



Pluriliteracies making meaning happen

A Pluriliteracies Approach to Teaching for Learning

Rust protection
Materials for advanced learners

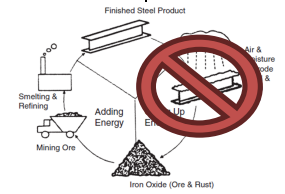


Advanced
learners

Teresa Kaub

www.ecml.at/pluriliteracies

How would you protect your Ipad?



Dyeing it with “everlasting paint”?



Attaching a sacrificial anode?



Coating it with a noble metal?



Tasks:

1. Try out one of the methods presented above.
2. Analyse your findings in a coherent academic lab report. Adhere to the given information material, sample report, word boxes and pay attention to a neat format and accurate content.
3. Upload your report into the dropbox and gather reports of the other two groups.
4. Write a SWOT analysis regarding pros and cons of all three methods. Come to a conclusion which procedure is best and why the company apple uses it.
5. Compare your answer with the following video:

<https://www.youtube.com/watch?v=3ZhVOy-ytjY>

Procedure 1: “everlasting paint” - anodizing aluminum

Classic Chemistry Demonstrations

35



17. Anodising aluminium

Topic

Electrochemistry/electrolysis/industrial chemistry.

Timing

About 1 h.

Description

A strip of aluminium is anodised and the thickened surface coating is dyed.

Apparatus

- ▼ Low voltage DC power pack – adjustable up to 15 V.
- ▼ 0–100 Ohm rheostat.
- ▼ 0–1 A ammeter.
- ▼ 0–15 V voltmeter.
- ▼ Connecting leads and crocodile clips.
- ▼ Retort stand with boss and clamp.
- ▼ Ruler (15 cm).
- ▼ One 1 dm³ beaker.
- ▼ Four 250 cm³ beakers.
- ▼ One 1 dm³ conical flask.

Chemicals

The quantities given are for one demonstration.

- ▼ Aluminium foil approximately 50 cm x 50 cm.
- ▼ Dylon cold fabric dye (Camilla A 16). This is cherry red. (Some other colours may work as well.)
- ▼ 1 dm³ of **sulphuric acid** (approximately 2 mol dm⁻³).
- ▼ 250 cm³ of **nitric acid** (approximately 1 mol dm⁻³).
- ▼ 250 cm³ of **sodium hydroxide** (approximately 1.5 mol dm⁻³).
- ▼ 250 cm³ of **propanone** (acetone).
- ▼ Strip of thin aluminium sheet approximately 12 cm x 3 cm.
- ▼ 2 cm³ of **glacial ethanoic acid** (acetic acid).

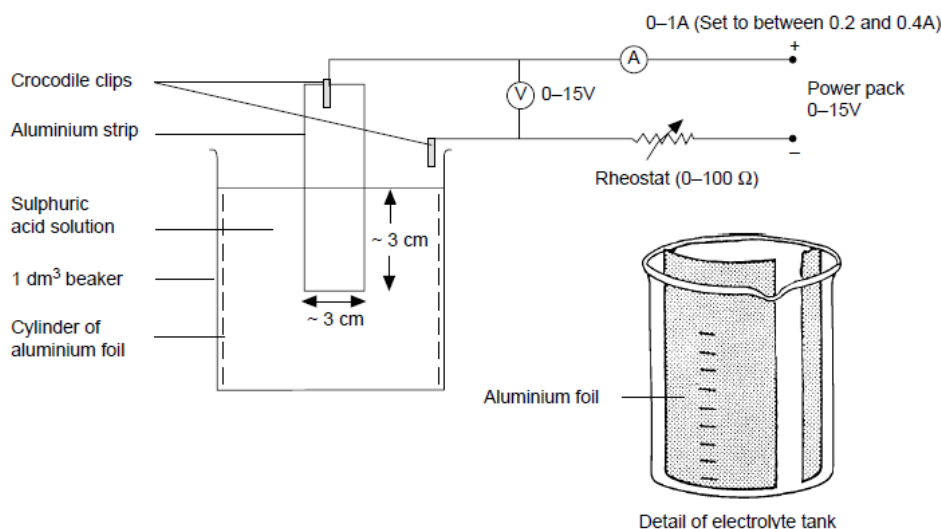
Method

Before the demonstration

Line the inside of the sides of the 1 dm³ beaker with a double thickness of aluminium foil. Fill the beaker with sulphuric acid. This should be at about 25 °C – adjust the temperature if necessary. Set up the electrical circuit shown in the figure. Make up



the dye solution according to the instructions supplied (*ie* dissolve the contents of the tin in about 600 cm³ of water) and add a few cm³ of glacial ethanoic acid.



Apparatus for anodising aluminium

The demonstration

De-grease the aluminium strip by rubbing with a tissue soaked in propanone and then dipping the strip into a beaker of propanone for a few seconds and allowing to dry. From now on hold the aluminium by the top few cm only (where it will not be anodised).

Dip the bottom half of the aluminium strip into the sodium hydroxide solution in a beaker. Leave it until it begins to effervesce, indicating that the surface layer of oxide has been removed. (This will take about one minute.) Now remove the strip and dip the cleaned portion of it into the nitric acid for a few seconds to neutralise the alkali. Then rinse away the acid with water.

