

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2026

Aufgaben für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Aluminium als Werkstoff
Anforderungsniveau	erhöht
Inhaltsbereiche	♦ Chemische Reaktionen ♦ Elektronenübergänge ♦ elektrochemische Spannungsreihe ♦ Berechnung der Zellspannung ♦ elektrochemische Spannungsquellen ♦ Überspannung ♦ Lebenswelt und Gesellschaft ♦ Aktuelle Technologien und chemische Produkte ♦ moderne Werkstoffe ♦ Recycling ♦ Rohstoffgewinnung und -verarbeitung ♦ ein technisches Syntheseverfahren
Materialien	♦ M 1 Herstellung von Aluminium ♦ M 2 Eine Aluminium-Sauerstoff-Zelle ♦ M 3 Ausgewählte Potenziale ♦ M 4 Primär- und Sekundäraluminium
Quellenangaben	♦ M 1 ♦ Schmelzflusselektrolyse (o. D.). lernhelfer.de. https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie/artikel/schmelzflusselektrolyse (Zugriff am: 05.10.2024) ♦ M 2 ♦ Nick, S., Parchmann, I. & Demuth, R. (2001). <i>Chemisches Feuerwerk – 50 effektvolle Schauversuche</i>. Aulis Verlag Deubner. ♦ M 3 ♦ Haynes, W., Lide, D. R. & Bruno, T. J. (2014). <i>CRC Handbook of Chemistry and Physics</i> (95. Aufl.). Taylor & Francis. ♦ M 4 ♦ Döschner, J. (2014, 25. Februar). <i>Aluminiumproduktion in Deutschland: schmutzig, teuer, überflüssig</i>. Tagesschau.de. https://www.tagesschau.de/wirtschaft/aluminium-ts-100.html (Zugriff am: 05.10.2024)

	♦ Uhlig, G. (2023, 11. März). <i>Deutschlands größte Aluminiumhütte wird geschlossen</i>. Deutsche Wirtschaftsnachrichten. https://deutsche-wirtschafts-nachrichten.de/702633/deutschlands-groesste-aluminiumhuette-wird-geschlossen (Zugriff am: 05.10.2024) ♦ Taiber, R. (2016, 22. November). <i>Aluminium im Automobilbau – der Irrglaube</i>. Carpassion.com. https://www.carpas-sion.com/magazin/aluminium-im-automobilbau-der-irrglaube-3503 (Zugriff am: 05.10.2024) ♦ Kartschall, A. (2023, 10. Juni). <i>Neue Methoden des Aluminiumrecyclings – Raus aus der Wegwerfspirale</i>. Tagesschau.de. https://www.tagesschau.de/wirtschaft/energie/aluminium-recycling-hoppegarten-100.html (Zugriff am: 05.10.2024)
Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	ja ☒ nein ☐ Zeitzuschlag: —
Hinweise	Die folgenden Dokumente sind für den fachpraktischen Teil unter Punkt 6 zu entnehmen: Hinweise zur Durchführung, Beobachtungsbogen, Ersatzergebnisse und weitere Hinweise.

1 Aufgabe

Aluminium als Werkstoff

Aluminium ist eines der häufigsten in der Erdkruste enthaltenen Metalle. Dort kommt es nicht elementar vor, sondern in Form von Aluminiumerzen. Die Verwendungsmöglichkeiten von Aluminium sind vielfältig. So wird es häufig im Fahrzeugbau eingesetzt, aber z. B. auch zur Produktion von Kaffeekapseln oder Getränkedosen verwendet.

