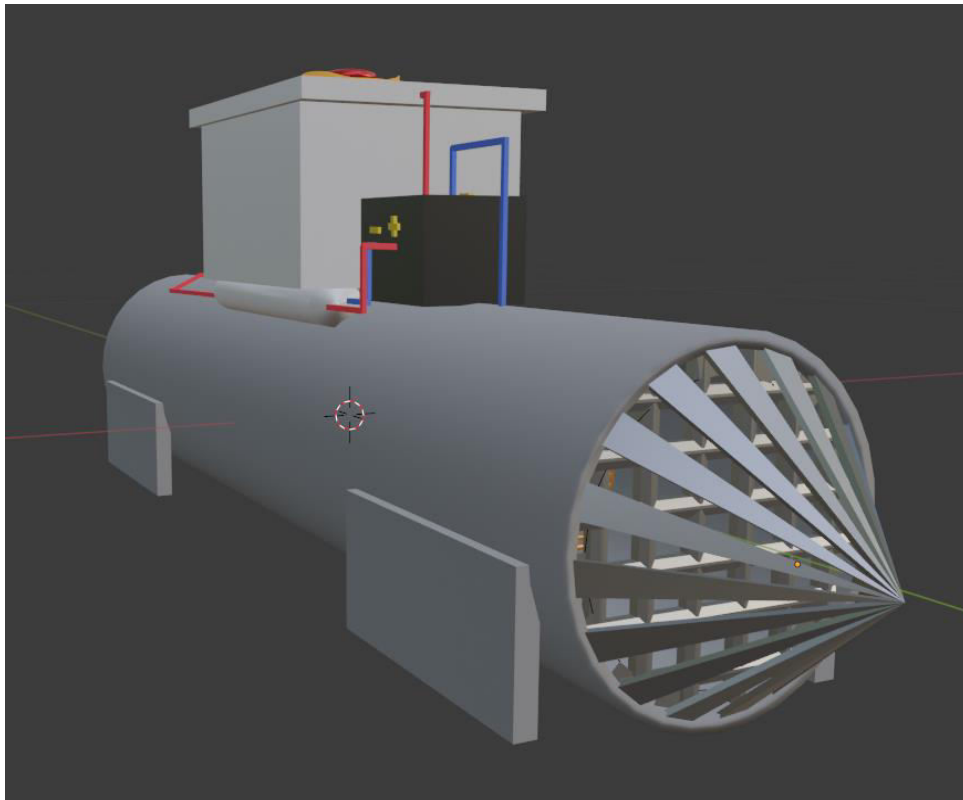

Das elektrolytische Wasserreinigungssystem mit unpolarisierbaren Elektroden



Bad Münstereifel

Projektteilnehmer: Marian-Jonas Justen (13.07.2004)

Projektbetreuer: Daniel Mertens

Inhalt

1. Kurzfassung.....	1
1.1 Einleitung	1
2. Ausarbeitung Teil 1	2
2.1 Die erste Idee.....	2
2.2 Das Prinzip	2
2.3 Der erste Entwurf	3
2.4 Erste Messungen	4
2.5 Erste Berechnungen.....	7
3. Ausarbeitung Teil 2	8
3.1 Die weiterführende Idee	8
3.2 Der erste Prototyp.....	9
3.2.1 Theoretische Ausarbeitung.....	9
3.2.2 Praktische Ausarbeitung.....	10
3.3 Stehende und fließende Gewässer	12
3.4 Berechnung des zweiten Entwurfs	13
4. Ergebnisse	15
4.1 Ausblick	15
4.2 Innovationen.....	15
5. Verzeichnisse	16
5.1 Abbildungsverzeichnis	16
5.2 Quellenverzeichnis	16

1. Kurzfassung

Bei dem elektrolytischen Wasserreinigungssystem mit unpolarisierbaren Elektroden geht es darum, dass durch eine spezielle Form der Elektrolyse Metall-Kationen aus Fließgewässern entfernt werden können. Bei einer herkömmlichen Elektrolyse müsste dafür eine Überspannung überwunden werden und Fremd-Ionen könnten sich abscheiden. Dies kann jedoch bei der hier angewendeten Elektrolyse mit unpolarisierbaren Elektroden umgangen werden. Dadurch kann in sehr niedrigen Spannungsbereichen gearbeitet werden und die Metall-Kationen können spezifisch an der Elektrode abgeschieden werden. Daher könnte im Anwendungsbereich der Fließgewässerreinigung einer Apparatur speziell für ein Metall-Kation designt werden, wobei eine Verunreinigung durch andere Ionen nahezu ausgeschlossen werden kann.

1.1 Einleitung

Bei der Flutkatastrophe im Sommer 2021 wurde vieles zerstört und vieles verunreinigt. Weite Teile der Eifel waren davon betroffen und spüren die Auswirkungen noch heute. Besonders besorgniserregend ist dabei die Verschmutzung des Bach- und Flusswassers. Darunter leidet nicht nur die Natur, sondern auch der Mensch, da in vielen Häusern Flusswasser eingedrungen ist. Auch unsere Schule war davon betroffen und viele Schüler und Lehrer mussten ihre Eigenheime verlassen. In diesem Zusammenhang wollten Herr Mertens und ich ein wenig helfen und analysierten die Hauptprobleme bei der Wasserverschmutzung in der Flutkatastrophe. Dabei fiel besonders die chemische Industrie auf, da bei der Zerstörung von Produktions- und Lagerstätten große Mengen toxischer Materialien in den Wasserkreislauf gelangen können. Zwar sind solche Firmen oft sehr gut geschützt und halten alle gesetzlichen Vorgaben ein, doch kann es, wie bei der Flutkatastrophe zu sehen war, zu Unfällen kommen. Auch in Bad Münstereifel gab es dieses Problem. Nach unserer Recherche tragen besonders Schwermetall-Kationen zur erheblichen Senkung der Wasserqualität bei, weswegen wir eine Lösung für dieses Problem suchten. Dabei wollten wir möglichst nachhaltige und erneuerbare Lösungsansätze suchen und diese auch nachhaltig umsetzen.

2. Ausarbeitung Teil 1

2.1 Die erste Idee

Generell wollten wir mit einer Elektrolyse arbeiten. Dies ergibt Sinn, da durch Elektrolyse Schwermetall-Kationen einfach elementar abgeschieden werden können und z.B. kein Sondermüll in Form von Schwermetall-Chelaten entsteht. Zudem entsteht ein festes Endprodukt und der Prozess der Elektrolyse ist recht eingängig und gut erforscht. Dennoch besteht das Problem, dass sich alle verfügbaren Metall-Kationen an der verwendeten Elektrode abscheiden würden, wenn das Potential es erlaubt. Dies kann nachteilhaft sein, da oft nicht alle Ionen entnommen werden sollen. Zum Beispiel sind Magnesium-, Natrium- und Calcium-Kationen für den menschlichen Körper und das Ökosystem wichtig und es wäre nachteilig diese abzuscheiden. Außerdem würde dadurch das Ökosystem erneut beeinflusst. Zudem würde die Elektrolyse vermutlich deutlich länger dauern und die Elektroden wären nach dem Vorgang stark verunreinigt und könnten somit nicht direkt weiterverwendet werden.

