



ELEKTROLYTISCHES SCHWERMETALL MESSGERÄT FÜR GEWÄSSER

Bad Münstereifel

Projektteilnehmer

- Marian-Jonas Justen (13.07.2004)
- Emily Scheidtweiler (07.05.2005)

Projektbetreuer

- Daniel Mertens
- Dennis Nebe

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	1
1.1 Einleitung	2
2. Entwicklung	3
2.1. Letztes Projekt	3
2.1.1. Zusammenfassung des Prinzips.....	3
2.1.2. Abwandlung des Prinzips.....	4
2.1.3. Änderung des Prinzips	4
2.1.4. Änderung des Aufbaus	5
2.1.5. Änderung der Interpretation	5
2.2. Verbesserungen.....	6
2.2.1. Vergrößerung der Elektrodenoberfläche.....	7
2.2.2. Erhöhung der Temperatur	7
2.2.3. Bewegung	7
2.3. Langzeitversuch	8
2.3.1. Aufbau	8
2.3.2. Messung	9
2.3.3. Auswertung	10
2.3.4. Neue Hypothese	10
2.3.5. Bewertung der Ausgangshypothese.....	11
2.4. Verwertung der neuen Hypothese	12
2.4.1. Zusammenfassung der zweiten Hypothese.....	14
3. Prototyp	14
4. Verzeichnisse:	15
4.1 Abbildungsverzeichnis:	15
4.2 Quellenverzeichnis	15

1. Zusammenfassung

Unser Projekt „Elektrolytisches quantitatives Schwermetallmessgerät“ beruht auf dem Projekt „Das elektrolytisches Wasserreinigungssystem mit unpolarisierbaren Elektroden“, welches letztes Jahr von Marian Justen in der Folge der Flutkatastrophe entwickelt wurde. Das Ziel bestand darin ein Reinigungssystem zu entwickeln, das in der Lage ist, Schwermetalle aus Fließgewässern zu entfernen ohne großen Einfluss auf das Ökosystem zu nehmen.

Dieses Jahr arbeiten wir mit einem erweiterten Team daran, mithilfe der bei einer Elektrolyse gemessenen Stromstärke und Stromspannung die Konzentration mehrerer Schwermetall-Kationen in einer wässrigen Lösung zu bestimmen. Diese Daten sollen von einem in C++ geschriebenen Computercode gemessen und ausgewertet werden.

Dementsprechend liegt das Ziel darin, einen einfach zu bedienenden Prototypen zu entwickeln, der in der Lage ist, die Konzentration von verschiedenen bekannten Schwermetallen in einer wässrigen Lösung zu bestimmen. Besonders wichtig ist uns hierbei, eine möglichst genaue und dennoch schnelle und ungefährliche Methode zu entwickeln, die dabei erschwinglicher und einfacher bedienbar als die vielseitig eingesetzten Spektroskopie-Verfahren es sind.

1.1 Einleitung

Da dieses Projekt auf den Hypothesen und Ergebnissen des Projekts „Das elektrolytisches Wasserreinigungssystem mit unpolarisierbaren Elektroden“ aufbaut, ist es zunächst sinnvoll eine Zusammenfassung der Ergebnisse dieses Projektes zu betrachten. Generell basiert der Ablauf einer Gewässerreinigung nach diesem System auf den unterschiedlichen Standardpotentialen von verschiedenen Ionen und dem widerstandsarmen Absetzen der Ionen an der, aus dem selben Element bestehenden aber in reduzierter Form vorliegenden, Elektrode. Dies wird dabei insofern genutzt, dass sich generell an einer Elektrode das edlere Ion abscheidet und man somit in niedrigen Spannungsbereichen ein Material nach dem anderen an verschiedenen Elektroden abscheiden kann. Dadurch sollten sich gezielt die edleren Ionen aus den Gewässern entfernen lassen, welche ein erhöhtes Umweltrisiko darstellen, wobei die unedleren Ionen im Wasser verbleiben. Dadurch soll die Umwelt geschont und Strom gespart werden. Im Aufbau befindet sich noch die Besonderheit, dass es einen elektrolytischen und einen galvanischen Teil gibt. Das Ziel davon liegt darin, dass man in einer kontrollierten Elektrolyse deutlich mehr Genauigkeit erzielen kann und das galvanische Element einen Ladungsausgleich durch das Freisetzen unedler Metallkationen erzeugt. Der Aufbau kann dabei wie folgt am Beispiel von Kupfer dargestellt werden:

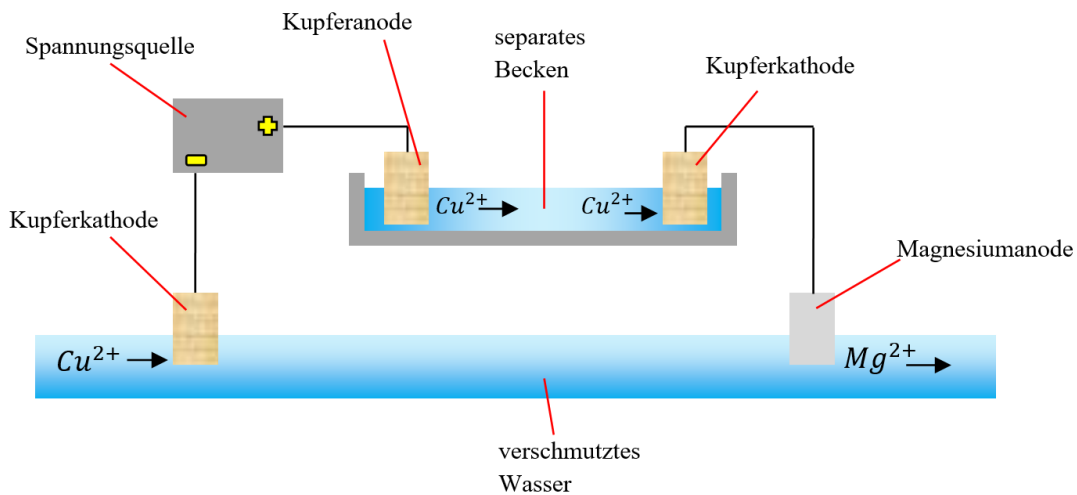


Abbildung 1: Ursprünglicher Aufbau

2. Entwicklung

2.1. Letztes Projekt

2.1.1. Zusammenfassung des Prinzips

Der Ablauf einer Messung würde demnach wie folgt aussehen: Das Messgerät ist mit verschiedenen Elektroden ausgestattet. An jede dieser Elektroden setzt sich nur das zum Elektrodenmaterial gehörige Kation ab, da sich die einzelnen Ionen anhand ihrer Standardpotentiale von edel zu unedel abscheiden und durch die Verwendung der dazu passenden Elektroden andere Überspannungen vermieden werden. Daher wird zunächst die edelste Elektrode in die Testlösung abgelassen und die Elektrolyse wird durchgeführt, bis keine Ionen des Elements mehr vorhanden sind. Dies zeichnet sich an einem sehr starken Abfallen der Stromstärke ab. Dann wird die Messelektrode gewechselt und das nächst unedlere Metall-Kation wird aus der Lösung entfernt. Dieser Vorgang wiederholt sich bis auch das unedelste Material aus der Lösung entfernt ist. Aus den Messdaten der Stromstärke kann man dann auf die Ursprungskonzentrationen rückschließen. Die Messelektroden würden nicht verunreinigt und könnten mehrfach eingesetzt werden.

2.1.2. Abwandlung des Prinzips

Da in dem Projekt des letzten Jahres ein deutlich anderer Fokus gesetzt wurde, mussten wir in verschiedener Hinsicht Änderungen an dem Prinzip und Aufbau sowie Interpretation der Daten vornehmen.

2.1.3. Änderung des Prinzips

Wenn man die beiden Anwendungskontexte vergleicht, fällt im Hinblick auf die Funktionsweise auf, dass zunächst weniger genau auf zeitliche Effizienz geachtet werden muss, da in einem Messgerät nicht derselbe Durchfluss wie im Fließgewässer herrscht. Natürlich ist auch die Messgeschwindigkeit des Gerätes relevant, steht jedoch zweitrangig hinter Messgenauigkeit und genauem Ablauf der Reaktion. So kann bei der Schwermetallentfernung z.B. argumentiert werden, dass jedes entfernte Gramm hilft, doch die Erwartungshaltung an ein Messgerät muss deutlich höher sein, da sonst kein sicherer quantitativer Nachweis erzielt werden kann. Konkret bedeutet das, dass die Reaktion sehr viel kontrollierter ablaufen muss und die Elektroden, die Messung von Volumen, Stromstärke, Stromspannung, Leitfähigkeit und pH-Wert präzise beachtet werden müssen, da besonders bei den geringen Metallkationen-Konzentrationen in Gewässern jede Störung der Messung und jede nicht beachtete Variable einen relevanten Einfluss auf das Ergebnis haben kann. Darüber hinaus stellt der fehlende Wasserfluss jedoch ein weiteres Problem dar. Dadurch, dass die Anode während der gesamten Reaktion in der Lösung sein muss, könnten sich edlere Ionen in einer Nebenreaktion direkt dort abscheiden. Ursprünglich wurde dies verhindert, da die Kathoden räumlich vor der Anode liegen sollten, und somit nur noch eine sehr geringe Konzentration edler Ionen dort vorherrscht. Daher muss die Anode im Messgerät besonders geschützt werden. Dies könnte man z.B. durch ein Diaphragma lösen, wodurch jedoch leichte Veränderungen der Ionenkonzentration der Testlösung in Kauf genommen werden müssten. Eine andere Möglichkeit wäre eine stärkere Polarisation dieser Elektrode. Wenn man die Anode stärker positiv polarisiert, als elektrische Energie durch den Elektronenaustausch mit den Ionen der Testlösung entsteht, so dürften sich keine Kationen abscheiden. Um dies zu erreichen, stellt sich die Verwendung des oberen Beckens als nützlich heraus. Dort könnte man beispielsweise das Elektrodenmaterial ändern. Setzt man dort edlere Elektroden in passender Lösung ein, so beeinflusst das die Elektrolyse aufgrund des Netzteils nicht, doch das galvanische Element erhält ein größeres Potential. Größer als das Potential, das beim Absetzen des edelsten Ions in der Lösung frei würde.

