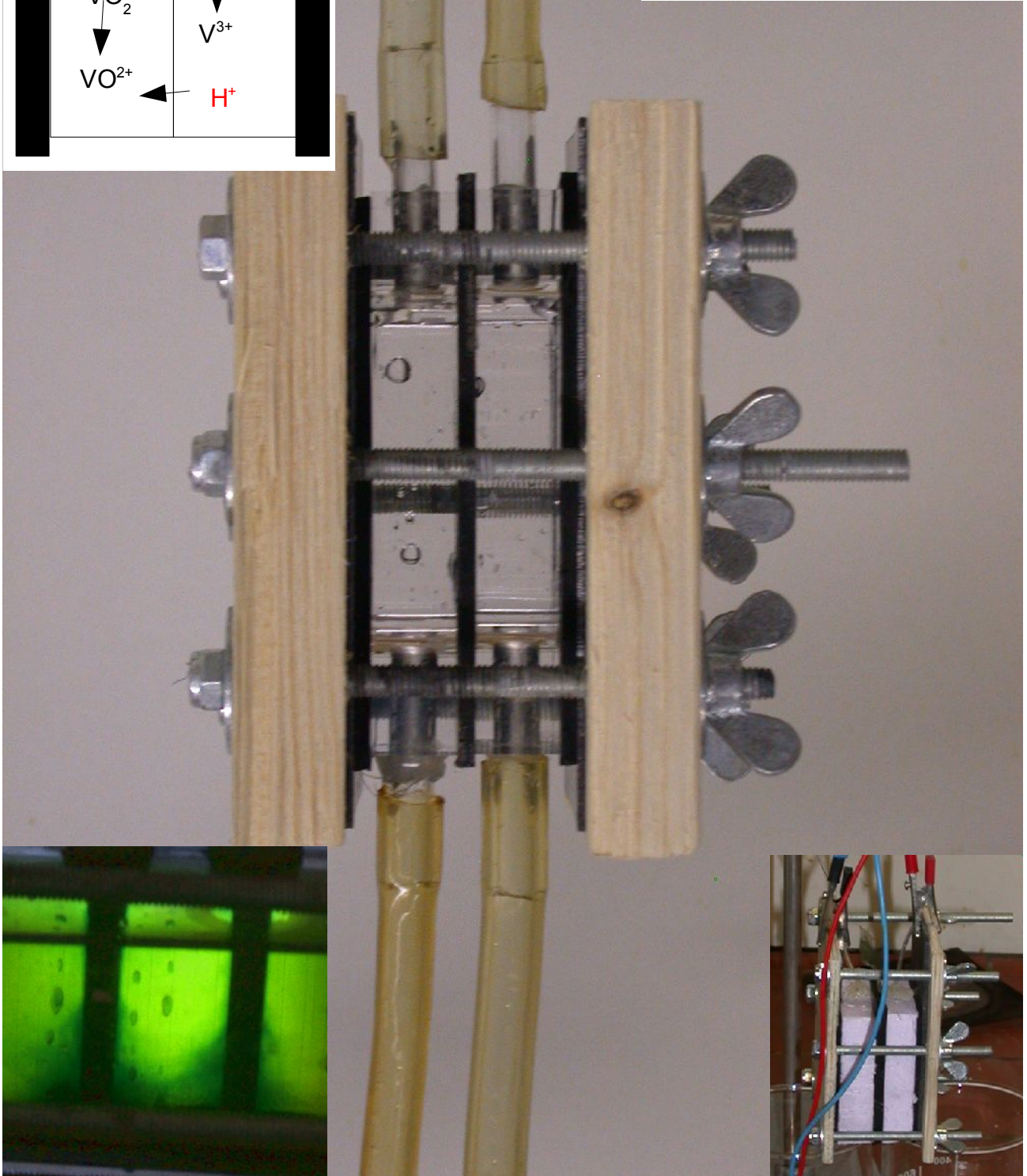
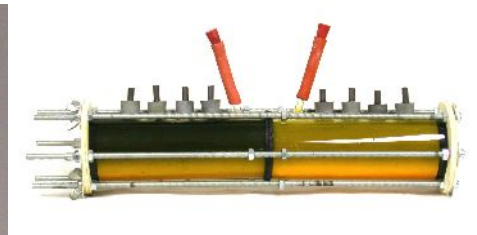
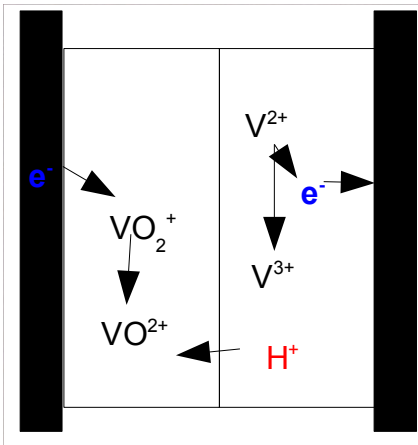


Die Redox-Flow-Zelle



eine Jugend-forscht-Arbeit

von Sebastian Klick

Inhalt

1. Kurzfassung.....	3
2. Die Schule als Kraftwerk.....	4
3. Zielsetzung meiner Jugend-forscht-Arbeit.....	5
4. Funktionsweise einer Redox-Flow-Zelle.....	6
5. Sicherheit.....	7
6. Meine der Weg zur Redox-Flow-Zelle.....	7
6.1 Erste Pläne.....	7
6.2 Meine ersten Redox-Flow-Zellen.....	8
6.3 Die Durchflusszelle.....	11
7. Ausblick.....	13
8. Danksagung.....	13
9. Linkliste.....	14

1. Kurzfassung

In meiner Jugend-forscht-Arbeit beschäftige ich mich mit Redox-Flow-Zellen. Diese außergewöhnlichen Energiespeicher können große Energiemengen bei geringer Selbstentladung und langer Lebensdauer sehr preisgünstig speichern. Sie sind also nahezu perfekt für die Speicherung von regenerativ erzeugter Energie und bisher nicht genutzten Überkapazitäten.

Ich beschloss eine solche Zelle zu bauen. Dies war allerdings nicht einfach, da mir an der Schule nur sehr begrenzte Mittel zur Verfügung standen. Zunächst baute ich eine Zelle aus zwei Saftflaschen. Bei dieser Zelle war die Elektrodenfläche allerdings zu klein, sodass ich nur eine kleine Spannung und einen kleinen Strom messen konnte. Aus den Fehlern dieser Zelle habe ich gelernt und eine verbesserte Zelle gebaut. Diese konnte ich allerdings nur laden, wenn ich sie immer schüttelte. Dann begann ich Zellen zu bauen, die von den Elektrolyten durchflossen werden. Nachdem ich die Schwerkraft als Pumpe für meine Zelle einsetzte, konnte ich auch eine konstante Spannung messen. Bis zu meiner aktuellen Zelle, die für ihre Größe eine gute Leistung lieferte, war es also ein langer Weg. Bis zum Wettbewerb werde ich die Leistung meiner Zelle noch verbessern.