Clamp the strip so that the lower, cleaned, section is immersed in the sulphuric acid electrolyte and is in the centre of the cylinder of aluminium foil which forms the cathode. It must not touch the cathode.

Complete the circuit with crocodile clips making the aluminium strip positive and the foil negative. Now adjust the power pack and rheostat so that a current flows which gives a current density of 10–20 mA cm⁻² of anode area immersed. For example if the anode has an area of 3 cm x 3 cm immersed, the area will be 3 x 3 x 2 cm² = 18 cm² (don't forget it has two sides!), so the current should be between 180 and 360 mA (0.18 and 0.36 A).

Leave to electrolyse for about 30 minutes, keeping an eye on the current and adjusting the rheostat if necessary to keep its value constant. (The current may tend to drop as the oxide layer thickens.)

When the electrolysis is complete, switch off the power and remove the aluminium strip. Rinse the strip in water. It will not look very different at this stage. Now dip the strip into about 200 cm³ of the dye solution in a beaker. Make sure that some of the non-anodised part of the strip is immersed as well as the treated section. Leave for about 15 minutes – longer immersion will produce a deeper colour. Some of those who trialled this demonstration left the strip in the dye overnight. Rinse to remove any dye which has not been absorbed. Dye will only be absorbed by the anodised section, which will turn a deep cherry red. If desired, seal the dye by immersing the dyed strip for a few minutes in water that is already boiling. This will make the colour less prone to rubbing off, but will wash out some of it. Many teachers may prefer to omit this procedure.

Level 1 help material on: “everlasting paint” - anodizing aluminum

- The images below help you to explain the chemical reactions during the process of anodizing aluminium.

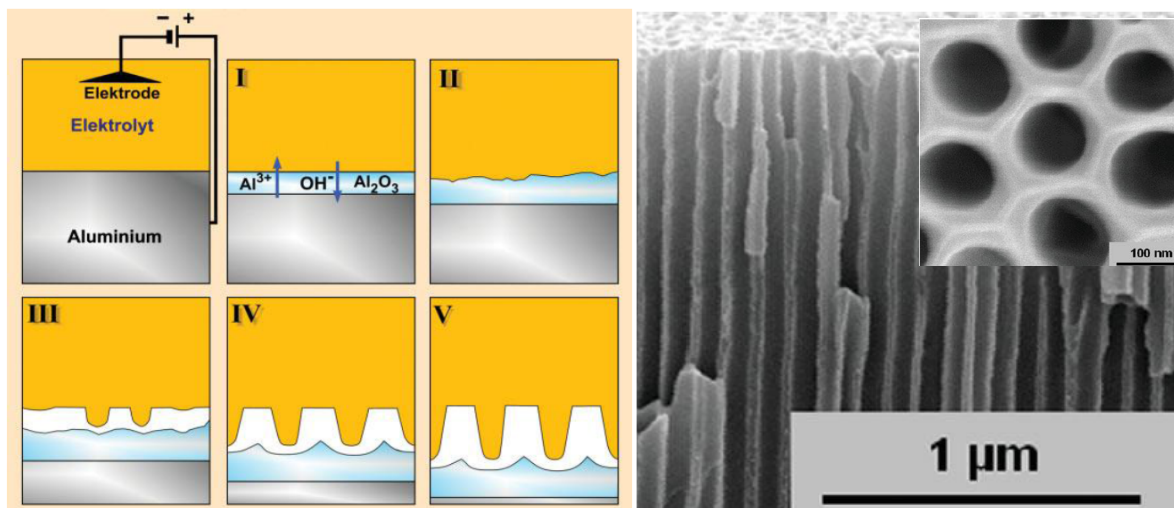


Abbildung 9: formation of the porous aluminum oxide layer

Abbildung 8: microscopic image of the oxide layer

- With these snippets you can easily form all chemical reactions.

$\text{Al}_{(s)}$	$\text{Al}_{(s)}$	$\text{Al}_{(s)}$	$\text{Al}_2\text{O}_{3(s)}$	$\text{Al}_2\text{O}_{3(s)}$	$\text{Al}_2\text{O}_{3(s)}$
	$\text{Al}_2\text{O}_{3(s)}$	$2\text{Al}(\text{OH})_4^{-}(\text{aq})$	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}^{+}(\text{s})$	$3\text{H}_{\text{a(g)}}$	$3\text{H}_{\text{a(g)}}$
$6\text{H}^{+}(\text{aq})$	$6\text{H}^{+}(\text{aq})$	$6\text{e}^{-}(\text{aq})$	$6\text{e}^{-}(\text{aq})$	$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$
	$3\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	$3\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	$3\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	$6\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	$\text{OH}^{-}(\text{aq})$
					$2\text{OH}^{-}(\text{aq})$
electrolysis overall	electrolysis at the cathode	electrolysis at the anode			
cleaning process	after the oxide is removed	positive charge at the anode			

Level 2 help material on “everlasting paint” – anodizing aluminum

- The material on the following three pages explains the process of chemical anodizing in detail.

Remember: Even though the text is written in German, your final lab report needs to be formulated in English as well as academic language!