Generell haben wir den Grundaufbau gleich behalten, da dieser das differenzierbare Abscheiden verschiedener Ionen und die Nachverfolgung derer Konzentrationen garantieren soll.

2.1.4. Änderung des Aufbaus

In diesem Sinne muss auch der Aufbau und die Materialauswahl für die Abwandlung berücksichtigt werden. Beim vorigen Projekt wurde schnell deutlich, dass ein real einsetzbarer Prototyp groß, robust und wetterbeständig sein muss. In der Anwendung als Messgerät hingegen muss der Aufbau miniaturisiert werden, damit nicht zu große Mengen an Testlösung gebraucht werden müssen und eine gewisse Handlichkeit gegeben ist. Dadurch steigt allerdings der Einfluss von Messfehlern.

2.1.5. Änderung der Interpretation

Die Interpretation der Daten ist eigentlich nur für das hier vorgestellte Projekt relevant und muss daher komplett neu entwickelt werden. Generell, so die Hypothese, müsste die gemessene Stromstärke während der Elektrolyse Aufschluss über die abgeschiedene Menge an Ionen und somit über die ursprünglich vorhandenen Ionen geben. Dabei gilt:

$$n_{\text{Abgeschieden}} = n_0$$

$n_0 = \text{Stoffmenge der Ausgangskonzentration}$

Um diese Stoffmenge berechnen zu können, lässt sich eine Formel aus den Faraday-Gesetzen nutzen:

$$n = \frac{I \times t}{z \times F}$$

Dabei stellte sich jedoch recht schnell heraus, dass die Stromstärke während der Elektrolyse keinesfalls konstant bleibt. So sinkt diese konzentrationsabhängig. Unabhängig davon, in welchem mathematischen Verhältnis die Änderung zur Dauer der Elektrolyse stattfindet, lässt sich daraus ableiten, dass die Formel nicht verwendbar erscheint, da die Stromstärke nicht konstant bleibt. An dieser Stelle lässt sich die Formel jedoch etwas abändern. Im Zähler der Bruches ist der Term $I \times t$ enthalten, welcher an sich die weitere physikalische Größe der Ladungsmenge beschreibt:

$$I \times t = Q [C] \text{ oder } [As]$$

Um nun den Zusammenhang zwischen der Veränderung der Stromstärke über die Zeit herzustellen, kann man eine Integration verwenden. Dabei entspricht das Integral dieser Funktion der übertragenen Ladungsmenge.

$$\int_{f(x)=0}^0 I(x) dx = Q$$

Würde man die Integration und Ableitung dieses Grafen nach der Zeit betrachten, so ergibt sich bei der Y-Achse in der Ableitung I/t und bei der Integration $I \times t$. Stellt man sich diesen Teil der Formel also grafisch vor, so erzeugt man mit der Rechnung $I \times t$ ein Rechteck und mit dem Integral der Funktion den genauen Inhalt der Fläche.

Wenn die Stoffmenge durch diese Formel also berechnet wurde, kann direkt mit dem gemessenen Volumen der Testlösung die Konzentration über die Formel: $c = n/V$ berechnet werden. Natürlich wären zur Konzentrationsbestimmung auch andere Methoden möglich, wie etwa das Wiegen der Elektroden oder permanente Verfolgung der Reaktion mit einem Leitfähigkeitsmessgerät, diese sind aber deutlich ungenauer und auch im Aufbau schwieriger umsetzbar, da dazu weitere Geräte hinzugefügt werden müssten.

2.2. Verbesserungen

Auf Basis der Ergebnisse des letzten Projekts beschlossen wir, einen Langzeitversuch zu planen, um die tatsächliche Dauer einer Elektrolyse abschätzen zu können. Die Annahmen lassen sich zu diesem Zeitpunkt wie folgt zusammenfassen: Die Potentiale zur Abscheidung von Ionen an den Elektroden hängen hauptsächlich von den Standardpotentialen und der verminderten Überspannung durch die Verwendung der optimalen Elektrode ab. Bei konstanter Spannung sollte die Stromstärke mit der Zeit fallen. Die Genaue Art des Abfalls ist hierbei zunächst unbekannt. In einem ersten Vorversuch zur Arretierung der optimalen Parameter zeigte sich jedoch schon bei einer Laufzeit von 5 Minuten, dass die Stromstärke wie eine negative Exponentialfunktion abfällt. Es war also zu beobachten, dass der Abfall schon nach kurzer Zeit minimal wurde. Deshalb entschieden wir uns zunächst, keinen stundenlangen Versuch mit vorhersagbarer Entwicklung durchzuführen, sondern beschäftigten

uns mit der Frage, wie man den Abfall der Stromstärke beschleunigen könnte. Dazu kamen uns folgende Methoden in den Sinn:

2.2.1. Vergrößerung der Elektrodenoberfläche

Schon bei früheren Experimenten ließ sich beobachten, dass die Vergrößerung der Elektrodenoberfläche sowohl auf Kathoden, als auch auf Anodenseite eine deutliche Steigerung der initialen Stromstärke bewirkt. Im mathematischen Bild einer Exponentialfunktion würde das bedeuten, dass das Integral zur x-Achse der alten Funktion genauso groß wie das der neuen Funktion sein würde, mit der Veränderung, dass man mit deutlich größeren y-Werten beginnt. Somit sollte die Kurve schneller fallen.

