i>Chemkon</i>, 25(5), S. 191–195. https://doi.org/10.1002/ckon.201800027 ♦ M 2 ♦ Winnacker, K. & Küchler, L. (2006). <i>Chemische Technik: Prozesse und Produkte</i>. Band 6. Metalle. Wiley-VCH. ♦ M 3 ♦ <i>Lexikon der Chemie: Silber</i> (o. D.). Spektrum. https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/silber/8454 (Zugriff am: 24.10.2023) ♦ M 4 ♦ <i>Ampere</i> (2001, 28. Juli). Wikipedia. https://de.wikipedia.org/wiki/Ampere#Definition_1898 (Zugriff am: 28.09.2023)

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

1 Aufgabe

Elektrolytische Herstellung von Reinstsilber

Silber wird bereits seit Jahrtausenden aufgrund seiner Eigenschaften in verschiedenen Bereichen genutzt. Zur Herstellung von hochreinem Silber (Reinstsilber) muss das aus Erzen gewonnene Rohsilber elektrolytisch gereinigt werden.

	BE
1 Nennen Sie das Prinzip einer Elektrolyse und geben Sie den allgemeinen Aufbau einer Elektrolysezelle an. Beschreiben Sie die bei der Elektrolyse einer Silber(I)-nitrat-Lösung an den Elektroden stattfindenden Vorgänge auf Teilchenebene (M 1). Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Elektrolyse (M 1). Geben Sie die an der Anode zu erwartende Beobachtung an (M 1).	12
2 Beschreiben Sie die beim Moebius-Verfahren zu beobachtenden Veränderungen an den Elektroden auf Stoffebene (M 2). Erläutern Sie sowohl die Entstehung der Verunreinigung der Silber(I)-nitrat-Lösung als auch die Bildung des Anodenschlammes (M 2).	8
3 Erklären Sie mithilfe des Prinzips von Le Chatelier die Veränderung des elektrochemischen Potentials $E(\text{Ag}^+ \text{Ag})$ durch die Maßnahme 1 (M 2). Erklären Sie unter Einbeziehung der Nernst-Gleichung die Veränderung des elektrochemischen Potentials $E(\text{Pd}^{2+} \text{Pd})$ durch die Maßnahme 2 (M 2). Beurteilen Sie beide theoretischen Maßnahmen unter dem Aspekt der Vermeidung der Palladium-Entstehung an der Kathode (M 2). <i>Hinweis: Betrachten Sie dabei ausschließlich die Vorgänge an der Kathode.</i>	9
4 Berechnen Sie die Masse an Silber, die sich auf Grundlage der historischen Definition für ein Ampere bei der Elektrolyse von Silber(I)-nitrat-Lösung abscheidet (M 3).	4
5 Vergleichen Sie die beiden betrachteten Elektrolysen nach folgenden Kriterien (M 1, M 2): ◆ Ziel des Verfahrens ◆ Veränderung der Silber(I)-Ionen-Konzentration in der Elektrolyt-Lösung während der Elektrolyse ◆ Veränderung des pH-Werts der Elektrolyt-Lösung während der Elektrolyse Erklären Sie einen bei diesen Elektrolysen auftretenden Unterschied (M 1, M 2).	7

Quellen (ggf. verändert):

- [1] Fischer, R., Novotny, J., Schedy, A. & Oetken, M. (2018). Das Silberbaum-Paradoxon – verblüffende Effekte bei der Elektrolyse von Silbersalzlösungen. *Chemkon*, 25(5), S. 191–195. <https://doi.org/10.1002/ckon.201800027>
- [2] Winnacker, K. & Küchler, L. (2006). *Chemische Technik: Prozesse und Produkte. Band 6. Metalle*. Wiley-VCH.
- [3] *Lexikon der Chemie: Silber* (o. D.). Spektrum. <https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/silber/8454> (Zugriff am: 24.10.2023)
- [4] *Ampere* (2001, 28. Juli). Wikipedia. https://de.wikipedia.org/wiki/Ampere#Definition_1898 (Zugriff am: 28.09.2023)

2 Material

Material 1: Elektrolyse einer verdünnten Lösung von Silber(I)-nitrat [1]

Eine neutrale wässrige Lösung von Silber(I)-nitrat (AgNO_3) kann mithilfe von Inert-Elektroden, die nur als Leiter für den elektrischen Strom dienen und an den eigentlichen Reaktionen nicht beteiligt sind, elektrolysiert werden (Abb. 1). Die Nitrat-Ionen sind an den dargestellten Vorgängen ebenfalls nicht beteiligt.