	BE
1 Stellen Sie die Herstellung von Aluminiumoxid aus Bauxit in einem Übersichts-schema (Fließdiagramm) dar (M 1). Erklären Sie, dass man bei der Elektrolyse zur Gewinnung von Aluminium nicht in wässrigen Lösungen arbeiten kann (M 1, M 3).	12
2 Planen Sie mit den gegebenen Materialien den Aufbau einer galvanischen Zelle, die der von den Jugendlichen gebauten entspricht. (M 2). <i>Hinweis: Gegen Abzug von 4 BE können Sie eine Beschreibung des experimentellen Aufbaus erhalten.</i> Führen Sie das Experiment nach Ihren Planungen durch und geben Sie die Zellspannung an (M 2).	8
3 Beschreiben Sie die ablaufenden Vorgänge in einer Aluminium-Sauerstoff-Zelle auf Teilchenebene (M 2). Stellen Sie die Teilgleichungen sowie die Gesamtgleichung für die beim Entladevorgang ablaufenden Reaktionen auf (M 2, M 3). Berechnen Sie die bei $T = 298,15 \text{ K}$ und $p = 101,325 \text{ kPa}$ zu erwartende Zellspannung (M 2, M 3). Begründen Sie die Abweichung der gemessenen Zellspannung aus Aufgabe 2 vom berechneten Wert. Gehen Sie dabei auf vier Aspekte ein (M 2, M 3). <i>Hinweis: Sollten Sie in Teilaufgabe 2 keinen Messwert erhalten haben, gehen Sie von einer gemessenen Zellspannung von $U = 1,2 \text{ V}$ aus.</i>	16
4 Beurteilen Sie den Ausbau der Sekundäraluminiumproduktion anhand von drei Aspekten (M 4).	4

Quellen (ggf. verändert):

- [1] Schmelzflusselektrolyse (o. D.). lernhelfer.de. <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie/artikel/schmelzflusselektrolyse> (Zugriff am: 05.10.2024)
- [2] Nick, S., Parchmann, I. & Demuth, R. (2001). *Chemisches Feuerwerk*. Aulis Deubner Verlag.
- [3] Haynes, W., Lide, D. R. & Bruno, T. J. (2014). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (95. Aufl.). Tayler & Francis.
- [4] Döschner, J. (2014, 25. Februar). *Aluminiumproduktion in Deutschland: schmutzig, teuer, überflüssig*. Tagesschau.de. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/aluminium-ts-100.html> (Zugriff am: 05.10.2024)
- [5] Uhlig, G. (2023, 11. März). *Deutschlands größte Aluminiumhütte wird geschlossen*. Deutsche Wirtschaftsnachrichten. <https://deutsche-wirtschafts-nachrichten.de/702633/deutschlands-groesste-aluminiumhuette-wird-geschlossen> (Zugriff am: 05.10.2024)
- [6] Taiber, R. (2016, 22. November). *Aluminium im Automobilbau – der Irrglaube*. Carpassion.com. <https://www.carpas-sion.com/magazin/aluminium-im-automobilbau-der-irrglaube-3503> (Zugriff am: 05.10.2024)
- [7] Kartschall, A. (2016, 22. November). *Neue Methoden des Aluminiumrecyclings – Raus aus der Wegwerfspirale*. Tages-schau.de. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/energie/aluminium-recycling-hoppegarten-100.html> (Zugriff am: 05.10.2024)

2 Material

Material 1: Herstellung von Aluminium [1]

Aluminium ist ein vergleichsweise junger Werkstoff, der erst seit Anfang des 20. Jahrhunderts intensiv genutzt wird. Als Rohstoff für die Aluminiumherstellung dient das Erz Bauxit. In ihm liegt Aluminium als Hydroxid vor. Daneben sind noch Verunreinigungen z. B. durch Eisenoxide enthalten.

In der ersten Verarbeitungsstufe werden im sogenannten Bayer-Verfahren die Verunreinigungen vom Aluminiumhydroxid abgetrennt. Dazu wird das gemahlene Bauxit mit 25–45%iger Natronlauge unter erhöhtem Druck bei 120–230 °C umgesetzt. Aluminiumhydroxid ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ist im Gegensatz zu den Verunreinigungen im Bauxit in Natronlauge unter Bildung von Aluminat ($[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$, Tetrahydroxidoaluminat(III)-Ionen) weitgehend löslich. Die nicht gelösten

Bestandteile des Bauxits werden bei etwa 90 °C abfiltriert, gewaschen und bilden den sogenannten Rotschlamm, dessen Farbe von den Eisenoxiden herrührt. Dieser wird meist deponiert, kann aber auch als Rohstoff z. B. im Straßenbau genutzt werden.