Obwohl es eine hohe Sauerstoffaffinität aufweist, ist reines Aluminium im Unterschied zum leicht korrodierenden Eisen an Luft beständig, da es sich mit einer durchgehenden, fest anhaftenden dünnen Oxidschicht bedeckt (Dicke: bis ca. 15 nm) [4], die eine weitere Oxidation des darunter liegenden Metalls verhindert. Dieser Korrosionsschutz kann aber noch deutlich verbessert werden, wenn man durch *anodische Oxidation* künstlich eine wesentlich dickere, harte Oxidschicht (Dicke: bis ca. 0.4 mm) auf der Oberfläche erzeugt. Bei dieser *elektrolytischen Oxidation von Aluminium* („Eloxal-Verfahren“) wird die Oberfläche des Aluminiums in Aluminiumoxid (häufig auch als „anodic alumina“ bezeichnet) umgewandelt, das fest mit dem Aluminium verbunden ist. Diese chemisch passivierende, gegen Witterungseinflüsse, Säuren oder Alkalilauge weitgehend beständige und elektrisch isolierende Oxidschicht kann auch in poröser Form hergestellt werden (seit etwa 1920 bekannt), was die Anwendungsbereiche zusätzlich erweitert und z.B. die Möglichkeit bietet, das eloxierte Aluminium durch Zusatz von Farbstoffen, die in die Poren eingebracht werden, in fast jeder erdenklichen Farbe gleichmäßig anzufärben. Die anodische Oxidation von Aluminium ist ein sehr wichtiges Verfahren, das in vielen kleinen Varianten bereits seit etwa 100 Jahren industriell genutzt wird (Abbildung 6). So behandeltes Aluminium findet z.B. Anwendung in Leichtbaukonstruktionen von Gebäuden, im Fahrzeug-, Flugzeug- und Maschinenbau aber auch zur Veredelung von Möbeln, Haushaltswaren oder Verpackungskomponenten in der Kosmetikindustrie (Abbildungen 7 und 8).

Das Eloxal-Verfahren

Aluminium zählt aufgrund seiner geringen Dichte (2.699 g/cm³) zu den Leichtmetallen. Es zeichnet sich außerdem dadurch aus, dass es ungiftig, thermisch und elektrisch gut leitend, nicht magnetisch, gut hämmer-, gieß-, schmied- und ziehbar sowie korrosionsbeständig ist. Mit diesen herausragenden Eigenschaften ist elementares Aluminium das wichtigste Nicht-Eisenmetall, das in der Technik verschiedenartigste Verwendung findet [3].

Grundlagen der anodischen Oxidation

Um eine ebene, einheitliche Eloxalschicht herzustellen, die später auch ein gleichmäßiges Einfärben zulässt, muss die Oberfläche zunächst gründlich gereinigt und von seiner natürlichen Oxidschicht befreit werden. Hierfür sind eine Vielzahl an Reinigungs-, Beiz-, Schleif- und Polierprozessen bekannt. Liegt nun eine reine und ebene Aluminiumoberfläche vor, so wird das Aluminium in eine Elektrolytlösung getaucht und mit einer Gleichstromquelle verbunden. Zu den wichtigsten Faktoren, die über die Art der sich aus-



Abb. 7 Eloxierte und angefärbte Thermoskannen.

Abb. 6 Tauchbecken zum Eloxieren von Aluminium (Fa. Seidel GmbH + Co, Marburg).

bildenden Oxidschicht entscheiden, zählt die Natur des flüssigen Elektrolyten. Man unterscheidet hierbei zwischen Elektrolyten, in denen Al zumindest geringfügig löslich ist und solchen, in denen es vollständig unlöslich ist. Zu Letzteren zählen die häufig verwendeten organischen Säuren wie Malein-, Zitronen-, oder Glykolsäure (pH-Wert > 5). Führt man die elektrochemische Oxidation in solchen Elektrolytlösungen durch, erhält man ein kompaktes, unporöses Aluminiumoxid, das als „barrier-type alumina“ bezeichnet wird. Mit fortlaufender Oxidation nimmt hier die Dicke des als Sperrschicht wirkenden Oxids immer mehr zu, was dazu führt, dass die Stromdichte als Funktion der Zeit exponentiell abnimmt (Abbildung 9).

Verwendet man hingegen Elektrolyte, in denen sich das Aluminium ein wenig löst, wie z.B. Schwefel-, Oxal- oder Phosphorsäure, ist das sich ausbildende Oxid porös. Hier zeigt die Stromdichte/Zeit-Kurve einen gänzlich anderen Verlauf [4].

Betrachten wir zunächst die grundlegenden Elektrodenreaktionen (s.u.), die bei dem Eloxal-Verfahren ablaufen. Beim Anlegen der Gleichspannung kommt es zur Oxidation des Aluminiums, das als Anode fungiert. Gleichzeitig findet an der zunächst noch vorhandenen Grenzfläche Metall/Elektrolyt eine Aufspaltung des Wassers statt, wobei die freiwerdenden OH⁻-Ionen mit den Al³⁺-Ionen zunächst zu Al(OH)₃ und dann weiter zu Al₂O₃ reagieren. Die im weiteren Verlauf an der Grenzfläche Metall/Oxid sich bildenden Al³⁺-Ionen wandern in Richtung des Elektrolyten, während sich die OH⁻-Ionen aufgrund der Feldwirkung durch das Oxid zum Metall hin bewegen (Abbildung 10, s. auch Infokasten S. 166). An der Kathode kommt es zur

Reduktion von H₃O⁺ und zur Bildung von molekularem Wasserstoff.

