

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2026

Aufgaben für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Papier-Batterien – ein nachhaltiger Ansatz?
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	♦ Chemische Reaktionen ♦ Elektronenübergänge ♦ Redoxreaktionen als Elektronenübergang ♦ elektrochemische Spannungsreihe ♦ Berechnung der Zellspannung ♦ elektrochemische Spannungsquellen ♦ Lebenswelt und Gesellschaft ♦ Ökonomische und ökologische Aspekte der Chemie ♦ Recycling
Materialien	♦ M 1 Papier-Batterien als nachhaltige Stromquelle in Kleinstelektronik ♦ M 2 Die Papier-Batterie ♦ M 3 Selbstentladung ♦ M 4 Ausgewählte elektrochemische Daten ♦ M 5 Eigenschaften, Verwendungen und Gefahrenhinweise ausgewählter Stoffe
Quellenangaben	♦ M 1 ♦ Kempkens, W. (2022, 24. Januar). <i>Batterie aus Papier mit „Wasserschalter“</i>. INGENIEUR.de. https://www.ingenieur.de/fachmedien/bwk/energiespeicher/batterie-aus-papier-mit-wasserschalter/ (Zugriff am: 28.11.2024) ♦ Roth, C. (2022, 10. November). <i>12 Prinzipien der grünen Chemie</i>. Carl Roth. https://carloth.blog/12-prinzipien-der-gruenen-chemie/ (Zugriff am: 28.11.2024) ♦ M 2 ♦ Poulin, A., Aeby, X. & Nyström, G. (2022). Water activated disposable paper battery. <i>Scientific Reports</i>, 12. https://doi.org/10.1038/s41598-022-15900-5 ♦ M 3 ♦ <i>Selbstentladung</i> (2024, 25. Februar). Wikipedia. https://de.wikipedia.org/wiki/Selbstentladung (Zugriff am: 22.01.2025)

	♦ M 4 ♦ Haynes, W., Lide, D. R. & Bruno, T. J. (2014). <i>CRC Handbook of Chemistry and Physics</i> (95. Aufl.). Taylor & Francis. ♦ M 5 ♦ <i>GESTIS-Stoffdatenbank</i> (o. D.). IFA. https://gestis.dguv.de (Zugriff am: 18.09.2023)
Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	ja ☐ nein ☒ Zeitzuschlag: —

1 Aufgabe

Papier-Batterien – ein nachhaltiger Ansatz?

Überreste von alten Elektronikartikeln und auch herkömmlicher Batterien belasten die Umwelt. Die Entwicklung nachhaltiger Batterien aus Papier soll einen Beitrag leisten, diesem Umstand entgegenzuwirken.

	BE
1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für die an den Polen der Papier-Batterie ablaufenden Teilreaktionen (M 2).	2
2 Beschreiben Sie die Funktion des Anfeuchtens des mit Natriumchlorid angereicherten Papierstreifens (M 2). Erläutern Sie das Donator-Akzeptor-Prinzip anhand der Vorgänge auf Teilchen-ebene, die im Betrieb an Kathode und Anode der Papier-Batterie ablaufen (M 2). Berechnen Sie die theoretisch zu erwartende Spannung der Papier-Batterie bei $T = 298,15 \text{ K}$, $p = 101,325 \text{ kPa}$ und $c(\text{Zn}^{2+}) = 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ (M 2, M 4).	9
3 Stellen Sie eine Hypothese auf, unter welcher Bedingung das Phänomen der Selbstentladung bei der Papier-Batterie auftreten kann (M 2, M 3, M 5). Geben Sie hiernach eine Anweisung zur Lagerung der Papier-Batterie an (M 2, M 3).	4
4 Skizzieren Sie eine galvanische Zelle, die im Chemieunterricht den Entladevorgang der Papierbatterie modellhaft darstellt (M 2). Vergleichen Sie tabellarisch drei Bestandteile dieser Zelle mit denen der Papier-Batterie (M 2).	10
5 Diskutieren Sie anhand von 4 Argumenten, ob die Papier-Batterie den „Prinzipien grüner Chemie“ gehorcht (M 1, M 5).	5

