

FACHHOCHSCHULE REGENSBURG

Praktikum SL

Semester:

Professor: **Dr.-Ing. H. Heinrich**
.....

Betreuer: ...Ing. M. Goller.....

Versuchsbezeichnung:

Galvanoformung

Name_1:;.....

Name_2:;.....

Name_3:;.....

Name_4:;.....

Name_5:;.....

Name_6:;.....

Name_7:;.....

Name_8:;.....

Name_9:;.....

Name_10:;.....

Gruppe:

Tag des Praktikums:

Abgabetermin :

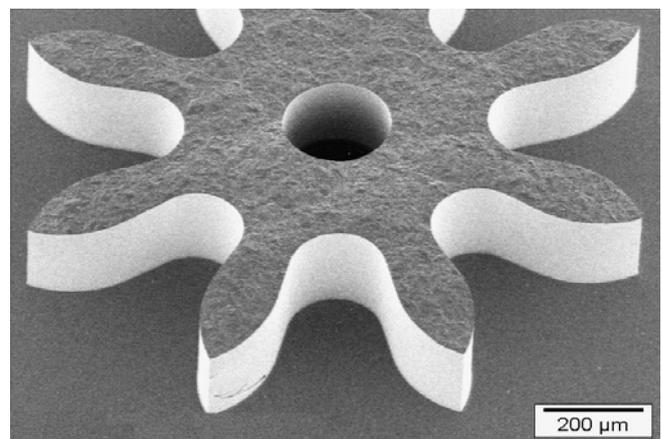
(spätestens 14 Tage nach Durchführung des Praktikums bzw. letzter Abgabetermin am Semesterende)

Testat:

Datum:

© He 01/08

Dieses Deckblatt sowie Seite 11 bitte ausfüllen und für den Versuchsbericht verwenden. Den restlichen Umdruck nicht mit abgeben.



1. Allgemeines

Unter Galvanoformung versteht man die Herstellung von metallischen Formkörpern, sogenannten Galvanoplastiken, durch elektrolytische Metallabscheidung auf einer passend vorgefertigten Negativ-Form, dem Modell. Das Galvanoformen fällt damit im Bereich der Spanlosen Fertigung (SL) unter die Verfahren des Urformens.

Als Unterlage (Kathode) kann im Prinzip jeder leicht formbare Werkstoff dienen, der jedoch zumindest an der Oberfläche elektrisch leitend sein muß. Bei der Herstellung einer Galvanoplastik wird ein dichter, porenfreier, feinkristalliner Metallniederschlag angestrebt. Die hierzu erforderlichen Abscheidebedingungen sind geringe Konzentration an freien Metallkationen in der Elektrolytlösung und hohe Stromdichten. Pulverförmige Abscheidung muß dabei vermieden werden, ebenso die Bildung von Metallschwämmen durch begleitende Wasserstoffentwicklung.

Zur Erzielung von Metallabscheidungen der o. a. Eigenschaften existiert eine große Zahl oftmals patentrechtlich geschützter Verfahrensvorschriften. Geringe Metallionenkonzentrationen werden vielfach über eine Zurückdrängung des Dissoziationsgrades des eingesetzten Metallsalzes erreicht. Zu besonders feinkristallinen metallischen Abscheidungen kann die Abscheidung aus chemischen Komplexverbindungen führen. Dabei muß das an der elektrochemischen Abscheidungsreaktion beteiligte metallische Kation aus einer der Abscheidung vorgelagerten chemischen Gleichgewichtsreaktion gebildet werden. Das freie, nicht chemisch gebundene Metallion liegt daher in geringer Lösungskonzentration vor.

Die Galvanoform besteht i.a. im Wesentlichen aus der eigentlichen Galvanoschale, dem Hinterbau aus gefülltem Epoxidharz sowie einem Rahmen aus Aluminium-Guß oder spannungsarm geglühtem Stahl. Es kann aber auch wie im Praktikum eine reine Kunststoff-Form verwendet werden, wenn deren Oberfläche elektrisch leitend gemacht werden kann.