2.2 Das Prinzip

Um das zu verhindern versuchten wir eine andere Lösung zu finden. Dabei sind wir aufgrund einer Randnotiz in unserem Chemiebuch auf eine Möglichkeit gestoßen, eine Elektrolyse ohne Überspannung zu betreiben¹. Dabei müssen beide Elektroden aus demselben Material sein und die Elektrolyt-Lösung auf beiden Seiten muss dazu passen². Das bedeutet, dass z.B. beide Elektroden aus Kupfer bestehen und die Elektrolyse in einer Lösung mit Kupfer-Kationen stattfinden muss. Nach weiterer Recherche fand ich heraus, dass man dieses Prinzip „Elektrolyse mit unpolarisierbaren Elektroden“ nennen kann³. Dabei entsteht keine nahezu exponentielle Stromstärke- Spannungskurve, sondern eine lineare Funktion bildet sich, die nahezu dem Ursprung entspringt. Dadurch kann eine Elektrolyse in sehr niedrigen Spannungsbereichen durchgeführt werden, obwohl normalerweise die Überspannung noch nicht überschritten wäre (**siehe Abbildung 1**). Dabei hängt die Überspannung bei einer herkömmlichen Elektrolyse von vielen Faktoren ab und kann deshalb nur geschätzt werden. Jedoch könnten, nach unserer Vermutung, im Anwendungskontext spezielle Ionen aus dem

¹ Vgl. Paul Gietz et al., elemente chemie, 2015, Seite 243, Abb. B4

² Vgl. LD DIDACTIC, Seite 4, kein Datum

³ Vgl. Tomas Decher, Universität Marburg, 20.06.02, Seite 3-6

Wasser entnommen werden. Man müsste im dargestellten Spannungsbereich unterhalb der Überspannungsgrenze arbeiten und könnte die Ionen spezifisch an einer Elektrode abscheiden, ohne dass dabei andere Ionen abgeschieden werden. Um andere Ionen abzuscheiden, müsste man nur die Elektroden ändern. Dies ist im Anwendungskontext sehr hilfreich, da sich die verwendeten Geräte schnell umbauen lassen.

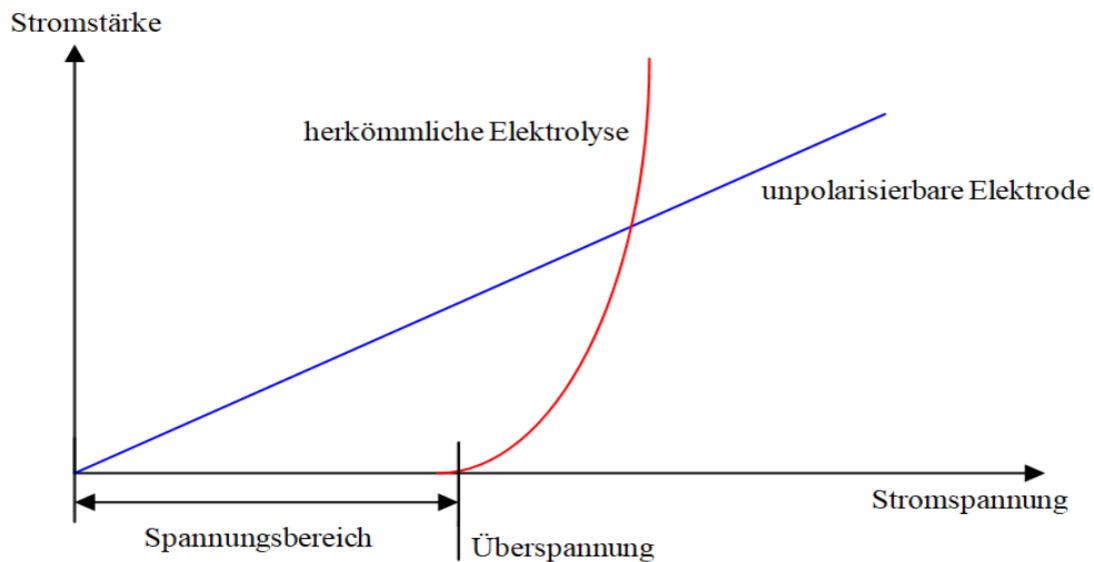


ABBILDUNG 1: STROMSPANNUNGS-STÄRKE DIAGRAMM FÜR DEN VERGLEICH ZWISCHEN UNPOLARISIERBARER UND HERKÖMMLICHER ELEKTROLYSE

2.3 Der erste Entwurf

Durch diese Erkenntnis konnten wir mit der Ausarbeitung eines ersten Konzepts beginnen. Das größte Problem besteht jedoch darin, dass zwar durch die Elektrolyse mit unpolarisierbaren Elektroden speziell nur ein Ion an der Kathode abgeschieden wird, an der Anode jedoch dieselbe Menge der gleichen Ionen abgegeben wird. Daher bestand die Überlegung, dass die Anode nicht im Fließgewässer, sondern in einem anderen Becken hängen sollte. Dann besteht jedoch das Problem, dass die Konzentration von positiv geladenen Ionen im Gewässer immer weiter abnimmt und die Konzentration im separaten Becken immer weiter zunimmt. Um das zu verhindern, überlegte ich mir ein weiteres galvanisches Element hinzuzufügen. Dabei wird eine zweite Elektrode aus dem Material der unpolarisierbaren Elektroden in das Becken gehangen und mit einer unedleren Elektrode,

deren Ionen ungefährlich sind, im Fließgewässer leitend verbunden. Im Grunde genommen handelt es sich hierbei um einen Ionentauscher. Dabei werden im Verhältnis 1:1 umweltschädliche Ionen gegen nicht umweltschädliche Ionen im Fließgewässer ausgetauscht. Bei unseren Überlegungen und späteren Versuchen haben wir uns generell auf Kupferelektroden und Kupfer-(II)-Ionen spezialisiert, da die Ionen dieses Metalls in der Realität häufig zur Wasserverschmutzung beitragen und hochtoxisch für sämtliche aquatischen Lebensformen sind, jedoch für uns bei den Experimenten ungefährlich sind. Bei der unedlen Anode entschieden wir uns für Magnesium, da Magnesium-(II)-Ionen in der Natur häufig vorkommen und eine erhöhte Konzentration dieser Ionen nicht zur Gefährdung eines Ökosystems beiträgt. **Abbildung 2** stellt den Aufbau des ersten Entwurfs dar.

