

YELLOW ENERGY

Profielwerkstuk N&T

Yamal Daems V6B
Lukas Kropp V6B
OSG West-Friesland
2010-2011

natuurkunde Onne Slooten
scheikunde Bart Blasweiler

Inleiding

In VWO 5 kregen wij bij ANW de opdracht een duurzaam bedrijf te starten. Ons idee was toen om een bedrijf te starten met een product dat een duurzaam project ging produceren. Na een tijdje speuren op het internet stootten wij toen op 'blue energy'¹. Blue Energy is de energie die wordt gewonnen door het spanningsverschil tussen zoet en zout water om te zetten. Wij bedachten meteen: 'Hier gaan wij iets leuks mee doen!' en dachten dat wij het zoute water uit Blue Energy wel konden vervangen door urine. In urine zitten namelijk ook zouten², dus waarom zou dit niet werken? Aangezien de opdracht bij ANW was om een bedrijf op te richten hebben wij weinig kunnen doen omtrent de uitwerking van het Blue Energy idee.

Toen wij in VWO 6 te horen kregen dat we een profielwerkstuk moesten gaan maken en een onderwerp moesten kiezen was de keuze voor ons snel gemaakt. Naast de vraag of er wel Blue Energy te winnen valt tussen urine en water, dachten wij na over waar we ons idee in konden verwerken. Natuurlijk kwamen wij nu snel op het idee om deze in een toilet te gaan verwerken en naast de vraag of Blue Energy dus überhaupt wel zou werken als we zelf een opstelling zouden bouwen, vroegen we ons af of het wel rendabel zou zijn als we het zouden bouwen in een toilet. Hiermee meteen onze hoofdvraag. Onze deelvragen zijn:

- Is er een osmotische druk tussen urine en water?
- Welk membraan te gebruiken? → Verstopt het membraan?
→ Hoe valt dit op te lossen?
- Hoe wek je stroom op uit Blue Energy? → Hoe werkt een turbine?
→ Hoe bouw je een turbine?
- Valt dit hele idee te realiseren in een toilet? → Hoeveel energie is er nodig bij
het bouwen van een toilet?
→ Hoeveel energie valt er te winnen?

In ons profielwerkstuk hebben we eerst onderzocht hoe Blue Energy precies werkt. Deze vondsten hebben we verwerkt in het hoofdstuk 'Hoe werkt Blue Energy?'. Na dit hoofdstuk kwamen we er achter dat er twee manieren zijn om Blue Energy te winnen; een door het verschil tussen zoet- en zoutwater. Deze eerste methode heet PRO (voor uitleg lees hoofdstuk 'Hoe werkt blue Energy?'). Deze was voor ons, door de biologie lessen, al bekend. Deze tweede methode leek in het begin een stuk lastiger voor ons om te begrijpen, maar achteraf bleek dit best mee te vallen. Het enige waar we aan moesten komen waren de juiste membranen, de frames met een opening die de membranen scheiden en wat ander materiaal. De membranen konden we krijgen via Wetsus, een bedrijf dat gespecialiseerd is in Blue Energy doormiddel van RED (deze tweede methode en de uitwerking daarvan is ook te lezen in het hoofdstuk 'Hoe werkt blue Energy?'). Bij het maken van de frames kon Bas Smedes, die op de OSG West-Friesland zat en nu op TU Delft zit, helpen. Met de hulp van Klaas Wageman konden we alles vinden in het natuurkunde kabinet, waardoor we onze practicum opstellingen konden bouwen. Freek Bonger heeft ons uiteindelijk geholpen met technische problemen die we met de pomp bij de RED opstelling tegenkwamen. We willen graag iedereen bedanken die ons heeft geholpen.

De RED methode wilden we dolgraag uitproberen en we hebben RED dus in ons profielwerkstuk verwerkt. RED bleek namelijk veel rendabeler te zijn dan PRO, omdat er bij RED geen generator wordt gebruikt. Er is bij deze opstelling dus geen wrijving.

In het eerste hoofdstuk: 'Hoe werkt Blue Energy?' leggen we uit hoe Blue Energy werkt. In het tweede hoofdstuk: 'Hoe wek je stroom op uit Blue Energy (PRO)?' wordt de PRO methode uitgelegd. Daarna komt een practicum waarin we kijken of er een osmotische druk is tussen urine en gedestilleerd water. Daarna beschrijven we hoe onze PRO opstelling in elkaar zat en hoe die werkte. In het volgende hoofdstuk: 'Hoe wek je stroom op uit Blue-Energy (RED)?', wordt beschreven hoe de RED methode werkt. Daarna volgt ons practicum waarin we een zogenaamde 'RED-cel' bouwen. Om nog een keer duidelijk te maken wat voor membranen we hebben gebruikt leggen we in het hoofdstuk 'Membranen' uit hoe de verschillende membranen werken. In het laatste hoofdstuk bespreken we onze resultaten en komen we tot een conclusie of Blue Energy mogelijk is met urine en of het ook rendabel is.

Yellow-energy: rendabel in een toilet?

Inhoudsopgave	Bladzijde
Inleiding	2-3
1. Wat is Blue Energy?	5
2. Hoe wek je stroom op uit 'Blue Energy'? (PRO)	6-7
3. Is er een osmotische druk tussen urine en gedestilleerd water?	8-13
4. Practicum PRO	14-16
5. Hoe wek je stroom op uit 'Blue-Energy'? (RED)	17-18
6. Practicum RED	19-27
7. Membranen	28
8. Hoeveel energie valt er te winnen?	29-30
9. Conclusie	31
Nawoord	32
Verwijzingen	33-35

Deelvragen:	Bladzijde
Is er een osmotische druk tussen urine en gedestilleerd water?	8-13
Hoe wek je stroom op uit Blue Energy? → Hoe werkt een turbine? → Hoe bouw je een turbine?	6-7 en 17-18
Welk membraan te gebruiken? → Verstopt het membraan → Hoe valt dit op te lossen	29-30
Valt dit hele idee te realiseren in een toilet? → Hoeveel energie is er nodig voor het bouwen van zo'n toilet?	31
winnen? → Hoeveel energie valt er te	29-30

Wat is Blue-energy?

Blue Energy, ook wel blauwe energie, is de energie die je kunt winnen uit water. Een voorbeeld is een stuwmeer; hier wordt de kinetische energie van vallend water gebruikt om stroom op te wekken³. Een andere manier om Blue Energy te winnen is; door het verschil in zoutconcentratie tussen zoet en zout water te gebruiken. Twee andere manieren om Blue Energy te winnen zijn PRO en RED, bij beide methodes wordt er gebruik gemaakt van een concentratie verschil tussen zoet- en zoutwater. De eerste manier is de PRO manier (Pressure Retarded Osmosis) en de tweede is de RED (Reverse Elektro Dialysis) manier. Het afvalproduct bij Blue Energy is hierbij brak water.

Het onderzoek naar deze vorm van duurzame energie begon al decennia geleden en door het stijgen van de energie prijzen en de lagere prijzen van het materiaal (voor Blue Energy) komt de toepassing van deze vorm van duurzame energie steeds dichterbij. Ook is het een groot voordeel dat er bij het winnen van deze vorm van energie geen CO² uistoot is.

Naar schatting kun je doormiddel van RED en de stromen van rivieren naar oceanen zo'n 2600 GW op wekken, dit komt overeen met ongeveer 20% van de benodigde hoeveelheid energie wereldwijd. Hierbij wordt uitgegaan van 1 MW/m³/s.

In Nederland kun je op deze manier bij de uitmonding van de IJssel in de Waddenzee maximaal zo'n 300 MW opwekken en bij de Rijn wordt dit maximaal zo'n 2000 MW. Dit wordt ongeveer 30% minder vanwege de verliezen in andere processen. De grote uitdaging in de wetenschap naar duurzame energie is dus het ontwerpen van blue-energiecentrales die deze waterstromen kunnen verwerken tot de winst in elektrisch vermogen⁴.

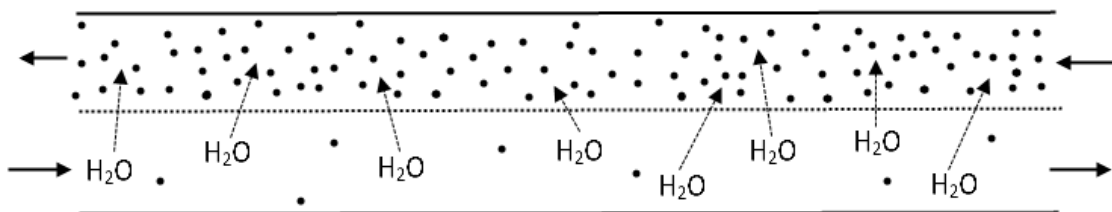


Voorbeeld van een Blue Energy centrale aan de afsluitdijk

Hoe wek je stroom op uit 'Blue Energy'?

PRO⁵

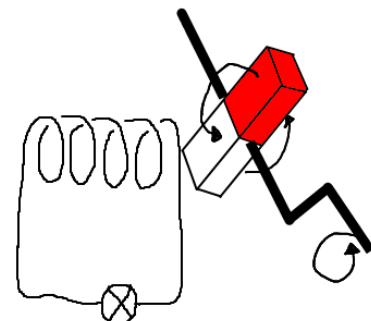
Er zijn verschillende manieren om energie uit de verschillen in zoutconcentratie tussen zoet en zout water te winnen. De eerste manier functioneert vanuit het feit dat als er een osmotisch verschil tussen de vloeistoffen (een verschil in concentratie) is, water wordt hier uitgewisseld totdat de concentraties aan elkaar gelijk zijn. Dit heet osmose⁶. De osmotische waarde geeft aan of er veel of weinig opgeloste deeltjes (ionen) in een oplossing zitten. Een oplossing met een hoge osmotische waarde heeft veel opgeloste deeltjes, een oplossing met een lage osmotische waarde heeft weinig opgeloste deeltjes. In zuiver water zitten heel weinig opgeloste stoffen, waardoor de osmotische waarde erg laag is. Urine heeft een hoge osmotische waarde, omdat er veel stoffen in zijn opgelost. Men maakt gebruik van een semipermeabel membraan. Dat is een membraan dat alleen water doorlaat, dus geen opgeloste deeltjes. Zo wordt de concentratie van de hoog geconcentreerde oplossing omlaag gehaald doordat er water bij komt van de laag geconcentreerde oplossing. Dit



afb. 1

gebeurt totdat het osmotische verschil is uitgebalanceerd. Doordat water naar de urine stroomt totdat het osmotische verschil zo klein mogelijk is, ontstaat er een overdruk in het compartiment met urine. Door deze overdruk kan een turbine worden aangedreven en zo wordt dan energie gewonnen.