Die Vorteile der Galvanoformung, wie z. B. exakte Wiedergabe von Oberflächendetails, machen dieses Verfahren u. a. sehr geeignet für die Herstellung von Spritz- und Druckgießformen für die Kunststoffverarbeitung im allgemeinen sowie Schäumformen für die Polyurethan-Verarbeitung im Speziellen. Weitere Einsatzgebiete sind die Herstellung von Sieben für analytische Zwecke, Filtern, Hohlleitern für Mikrowellen, Scherblätter für Elektrorasierer sowie Schallplatten- und CD-Preßmatrizen. Die Galvanoformung wird dann eingesetzt, wenn es sich um komplexe Bauteile oder um Prototypen handelt oder wenn es auf eine hohe Abformgenauigkeit (bis $< 1 \mu\text{m}$) ankommt.

Der in der Galvanoformung am häufigsten benutzte Werkstoff ist Nickel. Die Galvanoplastik selbst besteht aus einer meist mehrere Millimeter starken Nickelschicht. Die Vorteile des Nickels sind einerseits die Härte und die Korrosionsbeständigkeit gegenüber den Schaumsystemen und Reinigungsmitteln. Andererseits weist Nickel eine gewisse Passivität gegenüber Polyurethan auf, was zu einer beträchtlichen Einsparung von Trennmitteln sowie zu einer Vergrößerung der Reinigungsintervalle führt. Ein weiterer Effekt ist das bessere Fließen des Schaumes.

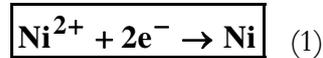
2. Versuchsziel:

Im Rahmen dieses Versuches wird durch Galvanoformung die - stark verkürzte - Abformung einer Leder-narbung simuliert. Auf ähnliche Weise hergestellte Galvanoformen werden großtechnisch als Schäumformen für Lenkräder und Armaturenbretter benutzt, s. Einführungsvorlesung.

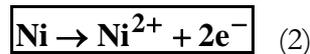
Weiterhin wird die Ermittlung der elektrochemischen Spannungsreihe der Elemente besprochen und am Beispiel zweier Metalle gezeigt sowie evtl. eine Stromdichte-Spannungs-Kurve aufgenommen, um die elektrochemischen Grundlagen der Galvanoformung und der dabei möglichen H_2 -Entwicklung zu verdeutlichen.

3. Theoretische Grundlagen:

Bei der Galvanoformung handelt es sich aus verfahrenstechnischer Sicht um eine elektrochemische Abscheidung eines Metalls von – in unserem Versuch - Nickel bei konstanter Stromdichte (galvanostatisches Verfahren). Dabei übernimmt die Negativ-Form (das Modell) die Funktion der Kathode. An ihr wird Nickel nach folgender Reaktion elektrochemisch abgeschieden:

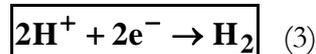


Als Kathode bzw. Negativ-Form dient z.B einer Lederoberfläche oder ein Kunststoff- oder Metallabguß. An der Anode wird Nickel nach folgender Reaktion elektrochemisch aufgelöst.



Als Anode dient ein Korb aus elektrochemisch stabilen Titan, durch dessen Öffnungen die Ni^{++} - Ionen diffundieren können. Er ist mit Nickelplätzchen gefüllt, welche über einen Titandraht (sogenannte Titanseele) elektrisch kontaktiert werden. Da während der kathodischen Nickelabscheidung an der Anode immer gleichzeitig Nickel in Lösung geht, bleibt die Lösungskonzentration an Nickelionen annähernd konstant.