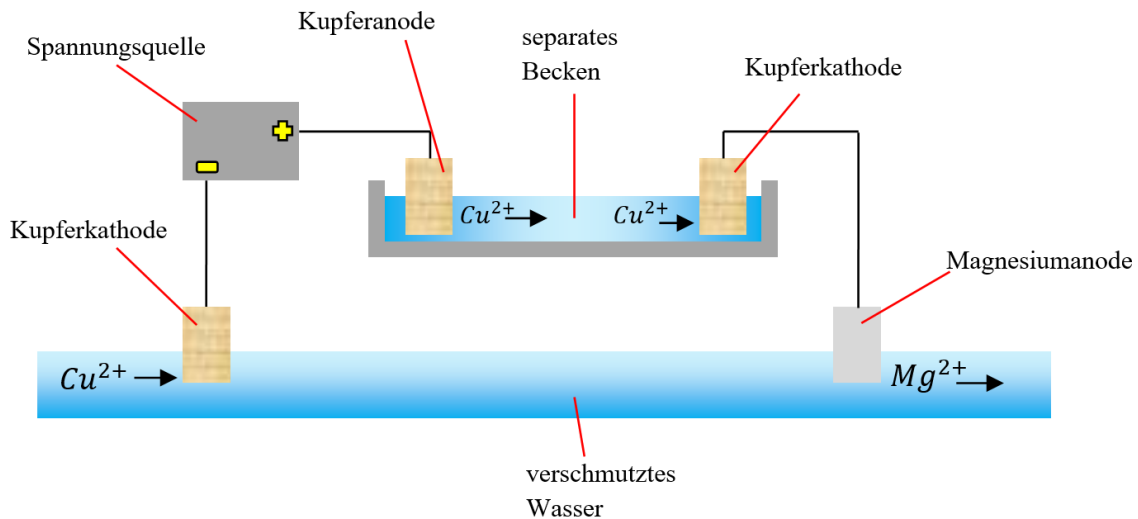


ABBILDUNG 2: ERSTER ENTWURF

2.4 Erste Messungen

Da wir nur wenige Quellen zur Elektrolyse mit unpolarisierbaren Elektroden fanden, entschieden wir uns zunächst dazu das System auf Korrektheit zu überprüfen. Dazu führten wir verschiedene Versuche mit verschiedenen Konzentrationen von Lösungen mit Kupferkationen durch. Dabei fanden wir heraus, dass das System funktioniert und der Versuch reproduzierbar ist. Der Versuchsaufbau ist hierbei in **Abbildung 3** dargestellt. Bei den Messungen mit dem Ampèremeter und dem Voltmeter konnten wir nahezu eine Gerade erkennen, die, wie zu erwarten war, schon unterhalb der Überspannung von Kupfer einsetzt

(siehe **Abbildung 4**). Bei manchen Versuchen war jedoch keine genaue Gerade für größere Spannungen erkennbar. Dies ist meiner Meinung nach durch die Versuchsdurchführung erklärbar, da wir die Spannung kontinuierlich erhöht haben und sich dabei die Konzentrationen der Lösungen verändert haben. Je länger der Versuch läuft, desto geringer wird die Ionenkonzentration der Lösung an der Kathode und desto größer wird sie an der Anode. Dadurch entsteht ein Konzentrationselement und dies könnte die Stromstärke gehemmt haben. Dennoch sind die betroffenen Spannungsbereiche sowieso bei unserem Projekt irrelevant und uns genügten die sehr zufriedenstellenden Ergebnisse im niedrigen Spannungsbereich. In **Abbildung 4** sind Ergebnisse eines schnell durchgeführten Versuches dargestellt, weswegen dieser Sachverhalt nicht erkennbar ist. Als Punkte sind hier die gemessenen Werte eingetragen und die Gerade stellt eine Trendlinie dar, wobei das Bestimmtheitsmaß durch R^2 dargestellt wird. Der Idealwert würde 1 annehmen, wenn die Messwerte genau der Trendlinie entsprächen.

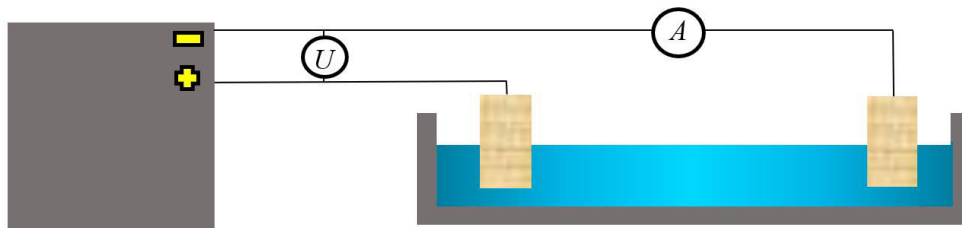


ABBILDUNG 3: ERSTER VERSUCHSAUFBAU: UNPOLARISIERBARE ELEKTROLYSE MIT KUPFERELEKTRODEN UND KUPFERSULFAT-LÖSUNG

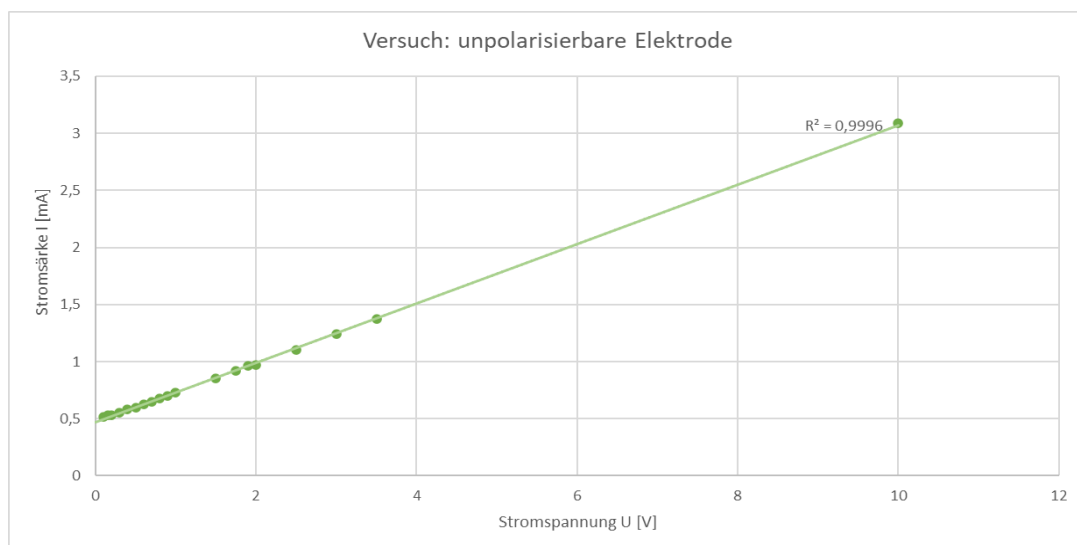


ABBILDUNG 4: MESSUNG ZUR UNPOLARISIERBAREN ELEKTRODE

Als Auswertung kann also festgehalten werden, dass unsere Messwerte sehr genau eine lineare Funktion darstellen und somit für spätere Berechnungen als richtig und valide betrachtet werden können.