Voor de PRO opstelling heb je een turbine met een generator nodig om stroom op te wekken. Als men een magneet bij een spoel houdt, loopt er een stroompje door de spoel. Als men de magneet weer weg trekt, loopt er weer een stroompje door de spoel, maar dan de andere kant op. Dit heet inductiestroom⁷. Men kan ook een schijf met een magneet erop langs een spoel laten draaien. De inductiespanning is hoger als men een spoel met een ijzeren kern, een sterkere magneet en/of een spoel met meer windingen gebruikt en het toerental opvoert.



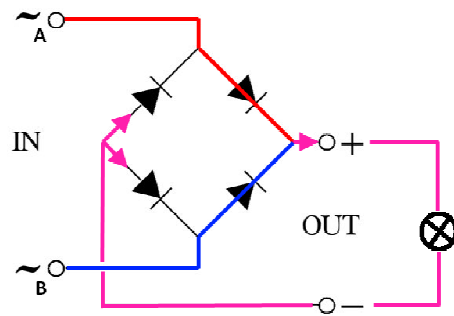
Inductiespanning ontstaat dus als men een magneet langs een spoel beweegt. Zo wordt kinetische energie (E_k) dus omgezet in elektrische energie (E_e)⁽⁷⁾.

En generator levert stroom op doormiddel van inductiespanning. Door bijvoorbeeld handaandrijving wordt een magneet in beweging gebracht. Deze magneet draait langs een spoel, zodat er steeds afwisselend de Noordpool en de Zuidpool langs de spoel beweegt. Als men hier een ampèremeter op aansluit, meet men dat de stroomsterkte die ontstaat als de Noordpool naar de spoel toe beweegt de andere kant op gaat dan als de Noordpool van de spoel afbeweegt; er ontstaat dus een wisselstroom. Een lampje dat men aan de spoel aansluit zal nu dus knipperen⁸.

Dat is de simpelste variant van een generator. Generatoren met meerdere magneten, dus meer Noord en Zuid polen leveren veel meer pulsen achter elkaar op. Bovendien is de sterkte van de magneet, het aantal windingen van de spoel en het toerenaantal van de draai beweging van de magneet bepalend voor het aantal Ampère dat een puls bereikt.

Om het lampje constant te laten branden moet men de wisselstroom omzetten in gelijkstroom. Dit kun je bereiken door een gelijkrichter te gebruiken. Er kan ook een sleepcontact worden gebruikt, maar dan zal veel energie 'verloren' gaan door de wrijving. Daarbij moet nog worden gezegd dat het lampje niet zichtbaar zal knipperen als de magneet snel genoeg zal laten draaien, want als de snelheid van de magneet hoog genoeg is, is een gelijkrichter of een sleepcontact niet eens nodig.

Een gelijkrichter maakt van wisselstroom gelijkstroom. Dit gebeurt met de hulp van zogenaamde diodes ('stroomrichtingwijzers'), die de stroom de juiste richting op wijzen (zwarte pijlen). Hierdoor worden de elektronen naar een uitgang geleid, de andere uitgang blijft vrij, waardoor er twee polen ontstaan, een negatief de ander positief. Nu is er een gelijkstroom ontstaan, en kan het lampje constant branden⁹. (zie afb. hiernaast)



In ons geval wordt er een turbine¹⁰ gebruikt om de generator op gang te krijgen in plaats van een handaandrijving. Een turbine is een rad met een heleboel schoepen. Deze worden in ons geval aangedreven door de overdruk die bij de PRO opstelling ontstaat.

Is er een osmotische druk tussen urine en gedestilleerd water¹¹?

Tussen urine en gedestilleerd water is een osmotisch druk¹². Dit hebben wij proef ondervonden bewezen. In ons 'Practicum osmose' zijn al onze resultaten in een biologisch onderzoek weergegeven en hierbij dus ook ons bewijs dat er een osmotische druk is tussen urine en gedestilleerd water. Ons practicum is hieronder te lezen.

Practicum Osmose

Inleiding

Tussen zoet en zout water is er een druk die ontstaat door osmose. Osmose is een natuurkundig proces waarbij er met twee oplossingen wordt gewerkt. Bij osmose is er één oplossing met een hoge concentratie opgeloste deeltjes en één met een lagere. Deze vloeistoffen worden gescheiden door een semipermeabel membraan. Dit is een membraan dat allen water doorlaat. Door diffusie stroomt water van de oplossing met een lage concentratie naar de oplossing met een hoge concentratie om het verschil te compenseren. Voor ons profielwerkstuk is het belangrijk om te weten of er een osmotische druk is tussen urine en water en of deze osmotische druk te vergelijken is met de osmotische druk tussen zeewater en zoetwater.

In onze proef hebben we twee variabelen. Deze zijn: zoutwater (met een gelijke zoutconcentratie als zeewater¹³ en deze is $\pm 3,5\%$ ¹³) met gedestilleerd water en urine met gedestilleerd water.

Onderzoeksvraag

Is er een osmotische druk tussen urine en gedestilleerd water?

Hypothese

Er is een osmotische druk tussen urine en gedestilleerd water.

Ondersteuning hypothese

Urine heeft een hoge concentratie en gedestilleerd water geen. Deze concentraties worden gelijk gemaakt door het streven naar een hoge entropie¹⁴. Er zal dus een osmotische druk ontstaan.

(2^e) Onderzoeksvraag

Is deze osmotische druk vergelijkbaar met de osmotische druk tussen zoutwater en gedestilleerd water?

(2^e) Hypothese

De osmotische druk tussen het zoute water en het gedestilleerde water zal hoger zijn dan de osmotische druk tussen urine en gedestilleerd water.

Ondersteuning (2^e) hypothese

Urine heeft is minder geconcentreerd dan het zoute water¹⁴ en zal daardoor minder osmotische druk produceren dan de druk die ontstaat tussen het zoute water en het gedestilleerde water.

Materiaal en Methode

Materiaallijst:

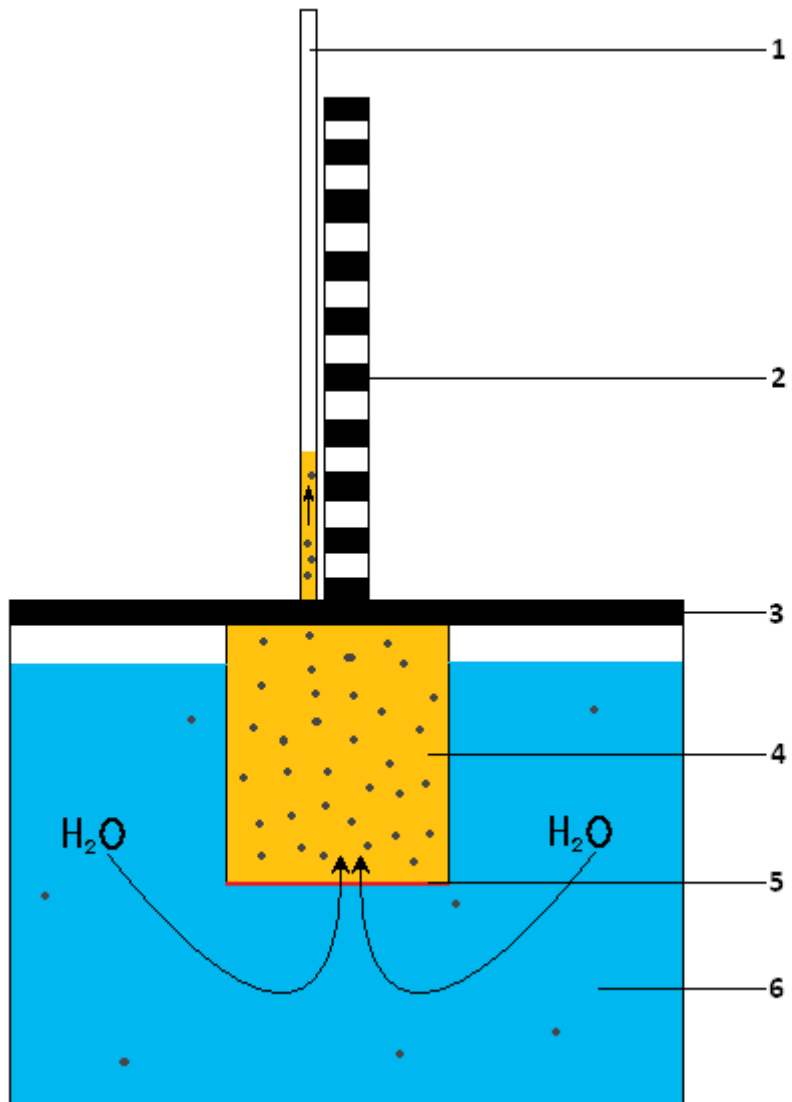
- Gedestilleerd water
- Urine
- Opstelling om osmose aan te tonen bestaande uit:
 1. Glazen buisje waar het vloeistof pijl in stijgt.
 2. Liniaal
 3. Dop
 4. Compartiment 1 (vloeistof met hoge osmotische waarde)
 5. Semipermeabel membraan
 6. Compartiment 2 (vloeistof met lage osmotische waarde)
- Vaseline
- Rubberen ring
- Plastic flesje

Methode

Om osmose aan te tonen heb je een speciale opstelling nodig. Deze opstelling bestaat uit: twee compartimenten die in elkaar passen doormiddel van een dop. Op het kleinste compartiment kun je een semipermeabel membraan spannen met een rubberen ring (voor de waterdichtheid is het slim om deze in te vetten met vaseline). Ook heb je een glazen buisje die in de dop past en het waterpeil laat zien. Achter het glazen buisje moet een liniaal komen, want op deze is dan af te lezen of het waterpeil is gestegen.