Da es sich bei Nickel allerdings um ein unedles Metall handelt $E^0_{\text{Ni}/\text{Ni}^{++}} = -0,250\text{V}_H$, kann sich an der Kathode auch Wasserstoffgas entwickeln \Rightarrow Spannungsreihe der Elemente. Die Gleichung der unerwünschten Nebenreaktion lautet:



Als Elektrolysebad dient ein Elektrolyt auf der Basis von Nickelsulfamat der unten genannten Zusammensetzung. Die Elektrolyse dauert mindestens 18 h und wird bei einer Temperatur von 40 °C, einem pH-Wert von 3,5 - 4,5 und einer konstanten Stromdichte mit einem Wert von ca. 20 mA/cm² durchgeführt. Während der Elektrolyse muß das Bad durch Rühren gut bewegt werden. Die Stromdichte wird von einem Galvanostaten als konstante Stromstärke auf einen vorgebenen Sollwert geregelt.

Bei der Galvanoformung mit Ni eingesetzte Elektrolyte:

Tab. 1: Watts Elektrolyte:

Zusammensetzung	Konzentrationsbereich in g/l	Nominale Konzentration in g/l
Nickelsulfat $\text{NiSO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	225 - 375	330
Nickelchlorid $\text{NiCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	30 - 60	45
Borsäure H_3BO_3	30 - 40	35

Arbeitsbedingungen	Bereich	typischer Wert
T in °C	45 - 65	60
pH-Wert	3,5 - 4,5	4,0

Tab. 2: Nickelsulfamat Elektrolyte:

Zusammensetzung	Konzentrationsbereich in g/l	Nominale Konzentration in g/l
Nickelsulfamat $\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	250 - 450	300
Nickelchlorid $\text{NiCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	5 - 30	10
Borsäure H_3BO_3	30 - 40	40

Arbeitsbedingungen	Bereich	typischer Wert
T in °C	40 - 60	60
pH-Wert	3,5 - 4,5	4,0

Tab. 3: Nickel-Speed Elektrolyte:

Zusammensetzung	Konzentrationsbereich in g/l	Nominale Konzentration in g/l
Nickelsulfamat $\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	550 - 650	600
Nickelchlorid $\text{NiCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	5 - 15	10
Borsäure H_3BO_3	30 - 40	40

Arbeitsbedingungen	Bereich	typischer Wert
T in °C	20 - 70	60
pH-Wert	3,5 - 4,5	4,0