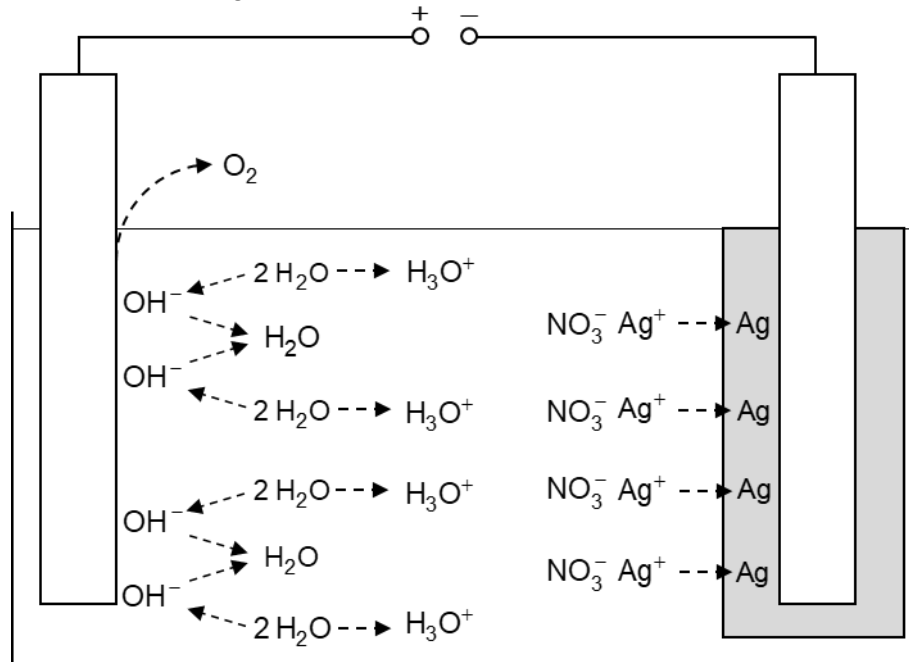


Abb. 1: Zelle zur Elektrolyse einer verdünnten Silber(I)-nitrat-Lösung mit Darstellung der Veränderungen auf Teilchenebene im stöchiometrischen Verhältnis

Material 2: Elektrolytische Raffination von Silber nach dem Moebius-Verfahren [2], [3]

Anfang der 1880er Jahre entwickelte Bernhard Moebius ein Verfahren zur Herstellung von hochreinem Silber (Reinstsilber, bis zu 99,99 % Silbergehalt). In Europa wird Reinstsilber noch heute vorwiegend nach diesem Verfahren hergestellt.

Ausgehend von in der Natur vorkommenden Silbererzen wird über verschiedene Prozesse metallisches Rohsilber hergestellt. Dieses Rohsilber ist aber noch durch geringe Anteile (bis zu 5 %) anderer Metalle, wie z. B. Kupfer, Palladium oder Gold, als Legierungsbestandteile verunreinigt.

Zur Herstellung von Reinstsilber wird das beschriebene Rohsilber mittels Elektrolyse gereinigt (in Abbildung 2 dargestellt). Im Verlauf dieser Elektrolyse wird die Silber(I)-nitrat-Lösung durch entstehende Metall-Ionen verunreinigt. Zusätzlich sind Ablagerungen von Feststoffen (Anodenschlamm) am Boden zu beobachten.

Bei den vorherrschenden Reaktionsbedingungen gilt für die elektrochemischen Potenziale der konjugierten Redoxpaare:

$$E(\text{Au}^{3+} | \text{Au}) > E(\text{Ag}^+ | \text{Ag}) \approx E(\text{Pd}^{2+} | \text{Pd}) > E(\text{Cu}^{2+} | \text{Cu})$$

