

Es existiert ein Lernvideo, zur Begleitung, Vertiefung und Nachbesprechung :



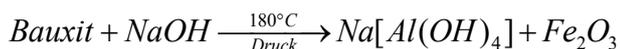
<https://youtu.be/FWKp7iuOwIU>

1. Lesen Sie den Text erst vollständig durch.
2. Entnehmen Sie dem Lernvideo einige ergänzende Hinweise und übernehmen Sie schriftlich die dortige Zusammenfassung. Es sind auch einige Antworten zu den Fragen eingebettet!
3. Beantworten Sie die eingebetteten Fragen. Aufgabentext: siehe Rückseite
4. Vergleichen Sie Ihre Antworten mit den Musterlösungen aus dem youtube-Lernvideo.

Aluminium ist zwar das am häufigsten vorkommende Metall überhaupt, es tritt allerdings nicht gediegen auf, sondern nur in chemischen Verbindungen (**FRAGE 1**). Es ist dabei ein so unedles Element, dass die üblichen technischen Reduktionsmittel (Wasserstoff, Koks (C), Schwefel) nicht ausreichend. Nur aufwändig herzustellende und deshalb ungeeignete Reduktionsmittel, wie elementares Natrium sind zur Reduktion des Al^{3+} in der Lage. Die Gewinnung von Aluminium erfolgt deshalb elektrolytisch. Hierzu nutzt man **Bauxit**, das zu ca. 60% aus Aluminiumsalzen ($\text{Al}(\text{OH})_3$, Al_2O_3 , $\text{AlO}(\text{OH})$) und zu ca. 30% Eisenoxid (Fe_2O_3) besteht.

• BAYER-Verfahren

Zuerst wird das natürliche Bauxit im BAYER-Verfahren zum "Reinbauxit" (Al_2O_3) aufgereinigt, indem es von den Fe_2O_3 -Anteilen abgetrennt wird. Es handelt es sich um einen **alkalischen Aufschluss**. Dazu lässt man das fein gemahlene Bauxit mit konz. Natriumhydroxidlösung reagieren. Dabei geht das Aluminium in Form eines Komplexes in Lösung:



Der unlösliche Eisen(III)-oxid-Anteil (**Rotschlamm**) kann abgetrennt werden. Anschließend wird der pH-Wert durch Verdünnen mit H_2O gesenkt. Im Kombination mit Kühlung und Einsatz von Impfkristallen fällt der Aluminatkomplex als Aluminiumhydroxid aus (**FRAGE 2**). Es wird anschließend in Öfen zum Aluminiumoxid geglüht (**FRAGE 3**).

• Schmelzflusselektrolyse

Zur anschließenden **Schmelzflusselektrolyse** wird das Aluminiumoxid mit einem großen Überschuss **Kryolith** ($\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$) gemischt. Dadurch sinkt die Schmelztemperatur von ca. 2000 °C auf ca. 1000 °C (**FRAGE 4**), wodurch der Energieaufwand deutlich gesenkt wird. Das zugrunde liegende Phänomen, die **Schmelzpunktniedrigung** kann man auch zum Auftauen von Glatteis auf den Straßen nutzen: Gibt man auf das Eis (Smp. 0°C) einen löslichen

Stoff („Streusalz“), so sinkt der Schmelzpunkt und es schmilzt.

Die Elektrolysezelle (vgl. Abb. 1) besteht aus einer Stahlwanne die mit Kohlenstoff ausgekleidet ist. In die Salzschnmelze tauchen von oben die Graphit-Anoden ein, die damit den Pluspol bilden. Die Kohlewanne selbst ist dagegen der Minuspol, also die Kathode.