In den nächsten Versuchen haben wir uns auf Messungen mit dem in **Abbildung 2** dargestellten Aufbau konzentriert. Dennoch musste dieser für die Versuche leicht abgewandelt werden. Wie in **Abbildung 5** dargestellt, wird dabei das Fließgewässer dadurch simuliert, dass ein Gefäß mit Kupferlösung und ein Gefäß mit Leitungswasser mit einer Salzbrücke verbunden werden. Die Kupferlösung stellt dabei das noch unsaubere Wasser im vorderen Teil der Apparatur und das Leitungswasser stellt das einigermaßen saubere Wasser im hinteren Teil der Apparatur dar. Das soll verhindern, dass die Kupferionen direkt an der Magnesiumelektrode reduzieren. Dieser Sachverhalt wird später noch erläutert. Bei dem Versuch konnte beobachtet werden, dass die Elektrolyse genau die Gerade ausbildet, die in den vorherigen Versuchen schon aufgezeichnet werden konnte. Auch das Abflachen der Gerade entsteht hier und kann durch die oben angeführte These begründet werden. Die Stromstärke des galvanischen Elements passt sich dabei an die Stromstärke der Elektrolyse an und die elektrische Spannung beträgt etwa $2,76\text{ V}$.

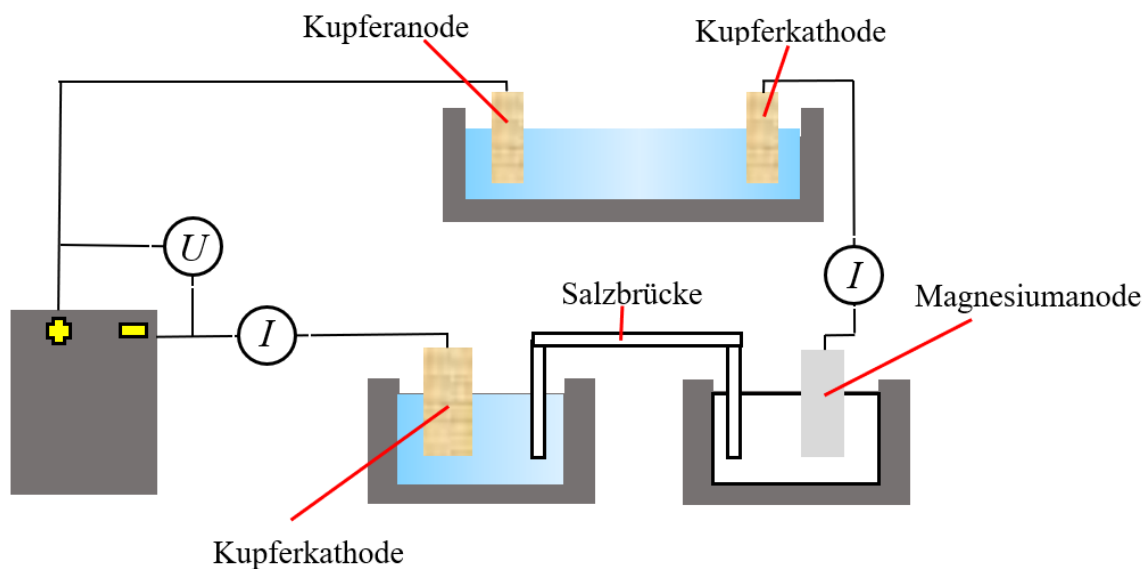


ABBILDUNG 5: ZWEITER VERSUCHSAUFBAU

2.5 Erste Berechnungen

Um diese Werte zu überprüfen, haben wir dazu passende Berechnungen durchgeführt. Die Lösung die hier stellvertretend das verschmutzte Wasser repräsentiert, hat eine Konzentration von $c_1(\text{Cu}^{2+}) = 0,01 \text{ mol/L}$ und das obere Becken hat ebenfalls eine Konzentration von $c_2(\text{Cu}^{2+}) = 0,01 \text{ mol/L}$. Die Konzentration der Magnesium-Kationen lässt sich nur abschätzen, da das Leitungswasser in Bad Münstereifel einen sehr weichen Härtegrad von ca. 4 grad deutscher Härte hat⁴ und somit schätzungsweise Konzentration von ca. $c(\text{Mg}^{2+}) = 0,0003566 \text{ mol/L}$ besitzt. Leider konnten wir dies aufgrund von fehlenden Materialien nicht genauer bestimmen, da jedoch die Messung der Stromstärken erfolgreich war, ist bekannt, dass sowohl bei der Elektrolyse als auch beim galvanischen Element die selbe Stromstärke herrscht. Dadurch ist bekannt, dass die Konzentration des separaten Beckens konstant beim Ausgangswert bleibt. Denn die Formel zur Berechnung der Masse der Produkte lautet:

$$m = \frac{I \cdot t \cdot M}{z \cdot F}$$

Der Wert der molaren Masse M ist bei beiden Elementen gleich, da es sich bei beiden um Cu^{2+} -Ionen handelt. Somit bleibt auch die Anzahl der übertragenen Elektronen z gleich. Da F , die Faraday-Konstante, eine Konstante ist und wie gemessen auch die Stromstärke I auf beiden Seiten gleich groß war, verbleibt nur noch die Zeit t . Die Zeit ist selbstverständlich auch beim galvanischen Element und der Elektrolyse gleich, da beide nur parallel laufen können, da der Stromkreis geschlossen sein muss. Somit wird deutlich, dass dieselbe Menge Ionen aus dem Becken entnommen und hinzugefügt wird und somit die Konzentration konstant bleibt. Somit sind alle Unbekannten für die weitere Berechnung vorhanden. Bei dem galvanischen Element handelt es sich um ein Konzentrationselement. Zur Berechnung müssen erst die Potentiale der beiden Halbzellen berechnet werden. Die Formel dazu lautet:

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

Die erste Halbzelle beinhaltet die Kathode und eine Lösung mit Kupferionen. Das Standardpotential von Kupfer ist ein Tabellenwert und lautet: $E^0(\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}) = 0,34 \text{ V}$ und die Konzentration der Lösung beträgt $c(\text{Cu}^{2+}) = 0,01 \text{ mol/L}$. Somit lautet die Formel:

⁴ Vgl. Wasserhärte Stadt Bad Münstereifel, Seite 1, kein Datum

$$E(\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}) = 0,34\text{V} + \frac{0,059\text{V}}{2} \cdot \lg\left(\frac{0,01 \text{ mol/L}}{1 \text{ mol/L}}\right) = 0,281\text{V}$$

Bei der anderen Halbzelle beträgt das Standardpotential: $E^0 = -2,38\text{V}$ und die Konzentration $c(\text{Mg}^{2+}) = 0,0003566 \text{ mol/L}$. Das Potential der Halbzelle beträgt somit ca. $-2,482\text{V}$. Die Differenz beträgt also $2,763\text{V}$ und stellt die Potentialdifferenz des galvanischen Elements dar. Zumindest gilt der Wert zu Beginn des Versuchs, da die Konzentration der Magnesium-Kationen im Verlauf des Versuchs zunimmt. Im Fließgewässer stellt dies jedoch kein Problem dar, da die Magnesium-Kationen durch das Wasser abtransportiert werden.

3. Ausarbeitung Teil 2

3.1 Die weiterführende Idee

Aufgrund dieser Erkenntnisse kam ich auf die Idee die ganze Apparatur energetisch günstiger zu gestalten. Die errechnete elektrische Spannung erschien mir sehr groß bzw. groß genug, um diese zu nutzen. Denn ich fragte mich, ob man mit der Spannung aus dem galvanischen Element die Elektrolyse betreiben könnte. Nach längerem Nachdenken erschien mir dies auch möglich, da im Grunde genommen Kupferionen reduziert werden und Magnesium oxidiert. Da Magnesium deutlich unedler ist, könnte es meiner Meinung nach möglich sein. Dennoch war ich mir unsicher, ob die Rechnung mit Spannungsquelle im Umkehrschluss gelten kann. Deshalb vertagte ich den Gedanken zunächst. In **Abbildung 6** ist der dazu passende Plan zu sehen.