2. Die Schule als Kraftwerk

Da ich schon immer für Umweltschutz und Energiesparen gewesen bin (vgl. meine Schüex-Arbeit 2007 „Die CO₂-freie Heizung“), war ich sofort dabei, als ich mitbekam, dass unsere Schule an einem Energiesparwettbewerb teilnehmen wollte. Die Grundidee war, umweltfreundlich erzeugte Energie in möglichst großem Maße in der Schule zu nutzen. Bei umweltfreundlich erzeugter Energie besteht allerdings das Problem, dass sie oft dann zur Verfügung steht, wenn sie nicht gebraucht wird (Sonne in den Sommerferien, Wind in der Nacht). Also waren innovative Ideen gefragt. Mein Vorschlag eine Redox-Flow-Zelle für die Schule zu bauen, wurde begeistert aufgenommen. In der anschließenden Diskussion wurden viele Ideen entwickelt, welche Arten von elektrischer Energie man in einer solchen Zelle speichern könnte. Neben Sonnen- und Windenergie kann natürlich auch preiswerter Nachtstrom gespeichert werden. Die verrückteste Idee war jedoch: die Schüler könnten selbst Energie erzeugen und so dem allgemein beklagten Bewegungsmangel

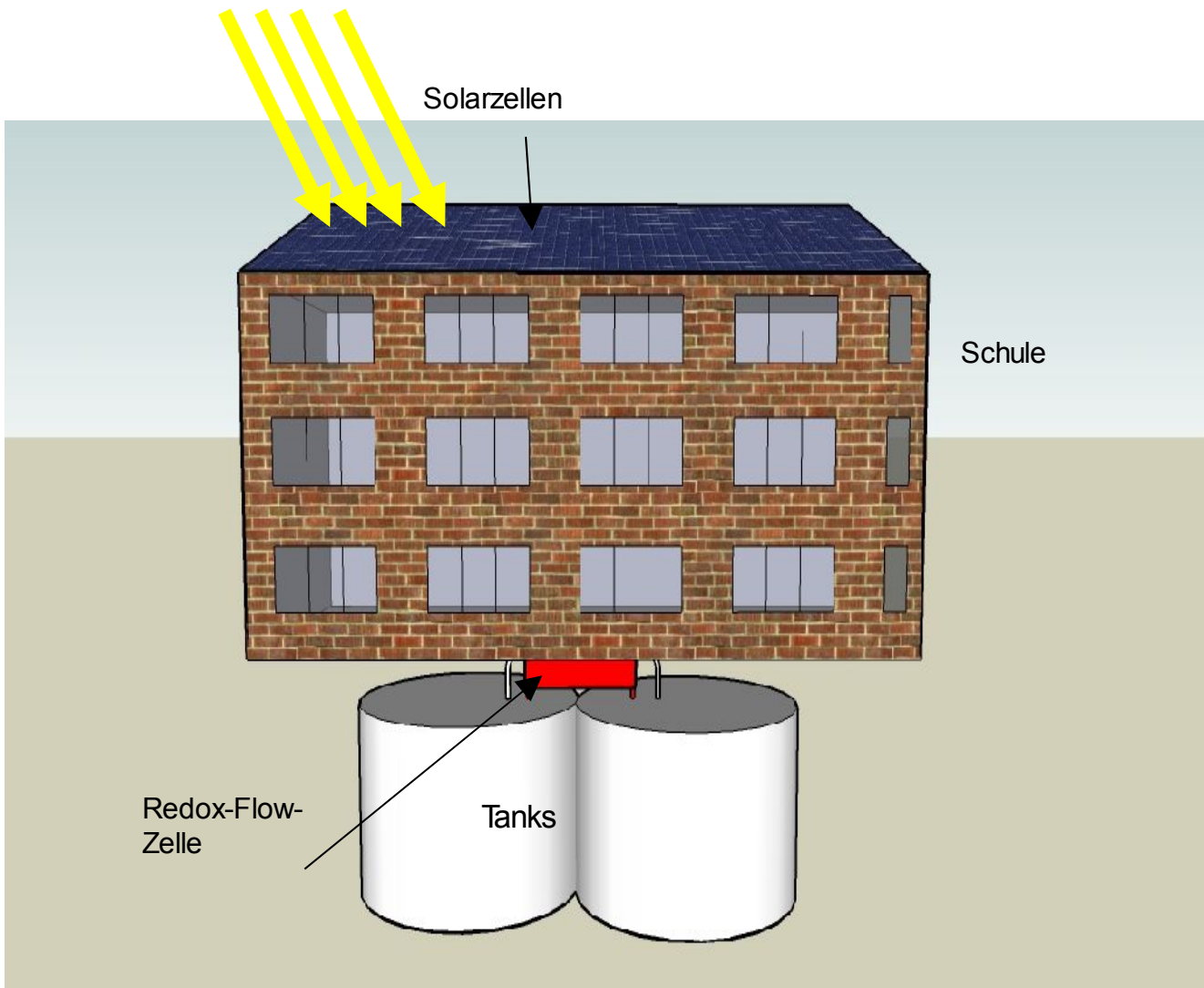


Abb.2.1 : die Sonne liefert Energie für die Redox-Flow-Zelle im Schulkeller oder in externen Tanks

der Jugendlichen entgegenwirken. Tretkurbeln an den Schulbänken, Heimtrainer mit Generatoren, Preise für die Klassen, die die meiste Energie erzeugen, ... wurden in dem einsetzenden Brainstormingprozess vorgeschlagen. Damit stand die Überschrift für unser Projekt: Die Schule als Kraftwerk.

Mir fiel die Aufgabe zu, eine funktionsfähige Redox-Flow-Batterie zu entwickeln.

Eine Redox-Flow-Zelle hat eine hohe Lebensdauer. Sie kennt keine Selbstentladung und keinen Memory-Effekt. Die Kapazität einer Redox-Flow-Zelle wird durch die Größe der Tanks und die Menge der Elektrolytflüssigkeit festgelegt. Diese Materialien sind einfach aufgebaut und preiswert. Des Weiteren lassen sich Redox-Flow-Zellen flexibel an die Anforderungen der jeweiligen Schule anpassen. Außerdem würde eine zügige Umsetzung in vielen Schulen als nachhaltiges Konjunkturprogramm wirken, da die Tanks, Pumpen, Solarzellen und die Installation der Anlage durch Handwerker bzw. Firmen aus der Region hergestellt werden können.

Also war klar, ich baue eine Redox-Flow-Zelle für dieses Projekt.

3. Zielsetzung meiner Jugend-forscht-Arbeit

Das Projekt „Schule als Kraftwerk“ ist nicht die Zielsetzung dieser Jugend-forscht-Arbeit.

Das Ziel meiner Jugend-forscht-Arbeit ist es, eine funktionsfähige Redox-Flow-Zelle für dieses Projekt zu entwickeln.