Elektrodenreaktionen

Anode: $2\text{Al} + 9\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_3\text{O}^+ + 6\text{e}^-$

Kathode: $6\text{H}_3\text{O}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 3\text{H}_2\uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$

Gesamt: $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\uparrow$

Anfärben der Aluminiumoxidschicht

Die Poren bieten die Möglichkeit, Farbstoffe aufzunehmen und somit die Oberfläche anzufärben. Hierbei unterscheidet man zwischen zwei Färbetechniken: der Färbung durch Adsorption und der elektrochemischen Abscheidung von Farbstoffen. Im ersten Fall wird das poröse Aluminiumoxid in eine Lösung getaucht, die organische oder anorganische Farbstoffe enthält. Diese werden von den Poren aufgenommen und lagern sich aufgrund der geringen Diffusionsgeschwindigkeit hauptsächlich im Bereich der Porenöffnungen ab (Abbildung 13 a). Organische Farbstoffmoleküle werden dabei direkt aus der Lösung adsorbiert, während im Fall anorganischer Farbstoffe wie Metallsalzen oder Metallen diese erst durch Hydrolyse und Fällung oder chemischer Reduktion geeigneter Vorläuferverbindungen abgeschieden und in den Poren immobilisiert werden.

Neben der Adsorption werden insbesondere Metallpigmente aus Metallsalzlösungen unter Anlegen einer Wechselspannung elektrochemisch im Poren-inneren abgeschieden. Verursacht durch den Wechselstrom dringen die Metallkationen tief in die Poren ein und werden



Abb. 8 Produkte aus dem Kosmetikbereich, deren Verpackung z.T. aus eloxiertem und angefärbtem Aluminium bestehen (Fa. Seidel GmbH + Co, Marburg)



das andere die Kathode darstellt, an der sich das Cu elementar abscheidet (Abbildung 5). Um den Ohmschen Wi-

bracht werden, in fast jeder erdenklichen Farbe gleichmäßig anzufärben. Die anodische Oxidation von Aluminium ist

MODELL ZUR BILDUNG EINER PORÖSEN ALUMINIUMOXIDSCHICHT

Nun sollen die Prozesse, die sich an der Anode abspielen, in einem einfachen Modell etwas genauer betrachtet werden [5]. Hierbei muss aber auch erwähnt werden, dass es noch eine ganze Reihe weiterer mehr oder weniger akzeptierter theoretischer Modelle gibt, die die mögliche Bildung und das Wachstum der Poren in Abhängigkeit von den verschiedensten Parametern beschreiben.

Die anodische Oxidation des Aluminiums führt an der Grenzfläche zum Elektrolyten zunächst zur Ausbildung der erwähnten dichten oxidischen Sperrschicht, die durch ihre elektrisch isolierende Eigenschaft den elektrischen Widerstand der Anode ansteigen und die Stromdichte sinken lässt (Abbildungen 9 und 10, Bereich I). Ab einem bestimmten Zeitpunkt (A) kommt es dann im Fall des sich nun ausbildenden porösen Al_2O_3 zu einem veränderten weiteren Verlauf der Stromdichte/Zeit-Kurve. Das geringe aber dennoch vorhandene Oxidationsvermögen des Elektrolyten verursacht kleine Unregelmäßigkeiten auf der Oxidoberfläche und damit in der Dicke der Sperrschicht (Bereich II). Diese führen dazu, dass sich an ausgedünnten Stellen erhöhte Stromdichten einstellen, die dann zu einer verstärkten Oxydauflösung und weiteren Vertiefungen führen. Diese Vertiefungen bilden die Keime der sich nun ausbildenden Poren. Die an diesen Stellen erhöhte elektrische Feldstärke bewirkt eine erhöhte Ionenbeweglichkeit durch die

Sperrschicht hindurch, so dass sich das Oxidwachstum beschleunigt und die Stromdichte wieder ansteigt (Bereich III). Mit zunehmender Porendichte steigt die Stromdichte, bis die Oberfläche komplett mit Poren bedeckt ist. Verursacht durch die zunehmenden Wechselwirkungen zwischen den Poren nimmt die Stromdichte immer weniger zu und erreicht nach einem geringen Abfall einen konstanten Wert, der durch einen stabilen mittleren Porenabstand bedingt ist (Bereich IV). Das weitere Porenwachstum wird durch das Gleichgewicht zwischen der Bildung (Grenzfläche: Metall/Oxid) und der Auflösung (Grenzfläche: Oxid/Elektrolyt) des unporösen Oxids bestimmt, was letztendlich dazu führt, dass sich dessen Schichtdicke nicht weiter verändert. Die Poren am unteren Ende wachsen dadurch, dass aus dem Aluminium Al^{3+} -Ionen in die dünne Oxidschicht wandern, während sich die OH^- - bzw. O^{2-} -Ionen vom Elektrolyten aus in die Oxidschicht begeben. Ungefähr 30% der in der Oxidschicht befindlichen Al^{3+} -Ionen werden nun vom Elektrolyten aus der Oxidschicht herausgelöst, so dass ein Ladungsaustausch zwischen Al und dem Elektrolyten gegeben ist.