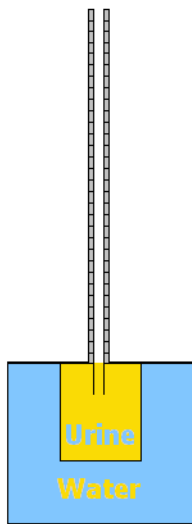
Om de aan te tonen of er een osmotische druk tussen urine en water is moet er eerst urine worden verzameld. Doe dit bijvoorbeeld in een plastic flesje. Nu je onderdelen bij elkaar hebt verzameld is het tijd om de opstelling in elkaar te zetten. Doe dus nu eerst gedestilleerd water in het eerste compartiment. Smeer de rubberen ring in met vaseline en span vervolgens een semipermeabel membraan met de rubberen ring aan de onderkant van compartiment twee. Zet compartiment twee in compartiment een en vul compartiment twee, via het gat in de bovenkant, met urine. Zet nu het glazen buisje op het gat en monteer de liniaal aan het glazen buisje.

Wacht nu een poosje en neem waar of het waterpeil is gestegen. Als het waterpeil is gestegen is het aantonen van osmose tussen urine en gedestilleerd water gelukt.

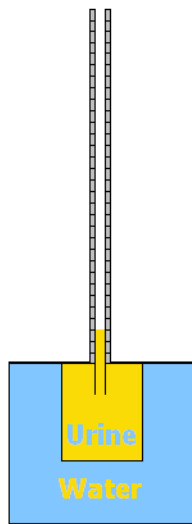


Resultaten

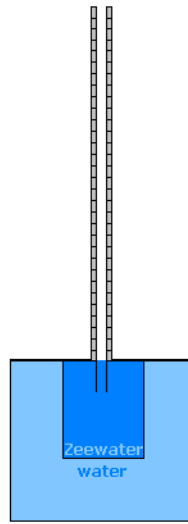
Het practicum met urine en gedestilleerd water gaf na een half uur een stijging 1,5 cm. Tussen zoutwater en gedestilleerd water was deze stijging na een half uur 3 cm.



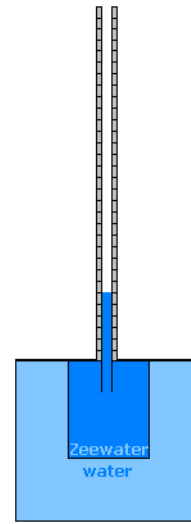
begin



na 30 minuten



begin



na 30 minuten

Discussie

Interpretatie van de resultaten

Dat er een osmotische druk is ontstaan tussen urine en gedestilleerd water is te verklaren. Urine heeft namelijk een hogere concentratie opgeloste zouten dan water, omdat het bestaat uit water en ionen¹³. Dat de osmotische druk tussen urine en gedestilleerd water lager is dan de osmotische druk tussen zeewater en gedestilleerd water is eveneens te verklaren. De zoutconcentratie van zeewater is blijkbaar hoger dan die van urine. Hoe hoog de concentratie ionen in urine is valt niet duidelijk te zeggen. Ochtendurine is bijvoorbeeld veel geconcentreerder dan avondurine. Ook hangt de concentratie van je urine af van hoeveel men heeft gedronken. Als men veel heeft gedronken is de urine minder geconcentreerd dan wanneer men weinig heeft gedronken. Als men weinig heeft gedronken wordt bij de productie van urine zoveel mogelijk water terug gewonnen, waardoor de concentratie hoger is. Ook als men alcohol heeft gedronken is de urine minder geconcentreerd. Dat komt omdat alcohol de productie van het antidiuretisch hormoon (ADH) in de hypofyse remt. ADH zorgt ervoor dat water uit de (voor)urine wordt onttrokken, zodat zo min mogelijk water wordt uitgescheiden. Wij hebben bij onze proef ochtendurine gebruikt. Gezien de resultaten kunnen we zeggend dat ochtendurine lager geconcentreerd is dan een 3,5% zoutoplossing. Hoeveel hoger de concentratie, of de osmotische waarde van de urine die we hebben gebruikt is, valt niet precies te bepalen, omdat er in urine een heleboel stoffen zitten en die stoffen allemaal een andere invloed hebben op de concentratie. In de zoutoplossing zit allen natriumchloride. De concentratie daarvan is makkelijk te bepalen. De concentratie van onze urine echter niet, omdat we niet precies weten hoeveel van stof er in zit¹⁶.

Foutenanalyse

De proeven zijn na een half uur stop gezet, waarna het resultaat werd bekeken. We hadden de opstelling echter beter kunnen laten staan totdat het proces helemaal tot stilstand was gekomen. Dit was echter onmogelijk, omdat we maar één osmose meetopstelling tot onze beschikking hadden. Bovendien hadden we, om er zeker van te zijn dat de spiegel niet daalt (door de zwaartekracht) nadat de concentraties gelijk waren, eigenlijk de hele tijd bij de opstelling moeten blijven. Aangezien we niet wisten wanneer de concentraties aan elkaar gelijk zouden zijn en we niet de tijd hadden om een keer voor de proef met urine en een keer voor de proef met de zoutoplossing onbepaalde tijd te wachten hebben we ervoor gekozen om elke opstelling een half uur te laten staan.

Ook is er bij beide proeven gebruik gemaakt van hetzelfde membraan. We kunnen niet met zekerheid zeggen of de membranen afnemen in kwaliteit nadat ze een keer zijn gebruikt. We hadden dus beter voor elke proef een nieuw membraan kunnen gebruiken, gezien de moeilijkheden die we in het begin hadden met het bevestigen van het membraan (d.w.z. we kregen de opstelling niet op gang; De spiegel wilde niet stijgen bij de eerste pogingen) wilden we, toen het ons eindelijk was gelukt het membraan er goed op te krijgen, niet het risico nemen weer opnieuw te beginnen.

Aanbeveling voor vervolgonderzoek

In een vervolgonderzoek is het dus van belang dat er voor beide proefjes een nieuw membraan wordt gebruikt.

Ook moeten de proeven niet onderbroken worden na een halfuur. Er moet gewacht worden totdat de concentraties aan elkaar gelijk zijn en er geen osmotische stijging meer is. Dan pas kan men met zekerheid zeggen welke oplossing een hogere osmotische waarde heeft. Er moet dus een heleboel tijd in worden gestoken.

Conclusie

Tussen urine en gedestilleerd water is een osmotische druk. De osmotische druk tussen urine en gedestilleerd water is er een lagere osmotische druk dan tussen zeewater en gedestilleerd water. Onze hypothesen zijn dus juist en met dit bewijs kunnen we verder gaan met de uitwerking van de 'Yellow Energy'.

Practicum PRO

Inleiding

In het vorige practicum hebben we aangetoond dat er een osmotische druk is tussen water en urine. Dus in theorie zou PRO mogelijk moeten zijn met urine. Om dat uit te testen hebben we zelf een PRO opstelling gebouwd.

Onderzoeksvraag

Is het mogelijk om een ampèremeter uit te laten slaan door urine in een PRO opstelling te gebruiken?

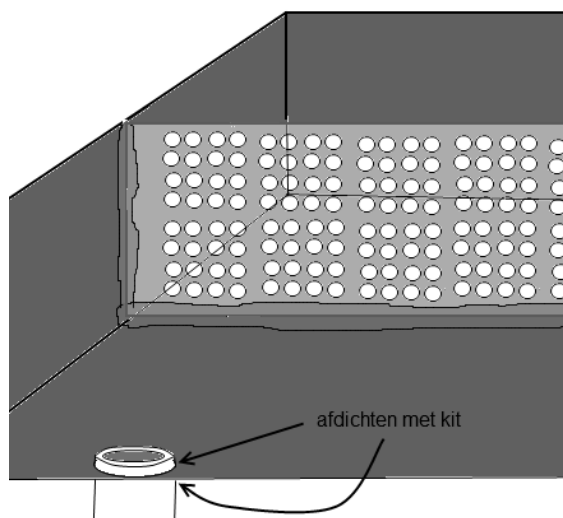
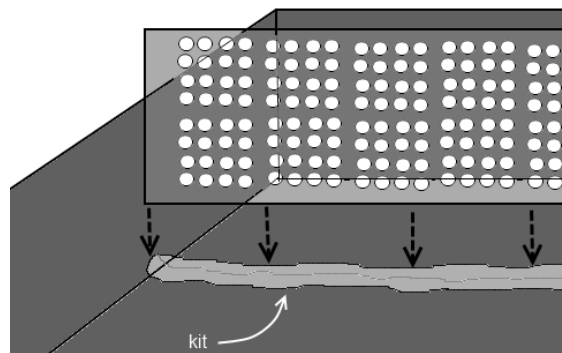
Hypothese

Ja, de ampèremeter zal uitslaan, het zal niet veel zijn. (een paar mA)

Materiaal & Methode

- Een bak (de wand moet het liefst in een rechte hoek staan met de bodem)
- Een stuk plexiglas dat zo lang is als de bak breed is en zo hoog als de bak hoog is
- Een stuk plexiglas/gelakt hout dat net zo breed en net zo lang als de bak is (om de bovenkant af te sluiten)
- PET fles
- Stanley mes
- Semipermeabel membraan (zelfde maat als het stuk plexiglas)
- Slangetje (\varnothing 8mm)
- Slangklem
- Boor 8mm en 30mm en 15mm
- Pen
- Liniaal
- Kit
- Kitpistool

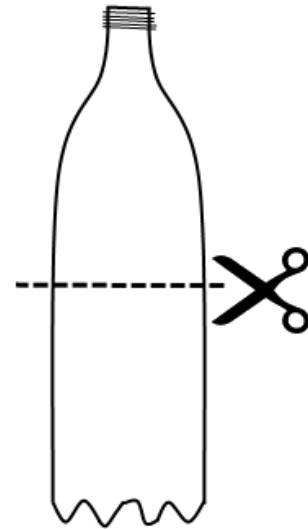
Eerst hebben we het stuk plexiglas bewerkt, zodat we een stevig frame hadden voor het membraan. Hiervoor hebben we zo veel mogelijk gaten geboord in het stuk plexiglas. De diameter van de gaten is 8mm, tussen de gaten zit een ruimte van ongeveer 2mm. Dit frame zorgt ervoor dat het membraan niet kapot gaat als er een overdruk ontstaat in het compartiment waar de urine in zit. Daarna werd het membraan met kit op het frame bevestigd. Belangrijk was hierbij er op te letten dat de gaten niet dicht werden gesmeerd met kit. Nadat de kit gedroogd is, kon het frame met het membraan in de bak worden geplaatst. In het midden van de bak, op de plek waar het membraan zou komen, werd een lijn kit gedaan. Het frame met het membraan werd in deze lijn geduwd, zodat het aan de onderkant van beide kanten



waterdicht was afgesloten. Daarna werden alles er omheen met kit waterdicht gemaakt. Vervolgens werd in het compartiment waar de urine/zoutoplossing komt een gat van 8mm geboord. Hier werd het slangetje met \varnothing 8mm gedaan. Om het slangetje werd alles waterdicht gemaakt met kit. Het slangetje wordt dichtgehouden door een slangklem.