4. Versuchsaufbau

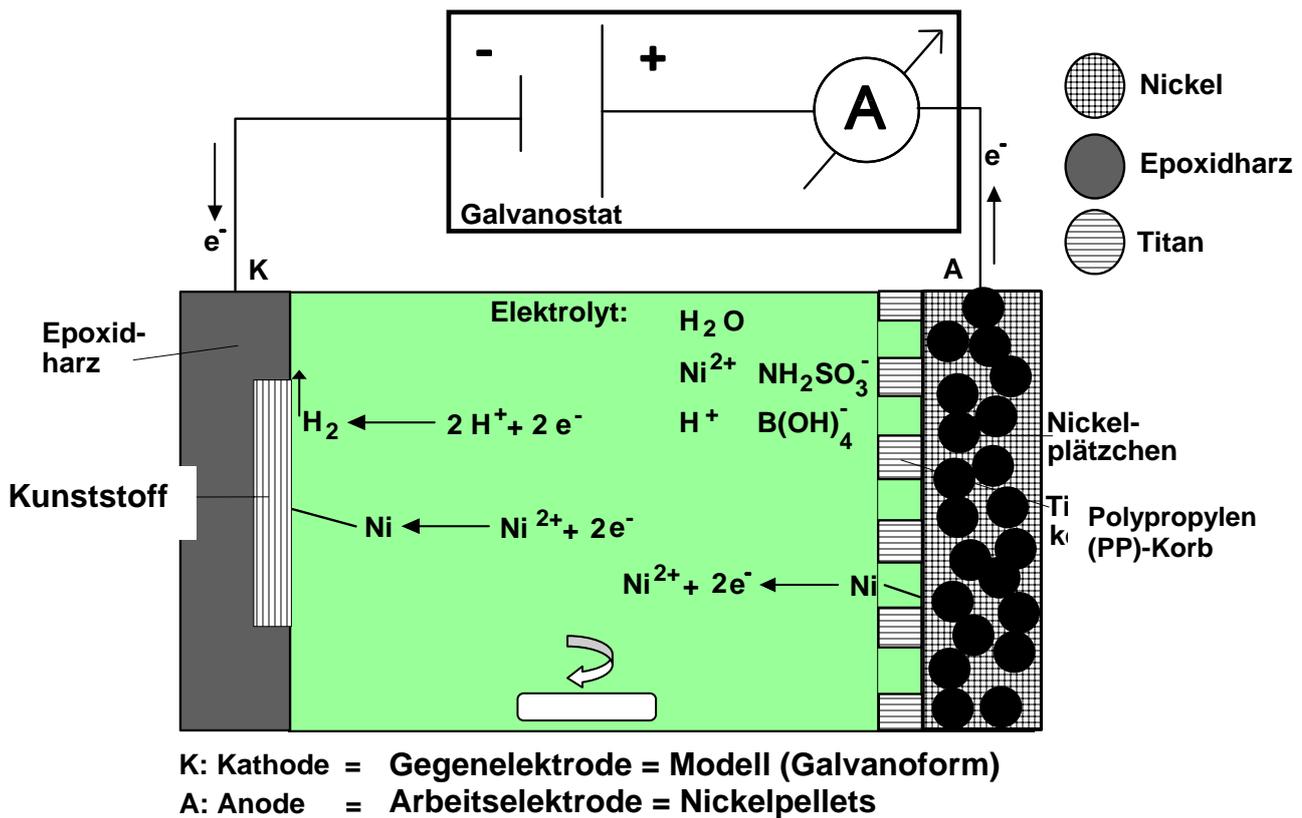


Abb. 1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus und der ablaufenden Reaktionen. (Je nach Versuch kann die Kathode auch vollständig aus Kunststoff bestehen.)

Die für den Versuch wesentlichen Teile sowie die Hilfsmittel sind im folgenden aufgelistet:

- Galvanostat
- Arbeitselektrode: Nickel- oder Kunststoff-Form (Stempel) als Modell, (Ni in Epoxidharz gegossen)
- Gegenelektrode: PP-Korb gefüllt mit Nickelplättchen mit Titanseele als elektrischer Kontakt,
- beheizbares Elektrolysebad
- Rührer mit Rührmotor
- Stativ mit Hebebühne
- Chromsäure (30g CrO₃/lit H₂O) als Passivierungsmittel (Ni-Modell) oder alternativ:
- Ag-Lösung + Airbrush-Sprühpistole (Kunststoff-Modell)
- Pinsel
- scharfes Messer
- pH-Meßgerät
- Hg-Thermometer
- digitale Analysenwaage
- wässriger, saurer Elektrolyt: (entspricht Ni-Speed-Elektrolyt, s.o.)

5. Versuchsdurchführung:

Es wird entweder mit einer Ni- oder einer Kunststoffelektrode gearbeitet.

a) Nickelelektrode:

Zunächst wird die Nickelelektrode passiviert, indem Sie die Oberfläche der einzelnen Formen mit Hilfe eines Pinsels mit Chromsäure bestreichen. Dadurch entsteht auf der Nickeloberfläche eine Oxidschicht, die dafür sorgt, daß sich die Galvanoplastiken nach ihrer Herstellung von der Elektrode entfernen lassen. Nach einer Einwirkungsdauer von ca. einer Minute spülen Sie dann die Chromsäure sorgfältig mit deionisiertem Wasser ab. Anschließend montieren Sie die vorbereitete Arbeitselektrode fest auf das Stativ der bereits vorbereiteten Versuchsanordnung. Dazu wird die Elektrode so in zwei Klemmen eingespannt, daß die Gegenelektrode in etwa mittig und auf gleicher Höhe zur Arbeitselektrode positioniert ist und die Arbeitselektrode sich vollständig über dem Bad befindet.

b) Kunststoffelektrode (in diesem Fall wird die Probenvorbereitung jeweils für die nächste Praktikumsgruppe durchgeführt).