Die Aluminat-Lösung wird abgekühlt und durch Versetzen mit einem Kristallisationskeim zu festem, reinem Aluminiumhydroxid ausgefällt. Die zurückbleibende Natronlauge wird durch Eindampfen auf die Ausgangskonzentration gebracht und in einem Kreislauf der ersten Stufe wieder zugeführt. Verluste werden durch Zusatz von frischer Lauge ergänzt.

In der folgenden Verarbeitungsstufe wird das Aluminiumhydroxid gewaschen und dann in großen Drehrohröfen auf 1.200–1.300 °C erhitzt. Unter Wasserabspaltung wird dabei das Hydroxid zum Oxid umgesetzt, ein Vorgang, der auch als Kalzinierung bezeichnet wird. Das so gewonnene Aluminiumoxid hat eine Reinheit von über 99,5 %.

Die Gewinnung von Aluminium aus Aluminiumoxid erfolgt im dritten Schritt über eine Schmelzflusselektrolyse. Hierbei wird die Schmelztemperatur durch Zugabe von Kryolith (als Hilfsstoff) von ca. 2.000 °C auf 940–980 °C herabgesetzt. Die Elektroden bei dieser Schmelzflusselektrolyse bestehen aus Graphit, es entsteht neben Aluminium noch Kohlenstoffmonooxid sowie Kohlenstoffdioxid. Das flüssige Aluminium sammelt sich am Boden der Elektrolysezelle und kann dort entnommen werden.

Das gesamte Verfahren zur Aluminiumherstellung ist ein sehr energieaufwändiges Verfahren. Die Schmelzflusselektrolyse erfolgt z. B. bei einer Stromstärke von $I = 150 \text{ kA}$ und einer Zellspannung von $U = 5 \text{ V}$.

Material 2: Eine Aluminium-Sauerstoff-Zelle [2]

In einer Abenteuergeschichte ist eine Gruppe Jugendlicher auf dem Weg zum Campingurlaub mit dem Auto in der Wüste liegengeblieben. Sie müssen dringend Hilfe holen, aber die Handys sind leer. Am Straßenrand finden sie eine leere Getränke-Dose aus Aluminium. Fürs Grillen haben sie Holzkohle und natürlich auch Kochsalz dabei. Einer der Jugendlichen konstruiert unter anderem mit diesen Hilfsmitteln eine kleine galvanische Zelle, mit der es ihm gelingt, ein Handy zu laden.

Im Labor soll untersucht werden, ob mit diesen Materialien tatsächlich eine galvanische Zelle aufgebaut werden kann.

Geräte:

- ♦ 2 Kabel mit Klemmen
- ♦ Glasstab
- ♦ Spatellöffel
- ♦ Spannungsmessgerät
- ♦ Graphit-Stab
- ♦ Becherglas
- ♦ aufgeschnittene, innen angeschmirgelte Getränkedose aus Aluminium

Chemikalien:

- ♦ Natriumchlorid (Kochsalz)
- ♦ Wasser

Material 3: Ausgewählte Potenziale (bei $T = 298,15 \text{ K}$ und $p = 101,325 \text{ kPa}$) [3]

reduzierte Form	$\rightleftharpoons$	oxidierte Form + $z \text{ e}^-$	E
$\text{H}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons$	$2 \text{H}_3\text{O}^+ + 2 \text{e}^-$	$- 0,41 \text{ V (pH} = 7)$
4OH^-	$\rightleftharpoons$	$\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^-$	$+ 0,82 \text{ V (pH} = 7)$

Material 4: Primär- und Sekundäraluminium [4] – [7]