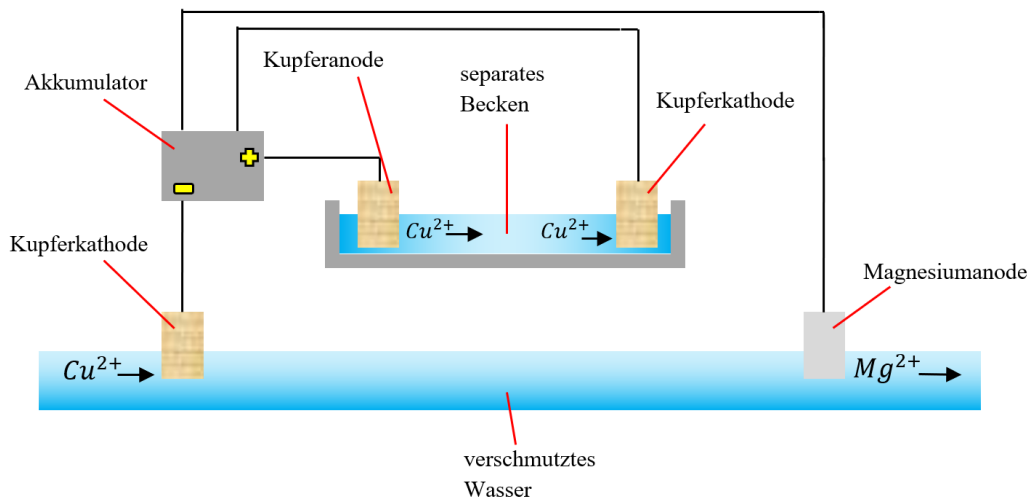


ABBILDUNG 6: ERWEITERTER ENTWURF

3.2 Der erste Prototyp

3.2.1 Theoretische Ausarbeitung

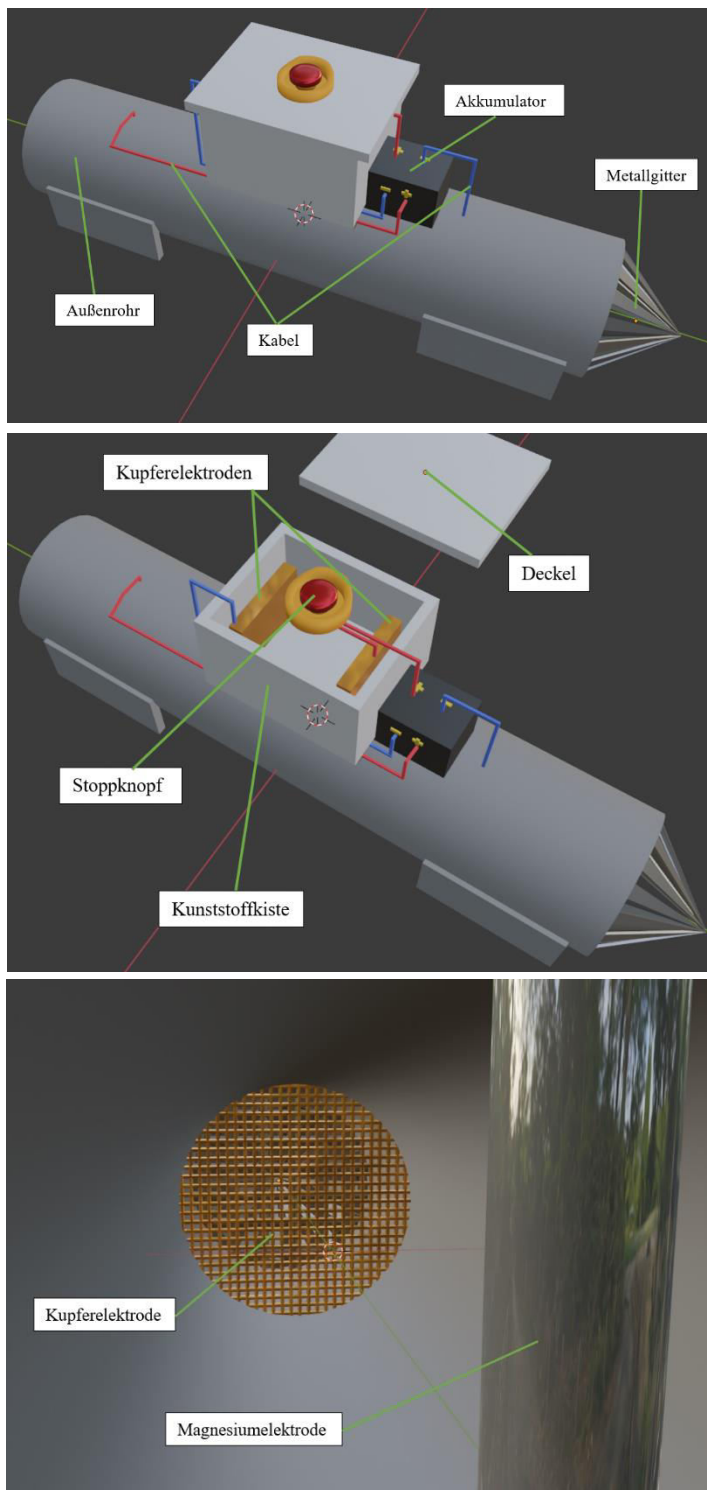


ABBILDUNG 7: 3D-MODELL DES ERSTEN PROTOTYPEN

solle, um stabil aber funktional zu sein ohne eine gewisse demonstrative Wirkung zu

Zunächst entschieden wir uns dazu, einen Prototypen nach dem System des ersten Entwurfes zu bauen, da unsere Datenlage und experimentellen Erkenntnisse zum ersten Prototypen gut geeignet schienen. Da zwischen den beiden Entwürfen keine allzu großen Unterschiede herrschen wäre es aber möglich, einen gebauten Prototypen noch umzubauen.

Als Leitmotiv für unser Projekt hatten wir schon zu Beginn besonders die Nachhaltigkeit auserkoren und wollten deshalb den ersten Prototyp als Upcycling-Projekt umsetzen. Wir begannen also damit, uns die ersten Bestandteile zusammensuchen und fanden in den Überresten der Flutkatastrophe ein Regenfallrohr mit einem Innendurchmesser von ca. 10 cm.