Toen alles droog was, werd de bovenkant er op gezet. Eerst werd een gat van 30mm (de diameter van een PET fles dop) in het stuk hout geboord. Dit gat komt boven het compartiment met het water. In de dop van de fles werd een gat van 15mm geboord. De dop van de fles werd in het gat in het hout geduwd en met kit afgedicht. De fles zelf werd doormidden gesneden met het stanleymes. De fles kon nu op de dop geschroefd worden, en later als trechter dienen.

Rond om de bak werd kit gesmeerd. Ook aan de boven kan van het membraan. Belangrijk was dat echt in alle hoeken kit zit, zodat de opstelling niet kan lekken. Als laatste werd de plank boven op de bak gedaan en goed aangedrukt.



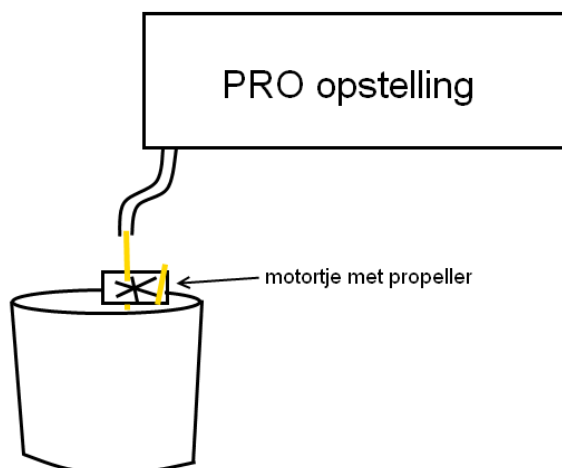
Als alles droog is kan de opstelling worden gebruikt.

- 3L Gedestilleerd water
- 2L ochtendurine
- Emmer
- Een motortje met propeller
- Draad
- Ampèremeter
- Klemmen

Het motortje met propeller kan worden gebruikt als generator met turbine. Want als de bladen van de propeller in gang worden gebracht en aan de motor (die dan een generator is) aan een lampje of ampèremeter, kan er aan worden getoond dat er een stroompje gaat lopen. Hoe dat werkt staat beschreven in het hoofdstuk PRO.

Het motortje werd aangesloten aan de ampèremeter. De propeller werd boven een emmer geplaatst en aan de emmer bevestigd met de klemmen. Het compartiment met de trechter werd gevuld met gedestilleerd water. Het andere compartiment werd met urine gevuld via het slangetje.

Dit hebben we van 9 tot 16 uur laten staan, 7 uur dus. Daarna, toen de druk was opgebouwd, hebben we de slang open gedraaid en op de propeller gericht. De (verdunde) urine belandde in de emmer.



Resultaten

we hebben het motortje met propeller aan het draaien kunnen brengen, maar dat was lang niet genoeg om de ampèremeter uit te laten slaan. We hebben nog geprobeerd om de ampèremeter uit te laten slaan door met een compressor de propeller te laten draaien, maar zelfs toen sloeg de ampère meter zo goed als niet uit (ongeveer 0,1 mA).

Discussie

De ampèremeter sloeg niet uit, dus onze hypothese klopt niet. De straal die de turbine aan zou drijven was niet sterk genoeg om een krachtigere motor, met meer spoelen en krachtigere magneten, aan te drijven. Daarom moesten we voor de lichtste motor kiezen. Hierdoor was het echter onmogelijk de stroomsterkte te meten, omdat deze minimaal was.

Foutenanalyse

De opstelling was niet helemaal waterdicht. Boven het membraan kon vloeistof lekker. Hierdoor werd er een minder hoge druk opgebouwd in de ruimte met de urine. Maar als het membraan niet had gelekt, hadden we geen andere resultaten gehad, omdat de straal dan ook niet sterk genoeg was geweest voor de turbine.

Met een veel grotere opstelling met een paar kubieke meter urinereservoir en kubieke meter waterreservoir hadden we waarschijnlijk wel genoeg druk kunne opbouwen om echt iets aan te tonen. Helaas hadden we hier niet de ruimte en de urine voor. Bij een opstelling die zo groot is zal het waarschijnlijk wel uitmaken of het membraan waterdicht in de opstelling zit of niet.

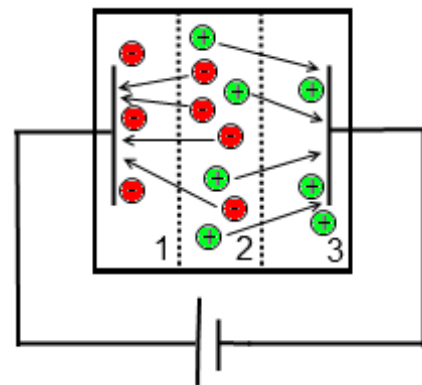
RED¹⁷

Een andere manier van Blue Energy is omgekeerde elektrolyse, oftewel Reverse Electrolysis (RED). De naam zegt het al: het is elektrolyse, maar dan andersom.

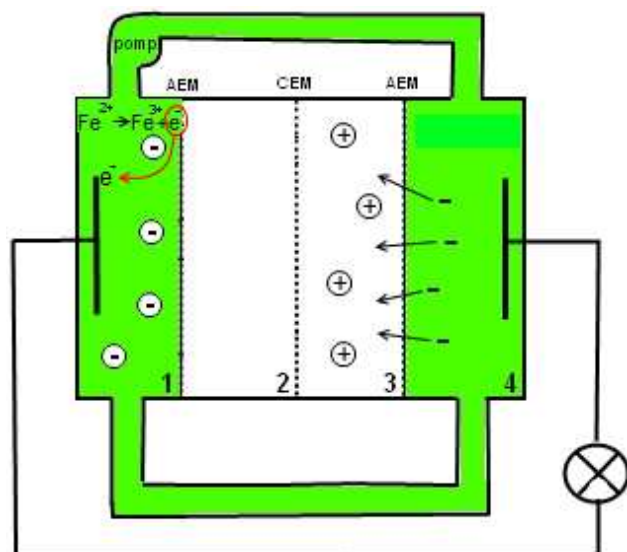
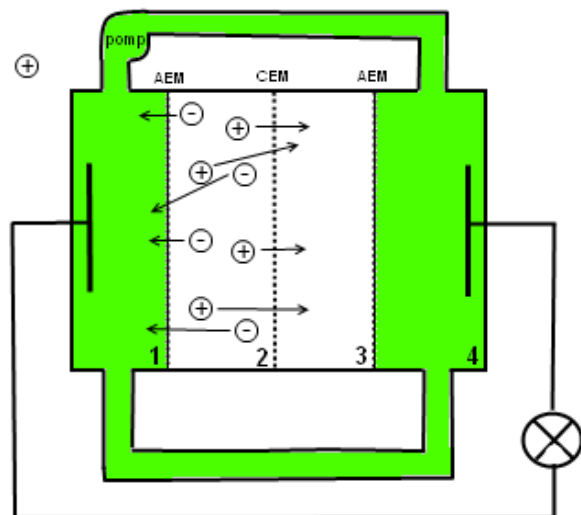
Elektrolyse (zie afb. hiernaast) wordt gebruikt om zout water te ontzouten. Er zijn drie compartimenten, gescheiden door membranen die allen positieve of negatieve ionen doorlaten. Deze membranen heten respectievelijk CEM (Cation Exchange Membrane) en AEM (Anion Exchange Membrane)(zie 'Membranen', blz. 27). In alle drie compartiment is een zoutoplossing (bijvoorbeeld zeewater).

In de buitenste compartimenten (1 en 3) zitten elektroden. Als er een spanning op de elektroden wordt gezet, trekt de negatieve elektrode positieve ionen en de positieve elektrode negatieve ionen aan. Deze gaan door de membranen en komen terecht in de oplossingen in compartiment 1 en 3. Hierdoor wordt de zoutconcentratie in deze compartimenten hoger, maar wordt de oplossing in het middelste compartiment ontzout. (zie afb. hierboven)

Omdat in de natuur alles twee kanten opwerkt, kan men zich voorstellen dat als men zoet en zout water bij elkaar brengt er stroom vrijkomt¹⁹.



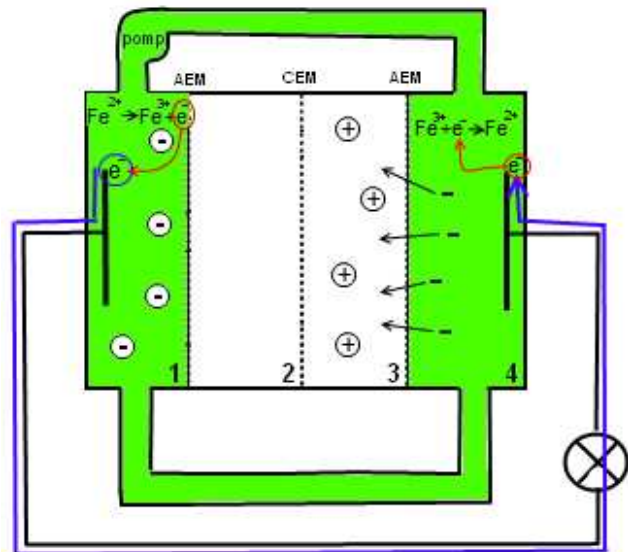
Bij omgekeerde elektrolyse worden minimaal 4 compartimenten gebruikt (zie afb. 2). Tussen de compartimenten 1 en 2 is een Anion Exchange Membrane (AEM), tussen 2 en 3 een Cation Exchange Membrane (CEM) en tussen 3 en 4 weer een Anion Exchange Membrane. Het AEM laat enkel negatief geladen ionen door, het CEM laat enkel positief geladen ionen door. Hoe dit precies werkt wordt uitgelegd onder de kop 'Membranen' op bladzijde 27. In de compartimenten 1 en 4 doet men een elektrolyt oplossing⁽¹⁷⁾ met het redoxkoppel¹⁸ $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ en enkele negatief geladen ionen om de oplossing neutraal te maken (op de afbeelding is de elektrolyt oplossing groen weergegeven). In elk van de compartimenten (1 en 4) zit een elektrode. Compartimenten 1 en 4 zijn met elkaar verbonden via twee buizen met een pomp en de elektroden zijn met een geleidende draad verbonden. Als men in compartiment 3 een oplossing met een lage concentratie negatieve en positieve ionen doet (zoet water) en in compartiment 2 een oplossing met een hoge concentratie (zout water) willen de ionen vanwege het streven naar een hoge entropie⁽¹⁴⁾ naar de lage concentratie. Omdat er tussen de hoog en laag geconcentreerde oplossingen een CEM zit, kunnen alleen de positieve ionen passeren. De positieve ionen gaan dus naar



rechts. Omdat de negatief geladen ionen achterblijven, ontstaat een negatieve lading in compartiment 2. Om dit op te vangen verplaatsen de negatieve ionen uit de hoge concentratie door het AEM naar compartiment 1, waar de elektrolyt oplossing is. De negatieve ionen gaan dus naar rechts.