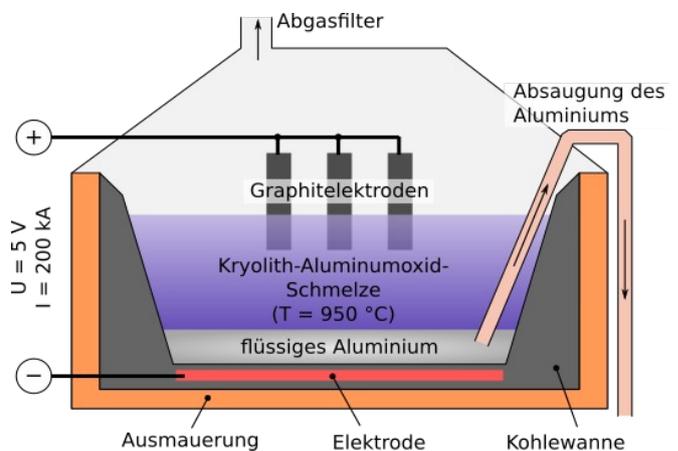


Abb. 1: Schmelzfluss-Elektrolysekammer (Quelle: commons.wikimedia.org; Autor: A. Schmidt)

Durch Anlegen einer Spannung von 4-5 Volt und einer Stromstärke bis zu 330 .000 A wird das Aluminiumoxid zerlegt. In Gegenwart des Kohlenstoff der Anode entsteht bei der Entladung der O^{2-} -Ionen nicht O_2 sondern hauptsächlich CO_2 , je nach Temperatur auch kleinere CO -Anteile (**FRAGE 5 + 6**). Das Elektrodenmaterial wird verbraucht und muss ständig ersetzt bzw. nachgeschoben werden.

Die Aluminiumschmelze (Smp: 660°C) sammelt sich aufgrund der höheren Dichte am Wanneboden. Von dort wird das Aluminium mit einem Rohr abgesaugt. Pro Kilogramm Aluminium werden etwa 15 kWh Energie verbraucht. Würde *keine* Kohlenstoffanode zum Einsatz kommen, würde der Stromverbrauch noch höher liegen (**FRAGE 7**)

Mit ähnlichen Schmelzflusselektrolysen werden auch alle Alkalimetalle, die meisten Erdalkalimetalle, sowie Fluor und Chlor hergestellt.

Elektrisch OXidiertes ALuminium: ELOXAL

Aluminium bildet spontan eine Oxidhaut aus, die jedoch nur schwach vor Korrosion schützt (**Frage 8**). In der Technik wird diese natürliche Schutzschicht vergrößert und optimiert. Eloxiert wird in saurer wässriger Lösung. Das Aluminium wird dabei als Anode geschaltet, man spricht deshalb auch vom **Anodisieren**. Die Kathoden befinden sich am Badrand. (**FRAGE 9**).

Zuerst bildet sich eine dünne, aber geschlossene Sperrschicht an Al_2O_3 . Wächst die Schicht weiter an, entstehen Poren (siehe Abb. 2). Dies bietet die Möglichkeit Farbpigmente einzulagern. Durch die Einlagerung in die Poren sind die Farbpigmente geschützt. Der letzte Verfahrensschritt ist das Versiegeln / Verschließen der Poren.