Im weiteren Verlauf der Oxidation wandert diese stabile Sperrschicht immer tiefer in das Al, während auf ihrer Rückseite die Dicke der porösen Aluminiumoxidschicht immer mehr zunimmt und bis zu mehreren hundert Mikrometern anwachsen kann

(Bereich V). Die sich ausbildenden relativ einheitlichen Poren wachsen senkrecht zur Aluminiumoberfläche, sind parallel zueinander ausgerichtet und besitzen eine zylindrische Form, die aber aufgrund einer immer vorhandenen geringen Löslichkeit der Porenwände im Elektrolyten im weiteren Verlauf der Oxidation zum Porenboden hin leicht konisch zuläuft (Abbildung 11).

Die Porenwand besteht aus einer dünneren Zone direkt um die Pore herum, die im Kontakt mit dem Elektrolyten steht und deswegen mit Elektrolytbestandteilen verunreinigt ist, und einer äußeren Mantelzone, die aus reinem Al_2O_3 aufgebaut ist. Beide Zonen bestehen im Gegensatz zur kristallinen „barrier-type“-Schicht aus einer amorphen Modifikation des Al_2O_3 .

In Abhängigkeit von den experimentellen Bedingungen können sich die Poren in einer dichtesten Packung mit hexagonaler Symmetrie anordnen (Abbildung 12). Seit etwa 1995 ist es auch möglich, perfekte hexagonale Anordnungen der Poren mit Domänenengrößen im Submikrometerbereich herzustellen. Hierfür muss die gesäuberte Aluminiumoberfläche aber vor der eigentlichen Oxidation lithographisch vorstrukturiert werden [6].

In Abhängigkeit vom verwendeten Elektrolyten und der angelegten Gleichspannung können Poren mit einem Durchmesser von etwa 5–150 nm ohne Probleme hergestellt werden [4].

So weist z.B. entsprechend poröses Aluminiumoxid, das in Schwefel- oder Oxalsäure hergestellt wurde, Mesoporen auf, während die Oxidation in Phosphorsäure zu größeren Makroporen führt (Durchmesser: Mesoporen: 2–50 nm; Makroporen: > 50 nm).

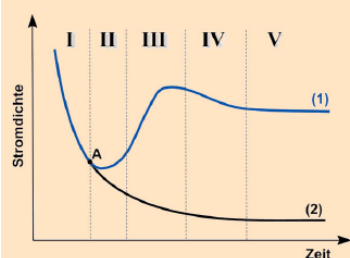


Abb. 9 Zeitlicher Verlauf der Stromdichte bei der Bildung von porösem (1) und unporösem (2) eloxiertem Al.

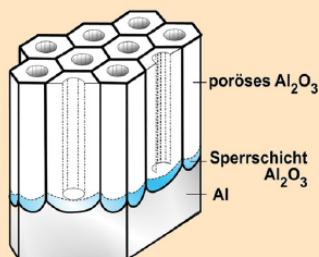


Abb. 11 Schematischer Aufbau von eloxiertem Aluminium

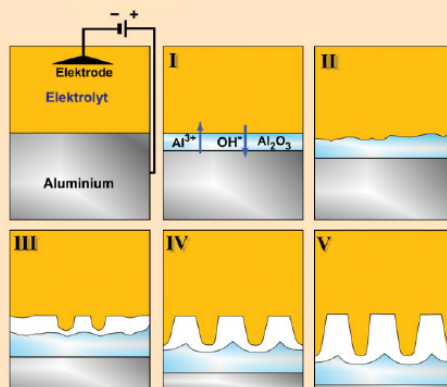


Abb. 10 Modell zum Bildungsmechanismus (in Bereiche I-V unterteilt) einer porösen Aluminiumoxidschicht (grau: Al, hellblau: Sperrschicht Al_2O_3 , weiß: amorphes Al_2O_3 , gelb: Elektrolyt)

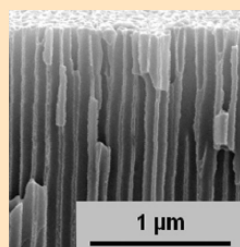
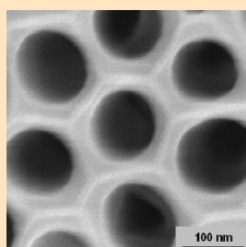


Abb. 12 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen poröser Aluminiumoxidschichten.

Procedure 2: cathode protection - sacrificial anode

Apparatus: 6 test tubes
test tube rack
spade

Chemicals: 6 iron nails
aluminium foil
magnesium, solder and copper wire
table salt
500ml distilled water

Procedure:

1. Clean the iron nails by rubbing the steel wool against them
2. Wrap a piece of magnesium wire around the first, solder around the second and copper wire around the third iron nail. Tightly wrap the forth nail entirely with aluminium foil and only cover the fifth nail partly with aluminium foil. Leave the last nail blank.
3. Place all nails into one test tube each.
4. Cover 2/3 of the nail with warm distilled water and a spade point tip of salt.
5. Write down your observations and repeat after 24 hours



Abbildung 10: rusty iron nails

Level 1 help material on cathode protection - sacrificial anode

- Use the list of standard electrode potential to explain your findings and form your equations.