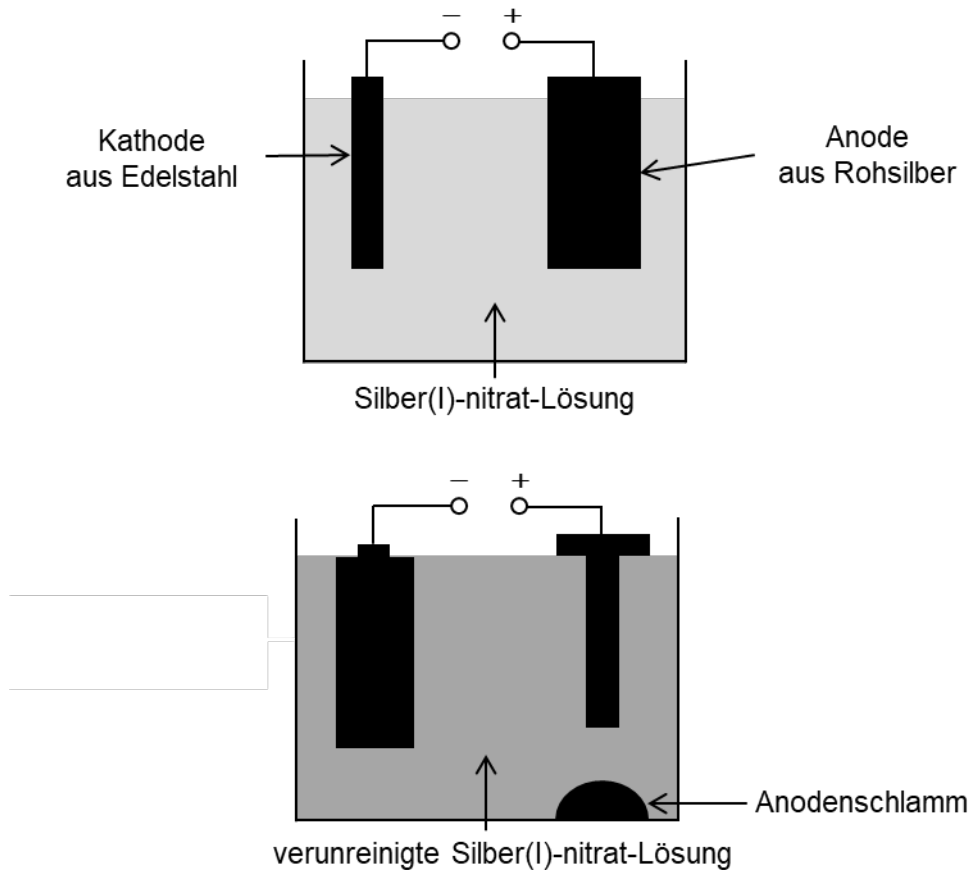


Abb. 2: vereinfachte Darstellungen der Elektrolysezelle zu Beginn (oben) und im Verlauf (unten) des Moebius-Verfahrens

Untersuchungen des so gewonnen Reinstsilbers zeigen, dass es geringe Anteile an Palladium enthält. Eine mögliche Ursache dafür ist die Entstehung von Palladium an der Edelstahlelektrode.

In der Theorie werden zur Vermeidung dieser Verunreinigung u. a. folgende zwei Maßnahmen diskutiert:

Maßnahme 1:

Erhöhung der Silber(I)-Ionen-Konzentration in der Elektrolyt-Lösung

Maßnahme 2:

Zugabe eines Stoffes, damit ein Großteil der in der Elektrolyt-Lösung enthaltenden Palladium(II)-Ionen durch eine Fällungsreaktion der Elektrolyt-Lösung entzogen werden.

Material 3: Grundlage der historischen Definition der Einheit „Ampere“ [4]

Grundlage der historischen Definition der Einheit „ein Ampere“ war die Masse des aus einer wässrigen Silber(I)-nitrat-Lösung mittels Elektrolyse in einer Sekunde abgeschiedenen Silbers.

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>Nennung des Prinzips einer Elektrolyse:</u> ◆ durch Anlegen einer elektrischen Spannung erzwungene Redoxreaktion <u>Angabe des allgemeinen Aufbaus:</u> ◆ zwei mit einer Gleichspannungsquelle verbundene Elektroden, die in eine Elektrolyt-Lösung eintauchen <u>Beschreibung der Vorgänge an den Elektroden:</u> ◆ Am Plus-Pol bzw. an der Anode werden Elektronen entzogen. ◆ Hydroxid-Ionen geben Elektronen ab (Oxidation). ◆ Hydroxid-Ionen werden zu Sauerstoff-Molekülen oxidiert, dabei entstehen Wasser-Moleküle. ◆ Am Minus-Pol bzw. an der Kathode werden Elektronen zugeführt. ◆ Silber(I)-Ionen nehmen Elektronen auf (Reduktion). ◆ Silber(I)-Ionen werden zu Silber-Atomen reduziert. <u>Formulierung der Reaktionsgleichung für die Elektrolyse:</u> $4 \text{ OH}^- + 4 \text{ Ag}^+ \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4 \text{ Ag}$ <u>Angabe der Beobachtung an der Anode:</u> ◆ Gasentwicklung	1		
		2		
		2	4	
		1	1	
		1		
2	<u>Beschreibung der Veränderungen an den Elektroden:</u> ◆ Bildung eines metallischen Überzugs aus Silber (und Palladium) an der Elektrode aus Edelstahl ◆ Zersetzung der Elektrode aus Rohsilber <u>Erläuterung der Entstehung der Verunreinigung:</u> ◆ $E(\text{Ag}^+ \text{Ag}) > E(\text{Cu}^{2+} \text{Cu})$ ◆ Kupfer-Atome werden zu Kupfer(II)-Ionen oxidiert. ◆ Kupfer(II)-Ionen gehen in Lösung. <i>Hinweis: Das alleinige Aufführen der Oxidation von Palladium ist nicht falsch, führt jedoch nicht zum Erreichen der vollständigen BE-Anzahl.</i> <u>Erläuterung der Bildung des Anodenschlamm:</u> ◆ $E(\text{Au}^{3+} \text{Au}) > E(\text{Ag}^+ \text{Ag})$ ◆ Gold-Atome werden nicht oxidiert. ◆ Gold sinkt zu Boden.		2	
		1	2	
		1	2	