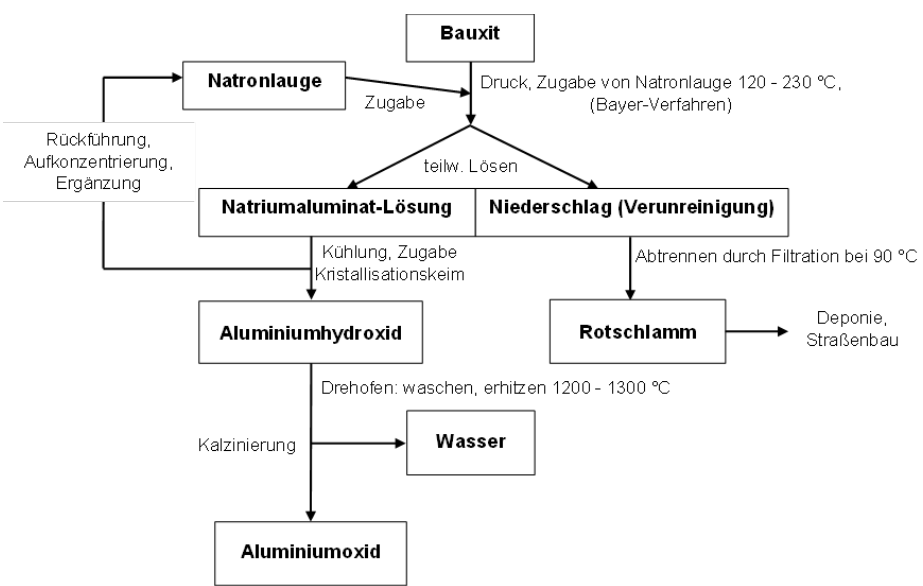
Aluminium ist ein Leichtmetall. Die geringe Dichte und die hohe Korrosionsbeständigkeit haben Aluminium schnell zu einem beliebten Werkstoff werden lassen. Allerdings ist seine Herstellung unter Umweltaspekten kritisch zu bewerten.

Bei der Herstellung einer Tonne Primäraluminium (Aluminium, das aus Bauxit hergestellt wird) werden insgesamt 16,1 Tonnen Kohlenstoffdioxid frei. Im Vergleich dazu setzt die Stahlproduktion beispielsweise pro Tonne Stahl nur 1,7 Tonnen Kohlenstoffdioxid frei. Der Energiebedarf für die Herstellung einer Tonne Stahl beläuft sich auf 5,71 MWh (Megawattstunden), eine Tonne Primäraluminium benötigt ca. 40 MWh. Dennoch ist der Bedarf an Aluminium weiterhin stark ansteigend. Die Hauptproduktion von Primäraluminium erfolgt in China und Russland noch über die Bereitstellung der elektrischen Energie durch Kohlekraftwerke, während diese in ebenfalls stark produzierenden Ländern wie Kanada und Norwegen durch den Einsatz von Wasserkraft erfolgt.

In Deutschland gewinnt die Herstellung von Sekundäraluminium (Aluminium aus Recycling) an Bedeutung. Im Vergleich zu Primäraluminium werden beim Recycling von Aluminium 95 % Energie und 90 % Kohlenstoffdioxidausstoß eingespart. Allerdings lässt sich Aluminium nicht einfach recyceln, da im Müll ein Mix verschiedener Aluminiumlegierungen und diverser Zusatzstoffe vorliegt. Damit ist es schwierig, reines Aluminium durch Recycling herzustellen, die Qualität nimmt ab und mit jedem Recyclingprozess wird das Problem größer. Nach einer gewissen Anzahl von Recycling-Durchläufen kann man das Produkt nicht mehr recyceln und es landet auf dem Müll. „Downcycling“ nennt sich dieses Phänomen. Seit März 2023 ist ein Verfahren auf dem Markt, das im Vorfeld durch Einsatz von Lasertechnik die zu recycelnden Aluminiumprodukte möglichst sortenrein trennt, sodass auch hochwertiges Sekundäraluminium erzeugt wird. Das Verfahren ist noch in der Erprobungsphase.