Zunächst musste ich mich in die Theorie der Redox-Flow-Zelle einarbeiten. Ihre Funktionsweise erläutere ich im Kapitel 4. Beim Bau meiner Zelle musste ich berücksichtigen, dass mir nicht die Mittel einer Universität zur Verfügung stehen, sondern nur die sehr begrenzten Mittel einer städtischen Schule. Daher kann ich keine großen Zellen bauen, sondern muss zunächst im kleinen Maßstab demonstrieren, dass die von mir gebauten Redox-Flow-Zellen prinzipiell funktionieren. Natürlich darf man von diesen Zellen keine große elektrische Leistung erwarten, aber erst wenn ich gezeigt habe, dass meine Zellen funktionstüchtig sind erhalte ich das Geld um größere Zellen zu bauen.

4. Funktionsweise einer Redox-Flow-Zelle

Bei einer Redox-Flow-Zelle reagieren zwei Flüssigkeiten (meistens in Säure gelöste Metalle), die in Tanks gespeichert werden. Dabei entsteht elektrische Energie, die über Elektroden einem Stromkreis zugeführt wird. Die Reaktion kann durch Zuführen elektrischer Energie rückgängig gemacht werden. In der Reaktionseinheit befindet sich eine Membran die den Austausch von H^+ -Ionen ermöglicht, aber den Übergang der Metallionen weitgehend verhindert.

Redox-Flow-Zellen gibt es mit unterschiedlichen Reaktionspaaren wie Eisen/Chrom, Vanadium/Brom oder Vanadium/Vanadium. Meine Entscheidung war rasch gefällt. Ich entschied mich für die Kombination Vanadium/Vanadium aus Gründen, die ich weiter unten erläutere.

Bei dieser Redox-Flow-Zelle befinden sich im geladenen Zustand in einem Tank zweifach positiv geladen Vanadiumionen (V^{2+}) und in einem anderen Tank einfach positiv geladenes Vanadium(V)oxid (VO_2^+). Diese Zutaten sind in Batteriesäure (38% Schwefelsäure) gelöst. Dieses Stoffpaar hat den Vorteil, dass eine Verunreinigung durch Crossover in der Membran auf Dauer nicht zu einem Verlust der Kapazität geht, sodass eine Vanadium/Vanadium-Zelle eine sehr hohe Lebensdauer hat. Außerdem kann der Ladezustand der Zelle an der Farbe der Flüssigkeiten erkannt werden (V^{2+} -Ionen sind grauviolett, V^{3+} -Ionen grün, VO_2^+ -Ionen hellblau und VO^{2+} -Ionen gelb) Wenn die Zelle entladen wird, reagieren die Stoffe wie folgt:

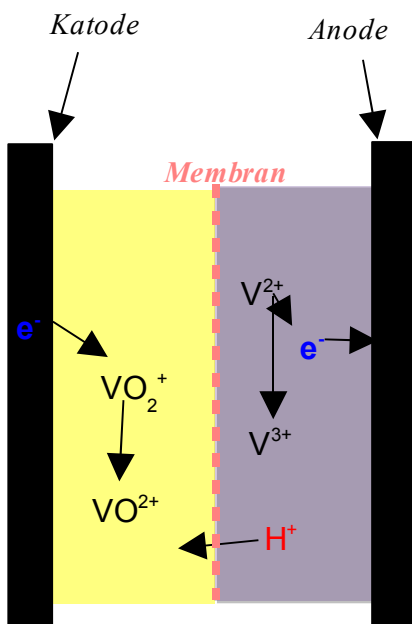
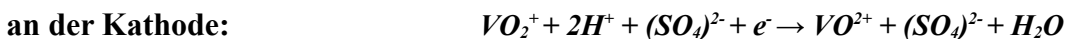


Abb. 4.1: die Reaktionen in der Redox-Flow-Zelle

Das V^{2+} gibt also ein Elektron an die Anode ab um der günstigen Elektronenkonfiguration von 8 Elektronen näher zu kommen. Es entsteht V^{3+} . An der Kathode nimmt das VO_2^+ ein Elektron auf, dadurch kann sich ein Sauerstoffatom lösen und sich mit den H^+ -Ionen zu Wasser verbinden. Beim Laden laufen die Reaktionen genau anders herum ab. Die Membran dient dazu, dass sich die H^+ -Ionen austauschen können und das Spannungspotenzial erhalten bleibt.

5. Sicherheit

Ein wichtiges Thema beim Bau einer Redox-Flow-Zelle und den späteren Experimenten ist natürlich die Sicherheit. Vanadium ist giftig und umweltschädlich. Schwefelsäure ist stark ätzend und daher auch nicht gesund. Aus diesem Grund ist es wichtig die folgenden R- und S-Sätze zu beachten: R 20/22, R 37, R 48/23, R 51/53, R 63, R 68, R 35, S1/2, S 36/37, S 38, S 45, S 61, S 26, S 30. Da ich nicht von vornherein ausschließen kann, dass meine Redox-Flow-Zellen dicht sind, kann ich nur auf einer säurebeständigen Unterlage arbeiten. Außerdem muss ich natürlich Schutzhandschuhe, eine Schutzbrille und einen Kittel tragen (s. Abb.5.1). Bei besonders kritischen Experimenten arbeitete ich außerdem unter dem Abzug im Chemieraum. Natürlich führte ich meine Experimente nur unter Aufsicht eines Lehrers durch, auch wenn das die zeitlichen Möglichkeiten stark einschränkte.



Abb.5.1: Meine Schutzkleidung bei den Experimenten

6. Der Weg zur Redox-Flow-Zelle

6.1 Erste Pläne

Um an einer Redox-Flow-Zelle zu forschen muss man natürlich erst einmal eine bauen. Die Elektroden müssen der Schwefelsäure standhalten. Kupfer und andere unedle Metalle konnte ich also ausschließen. Auf der Suche nach geeigneten Materialien fand ich einige Grafitstäbe und -plättchen in der Physiksammlung. Ich testete die Säurebeständigkeit und die Leitfähigkeit des Grafit. Nach diesen Tests war klar, dass ich Grafit als Material für die Elektroden verwenden konnte. Doch aus welchem Material muss die Membran bestehen? Nach einiger Suche fand ich im Internet,

dass Nafion® als Membran verwendet werden kann. Diese Membran wird auch bei Direkt-Methanol-Brennstoffzellen verwendet. Restbestände waren an der Schule noch vorhanden. Nun hatte ich alle Materialien bis auf das Vanadium zusammen. Also fragte ich meinen Chemielehrer, ob er mir für dieses Projekt etwas Vanadium bestellen könnte. Da erfuhr ich, dass man nicht einfach reines Vanadium bestellen kann. Also musste ich herausfinden welche Vanadiumverbindung geeignet ist. Dazu überlegte ich mir folgendes: In der Säure brauche ich im geladenen Zustand VO_2^+ -Ionen (ein fünffach positiv geladenes Vanadium-Ion mit zwei zweifach negativ geladenen Sauerstoff-Ionen) bzw. V^{2+} -Ionen (zweifach positiv geladenes Vanadium). Die Vanadium-(V)-Ionen liegen auch in Vanadium-pentoxid (V_2O_5) vor. In der Säure kann ich dann diese Ionen zu dreifach positiv geladenen Vanadiumionen reduzieren, aus denen ich dann durch den normalen Ladevorgang zweifach positiv geladene Ionen herstellen kann.