Quellen (ggf. verändert):

- [1] Kempkens, W. (2022, 24. Januar). *Batterie aus Papier mit „Wasserschalter“*. INGENIEUR.de. <https://www.ingenieur.de/fachmedien/bwk/energiespeicher/batterie-aus-papier-mit-wasserschalter/> (Zugriff am: 28.11.2024)
- [2] Roth, C. (2022, 10. November). 12 Prinzipien der grünen Chemie. Carl Roth. <https://carloth.blog/12-prinzipien-der-gruenen-chemie/> (Zugriff am: 28.11.2024)
- [3] Poulin, A., Aeby, X. & Nyström, G. (2022). Water activated disposable paper battery. *Scientific Reports*, 12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15900-5>
- [4] *Selbstentladung* (2024, 25. Februar). Wikipedia. <https://de.wikipedia.org/wiki/Selbstentladung> (Zugriff am: 22.01.2025)
- [5] Haynes, W., Lide, D. R. & Bruno, T. J. (2014). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (95. Aufl.). Taylor & Francis.
- [6] *GESTIS-Stoffdatenbank* (o. D.). IFA. <https://gestis.dguv.de> (Zugriff am: 18.09.2023)

2 Material

Material 1: Papier-Batterien als nachhaltige Stromquelle in Kleinstelektronik [1], [2]

Viele tragbare Kleinstelektronik-Geräte, wie etwa Hörgeräte, Lauftracker, Umwelt- oder medizinische Sensoren, benötigen im Betrieb wenig Energie. Derzeit werden in diesen Geräten Batterien mit zu großen Kapazitäten eingesetzt, die nach Gebrauch nur teilentladen entsorgt werden.

Die Entwicklung und Erforschung sogenannter Papier-Batterien als Ersatz klassischer Batterien setzt sich zum Ziel, den „*Prinzipien grüner Chemie*“ zu gehorchen. Dazu gehören u. a. Ressourcenschonung, Abfallvermeidung, Verwendung sicherer Chemikalien, effiziente Energienutzung, Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen sowie biologische Abbaubarkeit.

Die Entwicklung der Papier-Batterie befindet sich noch im Anfangsstadium. Nach Angaben einer Forschergruppe habe diese aber das Potential, sogar kompostierfähig zu werden.

Material 2: Die Papier-Batterie [3]

Es handelt sich dabei um eine galvanische Zelle, bei der metallisches Zink und Sauerstoff aus der Luft für die elektrochemischen Reaktionen verantwortlich sind. Die elektrochemisch aktiven und stromleitenden Komponenten werden mit Hilfe spezieller, dafür zusammengemischter Tinten minimal dosiert auf Papier gedruckt. Zur Anwendung kommen dabei drei unterschiedliche Spezial-Tinten mit Ethanol als Lösungsmittel:

1. Tinte 1: Mischung aus Graphit-Flocken und Schellack (zu Schellack s. M 5)
2. Tinte 2: Mischung aus Zinkpulver und Schellack
3. Decktinte: Mischung aus Graphitflocken, Ruß und Schellack

Zur Herstellung dieser Batterie wird vorab Papier mit einer Natriumchlorid-Lösung getränkt und anschließend getrocknet.

Auf die eine Seite des Papiers wird die Tinte 1 gedruckt, auf die andere Seite die Tinte 2. Über diese beiden Tintendrucke wird jeweils die Decktinte als stromleitende Schicht gedruckt. Alle getrockneten Tintendrucke sind luft- und wasserdurchlässig.

Schon wenige Tropfen Wasser auf dem Papier genügen, um die Batterie in Gang zu setzen.