Die Oberfläche wird durch Spritzversilbern elektrisch leitend gemacht. Die Ag-Schicht dient gleichzeitig als Trennmittel. Dazu wird zunächst der äußere Rand der Probe mit Hilfe von Klebeband isoliert, so dass dort kein Ag hingelangen kann. Dann wird der Ag-haltige Leitlack gut geschüttelt (sedimentiert sehr schnell) und anschließend einige ml in den Behälter der Airbrush-Pistole gefüllt. Anschließend wird die Oberfläche des Modells bei ca. 2 bar Luftdruck versilbert. Nach ca. 2 h wird die versilberte Oberfläche mit einem weichen Lappen abgerieben und die Isolierung entfernt. Dann erfolgt die Anbringung eines neuen Klebebandes, das ca. 5 mm übersteht. Abschließend wird das Kontaktkabel angebracht und die Probe am Probenhalter angebracht.

Nun bewegen Sie mit der Hebebühne das thermostatisierte Elektrolysebad vorsichtig so weit nach oben, bis die gesamte Modellfläche des Stempels mit Flüssigkeit bedeckt sind. Achten Sie dabei darauf, daß der Rührer im Bad ausreichende Bewegungsfreiheit hat (evtl. Korrektur der Versuchsanordnung)

Kontrollieren Sie am eingetauchten Thermometer die Temperatur und messen Sie durch Eintauchen der Glaselektrode mit Hilfe des pH-Meßgerätes den pH-Wert. Dazu muß das Gerät zunächst geeicht werden. Wenn beide Werte der obigen Vorgabe entsprechen, können Sie mit der Elektrolyse beginnen. Verbinden Sie nun die Arbeitselektrode (Kathode) mit dem Minus-Pol und die Gegenelektrode (Anode) mit dem Plus-Pol des als Spannungsquelle dienenden Galvanostaten. Nun bekommen Sie vom Praktikumsleiter eine Stromdichte vorgegeben. Berechnen Sie daraus den Wert der am Galvanostaten einzustellenden Stromstärke und justieren Sie den Galvanostaten. Starten Sie den Rührmotor, stellen Sie eine niedrige Drehzahl ein und betätigen Sie die Starttaste am Galvanostaten. Nun beginnt der Vorgang der Galvanoformung. Notieren Sie sich die Uhrzeit.

Die Expositionszeit beträgt mindestens 18 h, d.h. dass der Versuch in der vorgegebenen Praktikumszeit nicht beendet werden. Das Praktikum wird deshalb etwas eher beendet und am nachfolgenden Tag ist (nach Verabredung) die dann fertige Galvanoplastik noch auszuwiegen (dauert ca. 5-10 Minuten) sowie der pH-Wert zu messen..

Während der Expositionszeit sind weitere Messungen durchzuführen, die die Aufnahme einer praktischen elektrochemischen Spannungsreihe der Elemente in künstlichem Meerwasser nach DIN 50905 (oder einer anderen im Praktikum angesetzten Lösung) zum Ziel haben. Dies dient u.a. dem Verständnis für die im Rahmen der Praktikumsauswertung zu bestimmende Stromausbeute β . In diesem Zusammenhang kann auch über thematisch verwandte Gebiet der Korrosion diskutiert werden. Galvanisieren, Galvanoformung und die Korrosion der Metalle beruhen auf den gleichen elektrochemischen Grundlagen. Es besteht die Möglichkeit, das Verhalten eines Metalles, z.B. eines Stahles anhand der experimentellen Aufnahme einer Stromdichte-Spannungs-Kurven (i - U -Kurven) zu diskutieren.

Die zur Aufnahme der Spannungsreihe benötigte Apparatur ist in Abb. 2 schematisch dargestellt.