Standard Reduction Potentials in Aqueous Solution at 25°C

Reduction Half-Reaction	E° (V)
$\text{F}_2(\text{g}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow 2 \text{F}^-(\text{aq})$ +2.87
$\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow 4 \text{H}_2\text{O}(\ell)$ +1.77
$\text{PbO}_2(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 4 \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{PbSO}_4(\text{s}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\ell)$ +1.685
$\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 8 \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + 5 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 12 \text{H}_2\text{O}(\ell)$ +1.52
$\text{Au}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Au}(\text{s})$ +1.50
$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow 2 \text{Cl}^-(\text{aq})$ +1.360
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 14 \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + 6 \text{e}^-$	$\rightarrow 2 \text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 21 \text{H}_2\text{O}(\ell)$ +1.33
$\text{O}_2(\text{g}) + 4 \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + 4 \text{e}^-$	$\rightarrow 6 \text{H}_2\text{O}(\ell)$ +1.229
$\text{Br}_2(\ell) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow 2 \text{Br}^-(\text{aq})$ +1.08
$\text{NO}_3^-(\text{aq}) + 4 \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + 3 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{NO}(\text{g}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\ell)$ +0.96
$\text{OCl}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Cl}^-(\text{aq}) + 2 \text{OH}^-(\text{aq})$ +0.89
$\text{Hg}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Hg}(\ell)$ +0.855
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Ag}(\text{s})$ +0.80
$\text{Hg}_2^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow 2 \text{Hg}(\ell)$ +0.789
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ +0.771
$\text{I}_2(\text{s}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow 2 \text{I}^-(\text{aq})$ +0.535
$\text{O}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\ell) + 4 \text{e}^-$	$\rightarrow 4 \text{OH}^-(\text{aq})$ +0.40
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Cu}(\text{s})$ +0.337
$\text{Sn}^{4+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Sn}^{2+}(\text{aq})$ +0.15
$2 \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\ell)$ 0.00
$\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Sn}(\text{s})$ -0.14
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Ni}(\text{s})$ -0.25
$\text{V}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^-$	$\rightarrow \text{V}^{2+}(\text{aq})$ -0.255
$\text{PbSO}_4(\text{s}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Pb}(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ -0.356
$\text{Cd}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Cd}(\text{s})$ -0.40
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Fe}(\text{s})$ -0.44
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Zn}(\text{s})$ -0.763
$2 \text{H}_2\text{O}(\ell) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2 \text{OH}^-(\text{aq})$ -0.8277
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Al}(\text{s})$ -1.66
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Mg}(\text{s})$ -2.37
$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Na}(\text{s})$ -2.714
$\text{K}^+(\text{aq}) + \text{e}^-$	$\rightarrow \text{K}(\text{s})$ -2.925
$\text{Li}^+(\text{aq}) + \text{e}^-$	$\rightarrow \text{Li}(\text{s})$ -3.045

Abbildung 11: standard electrode potentials

Level 2 help material on cathode protection - sacrificial anode

- The images below help you explain the processes of sacrificial and noble coating.

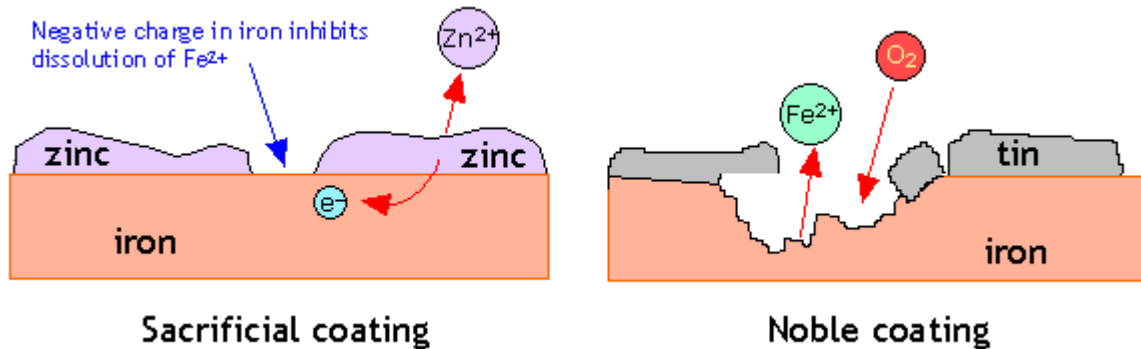


Abbildung 12: schematic explanation of sacrificial and noble coating

Level 3 help material on cathode protection - sacrificial anode

Cathodic Protection. Cathodic protection is a more effective method of resisting corrosion. It requires changing an element of the corrosion circuit by introducing a new corrosion element, thus ensuring the base metal becomes the cathodic element of the circuit. Hot-dip galvanizing protects steel cathodically similarly to the sacrificial anode method.

CORRODED END (Anodic or less noble)
Magnesium
Zinc
Aluminum
Steel
Lead
Tin
Nickel
Brass
Bronzes
Copper
Stainless Steel (passive)
Silver
Gold
Platinum
PROTECTED END (Cathodic or more noble)

Abbildung 13: list of metals according to their ability as sacrificial anode (top) and noble coating (bottom)

Basically, a metal (zinc) anodic to the base metal (steel) is placed in the circuit to corrode in place of the base metal. The Galvanic Series of Metals is a list of metals arranged in order of electrochemical activity in seawater (the electrolyte). This arrangement of metals determines what metal will be the anode and cathode when the two are put in an electrolytic cell. Metals higher on the list are anodic to the metals below meaning they provide cathodic or sacrificial protection when the two are connected.