6.2 Meine ersten Redox-Flow-Zellen

Wie in Kapitel 3 erwähnt, konnte ich aufgrund der Materiallage leider nur sehr kleine Versuchszellen bauen.

Ich entschied mich dafür, eine Zelle aus zwei kleinen Kunststoffflaschen zu bauen. In die Deckel bohrte ich zwei große Löcher und klebte die Membran zwischen die beiden Deckel. Dann schnitt ich in jede Flasche einen Spalt, steckte die Grafitelektroden hinein und dichtete sie mit Heißkleber ab. In die eine Flasche gab ich in Schwefelsäure gelöstes Vanadumpentoxid. In die andere gab ich die reine Batteriesäure. Bei einer ersten Messung konnte ich eine Spannung von etwa 1V messen.

Nun wollte ich zweifach positiv geladenes Vanadium herstellen.

Wenn ich V_2O_5 (Vanadumpentoxid) in die Schwefelsäure gebe wird daraus VO_2^+ und Wasser. Damit habe ich den Elektrolyten der ersten Halbzelle. In der negativen Halbzelle brauche ich aber V^{2+} -Ionen. Dazu wird wieder Vanadumpentoxid in die Säure gegeben. Durch Anlegen eines negativen Spannungspotenzials reagiert das VO_2^+ zu V^{3+} (dreifach positiv geladenes Vanadium).

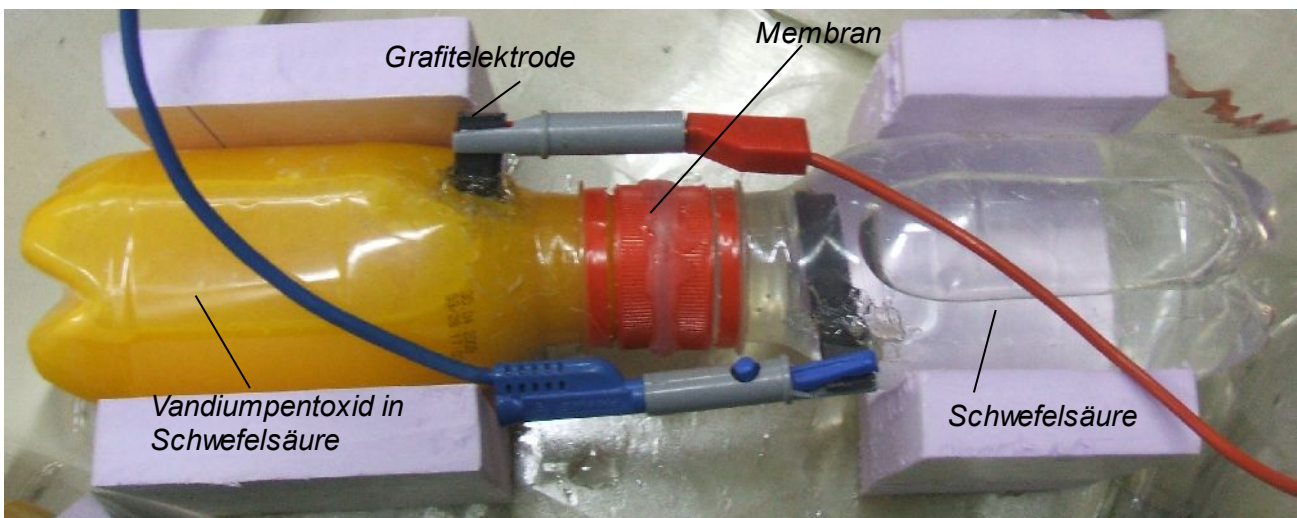


Abb. 6.1: Meine erste Redox-Flow-Zelle als Spannungsquelle

Danach muss die negative Halbzelle aufgeladen werden.

Ich habe also eine Gleichspannung von 1,5V an meine Zelle angelegt wobei ich den Minuspol an die Säure mit dem Vanadium anlegte. Dadurch wird das VO_2^+ unter Bildung von Wasser zu V^{2+} reduziert.

Ich konnte aber nur sehr kleine Ladeströme messen, da die Elektrodenoberfläche und die Membranfläche nur sehr klein waren. Außerdem war diese Zelle nicht so dicht wie sie sein sollte, da Grafit sich in Schichten von der Elektrode ablöst und sich damit nicht dauerhaft durch Kleben abdichten lässt.

Auf der Grundlage dieser Erfahrungen baute ich eine neue Zelle. Die beiden Halbzellen und die Elektroden sollten nun durch Druck und Gummidichtungen und nicht mehr durch Kleber dicht gehalten werden.

Außerdem beschloss ich, die Elektrodenoberfläche durch Parallelschaltung mehrerer Elektroden zu vergrößern. Zusätzlich wollte ich ein etwas größeres Stück der Membran von meinen Restbeständen in die Zelle einbauen.

Für den Bau verwendete ich zwei Überlaufgefäße aus der Physiksammlung als Halbzellen. In jedes Überlaufgefäß bohrte ich vier Löcher und befestigte meine Elektroden mit Gummistopfen in diesen Löchern. Die Überlaufstutzen dienen zur Entlüftung während des Befüllens.

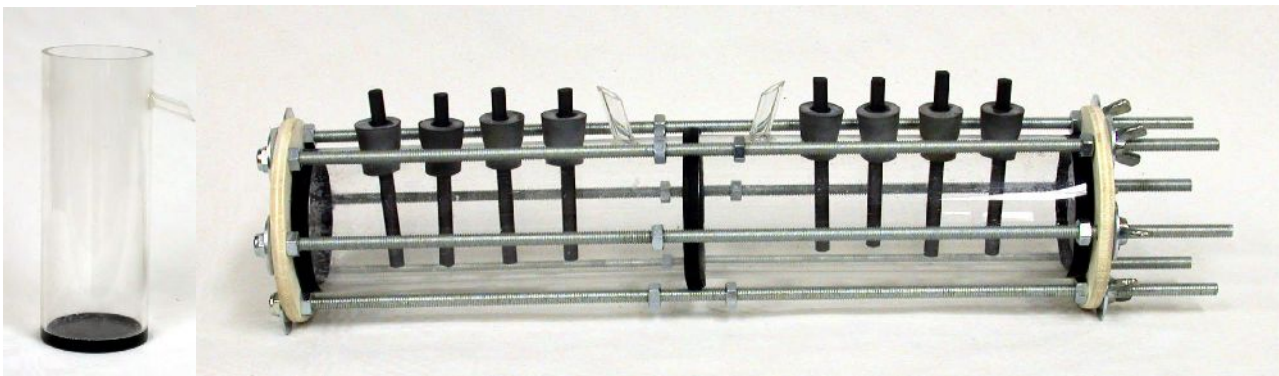


Abb 6.3: ein normales Überlaufgefäß (links) und die trockene Redox-Flow-Zelle (rechts)

Zwischen die so präparierten Halbzellen werden zwei Dichtungsgummis und die Membran geklemmt. Den nötigen Druck erzeugte ich durch zwei Endplatten aus Holz, die durch mehrere Gewindestangen verbunden waren (Abb.6.3). Jetzt musste ich die Zelle nur noch befüllen, dazu wird ein Gummistopfen entfernt, durch dieses Loch kann ich dann die Säure hinein geben. Danach wird der Stopfen wieder auf das Loch gesetzt und der Überlaufstutzen, der zur Entlüftung gedient hat, durch einen Schlauch mit einem Gummistopfen verschlossen (Abb.6.4). Diese Zelle war nun dicht und ich konnte auch einen größeren Strom aus der Zelle ziehen. Allerdings liefen die Spannung und der Strom sehr schnell gegen Null. Woran lag das?