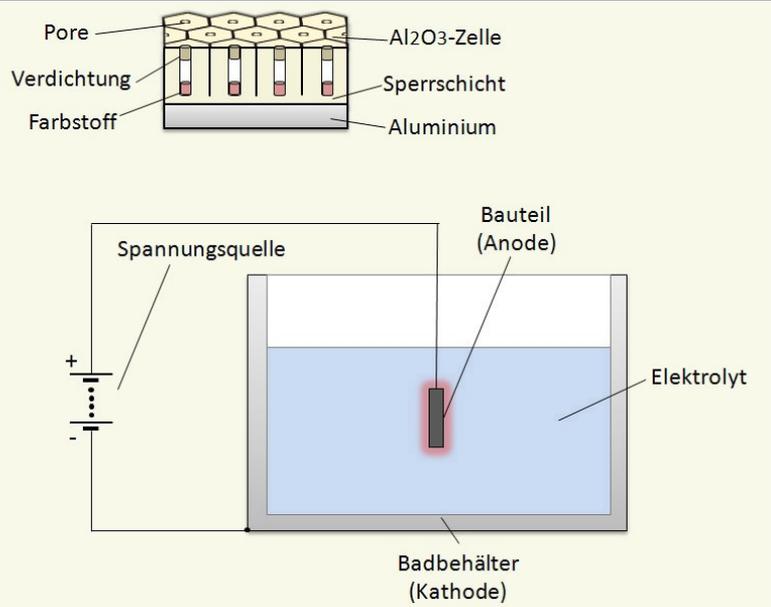


Abb. 2: Aufbau der colorierten Oberfläche (wikimedia.org. Autor: Dipl-ing-metaller)

Dies kann bspw. durch elektrolytische Abscheidung weiteren Aluminiumoxidhydrats erfolgen. Der größte Teil des auf eine eloxierte Oberfläche fallenden Lichts wird nicht an der Oberfläche, sondern an der Grenzfläche zum Metall reflektiert. Deshalb bleibt das metallische Aussehen erhalten: Eloxal ist ein korrosionsbeständiger, leichter und gut verarbeitbarer Werkstoff. (**FRAGE 10**)

Fragen zur Aluminiumherstellung und zum Eloxal-Verfahren

1. Was bedeutet der Ausdruck "gediegen"? Welche Faktoren entscheiden darüber, ob ein Element gediegen vorkommt?
- 2 + 3. Formulieren Sie die entsprechenden Reaktionsgleichungen zu den beiden Prozessen.
4. Geben Sie *Kryolith* einen systematischen Namen.
5. Formulieren Sie die Halbreaktionen und die Gesamtreaktion.
6. Weshalb wird mit 4-5 V gearbeitet, obwohl die theoretische Zersetzungsspannung nur 2-3 V beträgt?
7. Eine Tonne Aluminium wird mit einer Stromstärke von $I = 200.000 \text{ A}$ abgeschieden (Stromausbeute 92%)?
 - a) Wie lange dauert die Abscheidung in Stunden? Welche elektrische Energie (= elektrische Arbeit in Ws) wird dafür benötigt, wenn man die Spannungsangabe (Mittelwert nutzen!) im Text beachtet?
 - b) Deckt sich die bei a) berechnete elektrische Arbeit mit der Energieangabe im Text („15 kWh“)?
 - c) Berechnen Sie die pro Tonne entstehenden Energiekosten, wenn man vom Energieverbrauch von 15 kWh pro kg Al ausgeht. (Vorzugs-Stromtarif: 0,19 € pro Kilowattstunde).
 - d) Berechnen Sie mithilfe der molaren Masse, der Faraday-Konstanten und z die elektrochemische Äquivalentmasse $m_{\text{ä}}(\text{Al})$ und gleichen Sie diese mit einem Literaturwert (Tabellenbuch/Wikipedia) ab. Wiederholen Sie anschließend die Rechnung von Teilaufgabe a) mithilfe von $m_{\text{ä}}$.
8. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Reaktion und begründen Sie kurz, weshalb sie spontan verläuft.
9. Weshalb wird Aluminium beim Gleichstromverfahren als Anode geschaltet? Formulieren Sie die Halbreaktion an der Anode, die von Al zu Al_2O_3 führt (saure, wässrige Reaktionsbedingungen).
10. Bauxit enthält neben dem Aluminium zusätzlich hohe Eisenanteile.
 - a) Begründen Sie, weshalb die Eisenanteile vor der Elektrolyse abgetrennt werden müssen.
 - b) Beschreiben Sie mithilfe von Reaktionsgleichungen und erklärendem Text das Bayer-Verfahren. Gehen Sie bei Entwicklung der Reaktionsgleichung von Aluminiumhydroxid aus.
 - c) Formulieren Sie die Teilgleichungen und die Gesamtredoxgleichung, die in der Elektrolysezelle ablaufen.
 - d) Welcher Hilfsstoff wird der Elektrolyse zugegeben? Nennen Sie den Trivialnamen, den systematischen Namen und den Grund für die Zugabe.