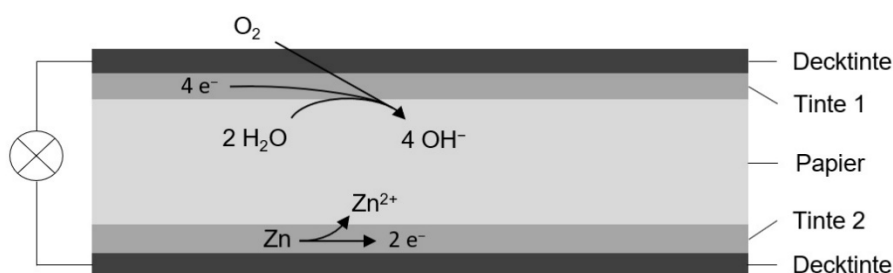


Abb. 1: Schnittzeichnung der Papier-Batterie im Betrieb, Angaben nicht stöchiometrisch

Material 3: Selbstentladung [4]

Als Selbstentladung bezeichnet man selbständig ablaufende Vorgänge, die zu einer mehr oder weniger schnellen Entladung von Batterien und Akkumulatoren führen, auch wenn kein Verbraucher angeschlossen ist.

Selbstentladung tritt grundsätzlich bei allen Batterien und Akkumulatoren auf. Ursachen sind z. B. Nebenreaktionen, die dann ablaufen, wenn elektrochemisch aktive Teilchen ungewollt direkt in Kontakt treten.

Material 4: Ausgewählte elektrochemische Daten [5]

Tab. 1: Potenzial bei $T = 298,15 \text{ K}$ und $p = 101,325 \text{ kPa}$

reduzierte Form	$\rightleftharpoons$	oxidierte Form + $z \text{ e}^-$	E
4 OH^-	$\rightleftharpoons$	$\text{O}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} + 4 \text{ e}^-$	+ 0,82 V (pH = 7)

Material 5: Eigenschaften, Verwendungen und Gefahrenhinweise ausgewählter Stoffe [6]

Schellack	Schellack ist eine harzartige Substanz. Er ist in Wasser unlöslich und in Ethanol gut löslich. Schellack dient u. a. als Bindemittel. Schellack ist nicht als gefährlicher Stoff eingestuft. Das rein natürliche Granulat ist biologisch abbaubar und physiologisch unbedenklich.
Graphit	Graphit, eine Modifikation des Kohlenstoffs, leitet den elektrischen Strom und wird daher als Elektrodenmaterial genutzt. Graphit ist nicht als gefährlicher Stoff eingestuft.
Zinkpulver	Zink ist ein günstig zu gewinnendes Schwermetall. Zinkpulver ist als sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung eingestuft.
Zink(II)-hydroxid	Zink(II)-hydroxid ist schwer löslich in Wasser und als sehr giftig für Wasserorganismen – auch mit langfristiger Wirkung – eingestuft.