3	<u>Erklärung der Veränderung von $E(\text{Ag}^+ \text{Ag})$:</u> ◆ Störung des Gleichgewichtszustands bei $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Ag}$, da $c(\text{Ag}^+)$ erhöht wird ◆ Bei der Wiedereinstellung des Gleichgewichtszustands läuft die Bildung von Silber-Atomen verstärkt ab (Reaktionsrate der Reduktion erhöht, Ausweichen des Zwangs). ◆ $E(\text{Ag}^+ \text{Ag})$ steigt. <u>Erklärung der Veränderung von $E(\text{Pd}^{2+} \text{Pd})$:</u> ◆ $c(\text{Pd}^{2+})$ sinkt, da ein schwerlösliches Palladium-Salz ausfällt. ◆ $\lg \frac{\{c(\text{Pd}^{2+})\}}{\{c(\text{Pd})\}}$ wird kleiner bzw. $\frac{0,059 \text{ V}}{z} \cdot \lg \frac{\{c(\text{Pd}^{2+})\}}{\{c(\text{Pd})\}}$ wird kleiner. ◆ $E(\text{Pd}^{2+} \text{Pd})$ sinkt. <u>Beurteilung der theoretischen Maßnahmen:</u> ◆ Aus beiden elektrochemischen Potenzial-Änderungen folgt: $E(\text{Ag}^+ \text{Ag}) > E(\text{Pd}^{2+} \text{Pd}).$ ◆ Bevorzugte Entstehung von Silber-Atomen, Palladium(II)-Ionen bleiben in Lösung. ◆ Urteil: Beide Maßnahmen sind geeignet.	2	1	1
	2		1	
			3	
4	<u>Berechnung der Masse an Silber:</u> ◆ $n(\text{Ag}) = \frac{1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s} \cdot \text{mol}}{1.96485,33212 \text{ As}}$ ◆ $n(\text{Ag}) = 0,0104 \text{ mmol}$ ◆ $m(\text{Ag}) = 107,9 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 0,0104 \text{ mmol}$ ◆ $m(\text{Ag}) = 1,12 \text{ mg}$	1	1	
		1	1	
5	<u>Vergleich der beiden Elektrolysen:</u> ◆ Ziel des Verfahrens: ◆ Silbergewinnung durch Reduktion bzw. durch Reinigung ◆ Veränderung der Silber(I)-Ionen-Konzentration: unterschiedlich ◆ Bei der Elektrolyse von Silber(I)-nitrat-Lösung nimmt die Konzentration kontinuierlich ab. ◆ Beim Moebius-Verfahren bleibt die Konzentration nahezu gleich. ◆ Veränderung des pH-Werts: unterschiedlich ◆ Bei der Elektrolyse von Silber(I)-nitrat-Lösung sinkt der pH-Wert. ◆ Beim Moebius-Verfahren bleibt der pH-Wert nahezu konstant.	1		2
			2	2
	<u>Erklärung eines Unterschieds bei beiden Elektrolysen (z. B. Entwicklung der Silber(I)-Ionen-Konzentration):</u> ◆ Elektrolyse von Silber(I)-nitrat-Lösung (M 1): Silber(I)-Ionen werden zu Silber-Atomen reduziert, daher nimmt die Silber(I)-Ionen-Konzentration ab. ◆ Moebius-Verfahren (M 2): Silber(I)-Ionen werden zu Silber-Atomen (Kathode) reduziert und Silber-Atome werden zu Silber(I)-Ionen (Anode) oxidiert, daher bleibt die Silber(I)-Ionen-Konzentration gleich.	2		

	Summe¹	12	19	9
--	--------------------------	-----------	-----------	----------

4 Standardbezug²

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	12, 16		2, 7, 9	
2	3, 6	8	8	
3	9		10	6
4	17			
5	10		10	

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.

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

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.