Experimentell ließ sich bei der Verdopplung der Elektrodenoberfläche eine Steigerung der initialen Stromstärke um etwa 21 % erzielen.

2.2.2. Erhöhung der Temperatur

Ein weiterer Ansatzpunkt zur Modifikation der Kurve war die Erhöhung der Wahrscheinlichkeit für ein Aufeinandertreffen von Ion und Elektrode und dem schnelleren Entfernen von Ionen an der Anode. Jedoch ist die Steigerung der Temperatur logisch nur in einem gewissen Rahmen sinnvoll. Kocht die Lösung, so wird Wasser verdampft und die Volumenmessung und dadurch Konzentrationsmessung würden verfälscht. Außerdem könnte eine zu hohe Temperatur eventuell chemisch Einfluss auf die Relevanz der Standardpotentiale nehmen und stellt den Entwurf und die Materialwahl für den Prototypen vor neue Herausforderungen. Daher entschieden wir uns für eine Temperaturänderung von 20°C und konnten eine Steigerung der Initialstromstärke von 35% messen.

2.2.3. Bewegung

Ein weiterer wichtiger Punkt schien auch die elektrochemische Doppelschicht zu sein. Daher versetzten wir den Aufbau in einem Versuch mit einem Rührelement, um herauszufinden, ob diese einen Einfluss auf die Stromstärke hat. Dabei stellte sich heraus, dass die Zerstörung der Doppelschicht die initiale Stromstärke tatsächlich erhöht. Etabliert sich jedoch eine

Doppelschicht im Verlauf des Versuches und wird dann mechanisch beeinträchtigt, hatte dies manchmal zur Folge, dass die Stromstärke drastisch sank. Damit war die Rolle der elektrochemischen Doppelschicht paradox, da sie eigentlich genau wie die Temperatursteigerung positive Resultate bei der Stromstärke hervorrufen sollte.

2.3. Langzeitversuch

Nachdem diese Verbesserungen die Versuchsdauer bedeutend verkürzen sollten, entschieden wir uns dazu, im direkten Vergleich die vorher gewählten Einstellungen mit den optimierten Versuchsaufbau zu vergleichen.

Versuch mit alten Einstellungen:

2.3.1. Aufbau

Planung: Auf Basis unserer bisherigen Erkenntnisse ließen sich für diesen Versuch einige Vorhersagen treffen. Der kurze Vorversuch deutete schon durch die Entwicklung der Stromstärke einen extrem langen und langsamen Abfall der Stromstärke an, wodurch eine lange Laufzeit zu erwarten ist. Tatsächlich würde die Messung mit der dort gewählten Konzentration mehrere Wochen dauern. Eine realitätsbezogene Anpassung ist aber nicht unbedingt einfach, da die durchschnittliche Zinkionenkonzentration in wässrigen Lösungen etwa 5-10 ppb¹ beträgt. Dies entspricht in molarer Größe bei 10 ppb etwa: $1,53 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$. Da diese Konzentration nicht mit den uns vorliegenden Geräten realisierbar oder im Versuch messbar ist, mussten wir diese anpassen. Daher nutzten wir eine niedrige aber umsetzbare Konzentration von $5 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$. Eine absolut realistische Einschätzung der Dauer des Versuchs war dabei nicht unbedingt möglich, da der Verlauf der Entwicklung der Stromstärke zwar anhand des Vorversuchs abgeschätzt, aber nicht vorhergesagt werden kann, da der Verlauf stark von den oben aufgeführten Parametern abhängt. Dennoch sollte sich die Dauer des Versuches auf einige Stunden belaufen.

2.3.2. Messung

Die gewonnenen Daten zeigten dann folgendes Ergebnis:

¹ Vgl. LENNTECH water treatment solutions

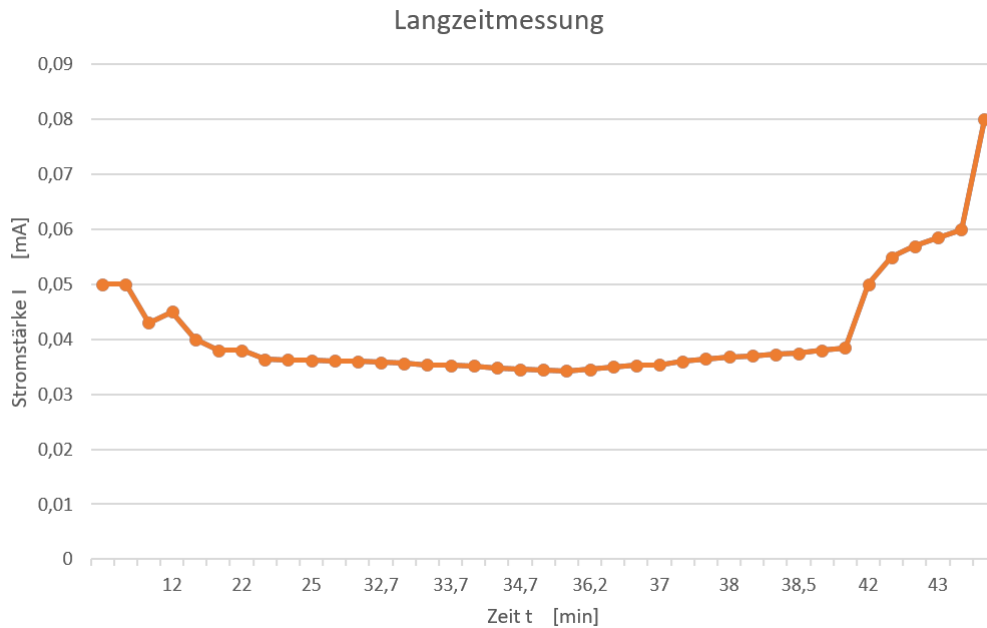


Abbildung 2: Langzeitversuch

Diese Daten zeigen eine deutliche Abweichung von den Erwartungen. Zunächst fällt die Stromstärke zwar deutlich langsamer als im Vorversuch, was aber vermutlich der deutlich geringeren Konzentration geschuldet ist. Auffällig ist jedoch der Anstieg nach etwa 36 Minuten. Dieser ist in dieser Darstellung zwar etwas diffus, konnte durch spätere Versuche jedoch in etwa als Anstieg mit Erreichen eines Maximums in Form einer quadratischen Funktion eingeordnet werden. Da die gemessenen Ergebnisse sehr stark von den Erwartungen abweichen, haben wir diesen Versuch nach 45 Minuten abgebrochen und mehrfach durchgeführt. Es zeigte sich, dass diese Entwicklung sehr gut reproduzierbar ist, jedoch sehr sensitiv auf mechanische Einflüsse reagiert. Schon eine sehr geringfügige Bewegung der Testapparatur zeigt dabei sprunghafte Rückgänge der Steigung der Stromstärke an. In einer zusammenfassenden Darstellung mit Störungen in regelmäßigen Abständen sieht dies wie folgt aus:

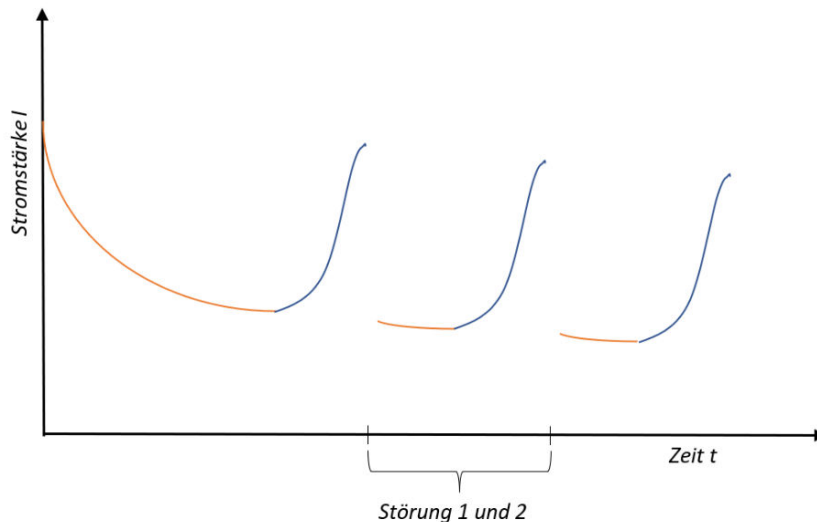


Abbildung 3: Störung der Elektrochemischen Doppelschicht

Es lässt sich also zusammenfassen: die Anstiege (in blau markiert) bleiben in etwa gleich, eine Störung sorgt für eine sehr abrupte Änderung der Stromstärke und bis diese wieder steigt, sinkt sie in etwa im Einklang mit dem zu erwartenden Muster.

2.3.3. Auswertung

Diese neuen Erkenntnisse sind nicht durch unsere bisherige Ausgangshypothese und das verwendete Prinzip erklärbar. Der Grund für das wiederholte Ansteigen der Stromstärke kann nicht durch das reine Absetzen von Zink-Ionen erklärt werden, da keines der untersuchten Parameter zur Steigerung der Stromstärke in dieser Messung eine Rolle spielt und es nach unserer Ausgangshypothese keinen Grund für dieses Verhalten gibt.