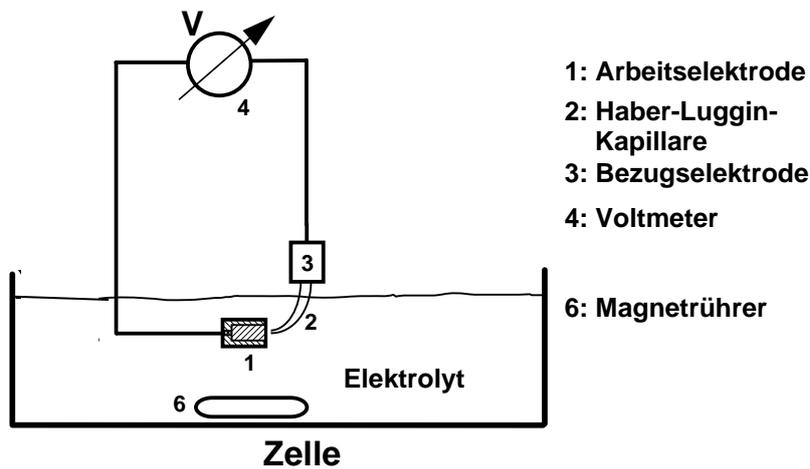


Abb.2: Prinzipschaltbild des Versuchsaufbaus zur Ermittlung der elektrochemischen Spannungsreihe

Aus Zeitgründen befasst sich der Versuch nur noch mit 2 Metallen. Dem Edelmetall Cu und dem Unedelmetall Zn.

Tab. 5: Zuordnung der Werkstoffe und Ruhepotentiale

Probe-Nr.	Werkstoff	Ruhepotential in mV; NHE*
	E-Cu	
	Zn 99,999	

* gemessen an der FH Regensburg nach $t = 3 \text{ Min.}$ in $0,01\text{n H}_2\text{SO}_4$;

Die im Versuch benutzte Bezugs elektrode ($\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{SO}_4$) besitzt ein konstantes Potential von $+ 605 \text{ mV}$ gegenüber der Wasserstoffelektrode. Dies ist bei der Aufstellung der „Spannungsreihe“ zu berücksichtigen. Spannungsreihen der Elemente finden Sie im "Bargel/Schulze", Kap. 1.8 oder in einschlägigen Korrosionsbüchern wie "Die Korrosion der Metalle" von H. Kaesche, "Elektrochemie I u. II" von Hamann/Vielstich usw. Da diese in anderen Elektrolyten bestimmt wurden, weichen sie von unseren Versuchsergebnissen ab.

Nach Ablauf der Expositionszeit von mindestens 18 h beenden Sie den Galvanoformungs-Vorgang, indem Sie am Galvanostaten die Stop-Taste betätigen. Schalten Sie den Rührer ab und bewegen Sie das Bad soweit nach unten, daß sich die Arbeitselektrode bequem ausbauen läßt. Bauen Sie nun die Arbeitselektrode aus der Apparatur und spülen Sie sie mit Wasser ab. Mit Hilfe eines scharfen Messers können Sie nun die mattgraue Nickelscheibe vorsichtig vom Stempel lösen.

Bestimmen Sie anschließend mit Hilfe der Analysenwaage die gesamte Masse des galvanisch abgeschiedenen Nickels. Sie wird für die Berechnung des Wirkungsgrades benötigt.

Bestimmen Sie weiterhin den pH-Wert, der für die Bestimmung der H_2 -Entwicklung benötigt wird.