Zunächst filtrierte ich die Lösungen um Verunreinigungen auszuschließen. Allerdings änderte das nichts an dem Verhalten von Strom und Spannung. Auch beim Laden lief der Strom bei konstanter Spannung zu schnell gegen Null.

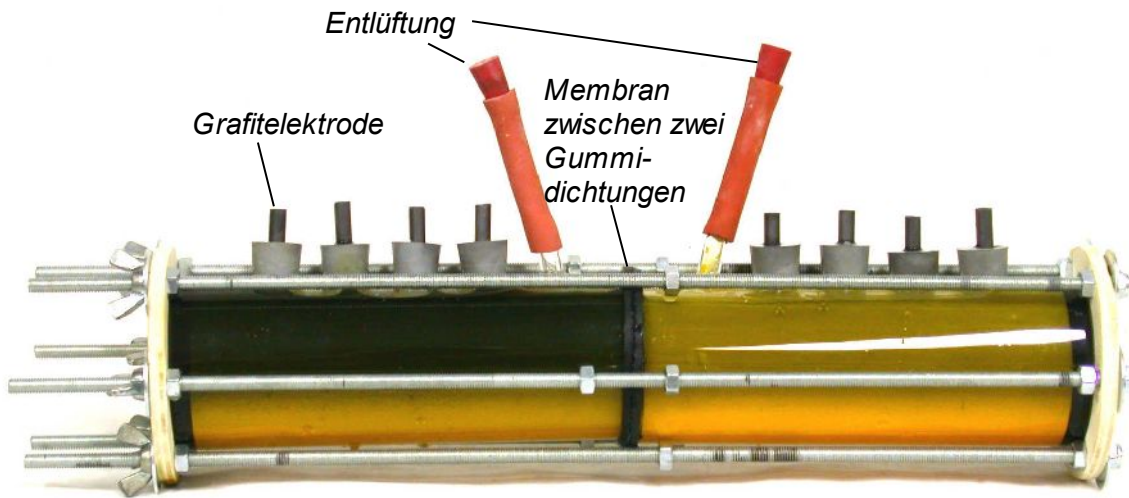


Abb 6.4: die fertige Redox-Flow-Zelle (links V^{2+} und V^{3+} -Ionen und rechts VO_2^+ -Ionen)

Meine Theorie ist, dass die Ionen an der Elektrode bleiben nachdem sie sich entladen haben. So können die anderen Ionen nicht mehr entladen werden, da sie die Elektrode nicht mehr erreichen. Als ich mir die Zelle näher ansah, konnte ich tatsächlich sehen, dass sich um die Elektroden der negativen Halbzelle eine dunkle Flüssigkeit (V^{2+} -Ionen) legte und dort verblieb (s. Abb.6.5). Also kann die Zelle nur geladen werden wenn sie regelmäßig geschüttelt wird. Tatsächlich war der Strom nach dem Schütteln deutlich höher als vorher. Allerdings ging der Strom nach jedem Schütteln recht schnell gegen Null zurück, sodass ich mir etwas anderes überlegen musste, da ich die Zelle nicht die ganze Zeit schütteln wollte.

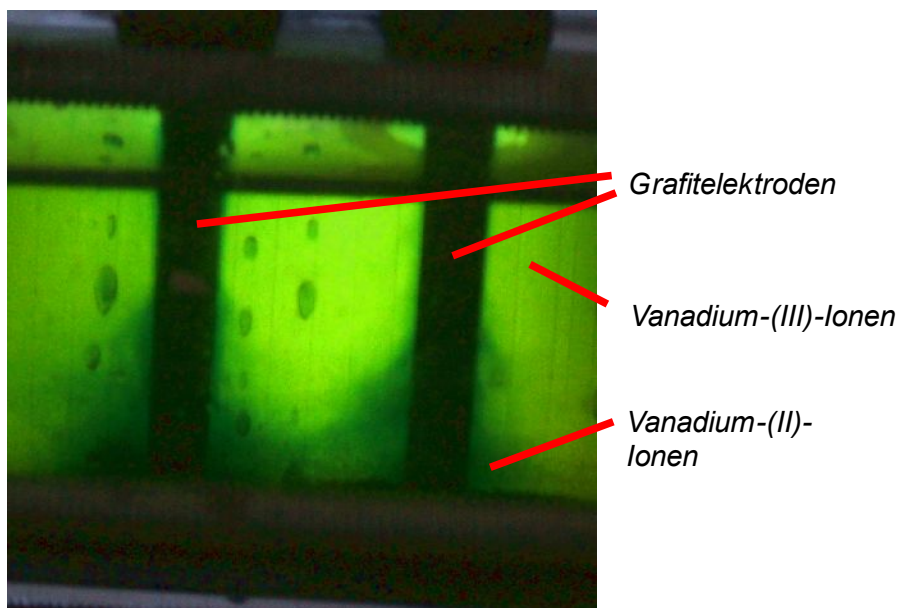


Abb. 6.5: Die Vanadium-(II)-Ionen bleiben an den Elektroden

6.3 Die Durchflusszelle

Beim Bau meiner dritten Zelle wusste ich, dass der Elektrolyt an den Elektroden vorbei fließen muss.