From the list, it is apparent in the case of hot-dip galvanizing, zinc will protect preferentially corrode to protect the underlying base steel. In fact, the cathodic protection of HDG ensures even if the coating is damaged to the point bare steel is exposed (up to ¼ inch in diameter), no corrosion will begin until all the surrounding zinc is consumed. The zinc of the hot-dip galvanized coating will sacrifice itself to protect the underlying base steel until all the surrounding zinc is consumed.

How to structure and formulate a lab report

Title	What is this report about?	The reaction of XXX and XXX/
Abstract	What is the essence of the report?	A complete summary of the experiment
Introduction	What is the purpose/ motivation/context in which the experiment takes place? Recapitulation of knowledge (names, formulas, detection reactions) How is hypothesis connected to previous research? Where is information still lacking? Why is this experiment performed?	The purpose of the experiment was to test ... [aim] According to XYZ (2014),... [previous research] It is known from the lecture that ... [background information] Further research on ... is still needed [motivation/ justification for research]
Problem	What happens if XXX and XXX react together?	This leads to the question ...
Hypothesis	I believe XXX is going to happen and here is the reason why. . .	If ... then ... because It was hypothesized that ...
Method	Which materials and chemicals have been used?	List of all materials, chemicals, sketch of experimental set up
Procedure	Describes how the hypothesis will be tested What was done and how? Chronological list of every single step (no descriptions of standard procedures included) Use past tense only!	The samples were examined/ investigated with The method/ material/ used to... (action) was a ... (material, brand) The experiment was carried out in a ... The ... was fitted/ equipped with a ...
Results	What did you find out? Raw, un-interpreted collection of data. Give all equations, calculations, graphs, tables, . . .	It was found/ shown that ... / X increased Y The experiment(s)/ investigation/ study showed/ revealed that...

Definition	- avoid circular definitions (simple restatement of the term) - do not start your definition with <i>X is when/ where</i> - define a noun with a noun, a verb with a verb and so on - do not make the definition more complicated than the original term - do not include any personal details - include cause and effect constructions, descriptions, synonyms, antonyms, comparisons, contrasts and examples when suitable - do not include hyperbolic absolutes like <i>always, never</i> or <i>everybody</i> - do not formulate your definition too narrow or too broad - write in a positive manner whenever possible, instead of stating what your term is not	A ... is a ... that/who/which is made up of ... /has the following characteristics ... /is used for ... /is opposed to ... /can be used for ... The term ... comes from two terms, namely ... which means ... and ... which means ...
Discussion/ Conclusion	From specific (experiment) to general (real world) Summarise the aim, background, hypothesis and results Why did you obtain these particular results? - explain them - relate them to former research - state the significance of them (theoretical/ practical implications, modification/extension of theory, possible future research) Were the results expected? Did they contradict or support other/ previous experimental results? Give reasons for possible errors and their improvement	Cause and effect and reasoning <i>If... (then)... because</i> Fact and side effect <i>X does ... , causing Y to</i> <i>X does ... to Y, causing Z to .</i> .. For further formulations have a look at the discussion word bank on the next page
Sources	What sources were used?	List of all sources used (books, internet, articles, script,...)
Appendix	What additional material is included?	List of hand written notes taken in the laboratory, graphic data

Discussion

Word bank for the summary of introduction, problem and hypothesis within the discussion section.

T h e	main chief primary principal	aim objective purpose	o f t h e	study investigation experiment	w a s t o	determine examine	t h e	value, mass, amount, effect, change, difference, increase, structure, reaction, mechanism, behavior structure, presence, existence,	of ...
It was		our aim our intention		to (re-)examine, find (out about), obtain, elucidate					X
It was		the purpose of this		study, investigation, experiment					to . . .
w e	aimed to identify/ sought to justify have concentrated on/ carried out a study of decided to (re-)examine / provided some new information concerning							X	
The method was designed to eliminate the					effects/ distortion/ the error due to . . .				
The model was developed to simplify the					discussion/ interpretation/ analysis of...				

Word bank for the presentation of results

It was	found shown	that ...	X	increased decreased	Y
The	experiment investigation study	showed revealed	that...		

Word bank for the analysis and presentation/discussion of results

From the results	it is concluded that X is due to Y . . . a conclusion is made as to . . .		concerning the structure of X.	
The results	suggest imply	that the hypothesis should be		revised abandoned restricted to the cases of X extended to the cases of Y
The results	(do not) seem to confirm the explanation.			
Our data	seem to support X as proposed in XYZ (...). contradict the hypothesis developed by XYZ (...).			
(Thus,) X provides a		reasonable satisfactory exhaustive complete adequate convincing	explanation for Y.	
The findings make it possible to		conclude to explain to suggest to recommend	that... a new treatment a new model	
X	confirms refutes		the explanation suggested by Y	
This assumption may also (help to) explain...				
Therefore, Thus,	X is clearly not Y X shows that Y is (not) Z. there is no satisfactory/final/convincing evidence as to XYZ the findings (obtained for X) are contrary/complicated			
The findings suggest that clearer results		could might may should	be obtained by (using) X.	
These	assumptions conclusions	are also	confirmed supported	by the data reported in/ by ...
X	enables allows permits	us to	provide an explanation for... to establish a relation between Y and Z to relate Y to Z to account for Y	