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>Darstellung in einem Übersichtschemata (Fließdiagramm):</u>  <pre> graph TD Bauxit --> NaOH[Natronlauge] NaOH -- "Druck, Zugabe von Natronlauge 120 - 230 °C, (Bayer-Verfahren)" --> Split(()) Split -- "teilw. Lösen" --> Sol[Natriumaluminat-Lösung] Split --> Precip[Niederschlag (Verunreinigung)] Sol -- "Kühlung, Zugabe Kristallisationskeim" --> AlOH[Aluminiumhydroxid] Precip -- "Abtrennen durch Filtration bei 90 °C" --> Mud[Rotschlamm] Mud --> Landfill[Deponie, Straßenbau] AlOH -- "Drehofen: waschen, erhitzen 1200 - 1300 °C" --> Calc[Aluminiumoxid] Calc -- "Kalzinierung" --> Water[Wasser] Water -- "Rückführung, Aufkonzentrierung, Ergänzung" --> NaOH </pre> ♦ Erfassung der Grobstruktur (Übersichtlichkeit) ♦ korrekte Syntheseschritte mit Produkten und Edukten <u>Erklärung zur Gewinnung von Aluminium bei der Elektrolyse:</u> ♦ Es läuft primär die Reaktion mit der geringsten Zersetzungsspannung ab. ♦ $E^{\circ}(\text{Al}^{3+} \text{Al}) = -1,66 \text{ V}$, $E(\text{H}_3\text{O}^+ \text{H}_2) = -0,41 \text{ V}$ bei $\text{pH} = 7$ ♦ $E^{\circ}(\text{Al}^{3+} \text{Al}) < E(\text{H}_3\text{O}^+ \text{H}_2)$ ♦ Dadurch würde eine Reaktion unter Bildung von Wasserstoff ablaufen, die Bildung von Aluminium in wässriger Lösung wäre nicht möglich.			
2	<u>Planung des Aufbaus einer galvanischen Zelle:</u> ♦ Herstellung der Salz-Lösung als Elektrolyt und Einfüllen in aufgeschnittene Aludose ♦ Graphitelektrode und Getränkedose aus Aluminium dienen als Elektroden ♦ diese über Kabel und Klemmen mit dem Spannungsmessgerät verbinden ♦ beide Elektroden dürfen sich nicht berühren, sonst Kurzschluss <u>Durchführung des Experiments und Angabe der Zellspannung:</u> ♦ fachgerechte Durchführung (siehe Beobachtungsbogen) ♦ $U \approx 1,2 \text{ V}$, variiert je nach Aufbau	1	1	4
		3 1		

3	<u>Beschreibung der Vorgänge auf Teilchenebene:</u> ◆ Minuspol: Aluminium-Atome werden oxidiert, Elektronenabgabe, Aluminium-Ionen gehen in Lösung ◆ Pluspol: Sauerstoff-Moleküle werden durch Elektronenaufnahme und Reaktion mit Wasser-Molekülen zu Hydroxid-Ionen reduziert ◆ Elektronenfluss vom Minuspol zum Pluspol ◆ Elektrolyt: Kochsalz-Lösung: leitende Verbindung durch bewegliche Na^+ und Cl^--Ionen		2	
			2	
			1	
			2	
	<u>Aufstellung der Teilgleichungen und Gesamtgleichung:</u> ◆ $\text{Al} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 3 \text{e}^-$ ◆ $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightleftharpoons 4 \text{OH}^-$ ◆ Gesamtgleichung: $4 \text{Al} + 3 \text{O}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4 \text{Al}^{3+} + 12 \text{OH}^-$	3		
	<u>Berechnung der Zellspannung:</u> ◆ $\Delta E = E(\text{K}) - E(\text{A})$ $\Delta E = 0,82 \text{ V} - (-1,66 \text{ V})$ $\Delta E = 2,48 \text{ V}$	2		
	<u>Begründung der Abweichung des theoretischen Wertes vom Messwert:</u> ◆ Der Sauerstoff-Partialdruck ist gering, $E(\text{K})$ ist niedriger als der tabellierte Wert. ◆ Die Konzentration an Al^{3+}-Ionen ist gering, d. h. $E(\text{A})$ ist niedriger als der tabellierte Wert. ◆ Druck und Temperatur weichen von den Bedingungen bei den tabellierten Werten ab. ◆ Bei der Verwendung von Kohleelektroden ist mit hohen Überspannungen zu rechnen.			4
4	<u>Beurteilung Sekundäraluminiumproduktion:</u> ◆ Ein Einsatz von Aluminium aus Sekundärproduktion ist sinnvoll, da eine Reduktion der Kohlenstoffdioxidemissionen um 90 % sowie der Energiekosten um 95 % erfolgt. ◆ Das Sekundäraluminium sollte aber in Deutschland produziert werden, um lange Transportwege und dadurch erneute Kohlenstoffdioxidemissionen sowie Energiekosten zu vermeiden. ◆ Die Recyclingprozesse führen zu Downcycling, das so gewonnene Aluminium ist nicht für alle Anwendungen geeignet, in Zukunft sind bessere Verfahren wahrscheinlich. ◆ Sachurteil	2	1	1
	Summe¹	13	18	9

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	9		2,8	
2		4,5		
3	16, 17		9	1
4			2	6

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.