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>Formulierung der Reaktionsgleichungen der ablaufenden Teilreaktionen:</u> ♦ Minuspol: $\text{Zn} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 2 \text{e}^-$ ♦ Pluspol: $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightleftharpoons 4 \text{OH}^-$		2	
2	<u>Beschreibung der Funktion des Anfeuchtens des Papierstreifens:</u> ♦ Bei Zugabe von Wasser zur Papierschicht bilden sich durch das Lösen des Natriumchlorids frei bewegliche Ionen aus, die die elektrische Leitfähigkeit in der Papierschicht ermöglichen. ♦ Der Stromkreis wird dadurch geschlossen. <u>Erläuterung der Vorgänge auf Teilchenebene:</u> ♦ Anode (Oxidation): Im Zinkpulver geben die Zink-Atome aufgrund des negativeren Standardpotentials jeweils zwei Elektronen ab (Elektronendonator) und es bilden sich Zn^{2+} -Ionen. ♦ Kathode (Reduktion): Sauerstoff-Atome in Sauerstoff-Molekülen nehmen aufgrund des positiveren Standardpotentials je 2 Elektronen auf (Elektronenakzeptor) und es bilden sich Sauerstoff-Teilchen der Oxidationsstufe -II in Hydroxid-Ionen. ♦ Pro Formelumsatz werden vier Elektronen übertragen. <u>Berechnung der theoretisch zu erwartenden Spannung:</u> ♦ $\Delta E = E^\circ(\text{O}_2 \text{OH}^-) - E^\circ(\text{Zn}^{2+} \text{Zn})$ $\Delta E = 0,82 \text{ V} - (-0,76 \text{ V})$ $\Delta E = 1,58 \text{ V}$	1 1	1 1 1 2	
3	<u>Aufstellung einer Hypothese zur Selbstentladung:</u> ♦ Hypothese: ♦ Bei hoher Luftfeuchtigkeit oder ungewollter Durchfeuchtung tritt das Phänomen der Selbstentladung auf. ♦ Begründung ♦ Die durchfeuchtete Papiermembran ist für Ionen durchlässig, daher werden bei hoher Luftfeuchtigkeit oder ungewollter Befeuchtung die Zellreaktionen ausgelöst. ♦ Nebenreaktion: Die sich bildenden Zn^{2+} - und OH^- -Ionen reagieren zu schwerlöslichem Zink(II)-hydroxid, wodurch der Vorrat an Zink aufgebraucht wird. <u>Angabe einer Anweisung zur Handhabung:</u> ♦ Die Batterie muss trocken (z. B. in Folie eingeschweißt) gelagert werden.			3 1

4	<u>Skizze einer galvanischen Zelle für den Chemieunterricht:</u> Minuspole Anode Pluspol Kathode V Zn C Natriumchlorid-Lösung <u>Tabellarischer Vergleich:</u> <table><tr><td></td><td>galvanische Zelle</td><td>Papier-Batterie</td></tr><tr><td>Anode/Minuspole</td><td>Zinkelektrode</td><td>getrocknete Tinte 2 mit Zink und Schellack</td></tr><tr><td>Kathode/Pluspol</td><td>Graphitelektrode</td><td>getrocknete Tinte 1 mit Ruß und Schellack</td></tr><tr><td>Elektrolyt</td><td>Natriumchlorid-Lösung</td><td>mit Natriumchlorid-Lösung getränktes, getrocknetes Papier, das befeuchtet werden muss</td></tr></table>		galvanische Zelle	Papier-Batterie	Anode/Minuspole	Zinkelektrode	getrocknete Tinte 2 mit Zink und Schellack	Kathode/Pluspol	Graphitelektrode	getrocknete Tinte 1 mit Ruß und Schellack	Elektrolyt	Natriumchlorid-Lösung	mit Natriumchlorid-Lösung getränktes, getrocknetes Papier, das befeuchtet werden muss	1	3	
	galvanische Zelle	Papier-Batterie														
Anode/Minuspole	Zinkelektrode	getrocknete Tinte 2 mit Zink und Schellack														
Kathode/Pluspol	Graphitelektrode	getrocknete Tinte 1 mit Ruß und Schellack														
Elektrolyt	Natriumchlorid-Lösung	mit Natriumchlorid-Lösung getränktes, getrocknetes Papier, das befeuchtet werden muss														
		6														
5	<u>Diskussion zu den „Prinzipien grüner Chemie“:</u> ♦ Pro-Argumente: ♦ Recyclingfähigkeit der eingesetzten Materialien ♦ ressourcenschonende Herstellung durch minimalen Materialauftrag ♦ Abfallvermeidung ♦ Contra-Argumente: ♦ Umweltgefährdung durch Zink(II)-hydroxid, das sich beim Betrieb bildet ♦ keine vollständige biologische Abbaubarkeit ♦ Fazit	1	1													
		1	1													
	Summe¹	11	14	5												

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

Standardbezug²

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	16			
2	6, 8, 17		9, 10	
3	8	3		7
4			2	
5				13, 14

4 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.

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.