Doordat er nu negatief geladen ionen bij de elektrolyt oplossing in compartiment 1 zijn gekomen vindt de redoxreactie $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$ plaats om de elektrolyt oplossing weer neutraal te maken. Er komt een elektron vrij. Dit wordt gaat aan de elektrode in compartiment 1 zitten.

De elektrolyt oplossing moet rond worden gepompt om de reactie in gang te houden²⁰. Omdat in compartiment 3 een positieve lading heerst, worden de negatieve ionen uit de elektrolyt oplossing door het AEM er heen getrokken. Nu is er een tekort aan negatieve ionen in compartiment 4 en wordt het elektron dat aan de elektrode in compartiment 1 zit via de geleidende draad naar de elektrode in compartiment 4



getransporteerd (blauwe pijl). Met het elektron vind de reactie $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ plaats, zodat de eerst positieve elektrolyt oplossing in compartiment 4 weer neutraal wordt. De elektrolyt oplossing wordt rond gepompt en het geheel herhaald zich. Het afval product is brak water. Om de reactie door te laten lopen, moeten de vloeistoffen in de compartimenten 2 en 3 worden ververs.

Door het elektronentransport kan men bijvoorbeeld een lampje dat aangesloten is aan de geleiden draad laten branden of een batterij opladen.

Helaas valt er met maar 4 compartimenten heel weinig stroom te winnen. Dit wordt opgelost door meerdere compartimenten met zout en zout water tussen de compartimenten met de elektrolyt oplossing te plaatsen. De CEM en AEM wisselen elkaar steeds weer af en de oplossingen worden steeds ververs doordat de oplossingen er aan een kant in stromen en aan de andere kant er uit, zodat het concentratieverschil zo hoog mogelijk blijft.

Practicum RED

Inleiding

Bij het proces van omgekeerde Electrolyse 'verhuizen' elektronen die we kunnen gebruiken voor het winnen van energie²¹. Met deze vrijgekomen elektronen willen wij een ampèremeter uit laten slaan of zelfs een lampje laten branden.

Onderzoeksvraag

1. Kunnen we een RED-cel bouwen die werkt?
2. Is het mogelijk om met onze RED opstelling een ampèremeter uit te laten slaan of een LED lampje te laten branden door urine te gebruiken?

Hypothese

1. Ja, we hebben goed onderzoek gedaan en hebben de juiste membranen.
3. Het is mogelijk om met onze RED opstelling een ampèremeter uit te laten slaan, maar het zal niet genoeg zijn om een LED lampje te laten branden.

Ondersteuning van de hypothese

De reden dat RED werkt, zijn de ionen in de zoutoplossing²². Dit zijn negatief en positief geladen ionen die door de verschillende membranen ervoor zorgen dat er een potentiaalverschil is tussen twee elektrodes. In urine zijn ook negatief en positief geladen ionen te vinden⁽¹⁶⁾. Natrium-, Calcium-, Magnesium- en Kaliumionen zijn positief geladen; Chloride-, Fosfaat-, en Sulfaationen zijn negatief geladen²³. Dus theoretisch zou men met urine doormiddel van Reverse Electrolysis energie kunnen winnen. Alleen zal het aantal membranen dat wij tot onze beschikking hebben niet voor een hele hoge stroomsterkte zorgen.

	<i>bloedplasma bevat (in %)</i>	<i>voorurine bevat (in %)</i>	<i>urine bevat (in %)</i>	<i>concentratie- veranderingsfactor (urine/voorurine)</i>
eiwitten	7,5	–	–	–
glucose	0,1	0,1	–	–
waterstofcarbonaat	0,16	0,16	0,1	1 ×
natrium	0,4	0,4	0,35	1 ×
chloride	0,36	0,36	0,6	2 ×
calcium	0,01	0,01	0,03	3 ×
magnesium	0,005	0,005	0,02	4 ×
kalium	0,02	0,02	0,15	7 ×
fosfaat	0,025	0,025	0,4	16 ×
sulfaat	0,005	0,005	0,12	24 ×
ureum	0,03	0,03	2,0	67 ×
creatinine	0,001	0,001	0,07	70 ×

Binas 85B

Materiaal & Methode

Materiaal

- 14 niet geleidende frames²⁴
- 2 (niet geleidende) stukken perspex²⁴ van 15cm x 15cm x ±0,5cm met gaten op de plek van de gaten van de membranen en een klein gaatje in het midden voor de draad van de elektrode (dit zijn de buitenste frames) (zie tekening)
- 7 Anion Exchange Membranes (AEM)
- 6 Cation Exchange Membranes (CEM)
- Ca. 4 m slang met een Ø 4 mm
- 4 stukjes 10cm niet geleidende schroefdraad Ø 5mm²³
- 8 moeren Ø 5mm
- 1 Pomp
- Boormachine
- 4,5mm boor
- Kitpistool
- Kit
- 2 elektrodes met draad
- 2 ½L flessen met schroefdop
- 5 statieven
- 5 rondbek klemmen
- 5 kruisklemmen
- 4-6 slangklemmen

Methode

Eerst maken we de elektrodes aan de buitenste frames vast. Hiervoor wordt een gat van Ø 1mm in het midden geboord. Door dat gat wordt de draad van de elektrode gestoken. Daarna stapelen we de membranen en de frames op elkaar. Hierbij is het belangrijk er voor te zorgen dat de volgorde is: – frame – AEM – frame – CEM –. Na het laatste binnen frame komt dus een buiten frame (zie tekeningen en foto blz. 23 en 24). Tussen de frames en de membranen wordt ook een beetje kit gesmeerd, zodat de frames en de membranen waterdicht zijn afgesloten. Er mag absoluut geen lek zijn tussen de compartimenten. De membranen hebben dan namelijk geen nut, want de twee verschillende oplossingen zullen zich dan vermengen en de ionen stroom komt dan stil te liggen.

Door de vier gaten bij in de hoeken van de frames en de membranen wordt het niet geleidende schroefdraad gestoken. Aan weerszijden worden er nu moeren aan vast gedraaid en wordt de opstelling vast gemaakt.

Steek nu de slangetjes in de openingen aan de onder- en bovenkant en maak de gaten waterdicht met kit. Nu moeten nog de twee buitenste frames aan de buitenkanten worden bevestigd. Er wordt genoeg kit aan de buitenkanten gesmeerd. Als alles is gedroogd, wordt de opstelling opgehangen. Dit om het brakke water makkelijk in een emmer te laten druppelen.

Voor deze opstelling worden 2 statieven met 2 klemmen gebruikt. De klemmen bevestigen we aan de statieven door middel van kruisklemmen. De 'RED-cel' wordt op een hoogte van ongeveer een halve meter opgehangen aan de klemmen. De slangetjes van de twee buitenste compartimenten worden aan elkaar gekoppeld en de pomp wordt aan deze slangetjes aangesloten. Ook de pomp wordt met een statief en een klem naast de 'RED-cel' opgehangen. Nu worden nog de bovenste slangetjes aan de flessen gekoppeld. Hiervoor moeten nog een paar dingen worden voorbereid. Zo

moeten er gaatjes in de doppen van de flessen worden geboord. 6 gaten van 4,5mm per dop. Ook de onderkanten van de flessen moeten worden afgesneden. De flessen worden aan 2 statieven met 2 klemmen boven de opstelling gehangen. Daarna kunnen de bovenste slangen in de gaten worden gestoken. Hierbij is het belangrijk dat de slangetjes om en om, gezien vanuit de compartimenten, in de flessen werden gestoken. (zie tekening blz. 21 en 22) Het wordt afgedicht met kit.

De 'droge' RED opstelling is nu klaar.

Om de opstelling ook echt te laten werken moet er nog wat gebeuren. Hiervoor heb je nog meer nodig:

- 1L Elektrolytoplossing met redoxkoppel $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$ en negatief geladen ionen om de oplossing neutraal te maken (bijvoorbeeld chloorionen, hiervoor wordt Fe(II)Cl_2 en Fe(III)Cl_3 gebruikt)
- 1L urine
- 1L NaCl oplossing (1M)
- 2L gedestilleerd water
- 1 emmer met een inhoud van minimaal 5L.
- 1 ampèremeter
- 2 draden
- 2 krokodillenbekken

De pomp wordt nu aan de zuigende kant los gekoppeld waarbij de zuigende kant van de pomp in de Elektrolytoplossing wordt gehouden. Als de elektrolytoplossing helemaal is rond gepompt en er dus aan de andere kant er weer uit komt, wordt het slangetje weer aan de pomp vast gemaakt. Dit moet 'onder water' gebeuren, want er mag geen lucht in de elektrolytoplossing zitten aangezien de pomp dan gaat haperen.

Nu worden er twee proeven gedaan. Bij de eerste proef kijken we of de opstelling überhaupt wel werkt. Hierbij gebruiken we een 1M NaCl oplossing. Dat betekent dat we 58,44 gram NaCl in 1L water oplossen. Deze oplossing wordt in een van de flessen gedaan. Het gedestilleerde water moet in de andere fles. Als je nu de pomp aanzet en de elektrolytoplossing rond pompt zal de ampèremeter uit slaan.

