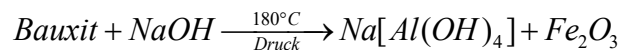


1. Lesen Sie den Text und beantworten Sie die eingebetteten Fragen. Einige davon finden sich im Anhang.

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, das heißt es hat ein stark negatives Standardpotential, dass die üblichen technischen Reduktionsmittel (H_2 , Koks (C), Schwefel) für die Reduktion nicht ausreichen. Die Gewinnung von Aluminium erfolgt deshalb elektrolytisch. Hierzu nutzt man **Bauxit**, das zu ca. 60% aus Aluminiumsalzen ($Al(OH)_3$, Al_2O_3 , $AlO(OH)$) und zu ca. 30% Eisenoxid (Fe_2O_3) besteht.

- **BAYER-Verfahren (auf das Wesentliche verkürzt)**

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 des Bauxits („Rotschlamm“) kann abfiltriert werden. Anschließend wird der pH-Wert durch Verdünnen mit H_2O gesenkt. Das Aluminium der Aluminatkomplexes wird dabei in Form von Aluminiumhydroxid gefällt (**FRAGE 2**). In Drehöfen wird das Aluminiumhydroxid zum Aluminiumoxid geblüht (**FRAGE 3**).

- **Schmelzflusselektrolyse**

Aus Al_2O_3 kann anschließend in der **Schmelzflusselektrolyse** das Aluminium gewonnen werden. Vor der eigentlichen Elektrolyse wird das Aluminiumoxid zu ca. 80%- 90% Gewichtsprozent mit **Kryolith** ($Na_3(AlF_6)$) vermischt, um die Schmelztemperatur von ca. 2000 °C auf ca. 1000 °C zu senken (**FRAGE 4**). Dadurch wird der erforderliche Energieaufwand erheblich verringert. Das zugrunde liegende Phänomen ist die **Schmelzpunkt-erniedrigung bzw. Gefrierpunktniedrigung**. Das gilt auch für wässrige Lösungen: So gefriert H_2O bekanntlich bei 0°C. Löst man allerdings ein Stoff darin (z.B. Kochsalz, Harnstoff o.ä.), so sinkt der Gefrierpunkt und das Eis schmilzt. Diesen Sachverhalt kann man z.B. beim Auftauen vereister Flächen und Straße.

Die Elektrolysezelle (vgl. Abb. 1) besteht aus einer Stahlwanne, in der sich der flüssige Elektrolyt befindet. In den Elektrolyten tauchen von oben die Graphit-Anoden ein, die an den positiven Pol einer Spannungsquelle angeschlossen sind. Die Kathodenwanne dagegen ist am negativen Pol angeschlossen.

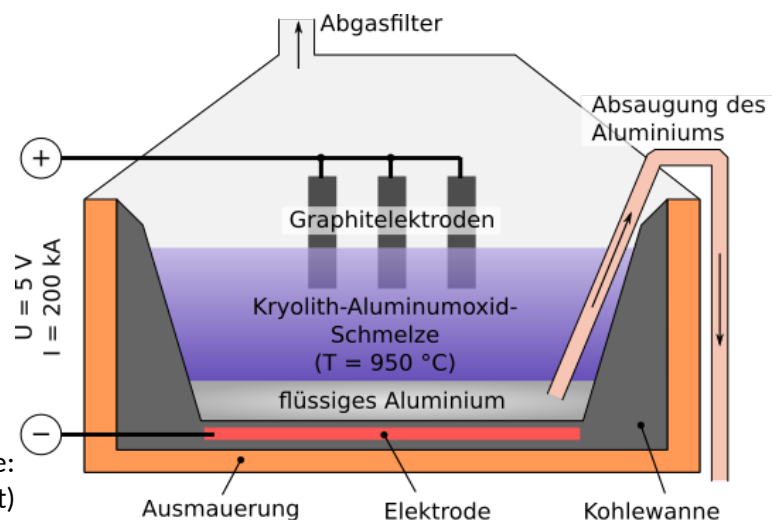


Abb. 1: Schmelzfluss-Elektrolysekammer (Quelle: commons.wikimedia.org; Autor: Andreas Schmidt)

Durch Anlegen einer Spannung von 4-5 Volt und einer Stromstärke bis zu 330 kA wird das Aluminiumoxid zerlegt. (**FRAGE 5 + 6**). Die primär entstehenden Sauerstoffmoleküle reagieren sofort mit dem Kohlenstoff der Anode zu CO und CO_2 . (**FRAGE 7 + 8**). Andere Elektrodenmaterialien, beispielsweise Fe, würden bei den hohen Temperaturen zu Metalloxiden oxidiert werden, und zu Verunreinigungen führen. Die Aluminiumschmelze hat eine höhere Dichte als das geschmolzene Salzgemisch und sammelt sich daher am Wannenboden. Von dort wird es 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 9**).