Uns erschien dieses Rohr gut geeignet, um es als Außenhülle zu nutzen. Auf Grundlage dessen machte ich mir generell Gedanken, wie der Prototyp aufgebaut werden

verlieren. Dazu entschied ich mich mit dem 3D-Modell- und Animationsprogramm „Blender“ zu arbeiten. Dieses Programm ist meiner Meinung nach gut für unsere Umsetzung geeignet, da maßstabsgetreue 3D-Modelle, Animationen und Dateien für 3D-Drucker entworfen werden können. Im Verlauf einiger Tage entwarf ich damit das Endprodukt, welches in den Bildern in **Abbildung 7** dargestellt ist. Wie auf dem ersten Bild zu sehen ist, wollten wir das Becken in einer Kunststoffkiste bauen. Darin befinden sich, wie im zweiten Bild zu sehen ist, die beiden recht massiven Kupferelektroden.

Da sich die eine Elektrode abbaut und die andere wächst, wäre es eigentlich sinnvoll die eine Elektrode groß und massiv zu bauen und die andere klein und zierlich.

Jedoch bestand sofort der Plan durch nur eine kleine Veränderung im Schaltplan die Elektroden quasi tauschbar zu machen und somit die frühere Kathode des galvanischen Elements zur jetzigen Anode der Elektrolyse wird und umgekehrt. Somit müssen die Elektroden nie getauscht werden.

Die Kabel sind hier farbig dargestellt. Dabei sind die Kabel, die bei einer Kathode beginnen, hier blau und die Kabel, die bei einer Anode beginnen rot dargestellt. Das Metallgitter ist hier in konischer Form bzw. Kegelform gearbeitet, damit Stöcke, Laub und Fische bestmöglich abgehalten werden. Die Kunststoffkiste ist mit einem Kunststoffdeckel verschlossen und darauf befindet sich ein Stoppknopf als Notausschalter.

Auf dem letzten Bild ist die Innenansicht von hinten dargestellt. Dabei ist rechts im Bild die Magnesiumelektrode und im Hintergrund ist die Kupferelektrode und das kegelförmige Schutznetz zu sehen. Dabei haben wir uns überlegt die Kupferelektrode in Gitterform umzusetzen, um die Oberfläche stark zu vergrößern. Das ist bei der Magnesiumelektrode eigentlich nicht notwendig, da sich diese nur abbaut und einfach nur regelmäßig ersetzt werden muss. Dies muss auch bei der Kupferelektrode gemacht werden, da sich das Gitter mit der Zeit zusetzen wird. Das Verhältnis zwischen der Größe der Löcher im Netz und der richtigen Oberfläche muss dabei noch herausgefunden werden. Mithilfe dieses Plans konnten wir mit der weiteren Bearbeitung des Prototypen beginnen.

3.2.2 Praktische Ausarbeitung

Zunächst überlegten wir uns, wie groß der Prototyp werden soll. Dazu entschieden wir uns das Rohr auf 50 cm Länge zu kürzen, damit der Prototyp praktikabel bleibt und eventuell

unter Laborbedingungen noch Tests unterzogen werden kann. Ferner haben wir nach weiteren Materialien gesucht. Dazu fanden wir ein enges Metallnetz. Nach genauerem Untersuchen fanden wir heraus, dass kein Rost zu sehen ist und das Metall bedingt säurebeständig ist, so dass es sich um ein Edelstahlnetz handelt. Jedoch würden wir ein Kupfernetz benötigen, wenn das System funktionieren soll. Deshalb überlegten wir uns das Netz mit Kupfer zu galvanisieren. In **Abbildung 8** sind Bilder davon zu sehen, wie wir das Netz als Kathode mit einer Anode aus Kupferblech in einer Lösung mit Kupfer(II)Kationen in einer Elektrolyse galvanisierten. Um die Kupferschicht gleichmäßiger zu machen, verwendeten wir auch noch ein Handgalvanisierungsgerät. Nach der Galvanisierung war ein gleichmäßiges, vollständig verkupfertes Metallnetz das Resultat. Nun stellte sich die Frage, wie diese Elektrode eingebaut werden sollte. Wir wollten die Elektrode austauschbar machen, damit wir eventuell weitere Netze mit anderen Metallen galvanisiert als Elektrode einsetzen können. Dazu haben wir einen Schnitt an der Stelle, wo die Elektrode sein soll durch die Hälfte des Rohres geschnitten und mithilfe eines anderen Teils des Rohres einen Steckmechanismus für die Elektrode eingebaut. Somit ist es möglich die Elektroden zu tauschen.

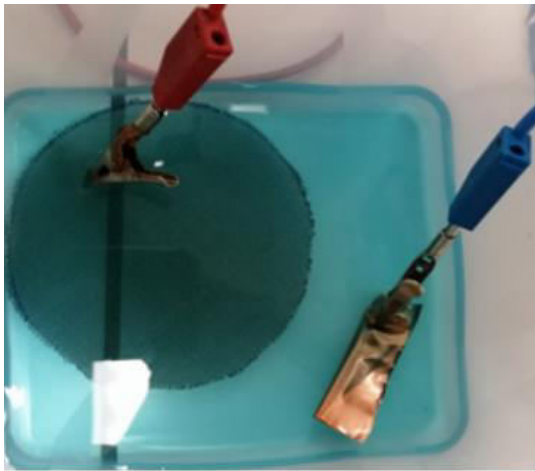


ABBILDUNG 8: GALVANISIERUNG

Als wir diesen Teil des Prototypen vollendet hatten, widmeten wir uns der Magnesiumelektrode. Dazu stand uns eine alte Opferanode zur Verfügung. Diese war stark mit Kalk verschmutzt, weswegen wir ein kleines Stück heraussägten und in der Flamme eines Bunsenbrenners anzündeten. Dabei zeigte sich eine gleißend helle Flamme wodurch wir uns sicher waren, dass es sich um Magnesium handeln muss. Im Anschluss sägte ich deshalb ein größeres

Stück heraus und wir schraubten es an der richtigen Stelle fest. Somit musste nur noch das Becken gestaltet werden. Dazu fanden wir im Flutmüll eine passende Kunststoffschale mit Deckel und entschieden uns dazu diese, wie im 3D-Modell, auf dem Rohr zu montieren. Als Kupferelektroden im Becken bedienten wir uns erneut am Kupferblech. Den Kegel wollen wir aus einer Keksdose und einem alten Stahlnetz bis zum Vortrag fertigstellen. In **Abbildung 9** ist der fertige Prototyp dargestellt.