2.3.4. Neue Hypothese

Eine Erklärung für diese Ereignisse könnte in den Vorgängen der Elektrochemischen Doppelschicht liegen. Dem zu Folge gelangten wir zu einer neuen Hypothese. An der Elektrochemischen Doppelschicht liegen zu Beginn der Elektrolyse sowohl Zink als auch Magnesium-Ionen vor. Im Verlauf des Versuchs setzt sich aufgrund der Standardpotentiale zuerst Zink ab. Hierbei muss man allerdings beachten, dass das Potential von Zink konzentrationsabhängig ist. Dieser Zusammenhang wird über die Nernst-Gleichung beschrieben. Diese lautet:

$$E(\text{Red/Ox}) = E^0 + \frac{0,059V}{z} \times \lg\left(\frac{c(\text{Ox})}{c(\text{Red})}\right)$$

Da während der Elektrolyse zunächst nur Zink abgeschieden wird, verringert sich zwar die Gesamtkonzentration von Zink, aber vor allem den Anteil von Zink in der Elektrochemischen Doppelschicht nimmt ab. Dadurch befinden sich direkt an der Kathode schon nach kurzer Zeit kaum noch Zink-Ionen und das Potential direkt an der Elektrode sinkt, sodass sich Magnesium-Ionen absetzen. Diese Ionen liegen nun an der Elektrode in deutlich gesteigerter Konzentration vor und werden als nächstes Ion abgeschieden. Die Stromstärke steigt dabei vermutlich aus zwei Gründen. Zum einen sollte allein durch die höhere Konzentration der Magnesium-Ionen an der Elektrode ein vermehrtes Absetzen weiterer Magnesium-Ionen bewirken. Des Weiteren wird die Messkathode dadurch mit Magnesium galvanisiert, wodurch das Absetzen noch widerstandsärmer verläuft. Diese These setzt einige Grundannahmen voraus. Zunächst scheinen sich die Ionen nicht anhand ihres Standardpotentials, sondern anhand ihres konzentrationsabhängigen Potentials abzusetzen. Dabei setzt sich aber immer das Ion mit dem größeren Potential ab, da diese Reaktion thermodynamisch bevorzugt ist. Weiterhin ist dieser Übergang anscheinend fließend, wodurch die Schlussfolgerung gezogen werden kann, dass sich bei gleichem Potential vermutlich beide Ionen absetzen. Führt man diesen Gedanken weiter, so wird auch deutlich, dass der Zusammenhang zwischen Potentialveränderung und Konzentration ionenspezifisch ist und bei konstanter Konzentration auch das Potential konstant bleibt.

2.3.5. Bewertung der Ausgangshypothese

Anhand dieser Annahmen ist die Ausgangshypothese nicht korrekt. Die Ionen setzten sich nicht ausschließlich nach ihren Standardpotentialen ab, und eine klare Differenzierung der sich absetzenden Ionen nur anhand der Entwicklung der Stromstärke im Versuchsverlauf ist nicht möglich. Bei einer Messung vieler Ionen wird sich nicht wie vermutet die Stromstärke für jedes Ion stark abfallen und erst bei nahezu vollständiger Entfernung eines Ions wieder stark ansteigen, bis sich das nächst unedlere Ion abgesetzt hat. Vielmehr wird die Stromstärke so lange abfallen, bis das Potential des edelsten Ions das des nächst unedleren unterschreitet. Ab diesem Zeitpunkt werden sich beide Ionen absetzen, bis erneut ein Potential unterschritten wird und sich nun drei Ionen gleichzeitig absetzen. Dies lässt sich auch anhand des Terms der Nernst-Gleichung erkennen, da die Reduktion der Konzentration der vorliegenden Ionen

direkt mit dem Potential einer Abscheidung dieses Ions zusammenhängt. Wie die Konzentrationsänderung für eine entsprechende Potentialänderung aussehen muss, ist dabei jedoch von dem Standardpotential abhängig. Deshalb wird ein Prototyp, welcher auf der Ausgangshypothese aufbaut, keine verwertbaren Daten liefern und eine Messung mit diesem System kann weder qualitative noch quantitative Aussagen über die vorliegenden Ionen in einer Lösung treffen. Um die neue Hypothese noch stärker zu untermauern, planen wir ein Experiment mit kontinuierlicher Destruktion der Elektrochemischen Doppelschicht mittels eines Rührfisches. In diesem Versuch sollte die Stromstärke anhand der neuen Hypothese langsamer sinken, nach längerer Zeit allerdings erneut stark steigen. Dieser Verlauf kann durch die erhöhten Konzentrationen an einer intakten Elektrochemischen Doppelschicht durch die Coulomb-Kraft erklärt werden. Dies konnte bestätigt werden und zeigt, dass die Elektrochemische Doppelschicht eine Rolle spielt, die Vorgänge aber auch auf die gesamte Lösung übertragen werden können.

Betrachtung der früheren Versuche:

Diese Bewertung der Ausgangshypothese legt nahe, dass sich die nun beobachteten Vorgänge auch früher hätte zeigen können, zumal Marian Justen in seinem letzten Projekt diesbezüglich Versuche durchgeführt und Messdaten gesammelt hat. Bei diesen Messungen wurde allerdings aus Gründen der Nachvollziehbarkeit bei der Abscheidung in Lösungen mit zwei Metallen immer gleiche Konzentrationen gewählt, welche sich bei den Versuchsdauern von maximal 30 Minuten nicht so stark verändern konnten, damit andere Ionen abgeschieden werden. Dennoch würde deshalb auch sein Projekt des letzten Jahres in dieser Form nicht funktionieren.