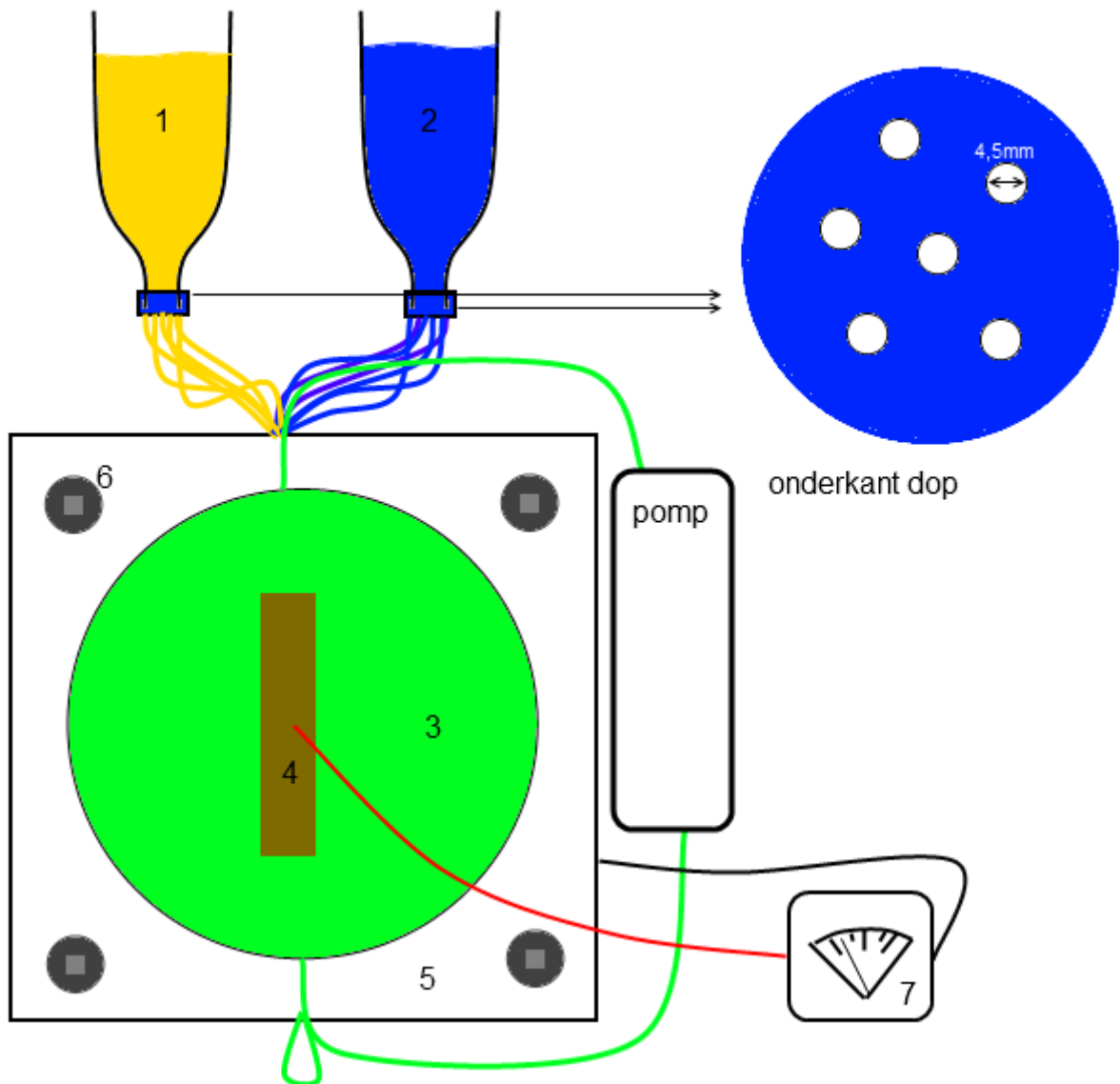
Bij de tweede proef, tussen urine en gedestilleerd water, moet er worden gezorgd dat de urine het gedestilleerd water om en om in de compartimenten komt. Dus in het eerste compartiment komt bijvoorbeeld urine, in het tweede komt dan gedestilleerd water, in het derde komt dan weer urine etc. Het maakt niet uit in welke volgorde urine en water in de compartimenten zitten. Uit de slangetjes aan de onderkant komt een mengeling tussen urine en gedestilleerd water. Deze oplossing wordt opgevangen in een emmer en later weggegooid.

De elektrodes worden aan elkaar gesloten. Daartussen kan een ampèremeter of een lampje gesloten worden om de elektronen uitwisseling aan te tonen.

Als het goed is zou de ampèremeter nu uit moeten slaan.

Tekening opstelling

vooraanzicht opstelling



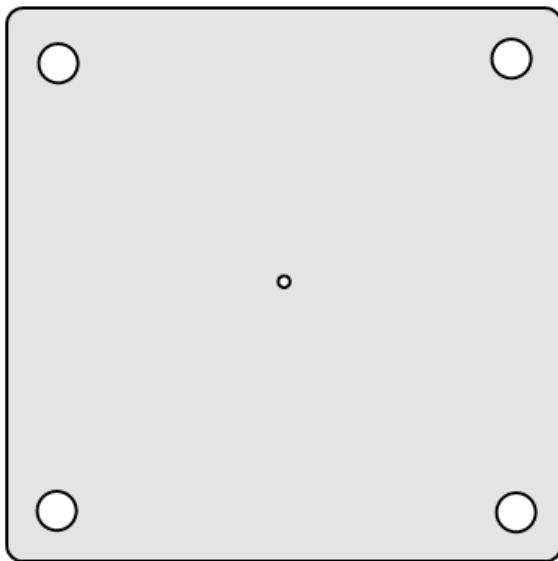
1. Fles met urine/zoutoplossing
2. Fles met gedestilleerd water
3. Compartiment met elektrolytoplossing
4. Elektrode