6. Versuchsauswertung:

Die Versuchsauswertung soll in Form eines Berichtes erfolgen (nicht als Kopie des Skriptes), der mindestens folgende Punkte enthält:

- a) Aufgabenstellung
- b) Versuchsaufbau
- c) Versuchsdurchführung
- d) Auswertung (s. auch S. 11)
 - Berechnung des Wirkungsgrades des Galvanoformungsvorganges, Formeln s.u.
 - Berechnen Sie wieviel Anteil die Wasserstoffentwicklung an den berechneten Verlusten hat (V und m) wenn der pH-Wert des Elektrolyten (V = ? lit) während des Versuches steigt. (Um wie viel wird bei jedem Versuch gemessen)
 - Es müssen folgende Werte nachvollziehbar berechnet werden:
 - Masse des Ni bei idealer Abscheidung
 - elektrischer Wirkungsgrad des Galvanoformungsvorganges
 - abgeschiedener H₂: Menge, Volumen, Ladungsverbrauch
 - Anteil des H₂ am gemessenen Ladungsverlust → Schlussfolgerung...
 - Masse des sich abscheidenden Nickelsulfids () unter der Annahme, daß die nicht durch H₂ –Entwicklung verbrauchte Ladungsmenge zur Entstehung von Ni₃S₂ verbraucht wurde
 - Erstellung einer praktischen „Spannungsreihe“ der gemessenen Metalle/Legierungen, Tabelle 5, s.o.
- e) Diskussion des Versuches und der Versuchsergebnisse, z.B. bzgl. des Strom-Wirkungsgrades der Abweichungen der gemessenen Ruhepotentialen von den Literaturwerten, Bewertung des Verfahrens der Galvanoformung etc.

Tauschen Sie Ihre Meßergebnisse mit einer Praktikumsgruppe aus, die mit einem anderen Elektrolysestrom gearbeitet haben. Vergleichen Sie die Qualität der Galvanoplastiken und vergleichen Sie die Stromausbeute. Begründen Sie die unterschiedlichen Werte der Stromausbeuten.

6a. Hinweise zur Berechnung der Stromausbeute

Die Beziehung zwischen der geflossenen Ladungsmenge und der Masse des abgeschiedenen Stoffes wird beschrieben durch das 1. Faradaysche Gesetz.

Die gesamte an einer Elektrode elektrochemisch umgesetzte Stoffmenge Δn_{ges} in mol einer oder mehrerer Substanzen verhält sich direkt proportional zur umgesetzten elektrischen Ladungsmenge ΔQ in As (C).

$$\frac{\Delta Q}{\Delta n_{\text{ges}}} = \frac{\Delta Q}{\sum_{i=1}^K \Delta n_i} = \text{const.} = z \cdot F \quad (4)$$

z: Anzahl der pro umgesetztes Teilchen übergehenden Elektronen

F: Faradaykonstante = 96490 As/mol

K: Anzahl der an der Elektrode ablaufenden elektrochemischen Reaktionen

Anwendung von Gleichung (1) für die galvanische Abscheidung von Metallen:

Bei der galvanischen Abscheidung von Metallen bildet das zu bearbeitende metallische Werkstück die Kathode (Reaktionsgleichung s.o.),

Definition der Stromdichte i :
$$i = \frac{I}{A} \quad (5)$$

I: Stromstärke in mA

A: geometrische Elektrodenoberfläche in cm^2

Die umzusetzende elektrische Ladungsmenge ΔQ in C ergibt sich als Produkt aus dem konstanten Elektrolysestrom I in mA und der Elektrolysezeit Δt in s.

$$\Delta Q = I \cdot \Delta t = i \cdot A \cdot \Delta t \quad (6)$$

Die galvanisch abzuscheidende Stoffmenge Δn eines Metalls ergibt sich als Quotient der Abscheidungs-
masse Δm in g und der Molmasse M in g/mol. Die Abscheidungs-
masse Δm läßt sich ausdrücken durch
das Produkt aus der Dichte in g/cm^3 , der geometrischen Elektrodenoberfläche A in cm^2 und der
Schichtdicke d des galvanischen Metallüberzuges in cm.

$$\Delta n = \frac{\Delta m}{M} = \frac{\rho \cdot A \cdot \Delta d}{M} \quad (7)$$