2.4. Verwertung der neuen Hypothese

Dennoch lässt sich die neue Hypothese weiterverwenden. Die Grundidee besteht dabei darin, die Potentiale der Ionen zu kontern. Dabei würde das edelste Ion (in Abb. 4 blau dargestellt) zuerst abgeschieden, aber nicht wie bisher gegen Magnesium, sondern das nächst unedlere Ion getauscht. Dies ließe sich sehr eindeutig anhand der Stromstärke ableiten, da diese mit der Konzentration der edleren Ionen sinkt, bis sich das nächst unedlere Ion absetzt. Dann beginnt sie wieder zu steigen und bleibt konstant, da sich dann das selbe Ion 1:1 absetzt und freigesetzt wird. Der Zeitpunkt, bis sich nur ein Ion abgesetzt hat ist dabei der Tiefpunkt der entstehenden Funktion. Danach setzt sich nur noch das unedlere Ion (in Abb. 4 orange

dargestellt) ab, da sich das reale Potential dieses Ions nicht mehr ändert und das des edleren weiter sinken würde. Wechselt man nun erneut die Anode gegen die des nächst unedleren Ions (in Abb. 4 grün dargestellt), so setzen sich die ersten beiden Ionen ab, bis diese erneut unter das Potential dieses Ions fallen. Dies ist nach demselben Muster wie beim ersten Abfallen der Stromstärke erkennbar. Anhand dieser Entwicklung lassen sich nun die Konzentrationen der drei Ionen nachvollziehen.

1. Konzentration des edelsten Ions:

Die Anfangskonzentration des edelsten Ions lässt sich am einfachsten nachvollziehen. Sie lässt sich durch die Nernst-Gleichung bestimmen, wenn man zusätzlich zur Stromstärke zu Beginn das Potential der Lösung misst.

2. Konzentration des unedelsten Ions:

Für die Konzentration des unedelsten Ions lässt sich das Potential der Lösung am Ende der Messung nutzen. Durch dieses Potential kann man die Endkonzentration nachvollziehen. Die Ausgangskonzentration wird dabei durch die Differenz der Endkonzentration mit der während der durch die Elektrolyse entstandenen Konzentration bestimmt. Die durch die Elektrolyse entstandene Konzentration entspricht hierbei dem Integral der Funktion der Stromstärke ab dem zweiten Absinken bis zum zweiten Tiefpunkt.

3. Konzentration des mittleren Ions

Dieses Ion lässt sich äquivalent zum unedelsten Ion bestimmen. Eine Konzentration lässt sich aus dem Potential nach dem ersten Tiefpunkt berechnen. Diese setzt sich auch aus Ausgangskonzentration und der entstandenen Konzentration bestimmen. Diese wiederum lässt sich aus dem Integral des ersten Absinkens bestimmen.

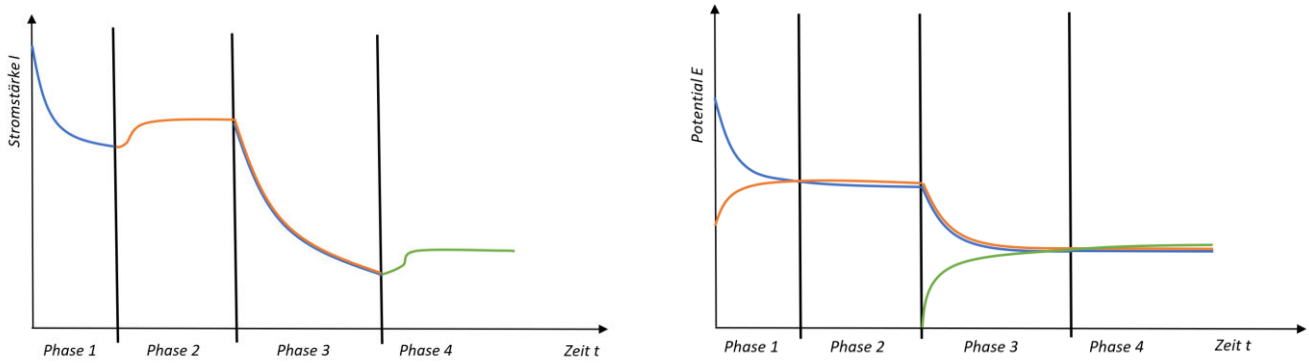
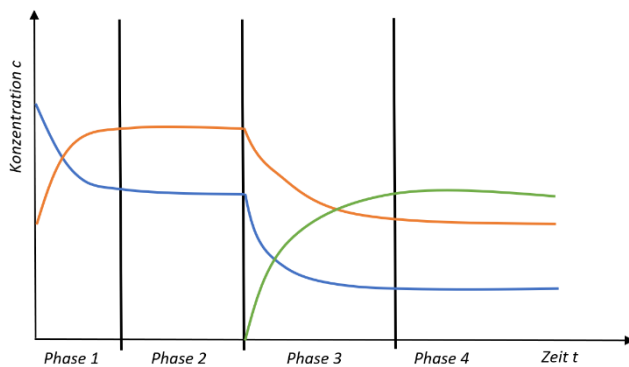