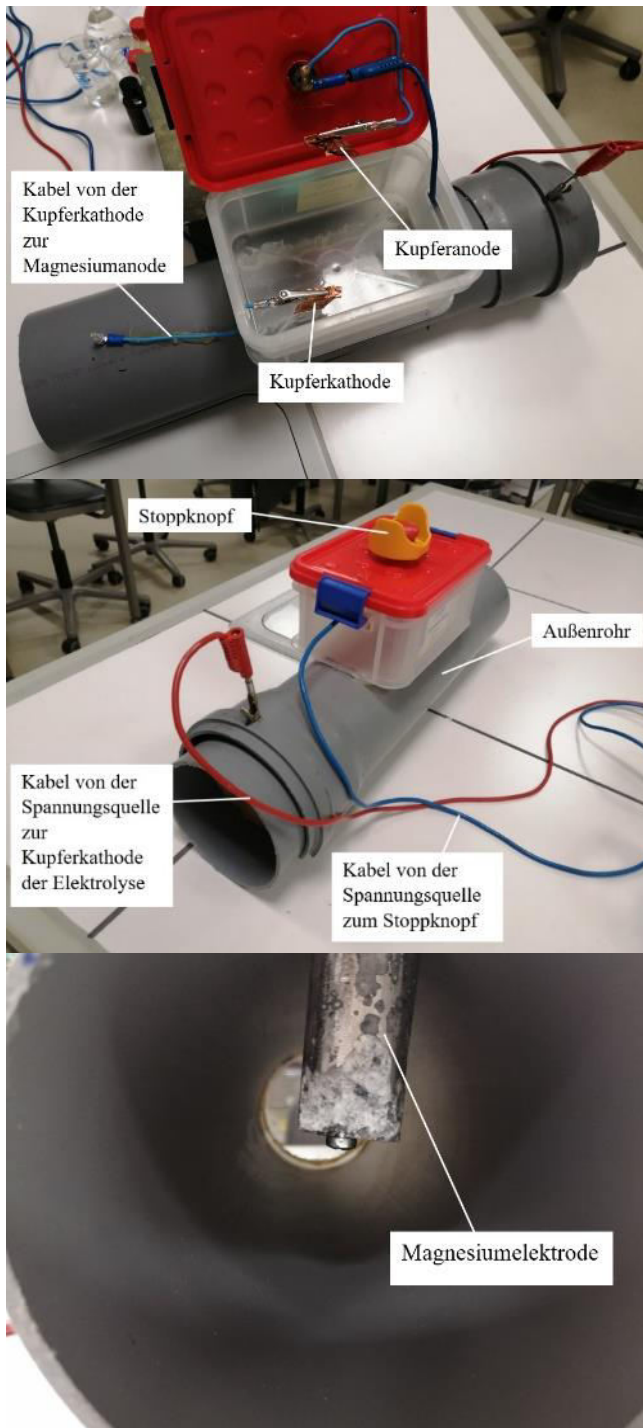


ABBILDUNG 9: FERTIGER PROTOTYP

Uns wurde schon in der Planung klar, dass wir, aufgrund des sehr großen Innendurchmessers des Rohres, keine guten Tests unter Laborbedingungen durchführen können. Es müsste ein sehr großer Aufwand betrieben werden, um den Durchfluss durch ein so dickes Rohr im Labor aufrecht zu erhalten.

Deshalb entschieden wir uns dazu auch einen kleinen Prototypen zu bauen. Da nicht genug Zeit blieb, konnten wir uns nur mit der Theorie beschäftigen. Dabei hatte ich die Idee, den zweiten Prototypen in einer 60 ml Spritze zu bauen. Und das mit dem Ziel, durch weitere Anschlüsse von mit Ionenlösung gefüllten Spritzen, die Lösung durchzudrücken und somit den Strom eines Fließgewässers zu simulieren. Dennoch ist dieser Prototyp noch in der Planungsphase und kann hoffentlich bis zum Wettbewerb fertiggestellt werden.

3.3 Stehende und fließende Gewässer

Von Beginn an hatten wir primär das Ziel, das System nur auf Fließgewässer anzuwenden. Der Grund dazu ist die Magnesiumelektrode. Magnesium ist sehr unedel und kommt deshalb normalerweise nicht als Element, sondern als Ion in Gewässern vor. Der Grund dafür ist, dass fast jedes andere Metall durch Magnesium reduziert und dieses oxidiert wird. Wenn also die Magnesiumelektrode im Wasser hängt, würden sich alle edleren Ionen daran anlagern. Eine Möglichkeit dies zu

umgehen liegt darin das System nur in Fließgewässern anzuwenden und dabei die Magnesiumelektrode in Fließrichtung hinter der Kathode anzubringen. Dabei wird die Konzentration der Ionen eines edleren Metalls als Magnesium deutlich verringert, bevor die Ionen die Magnesiumelektrode treffen. Dennoch fragten wir uns, ob sich überhaupt Ionen an der Magnesiumelektrode abscheiden können, da es sich dabei um die Anode handelt. Die Anode ist in dem Fall positiv geladen und würde Kationen abweisen.

Anionen könnten jedoch an der Elektrode oxidieren. Dies könnte auch noch durch die Spannung des galvanischen Elements verstärkt werden. Jedoch könnte dies noch reduziert werden, indem weitere Elektroden aus einem Nichtmetall, die separat betrieben werden, um den Magnesiumstab angebracht werden. Dadurch würden fast alle Ionen von der Magnesiumelektrode weggezogen werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Stromspannung der umgebenden Elektroden unterhalb der Überspannung des verwendeten Materials liegt. Dadurch würden die Ionen dort nur polarisiert aber trotzdem vom Magnesium weggezogen. Im Endeffekt sollte es also genauso möglich sein das System auf stehende Gewässer anzuwenden. Tatsächlich könnte dies vorteilhaft sein, da ein Problem bei Fließgewässern dadurch entsteht, dass durch die Durchflussgeschwindigkeit zu wenige toxische Ionen abgeschieden werden könnten. In stehenden Gewässern wäre dies mehr oder weniger unproblematisch, da die Durchflussgeschwindigkeit deutlich geringer ist. Jedoch ergibt es trotzdem Sinn sich bei der Ausarbeitung hauptsächlich auf Fließgewässer zu fokussieren, da die Verschmutzung des Wasserkreislaufs somit früher gestoppt werden kann. Darüber hinaus ist es nur eine Frage der Elektrodenoberfläche, ob die Menge an abgeschiedenen Ionen reichen, um die Wasserqualität merklich zu verbessern.

3.4 Berechnung des zweiten Entwurfs

Dennoch ließ mich der Gedanke nicht los das System wie beim erweiterten Entwurf in **Abbildung 6** auszuführen. Dadurch könnte die Apparatur selbstständig und ohne Akkumulator betrieben werden. Da, wie in der Flutkatastrophe zu sehen war, Stromausfälle ein Teil der Katastrophe sind, wäre es natürlich besser, wenn keine Akkumulatoren aufgeladen werden müssen. Außerdem könnten somit auch mögliche Fehlerquellen beseitigt werden. Da jedoch zu wenig Zeit für einen solchen Versuch geblieben war, wollte ich rechnerisch überprüfen ob dies machbar wäre. Im Grunde genommen ist durch die oben dargestellte Rechnung bekannt, wie groß die elektrische Spannung bei dem galvanischen