Dabei griff ich natürlich wieder auf die Erfahrungen der ersten beiden Versuchszellen zurück. Die Zelle sollte wieder durch Druck abgedichtet werden. Dadurch kann ich relativ leicht verschiedene Elektroden und Membranen testen. Den Rahmen für die Zelle bilden zwei Jackodur®platten in die

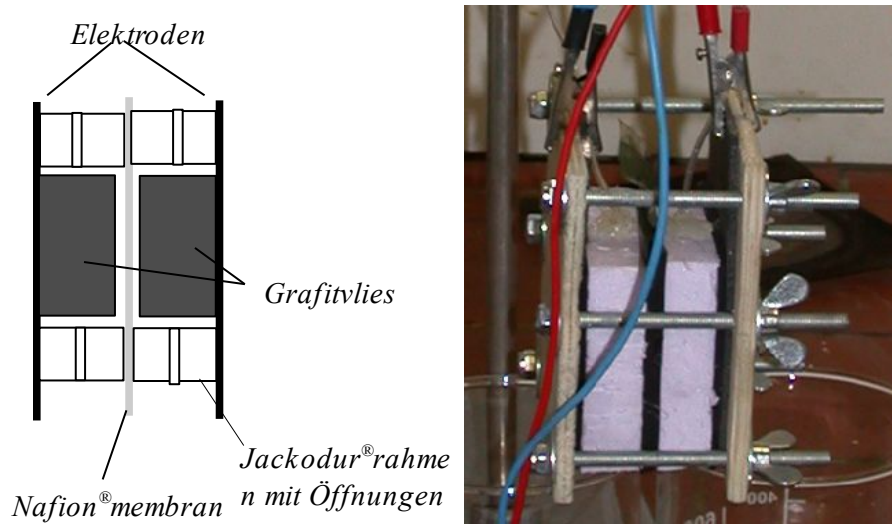


Abb. 6.6: Meine erste Durchflusszelle in der Planung (links) und im Einsatz (rechts)

ein rechteckiges Loch geschnitten wird. Dann werden vier Dichtungen aus einer Gummiplatte geschnitten. Nun wird die Membran zwischen die beiden Dichtungen in der Mitte geklemmt. In die Zellen wird Grafitvlies gelegt, um die Elektrodenoberfläche zu vergrößern und außen werden weitere Gummidichtungen und die Grafitplatten als Elektroden befestigt. Dann wird noch je eine Endplatte aus Holz auf die Elektroden gelegt. Zu guter Letzt wird die ganze Konstruktion durch Gewindestangen und Muttern zusammengedrückt.

Nun musste ich allerdings noch eine Pumpe bauen, um die Elektrolytflüssigkeiten durch die Zelle zu pumpen. Nach einiger Überlegung kam ich auf die Idee, für meine ersten Versuche zwei Wasserstrahlpumpen zu benutzen. Doch wie kann ich verhindern dass die Elektrolyte durch die Wasserstrahlpumpe in den Abfluss gelangen? Um dies zu verhindern benutzte ich zwei Waschflaschen entsprechend der Abb.6.7.

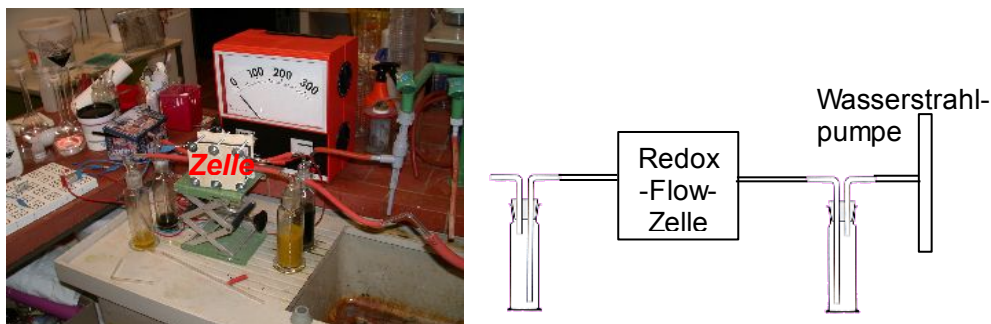


Abb. 6.7: Der Aufbau meiner ersten Durchflusszelle in der Realität (links) und als Skizze (rechts)

Allerdings konnte ich meine Wasserstrahlpumpenkonstruktion nicht fein genug regeln. Die Flüssigkeit liefen viel zu schnell durch die Halbzellen. Die Flüssigkeiten müssen also langsamer durch die Zelle laufen.

Also musste ich mir eine andere Konstruktion überlegen. Dabei verwendete ich die Schwerkraft als Pumpe. Dazu habe ich die Elektrolyte in je eine Spritze ohne Kolben gegeben. Dann laufen sie durch die Zelle die unter den Spritzen steht. Das Ganze wird durch kleine Schläuche, die man in der Apotheke kaufen kann verbunden. Unter der Zelle befinden sich zwei Bechergläser mit denen die Elektrolyte wieder aufgefangen werden (Abb.6.8).

Nun begann ich mit meinen Messungen. Dabei konnte ich eine kleine aber konstante Spannung messen. Mit einer so kleinen Spannung wollte ich mich allerdings noch nicht zufrieden geben.

Nach einiger Überlegung kam ich auf die Idee, dass die Elektrolyte nur oben in die Zelle hinein und unten wieder hinaus fließen. Die Zelle ist also fast leer. Doch wie kann man die Zelle besser nutzen? Ich beschloss die Zelle einfach um zudrehen, sodass die Elektrolyte von unten in die Zelle hinein fließen bis sie voll ist. Dann läuft der Elektrolyt wieder oben aus der Zelle hinaus und wird durch einen Schlauch in ein Becherglas geleitet. So hab ich die Gewähr, dass die Zelle stets voll ist, der Elektrolyt aber trotzdem fließt.

Bevor ich diese Zelle nun entladen konnte musste ich sie zunächst laden. Dabei sollte die grüne Flüssigkeit (VO^{2+} und VO_2^+ gemischt) wieder gelb werden. Die Vanadium-(II)-Ionen haben aber kaum reagiert sodass sie immer noch grau violett waren.

Ich lud die Zelle bis der Strom gegen Null gesunken war, doch der Elektrolyt war immer noch etwas grünlich. Trotzdem beschloss die Spannung der Zelle zu messen.

Dabei konnte ich eine Spannung von 0,5V messen. **Also deutlich mehr als vorher.**

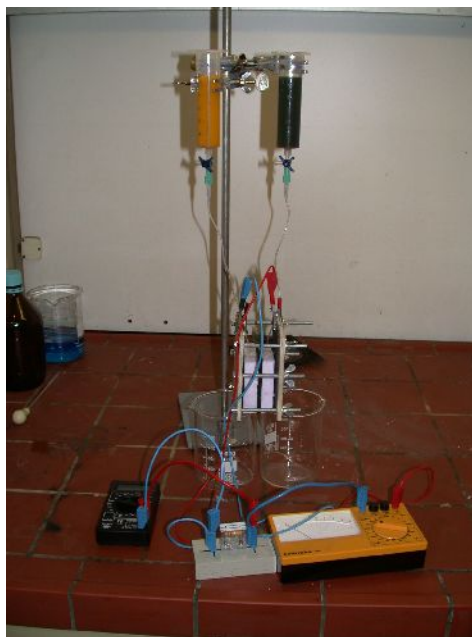


Abb. 6.8: Meine Durchflusszelle mit „Schwerkraftpumpe“

Um die Stabilität und die Dichtigkeit weiter zu verbessern und beobachten zu können, was in der Zelle vorgeht, beschloss ich mir Platten aus Plexiglas anfertigen zu lassen. Dann ersetzte ich den Jackodur[®]rahmen durch das Plexiglas (Abb.6.9).