Abbildung 4: Entwicklung von Stromstärke, Potential und Konzentration



2.4.1. Zusammenfassung der zweiten Hypothese

Mit dieser Methode sollten sich also die Konzentration verschiedener Ionen bestimmen lassen. Die Anzahl der gemessenen Ionen sollte dabei irrelevant sein, allerdings muss vorher eine qualitative Analyse durchgeführt werden, da für die Potentialberechnung die Standardpotential und für die Datenverarbeitung die übertragene Elektronenanzahl bekannt sein muss. Generell sollte der Anwendungskontext dennoch realisierbar sein und ein Messgerät gebaut werden können.

3. Prototyp

Aus den eben erläuterten Gründen sind unsere Angaben zum Prototyp zunächst rein theoretisch. Das nun Folgende ist also nur eine Wiedergabe erster Ansätze und nicht unser endgültiges Ergebnis. Grundsätzlich werden wir für den Prototypen einen Arduino und einen in C++ geschriebenen Computercode nutzen, der verschiedene Anforderungen erfüllen muss. Zum einen benötigen wir zu Beginn des Codes eine Auswahlmöglichkeit, wo Angaben über die Anzahl und Qualität der Elemente gemacht werden können. Hierfür ist es wahrscheinlich am einfachsten, wenn wir Möglichkeiten anbieten, aus den ausgewählt werden kann. Bei der Anzahl der zu untersuchenden Metalle möchten wir uns zuerst auf die Auswahloptionen: 1 Metall, 2 Metalle, 3 Metalle beschränken. Bei der Qualität würde sich eine Tabelle eignen, die neben dem Namen des Elements auch das Standardpotential und die Anzahl der übertragenden Ionen beinhaltet, aus der ausgewählt werden kann.

Für den weiteren Verlauf des Codes werden wir voraussichtlich mit so genannten „if-Bedingungen“ arbeiten. Dabei könnte eine logische Abfolge im Code wie folgt aussehen:

„Wenn ein Element ausgewählt wurde, dann miss die Spannung und setze die Messergebnisse, sowie die elementspezifischen Daten zum Standardpotential und der Anzahl der übertragenden Ionen in die Nernst-Gleichung ein. Berechne anschließend die Konzentration des Elements und speichere die Ergebnisse.“

Wenn zwei Elemente ausgewählt werden, wird das erste Element wie eben beschrieben berechnet. Dem zu Folge werden wir wahrscheinlich einfach eine Kopie des vorangegangenen Codes einfügen und erweitern. Nach der Konzentrationsbestimmung des ersten Elements, wird die Stromstärke während der Elektrolyse gemessen und der Tiefpunkt bestimmt. Hierfür bietet es sich an 10 Werte zu messen, den Mittelwert zu bestimmen und mit dem Mittelwert der nächsten 10 Werte zu vergleichen, ist dieser niedriger, so wird der zweite Mittelwert zum neuen Vergleichswert, ist er positiv so wird der erste Wert verwendet und in die Gleichung zur Konzentrationsbestimmung eingesetzt. Anschließend wird erneut das Potential berechnet und anhand der Ergebnisse die Konzentration bestimmt. Dieses Ergebnis wird ebenfalls gespeichert.

Wenn drei Elemente ausgewählt werden, ähnelt der Code dem für zwei Elemente, nur das der zweite Teil wiederholt wird und somit die Konzentration des dritten Elements bestimmt wird. Zusätzlich muss das Ergebnis visualisierbar und vom Nutzer abrufbar sein. Des Weiteren benötigen wir eine zeitliche Steuerung des Messungen, damit dem Nutzer genug Zeit bleibt die Elektroden manuell zu wechseln.

Der Prototyp selber muss so konstruiert sein, dass die eben erläuterten Faktoren: Elektrodenoberfläche, Temperatur und Bewegung möglichst optimal sind um die Dauer der Messungen zu verkürzen.

4. Verzeichnisse:

4.1 Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Ursprünglicher Aufbau	2
Abbildung 2: Langzeitversuch.....	8
Abbildung 3: Störung der Elektrochemischen Doppelschicht.....	9
Abbildung 4: Entwicklung von Stromstärke, Potential und Konzentration	13

4.2 Quellenverzeichnis

1. <https://www.lenntech.de/pse/wasser/zink/zink-und-wasser.htm>

zuletzt aufgerufen am: 10.01.

2. PAUL GIETZ, PETER NELLE, DR. CARSTEN PENZ, PROF. DR. WERNER SCHIERLE, MICHAEL STERNBERG
in: „elemente chemie, Oberstufe, Gesamtband“
2015 veröffentlicht im Ernst Klett Verlag

(generelle Informationen)

3. CHARLES E. MORTIMER, ULRICH MÜLLER ET. AL
in : Das Basiswissen der Chemie
8. Auflage

(generelle Informationen)