Element zwischen der Kupfer- und Magnesiumhalbzelle ist. Diese beträgt $2,763\text{ V}$. Die Stromstärke konnten wir ebenso wie die Potentialdifferenz in einem separaten Experiment bestimmen. Somit beträgt diese $0,41\text{ mA}$. Mit diesem Wissen ist bekannt, welche Masse von Kupfer an der Kathode des galvanischen Elements abgeschieden wird. Damit die Konzentration der Kupfer-Kationen im oberen Becken konstant bleibt, muss dieselbe Masse in der gleichen Zeit in die Lösung des Beckens gegeben werden. Bei Betrachtung der Formel: $m = \frac{I \cdot t \cdot M}{z \cdot F}$ wird deutlich, dass die molare Masse, die Anzahl der übertragenen Elektronen, die Faraday-Konstante und die Zeit wieder bei galvanischen Element und Elektrolyse gleich groß sind. Nur die Stromstärke ist bei beiden möglicherweise unterschiedlich. Bei der Elektrolyse ist zu beachten, dass die Überspannung nicht überschritten werden darf. Diese haben wir nach weiterer Recherche in unserem Chemiebuch unter den gegebenen Umständen auf $ca. 0,5\text{ V}$ geschätzt. Da die Stromspannung des galvanischen Elements $ca. 2,763\text{ V}$ beträgt, können in einer Reihenschaltung mehrere Elektrolyseeinheiten gleichzeitig betrieben werden. Bis zu fünf Elektrolysen mit einer Spannung von $ca. 0,5\text{ V}$ können somit allein mit der Energie eines galvanischen Elements gleichzeitig betrieben werden. Um herauszufinden, ob diese Anzahl ausreicht oder überhaupt ausgeschöpft werden muss, wird auch die Stromstärke der Elektrolyse betrachtet. Die Stromstärke bei $ca. 0,5\text{ V}$ in der Elektrolyse kann durch die oben dargestellte Grafik beschrieben werden. Dabei ergibt sich eine Stromstärke von $ca. 0,6\text{ mA}$. Es zeigt sich also, dass die Stromstärke des galvanischen Elements geringer ist, als die Stromstärke der Elektrolyse. Das bedeutet, dass die Konzentration der Kupfer(II)Ionen im oberen Becken insgesamt steigt. Da die Konzentration dort jedoch konstant bleiben sollte, damit kein zu großer Konzentrationsunterschied zwischen dem Becken und dem Gewässer entsteht, müssen mehr galvanische Elemente als Elektrolysen eingebaut werden, oder man würde die elektrische Spannung verringern. Das wäre aber kontraproduktiv, da dadurch die Masse der abgeschiedenen Ionen verringert wird. Deshalb sollten $ca. 1,5$ mal mehr galvanische Elemente als Elektrolysen verbaut werden. Der kleinste gemeinsame Nenner wäre hier im Beispiel $ca. 1,8\text{ mA}$. Dabei würden zwei Elektrolysen und drei galvanische Elemente verbaut. Bei den galvanischen Elementen entstehen dabei etwa $8,289\text{ V}$. Die Elektrolysen benötigen in einer Reihenschaltung dabei 1 V . Somit bleibt eine Potentialdifferenz von $7,289\text{ V}$ übrig. Dies ist sehr vorteilhaft, da in Katastrophengebieten häufig der Strom ausfällt und eventuell mit unserem Projekt Akkumulatoren, Lampen und andere Dinge aufgeladen werden könnten. Außerdem können dadurch Schwankungen der Magnesium(II)Kationen-Konzentration im Gewässer ausgeglichen werden.

4. Ergebnisse

Bis hier hin kann also verzeichnet werden, dass wir bei unserem Projekt mit einem belegten und durch Versuche bestätigten System arbeiten. Mit diesem System konnten wir schon einen Plan zur Umsetzung des Projekts erstellen und mit passenden Experimenten erfolgreiche Tests unter Laborbedingungen durchführen. Außerdem besteht eine durchdachte und berechnete mögliche Weiterentwicklung, um noch energieeffizienter zu arbeiten. Darüber hinaus haben wir einen ersten Prototyp fertiggestellt und arbeiten derzeit an einem zweiten, um damit unsere Test fortzuführen und können das System vermutlich auch auf stehende Gewässer übertragen.

4.1 Ausblick

Langfristig und kurzfristig können viele weitere Ziele gesteckt werden. Kurzfristig steht vor allem die Ausarbeitung des zweiten Prototypen und Messungen mit diesem im Vordergrund. Damit können wir möglicherweise unsere Pläne optimieren, um mittelfristige Ziele zu realisieren. Denn wenn die Tests positiv verlaufen, können wir mit dem Bau eines dritten Prototypen beginnen. Eines Prototypen, mit dem wir draußen Tests durchführen können. Langfristig besteht das Ziel eventuell mit einem dauerhaft betriebenen Prototypen in Flutgebieten zu helfen. Dieses Ziel ist vermutlich noch in weiter Ferne aber es zeigt, wo der Weg in der Zukunft möglicherweise hingehen könnte. Dennoch ist bei all den Plänen der Realismus das oberste Gebot und noch können wir uns nur mit den aktuellen Ergebnissen befassen.

4.2 Innovationen

Neben dem aktuellen Kontext der Gewässerreinigung und den aufgezeigten Zielen in diesem Kontext, wären auch noch weitere Möglichkeiten zur Anwendung des ausgearbeiteten Systems möglich. Denn die Verschmutzung durch Schwermetallionen stellt in vielen Bereichen ein Problem dar. Neben Gewässern ist auch häufig der Boden betroffen, da der Wasserkreislauf mit dem Erdreich verbunden ist. Dadurch können erhebliche Auswirkungen auf das Bodenleben entstehen. Ein anderer Anwendungskontext wäre der medizinische Sektor. Viele Menschen leiden unter Schwermetallvergiftungen und eine Möglichkeit Vergiftungen entgegenzuwirken, ist die so genannte Blutwäsche. Möglicherweise könnte durch das ausgearbeitete System diese Blutwäsche erweitert werden.

5. Verzeichnisse

5.1 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: STROMSPANNUNGS-STÄRKE DIAGRAMM FÜR DEN VERGLEICH ZWISCHEN UNPOLARISIERBARER UND HERKÖMMLICHER ELEKTROLYSE.....	3
ABBILDUNG 2: ERSTER ENTWURF	4
ABBILDUNG 3: ERSTER VERSUCHSAUFBAU: UNPOLARISIERBARE ELEKTROLYSE MIT KUPFERELEKTRODEN UND KUPFERSULFAT-LÖSUNG	5
ABBILDUNG 4: MESSUNG ZUR UNPOLARISIERBAREN ELEKTRODE.....	5
ABBILDUNG 5: ZWEITER VERSUCHSAUFBAU.....	6
ABBILDUNG 6: ERWEITERTER ENTWURF	8
ABBILDUNG 7: 3D-MODELL DES ERSTEN PROTOTYPEN	9
ABBILDUNG 8: GALVANISIERUNG	11
ABBILDUNG 9: FERTIGER PROTOTYP	12

5.2 Quellenverzeichnis

1. PAUL GIETZ, PETER NELLE, DR. CARSTEN PENZ, PROF. DR. WERNER SCHIERLE, MICHAEL STERNBERG

in: „elemente chemie, Oberstufe, Gesamtband“

2015 veröffentlicht im Ernst Klett Verlag

2. https://www.ld-didactic.de/documents/de-DE/EXP/C/C4/C4451a_d.pdf

Zuletzt aufgerufen am: 10.1.2022

3: https://www.chids.de/dachs/expvotr/659Elektrolyse_Decher_Scan.pdf

Zuletzt aufgerufen am: 10.01.2022

4: https://www.bad-muenstereifel.de/fileadmin/user_upload/formulare/Wasserhaerte_Stadt_Bad_Muenstereifel.pdf

Zuletzt aufgerufen am: 10.01.2022