Grammar box for the correct usage of tense

present tense and will future	is used for an universal truth ○ <i>A day has 24 hours.</i> ○ <i>In 2015, December will have 31 days.</i>
present perfect	describes an ongoing experiment or an experiment which still has implications on today's research/ theories. ○ <i>Researchers have tried to cure cancer for many years.</i>
past tense	is used to describe findings (of other authors), which are doubted by the author ○ <i>XYZ argued that iron does not burn but this is not true.</i>
must	expresses high subjective certainty or a necessity. If it was a universal truth it would have to be formulated with will. ○ <i>If I ignite copper, it must burn just like iron.</i>
may, could, might	objectively formulate possible explanations ○ <i>Might be due to...</i>
would	expresses the effect of a thought condition ○ <i>X's method would give smaller yield than ours</i>
should	expresses a logical necessity ○ <i>If done correctly, this experiment should work</i>

Style box for smooth transitions

	Concluding sentence	Topic sentence
Adverbs	XYZ	Consequently, . . .
Repetition of key words	Objections	The first objection . . .
recapitulation		As described above, . . .
Use of key question	How is that to be achieved?	One possibility could be . . .

List of common laboratory equipment with images

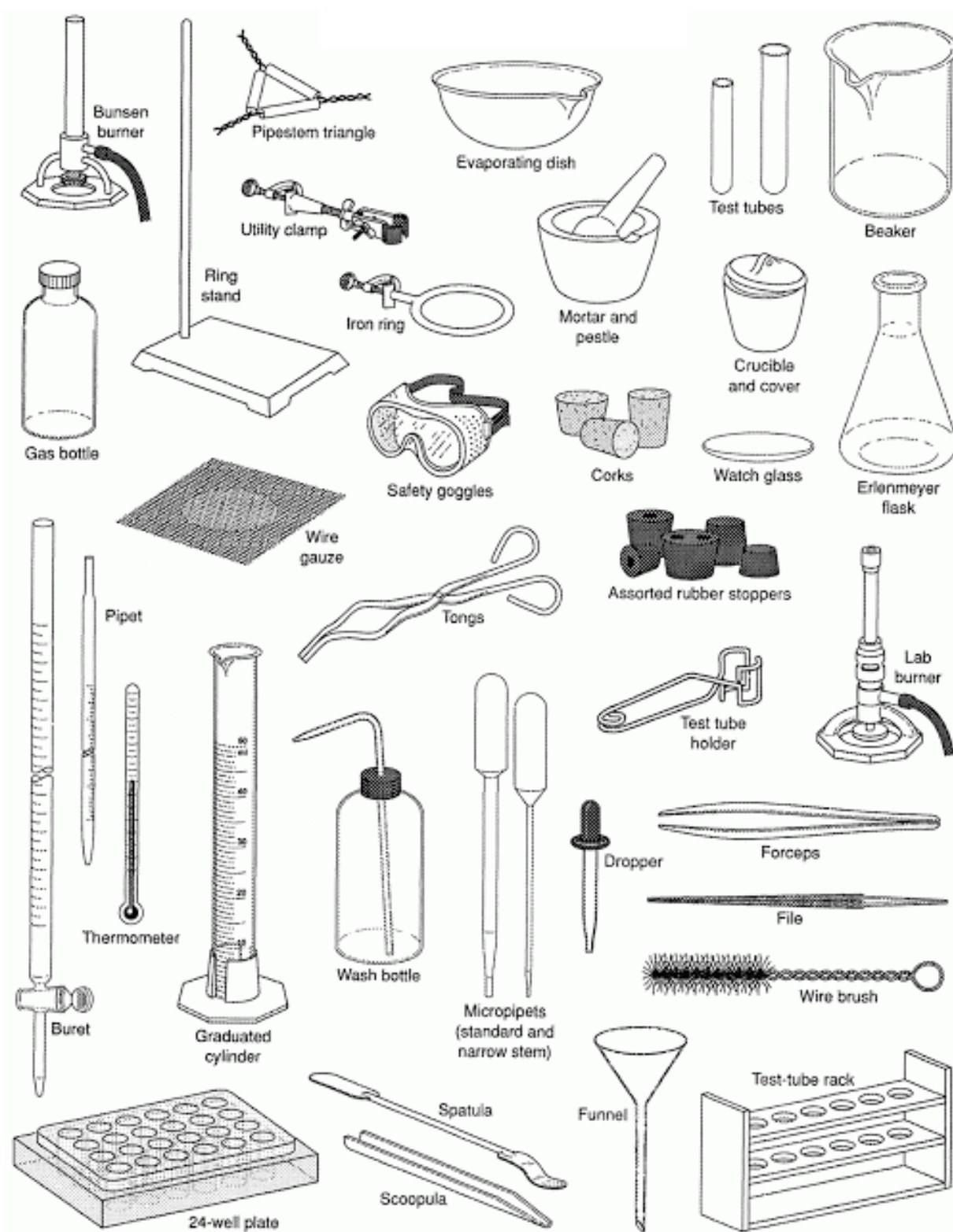


Abbildung 14: Laboratory equipment for science experiments



Pluriliteracies making meaning happen

www.ecml.at

The European Centre for Modern Languages is a Council of Europe institution promoting excellence in language education in its member states.

ENG

www.coe.int

The Council of Europe is the continent's leading human rights organisation. It includes 47 member states, 28 of which are members of the European Union.

All Council of Europe member states have signed up to the European Convention on Human Rights, a treaty designed to protect human rights, democracy and the rule of law. The European Court of Human Rights oversees the implementation of the Convention in the member states.