Elektrisch oxidiertes Aluminium: ELOXAL

Aluminium bildet spontan eine Oxidhaut aus, die jedoch nur schwach vor Korrosion schützt (**Frage 10**). In der Technik wird diese natürliche Schutzschicht vergrößert und optimiert. Eloxiert wird mittels Gleichstrom in Schwefelsäure oder Oxalsäure-Elektrolyten. Das Aluminium wird dabei als Anode geschaltet, man spricht deshalb auch vom **Anodisieren**. Die Kathoden befinden sich am Badrand. (**Frage 11**).

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, unterschiedliche Farbpigmente einzulagern. Durch die Einlagerung in die Poren sind die Farbpigmente geschützt. Der letzte Verfahrensschritt ist das Verdichten der Poren.

Hier entsteht unter Einwirkung von Wasser das transparente Aluminiumoxidhydrat. Es verschließt die Pore, so dass die Farbe zusätzlich geschützt ist (siehe Abb. 2). 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 12**)

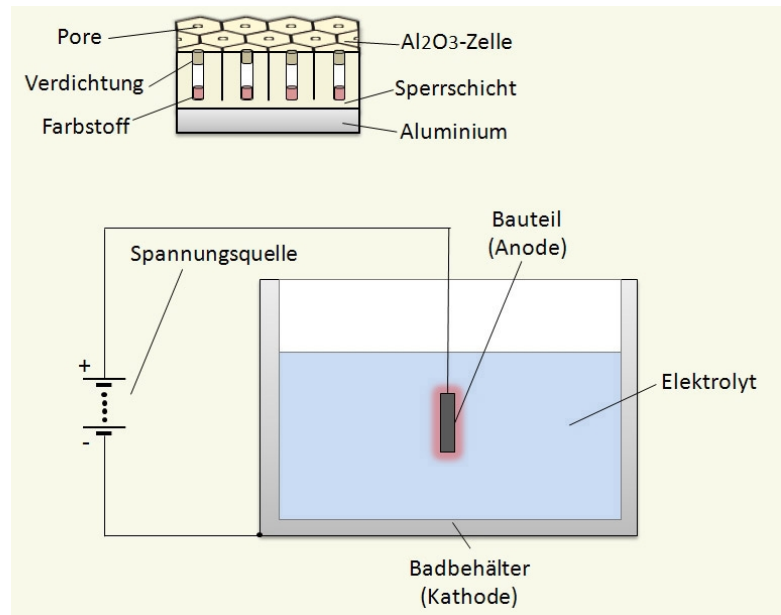


Abb. 2: Aufbau der colorierten Aluminiumoberfläche (Quelle: wikimedia.org. Autor: Dipl.-ing.-metaller)

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 zur Zerlegung des Al_2O_3 .
6. Weshalb wird mit 4-5 V gearbeitet, obwohl die theoretische Zersetzungsspannung nur 2-3 V beträgt?
7. Formulieren Sie die Folgereaktion an der Anode zur Bildung von Kohlenstoffdioxid.
8. Fassen Sie die Reaktionsgleichungen aus 5 und 7 zu einer Bruttoreaktionsgleichung zusammen.
9. Eine Tonne Aluminium wird mit einer Stromstärke von $I = 200000 \text{ A}$ 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 mit dem im Text angegebenen „Energieverbrauch“ von 15 kWh?
 - c) Berechnen Sie die pro Tonne entstehenden Energiekosten, wenn man vom Energieverbrauch von 15 kWh pro kg Al ausgeht. (Vorzugs-Stromtarif: 0,09 € 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 $m_{\text{ä}}$.
10. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Reaktion und begründen Sie kurz, weshalb sie spontan verläuft.
11. 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).

12. Aluminiumherstellung. Ähnlich einer Prüfungsaufgabe Winter 2012

Der Ausgangsstoff für die Aluminiumherstellung ist Bauxit, das zusätzlich hohe Eisenanteile enthält.

- 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.
- e) 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 Rechnungen von Aufgabe 9 mithilfe von $m_{\text{ä}}$.