5. Frame
6. Moer en schroefdraad
7. Ampèremeter

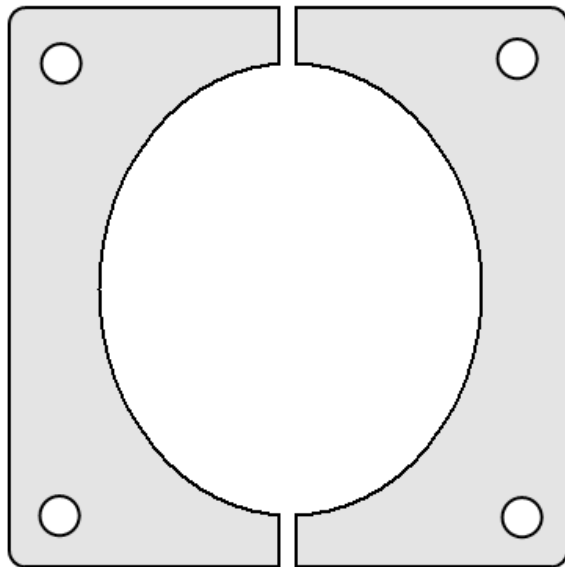
Foto's Opstelling



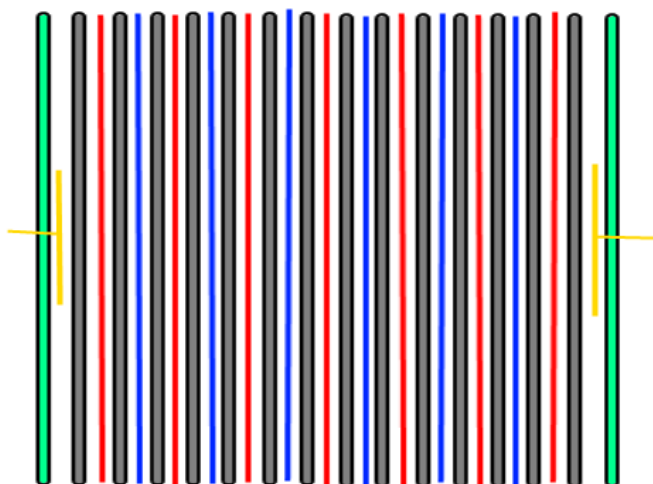
Buitenste frame



Binnenste frame



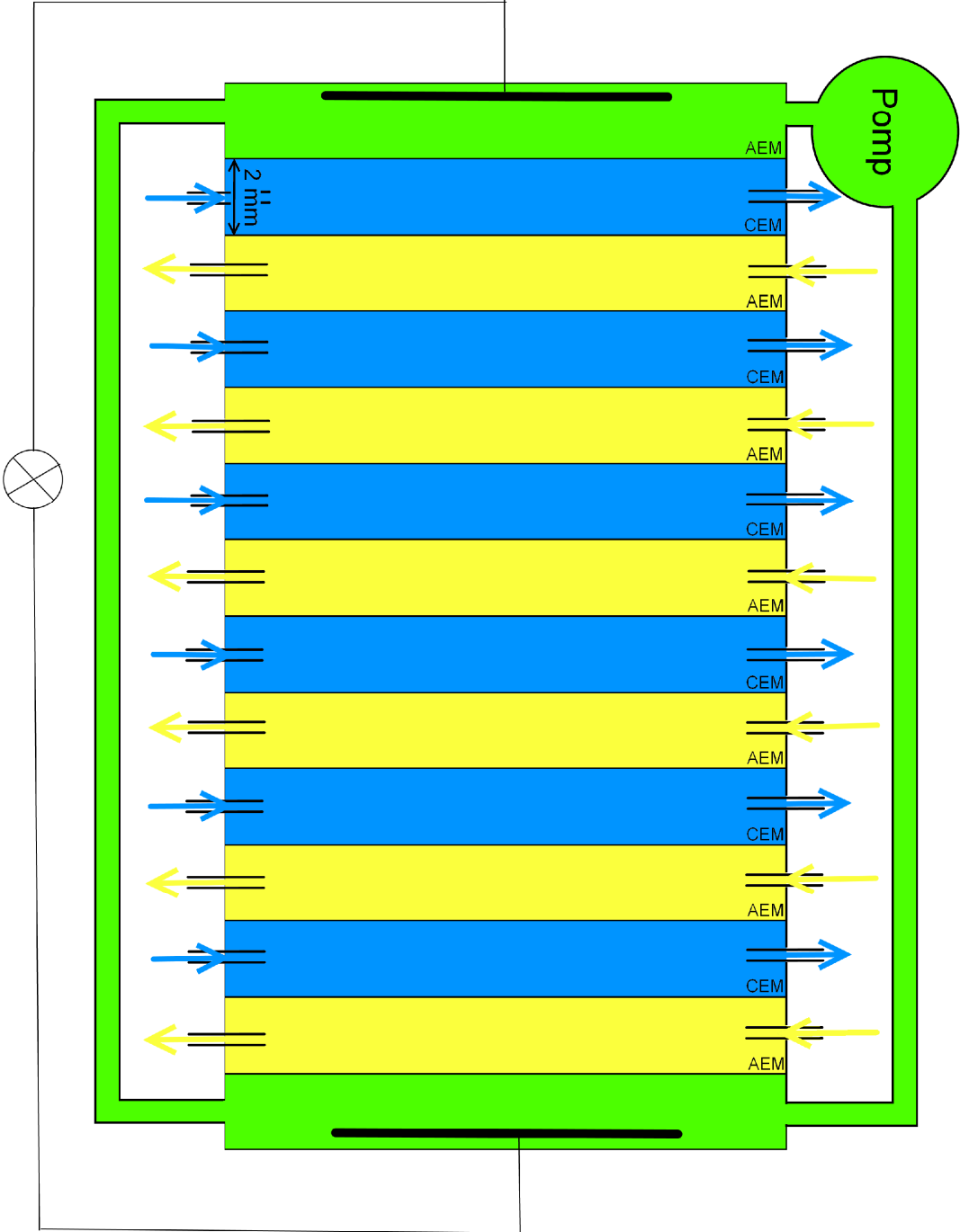
Volgorde frames/membranen



- elektrode
- CEM
- AEM
- buitenste frame
- frame



Schematische weergave RED opstelling



Resultaten

Met 1M NaCl oplossing en gedestilleerd water

1^e meting: 0,30 mA

2^e meting: 0,95 mA

3^e meting: 0,80 mA

Met urine en gedestilleerd water

1^e meting: 0,40 mA

2^e meting: 0,50 mA

Discussie

Dat de waardes van de opstelling met de zoutoplossing en het gedestilleerde water hoger zijn dan de waardes van de opstelling met urine en gedestilleerd water is makkelijk te verklaren. Urine is minder geconcentreerd dan de 1M NaCl oplossing. Hoe zouter (geconcentreerder) de oplossing is hoe meer ionen deze oplossing bezit, hoe meer ionenstroom er kan plaatsvinden en hoe meer elektronen er worden gewisseld en met meer elektronen die van de ene elektrode naar de andere stromen, des te hoger is de stroomsterkte.

De ampèremeter sloeg bij meting 1 veel minder uit. Het grootste resultaat was 0,30 mA. Dat is natuurlijk heel weinig. Omdat het onze eerste meting was, was het uitslaan van de ampèremeter voor ons het bewijs dat de opstelling werkt. Toen we de opstelling opruimden voor de nacht, de onderste slangetjes hadden afgesloten en kraanwater in de compartimenten hadden gegoten, zodat ze niet uit zouden drogen, sloeg de ampèremeter veel meer uit; namelijk 0,90 mA. De reden hiervoor is dat er nog een beetje zoutwater in de compartimenten was blijven zitten. De overgebleven zoutoplossing mengde zich met het kraanwater en kon nu verder reageren. De echte reden dat de ampèremeter zo veel meer uitsloeg is omdat we de slangetjes aan de onderkant hadden gesloten en de compartimenten zich nu wel helemaal vulden. Bij onze eerste meting stroomden de oplossingen net zo hard in de compartimenten als eruit. De compartimenten werden dus niet gevuld. Daardoor werd maar een minimaal stukje van de membranen gebruikt.

Foutenanalyse

Een van de fouten bij onze metingen hebben we al verklaard. Het 'doorstroom' probleem hebben bij de volgende twee metingen verholpen door eerst de slangetjes aan de onderkant dicht te knijpen met slangklemmen, totdat de compartimenten waren gevuld. Daarna draaiden we de slangklemmen een klein beetje open, zodat de oplossingen eruit druppelden. Want het was natuurlijk nog steeds belangrijk dat de vloeistoffen doorstroomden.

Onze opstelling was zo lek als een mandje. Dit is lastig op te lossen, omdat wij niet het materiaal hebben om de frames perfect passend en lucht- en waterdicht af te sluiten. We hadden kit kunnen gebruiken, maar we wisten niet of dat de membranen zou aantasten en dat we wilden dat ook niet riskeren. We vermoeden wel dat als we de opstelling helemaal waterdicht hadden kunnen afsluiten, dat er dan meer spanning tussen de elektroden was en dus ook een grotere stroomsterkte.

We hebben een 1M NaCl oplossing gebruikt bij deze proef. Dat zijn 58,44 gram per 1L. 1L gedestilleerd water weegt 961,60 gram.

Het zoutgehalte in massaprocenten is:

$$58,44 / (961,60 + 58,44) = 58,44 / 1020,04 = 0,0572... \times 100\% \approx 5,73\%$$

Er zit dus 5,73% zout in de oplossing dat wij hebben gebruikt. Het zeewater dat zal worden gebruikt in een 'blue-energy-centrale' heeft (ongeveer) 3,45% opgelost zout. Onze oplossing had dus ongeveer $1\frac{2}{3}$ zoveel zout als zeewater. Dit zou betekenen dat onze oplossing meer ionen had, en de ionenstroom dus ook sterker zou zijn, er meer redoxreacties plaats vinden en de stroomsterkte groter zou zijn dan bij zeewater (oplossing met 3,45% zout). Dit bedachten we pas toen we de opstelling uit elkaar hadden gehaald en alles was opgeruimd. Er was geen tijd meer om de opstelling opnieuw op te bouwen en meting te doen met een 3,45% zoutoplossing. Daar zouden we nog één of twee dagen voor nodig hebben gehad.

Maar misschien maakt de concentratie helemaal niets uit en was er een overmaat aan ionen in de oplossing. Want bij onze toevallige meting (zie discussie) maten we met een hele lage zoutconcentratie (de compartimenten waren nog vochtig en daar deden we water bij) sloeg de ampèremeter uit naar 0,90 mA. We vermoeden dus dat onze oplossing verzadigd was en dat er niet meer ionen konden wisselen. Dit weten we echter niet zeker en zouden we in een vervolgonderzoek moeten bekijken en tijdens onze presentatie presenteren.

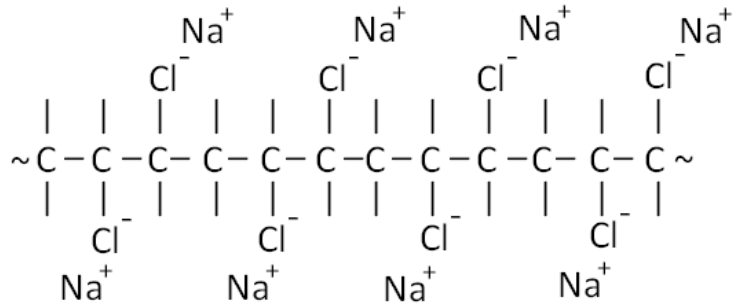
Voor ons practicum hebben wij een aquarium pomp gebruikt. Bij deze pomp hebben wij aan de zuigkant een injectiespuit vast gekit en aan de duw kant ook. Maar een pomp kan beter duwen dan zuigen. Door de injectiespuit had de pomp dus veel meer wrijving door het dunne slangetje dan dat de pomp normaal heeft wanneer er geen vloeistof moet worden gezogen door een dun slangetje. Dit valt op te lossen door het dunne stukje slang te vervangen door een dik stuk slang. Nu heb je wel een probleem, want het dikke stuk slang past niet in het compartiment met elektrolytoplossing waaruit gezogen wordt. Het is een oplossing om een tussenkamer te maken. Deze tussenkamer kun je maken van een plastic fles. Je haalt dan van de plastic fles de onderkant eraf en klemt hem op de kop aan een extra statief met een kruisklem en een rondbekkleem. Je boort in de dop van de fles twee gaten, het eerste gat moet een diameter hebben van de dikte van de kleine slang (bij ons $\varnothing 3,5$ mm) en het tweede gat moet een diameter van de dikte van de 'nieuwe' dikke slang hebben (gebruik bijvoorbeeld een stuk tuinslang, deze heeft een $\varnothing 13$ mm). Dan doe je de slangetjes in de dop en doe je een overmaat aan elektrolytoplossing in de tussenkamer. Als je de pomp nu aanzet zal deze het veel beter doen. Dan zal de elektrolytoplossing sneller rond worden gepompt en kan er vaker een redoxreactie plaatsvinden en zullen er dus meer elektronen van het ene naar het andere compartiment 'verhuizen', de stroomsterkte zal dan naar verwachting hoger worden.

Het is jammer dat we alleen de stroomsterkte hadden gemeten. Als we ook de spanning hadden gemeten, hadden we het vermogen met $P=U \cdot I$ kunnen berekenen. Dit kunnen we echter wel doen voor de presentatie.

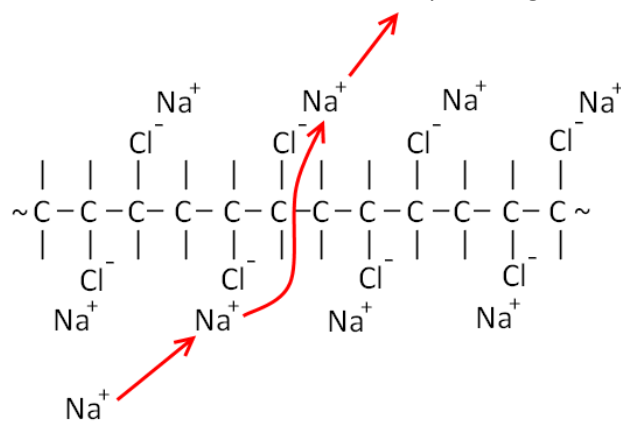
Membranen

De membranen die voor Reverse Electro Dialysis gebruikt worden heten Anion Exchange Membran (AEM) en Cation Exchange Membrane (CEM), zoals eerder beschreven. De AEM laten alleen negatief geladen ionen door, CEM laten alleen positief geladen ionen door⁽¹⁷⁾.

De membranen zijn lange koolstofketens waaraan ionen zitten. Deze ionen zijn of positief of negatief geladen. Zo een koolstofketen heet een ionomeer²⁵. Omdat een ionomeer niet geladen kan zijn plakken er aan de ionen van de ionomeer ionen met een tegengestelde lading. (zie afb. hiernaast)



Een CEM, dat alleen positief geladen ionen door laat, bestaat uit een koolstofketen met negatief geladen ionen er aan. Aan die negatief geladen ionen zitten positief geladen ionen die de ionomeer neutraliseren (er voor zorgen dat de ionomeer geen lading heeft). De afbeelding hierboven laat dus een CEM zien, met Cl^- ionen aan de koolstofketen met Na^+ ionen aan de Cl^- ionen om de ionomeer neutraal te maken. Als nu een los positief geladen ion uit de oplossing naar het membraan gaat zal



een positief ion van het membraan door het afstoten van dezelfde lading door het membraan geduwd worden. Het positief geladen ion dat uit de oplossing komt zal de plek van het positief geladen ion van het membraan vervangen. Het ion dat door het membraan wordt geduwd zorgt er voor dat het positief geladen ion aan de andere kant van het membraan wordt weggeduwd (zie afb. hiernaast). Nu zit er in de eerste oplossing een (positief) ion minder en in de tweede oplossing een (positief) ion meer. Het membraan laat dus niet direct ionen door, maar ze worden stap

voor stap verder geduwd. Op de afbeeldingen zijn Na^+ en Cl^- gebruikt, maar het werkt natuurlijk ook met allerlei andere ionen.