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.

6 Hinweise für Lehrkräfte bei fachpraktischen Aufgaben

6.1 Hinweise zur Durchführung der fachpraktischen Aufgabe

Geräte pro Arbeitsplatz:

- ◆ 2 Kabel mit Klemmen
- ◆ Glasstab
- ◆ Spatellöffel
- ◆ Spannungsmessgerät
- ◆ Graphit-Stab
- ◆ Becherglas
- ◆ aufgeschnittene, innen angeschmirlgelte Getränkedose aus Aluminium

Chemikalien pro Arbeitsplatz:

- ◆ Natriumchlorid (Kochsalz)
- ◆ Wasser

Durchführung:

Herstellung der Salz-Lösung als Elektrolyt und Einfüllen in aufgeschnittene Aludose, Graphit-elektrode und Getränkedose aus Aluminium dienen als Elektroden, diese mit Kabeln und Klemmen verbinden, Stromkreis schließen, Spannungsmessgerät anschließen

Hinweis an die Lehrkraft:

Aluminiumdosen enthalten innen häufig eine Kunststoffbeschichtung. Diese kann vor dem Schmirlgeln durch Abflammen mit einem Brenner effektiv entfernt werden.
Achtung, es gibt auch Getränkedosen aus Weißblech, diese liefern andere Spannungswerte.
Der Elektrolyt muss Chlorid-Ionen enthalten.

Arbeits-, Brand- und Gesundheitsschutz:

Arbeits-, Brand- und Gesundheitsschutz sind entsprechend den gesetzlichen Vorgaben sowie den bundeslandspezifischen Regelungen einzuhalten. Für die Einhaltung wird keine Haftung übernommen.

6.2 Beobachtungsbogen

Protokoll zur Erfassung der Versuchsdurchführung

Prüfling		
Datum, Raum		
Uhrzeit	Versuchsbeginn:	Versuchsende:
Fach, Kurs	Chemie	Kurs:
Prüfende Lehrkraft		
Aufsichtführende Fachlehrkraft		

Experiment	Teilaufgabe
Durchführung des Experiments (3 BE)	Die Bewertungskriterien sind: ♦ Beachtung der Sicherheitsbestimmungen: (1 BE) ♦ Schutzbrille ♦ sichere Handhabung von Geräten und Chemikalien ♦ sauberer, aufgeräumter Arbeitsplatz ♦ Fachgerechte Arbeitsweise: (2 BE) ♦ Versuchsaufbau und Versuchsabläufe entsprechend der Planung
Planung des Aufbaus	☐ vom Prüfling selbstständig durchgeführt ☐ vom Prüfling angefordert

Datum, Unterschrift der aufsichtführenden Fachlehrkraft

Gemäß dem Protokoll zur Erfassung der Versuchsdurchführung erhält der Prüfling
___ BE von maximal 3 BE.

6.3 Ersatzergebnisse, Ersatzmesswerte, Ersatzbeobachtungen

Planung des Aufbaus

- ◆ Herstellung der Salz-Lösung als Elektrolyt und Einfüllen in aufgeschnittene Aludose
- ◆ Graphitelektrode und Getränkedose aus Aluminium dienen als Elektroden
- ◆ diese über Kabel und Klemmen mit dem Spannungsmessgerät verbinden
- ◆ beide Elektroden dürfen sich nicht berühren, sonst Kurzschluss

6.4 Weitere Hinweise

Eine schriftliche Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung ist nicht erforderlich, da für den Prüfling nach aktuellem Stand kein Umgang mit Gefahrstoffen erfolgt.