Als diese Zelle fertig war begann ich neue Elektrolyte herzustellen, Dazu gab ich Vanadiumpentoxid in Säure und reduzierte es in der Zelle zu Vanadium-(III)-ionen. Dann gab ich Säure mit Vanadium-(V)-ionen in die zweite Halbzelle und begann die Zelle zu laden. Nach einiger Zeit verfärbte sich das Vanadium(III) von grün ins violett-bläuliche. Diese Farbänderung zeigt an, dass die Zelle erfolgreich geladen wurde.

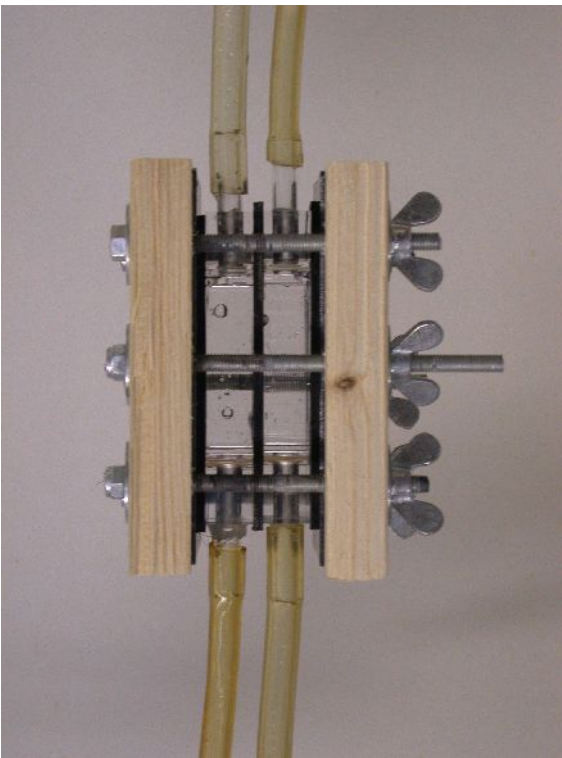


Abb.6.9: Meine Plexiglaszelle

Nun maß ich die Spannung der Zelle unter Belastung. Ich schloss also einen Widerstand von 100Ω und natürlich Messgeräte um die Spannung und den Strom zu messen an.

Bei meiner Messung ermittelte ich eine Spannung von $0,6V$ und einen Strom von $2mA$. Dies entspricht nicht dem Ohmschen Gesetz, wonach gilt: $U=R \cdot I$. Das liegt sehr wahrscheinlich an Kontaktwiderständen, dem Innenwiderstand des Strommessgerätes und natürlich dem Innenwiderstand der Zelle selbst.

Die Spannung meiner Zelle ist für ihre geringe Größe schon recht ordentlich. Damit habe ich meinen Betreuungslehrer überzeugt, mir Geld für eine größere und leistungsfähigere Zelle zur Verfügung zu stellen.

7. Weiterentwicklung meiner Zelle

Zunächst wollte ich die Leistung der Zelle weiter steigern. Dazu wollte ich den Abstand zwischen den Elektrodenplatten verringern und die Elektrodenoberfläche sowie die Membranfläche vergrößern. In der Theorie hört sich das sehr einfach an, doch ich wusste zunächst nicht wie ich die Zuleitungen in diese flache Zelle führen sollte. Außen war die Zelle nicht dick genug für Glasröhrchen oder Schläuche. Dann kam mir die Idee die Zuleitungen durch die Elektroden hindurch zu legen. Das sollte dann durch eine Gummimatte abgedichtet werden (s. Abb. 7.1)

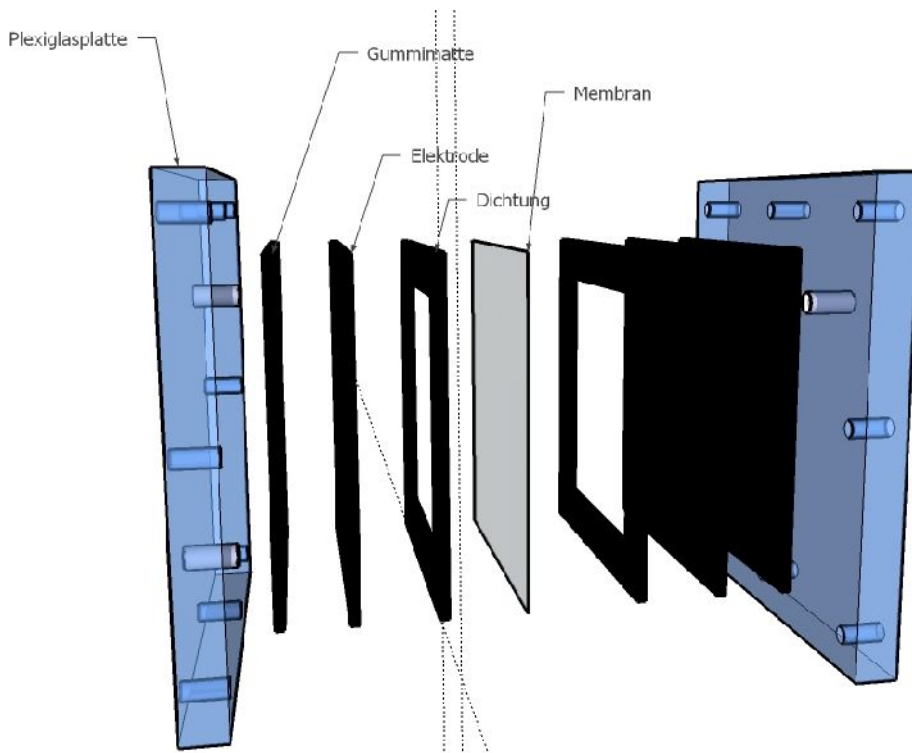


Abb. 7.1: Plan der neuen Zelle

Diese Konstruktion wird durch zwei Plexiglasplatten zusammengehalten. Auf die Elektroden kommen noch zwei Gummirahmen als Dichtung zwischen die eine Membran geklemmt wird. Der Kontakt wird durch zwei Kupferplättchen hergestellt (s. Abb. 7.2)

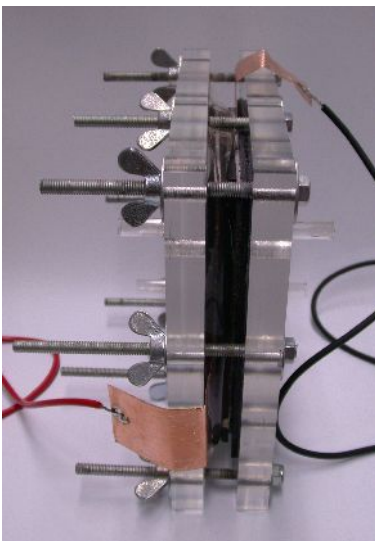


Abb.7.2: Die fertige neue Zelle

Dann brauchte ich noch eine Pumpe, die die Elektrolytflüssigkeiten pumpen kann. Diese Pumpe muss der Säure standhalten. Zunächst baute ich eine Pumpe aus vier Spritzen. Deren Stempel durch einen Balken in der Mitte bewegt werden können. Wird dieser Balken hin und her bewegt so wird die Flüssigkeit durch die Zellen bewegt. Die Spritzen werden auf einem Holzbrett befestigt.