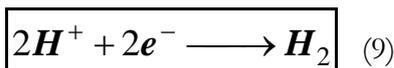
Durch Einsetzen der Gleichungen (5), (6) und (7) in die Gleichung (4)

und Auflösung nach der Abscheidungs-
masse Δm ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$\Delta m = \frac{M}{z \cdot F} \cdot I \cdot \Delta t \quad (8) \quad \Leftrightarrow \quad \text{1. Faradaysches Gesetz}$$

Mit Gleichung (8) kann die bei einem bestimmten konstanten Elektrolysestrom I sich innerhalb eines be-
stimmten Zeitintervalls Δt an der Kathode abscheidende Metallmasse Δm errechnet werden.

Bei der galvanischen Abscheidung von unedlen Metallen muß allerdings noch berücksichtigt werden, daß
an der Kathode als Nebenreaktion die kathodische Wasserstoffentwicklung nach der vereinfachten
Gleichung



abläuft, weshalb ein Teil des Elektrolysestroms keine galvanische Metallabscheidung bewirkt und somit
verloren geht. Dies wird durch einen Korrekturfaktor β berücksichtigt, der als Stromausbeute bezeichnet
wird.

Berechnen Sie aus der gemessenen Abscheidemasse an Nickel über das 1. Faradaysche Gesetz die Stärke
des Abscheidestromes für Nickel. Vergleichen Sie diese Stromstärke mit der am Galvanostaten einge-
stellten Stromstärke (I_{gesamt}). Begründen Sie die Abweichung und berechnen Sie die Stromausbeute β , die
wie folgt definiert ist.

$$\beta = \frac{I_{\text{Ni}}}{I_{\text{gesamt}}} * 100\% \quad (10)$$

I_{Ni} : Stromstärke des Abscheidestromes für Nickel in A

I_{gesamt} : Stromstärke des gesamten Elektrolysestromes in A

6b. Hinweise zur Berechnung der H₂-Entwicklung

$$pH = -\log c_{H^+}$$

$$1 \text{ mol} \cong 22,4 \text{ l}$$

Zusätzliche Informationen könne Sie auch aus dem Internet abrufen, z.B. unter

<http://www.fi-sch.de/>

<http://www.elektroform-galvano.de/>

Buchtipps:

S.A. Watson, „**Galvanofornung mit Nickel**“, Eugen G. Leutze-Verlag, ISBN 3-87480-050-4

N. Kanani, „**Galvanotechnik. Grundlagen, Verfahren, Praxis**“
Leipziger Fachverlag, Erscheinungsjahr: 2000

N. Kanani, „**Galvanotechnik**“ Hanser Fachbuchverlag, Erscheinungsjahr: 2000

7. Ergebnistabellen → Ausfüllen ist neben der Berechnung Voraussetzung für das Testat !!!

Praktikum Teil A

1. abgeschiedene Ni-Masse (real) in g (gewogen) :
Versuchszeit in s :
verwendete Stromstärke in mA :
abgeschiedene Ni-Masse(ideal) in g (berechnet) :
elektrischer Wirkungsgrad η des Verfahrens in %:
2. Volumen des Elektrolytbades in l :
pH-Wert zu Versuchsbeginn :
pH-Wert zu Versuchsende :
Masse des entwickelten H₂ in g :
Volumen des entwickelten H₂ in ml :

Für die H₂-Entwicklung verbrauchte Ladungsmenge in C :
Anteil der H₂-Entwicklung an den gemessenen Verlusten in % :

Masse des gebildeten NiS in g :

Wodurch kommt der größte Teil der Verluste zustande ?

Praktikum Teil B

Tab. 6: Zuordnung der Probennummern, Werkstoffe und Ruhepotentiale
("Spannungsreihe der Elemente")

Probe-Nr.	Werkstoff	Ruhepotential in V; NHE*

* Normal Hydrogen Elektrode

Worin besteht der Zusammenhang zwischen der Spannungsreihe der Elemente und der H₂-Entwicklung beim Galvanoförmen ?