Als ich diese Pumpe testen wollte, stellte ich fest, dass ich die Reibungskräfte unterschätzt habe; die Pumpe ließ sich nur sehr schwer bewegen. Doch dann bekam ich die Möglichkeit im Internet sehr preisgünstig eine sogenannte Schlauchpumpe zu ersteigern. Bei diesem Pumpentyp werden Walzen über einen Schlauch gerollt. Dadurch wird die Elektrolytlösung gepumpt ohne mit der Pumpe in Kontakt zu kommen. Allerdings wird dadurch der Schlauch stark beansprucht. Außerdem wird er in die Pumpe hineingezogen. Diese Probleme löste ich, indem ich ein einzelnes Schlauchstück durch

die Pumpe legte und dieses mit kleinen Glasröhrchen mit dem anderen Schlauch verband (siehe Abb.7.2). Nun zog die Pumpe den Schlauch fest ans Glasröhrchen, sodass er nicht mehr durch die Pumpe gezogen wurde.

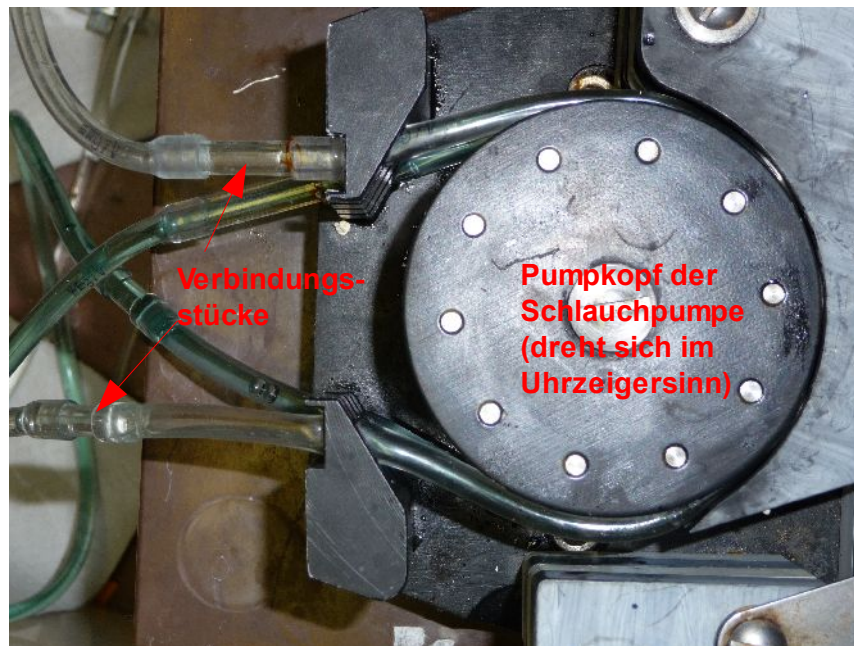


Abb. 7.3: die Schlauchpumpe mit den Schläuchen

Nun konnte ich zwei Gefäße aus der Chemie als Tanks an die Pumpe und die Zelle anschließen. Diese Teile verband ich durch 4/6 Schläuche aus der Aquaristikabteilung eines Tierladens. Um die Schläuche mit der Plexiglasplatte zu verbinden verwendete ich zunächst Glasröhrchen, die ich mit Heißkleber in die Löcher der Plexiglasplatte geklebt habe. Diese komplette Zelle setzte ich nun in eine Kunststoffkiste, damit im Falle eines Lecks nicht der komplette Tisch mit Säure und Vanadium in Kontakt kommt. Außerdem konnte ich so die Zelle leichter transportieren (s. Abb. 7.3).



Abb. 7.3: Meine fertig aufgebaute Zelle in der Kunststoffkiste

Vanadium-(III). Als Gegenlösung verwendete ich Schwefelsäure. Da Vanadium-(II) an der Luft

Allerdings stellte ich heraus, dass zwischen dem Plexiglas und dem Glasröhrchen nicht genug Freiraum für Heißkleber war, aber genug damit die Säure auslaufen kann. Also klebte ich die Röhrchen direkt in die Löcher der Platte.

Außerdem setzte ich neu angesetzte Vanadium-(V)-Lösung ein. Diese Lösung reduzierte ich zu

nicht stabil ist, muss eine Schutzatmosphäre z.B. aus Stickstoff verwendet werden.

Doch im Laufe meiner Versuche stellte ich fest, dass der Stickstoff sich verflüchtigt. Also versuchte ich es mit Argon. Damit hielt die Atmosphäre zwar länger, aber auch das Argon verflüchtigte sich nach einiger Zeit. Dann kam mir die Idee es mit Öl zu versuchen. Die Elektrolytlösung ist eine wässrige Lösung und vermischt sich daher nicht mit dem Öl, sodass keine Reaktion in Gang kommen kann.

So konnte ich einen Ladestrom von maximal 500mA erreichen. Die Ladespannung beträgt 1,75V. Beim entladen der Zelle beträgt die Spannung 1,7V. Der Kurzschlussstrom beträgt für einen kurzen Moment ca. 1A, fällt danach aber ab. Damit habe ich eine leistungsfähige Redox-Flow-Zelle mit den begrenzten Möglichkeiten einer Schule gebaut. Die Leistung lässt sich durch die Verwendung von Grafitvlies an den Elektroden noch steigern.

8. Ausblick

In dieser Jugend-forscht-Arbeit habe ich es trotz vieler Probleme letztendlich geschafft eine kleine aber funktionierende Redox-Flow-Zelle zu bauen. Bis dahin war es schon ein weiter Weg. Bis zum Wettbewerb möchte ich noch einige preiswerte Membranen testen. Aber am wichtigsten ist es jedoch, die Leistung meiner Zelle deutlich zu verbessern.

9. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die einen Beitrag zum Entstehen dieser Arbeit geleistet haben. Zuerst möchte ich mich bei meinen Eltern für ihr Verständnis und ihre Fahrdienste bedanken. Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Vossel und seiner Firma, dafür bedanken, dass er mir die Batteriesäure zur Verfügung gestellt hat. Auch einem zweiten Sponsor, der Firma Eisenhuth und besonders Herrn Hickmann möchte ich an dieser Stelle meinen Dank für die problemlose und kostenfreie Lieferung der Grafitplatten aussprechen. Mein Dank geht auch an das Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe der RWTH-Aachen, von dem ich wertvolle Informationen bekommen habe. Last but not least bedanke ich mich bei Herrn Lorbach und Herrn Stein für ihre Tipps und Ratschläge.

10. Linkliste

[1] <http://www.isea.rwth-aachen.de/eess/technology/redox-flow>

[2] http://www.bayern-innovativ.de/ib/site/documents/media/690a7c5e-c0ef-3e32-606c-6b892e8e5551.pdf/09_Jossen.pdf

[3] www.wikipedia.de