Een AEM werkt op precies de zelfde manier. Het verschil tussen een AEM en een CEM is dat er aan het ionomeer van het AEM geen negatief geladen ionen, maar positief geladen ionen zitten. Aan de positief geladen ionen van een ionomeer van een AEM zitten negatief geladen ionen om het membraan te neutraliseren. Deze negatief geladen ionen worden dus net zoals bij een CEM verder geduwd.

Bij Pressure Retarded Osmosis wordt gebruik gemaakt van een semipermeabel membraan dat alleen water door laat. Het is gemaakt van cellulose²⁶.

Hoeveel energie valt er te winnen?

Om nu een indicatie te maken hoeveel energie er te winnen valt bij de PRO manier is er een formule opgesteld: $\pi = R * T * \Delta c$.²⁷

Bij deze formule geldt:

π	Maximale osmotische druk
R	De gasconstante ($8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) ²⁸
T	De absolute temperatuur in Kelvin
Δc	Het verschil in ionconcentratie in mol L^{-1}

Δc is in ons geval het aantal mol van de geconcentreerde stof, omdat gedestilleerd water geen concentratie heeft.

Wij hebben bij scheikunde urine en gedestilleerd water gewogen om de gewichten van de deeltjes in urine te bepalen. Deze zijn:

	gewicht (gram)	aantal liter
urine	99,63	0,1
gedestilleerd water	96,16	0,1

1,0 liter urine weegt dus 996,30 gram en 1,0 liter gedestilleerd water weegt 961,60 gram.

Deeltje	procent	hoeveelheid (gram)
Natrium	0,35	3,48705
Kalium	0,15	1,49445
Fosfaat	0,4	3,9852
Waterstofcarbonaat	0,1	0,9963
Chloride	0,6	5,9778
Calcium	0,03	0,29889
Magnesium	0,02	0,19926
Ureum	2,0	19,926
Sulfaat	0,12	1,19556
Creatinine	0,07	0,69741

Bronverwijzing: (16)

Deeltje	gram	gram per mol	Aantal mol
Natrium	3,48705	22,99	0,1517
Kalium	1,49445	39,10	0,0382
Fosfaat	3,9852	94,97	0,0420
Waterstofcarbonaat	0,9963	61,02	0,0109
Chloride	5,9778	35,45	0,0169
Calcium	0,29889	40,08	0,0075
Magnesium	0,19926	24,31	0,0082
Ureum	19,926	60,06	0,3318
Sulfaat	1,19556	96,06	0,0124
Creatinine	0,69741	113,12	0,0062

+
0,6258

$$\pi = 8,3145 * 293,15 * 0,6258 = 1525,322213 = 1,525 * 10^3 \text{ J L}^{-1}$$

De opbrengst bij de PRO opstelling zal dus ongeveer 1,5 KJ zijn.

Bij de osmotische druk tussen gedestilleerd water en zout water met een zoutconcentratie die gelijk is aan die van zeewater gelden de volgende waarden.

Stof	gram	Molmassa (gram)	Aantal mol
Natriumchloride	24	58,44	0,410..
Magnesiumchloride	5	95,22	0,052..
Natriumsulfaat	4	142,00	0,028..
Magnesiumbromide	0,8	184,11	0,004..
Calciumchloride	0,7	111,0	0,006..

Bronverwijzing: 29

deeltje	Aantal mol
Natrium	0,467..
Chloor	0,528..
Magnesium	0,056..
Sulfaat	0,028..
Broom	0,008..
Calcium	0,006..

$$\text{-----}^+$$

$$1,095343.. \text{ mol}$$

$$\pi = 8,3145 * 293,15 * 1,095343 = 2669.784291 = 2,7 * 10^3 \text{ J L}^{-1}$$

Per liter water is de bruto maximale winst van de opstelling met urine $\pm 1,5 \text{ J}$ en die van zoutwater is $\pm 2,7 \text{ J}$. De opstelling met urine zal dus theoretisch zo'n 57% van de energie, die je kunt winnen met de zoutwater opstelling, opbrengen.

$$(1525,322213 - 2669.784291) / 2669.784291 = -0,42867..$$

$$-0,42867.. * 100 = -42,867 \%$$

$$\text{Dus } 100 + (-42,867) = 57,0328.. \% \approx 57 \%$$

Als we dus een toilet bouwen met een PRO opstelling kunnen bouwen die werkt met urine en gedestilleerd water, kunnen we zo'n 57% (dus iets meer dan de helft) van het winstpercentage van de PRO opstelling met zoutwater (3,5% oplossing) winnen.

Conclusie

Is een Blue Energy toilet rendabel?

Over de vraag of een Blue Energy toilet mogelijk is, hebben wij een antwoord bewezen. Een Blue Energy toilet is namelijk mogelijk. We hebben met onze proeven laten zien dat RED opstelling meer energie oplevert per liter urine dan de PRO opstelling. Bij de PRO opstelling hebben we namelijk 2L urine gebruikt en bij de RED opstelling 1L. Bij de RED opstelling sloeg de ampèremeter gedurende de hele tijd, dat er urine in de compartimenten zat, uit. Het hele practicum duurde ongeveer 30 minuten (bij de eerste keer 26 minuten en bij de tweede keer 31 minuten, het lag er namelijk aan hoe strak de slangklemmen waren aangedraaid). We wachtten namelijk totdat alle urine door de compartimenten was heen gestroomd en er beneden uitgedruppeld.

De resultaten van ons RED practicum met zoutwater en urine laten zien dat we met urine ongeveer de helft kunnen winnen van de energie die te winnen valt met zoutwater. Helaas hebben we bij het practicum niet de spanning gemeten, dus kunnen we niets zeggen over het vermogen dat onze opstelling levert. Onze eerste opzet van het practicum was om aan te tonen dat RED met urine werkt. Dat hebben we bewezen, want de ampèremeter sloeg uit en er was dus wel degelijk een stroomsterkte.

Na de proef vroegen we ons af wat we er nou aan zouden hebben, maar daar hadden we de spanning voor nodig. Dit kunnen we nog wel verwerken in onze presentatie, omdat we de opstelling dan weer in elkaar zetten. We doen dit, omdat we dan in onze presentatie duidelijk kunnen laten zien wat we hebben gedaan en hoe. Een uitleg met een opstelling erbij is namelijk nog veel duidelijker dan afbeeldingen.

Bij RED wordt wel een heleboel energie geïnvesteerd. Om de reactie door te laten lopen moet de elektrolyt oplossing rond worden gepompt⁽²⁰⁾. De energie die we hebben geïnvesteerd konden we bij lange niet terug winnen, daarvoor was onze opstelling te klein en we hadden dus sowieso een negatief rendement. Als men echter een RED opstelling met urine op grote schaal zou bouwen, zou het wel rendabel kunnen zijn. Hiermee is meteen onze hoofdvraag, *'is een Blue Energy toilet rendabel'*, voor een deel beantwoord. Zo is het op kleine schaal, zoals bij onze opstelling, totaal niet rendabel en ook niet praktisch. Onze RED opstelling stond namelijk zo'n half uur met 1 liter urine. Dit zou betekenen dat mensen maar 1 liter in een half uur zouden mogen plassen (of je moet een enorme opslagtank hebben). Aangezien dit veel te weinig is zou het dus op grotere schaal moeten. Op grote schaal kun je namelijk ook de invoer aan energie van de pomp overwinnen en meer liters urine in de compartimenten laten stromen. De winst wordt zo dus hoger.

Nawoord

Het profielwerkstuk is af. Toch hebben we niet alle deelvragen beantwoord die in het plan van aanpak stonden. Een hiervan is *'verstopt het membraan'*. Deze deelvraag hebben we niet beantwoord, omdat we maar een beperkte hoeveelheid van de CEM en AEM membranen in bezit hadden. Het was voor ons dus niet mogelijk om hier een aantal practica mee te doen en te testen of deze membranen zouden verstopen. Aangezien er nooit urine werd gebruikt voor RED, dus met CEM en AEM membranen moesten wij dit dus sowieso zelf testen. Er was namelijk geen literatuur voor de onderbouwing van deze practica. De andere deelvraag die niet beantwoord is, is: *'hoeveel energie is er nodig voor het bouwen van een Blue Energy toilet'*. Deze valt ook niet te beantwoorden aangezien we nergens konden vinden hoeveel energie er nodig is voor het bouwen van een toilet en hoeveel energie er wordt gebruikt bij het maken van de membranen. Onze RED opstelling was niet optimaal, we konden er alleen mee aantonen dat RED met urine mogelijk is. En dat met urine ongeveer 50% van de energie kan worden gewonnen die bij het gebruik van zeewater wordt gewonnen.

	Verwijzingen	Bronnen
1	Blue Energy	bron 1 van de geprinte bronnen
2	Zouten in urine	Binas tabel 85B
3	Werking van een stuwmeer	Filmpje over de werking van waterkrachtcentrales. http://videos.howstuffworks.com/howstuffworks/3851-hydroelectric-power-video.htm
4	Blue energie in de praktijk	Bron 2 van de uitgewerkte bronnen.
5	Pressure retarded osmosis	Archief van de Volkskrant, naar René Didde. http://www.volkskrant.nl/vk/nl/2844/Archief/article/detail/364923/2009/11/21/Zolang-er-zee-is-hebben-de-Noren-schone-stroom.dhtml en bron 3 van de uitgewerkte bronnen.
6	Osmose is een proces op basis van diffusie waarbij een vloeistof met opgeloste stoffen daarin door een semipermeabel membraan heen stroomt. Dit membraan laat wel de vloeistof door, maar niet de opgeloste stoffen.	Osmosis, An account of osmosis for GCSE biology students. http://www.purchon.com/biology/osmosis.htm
7	Inductiestroom	Stevin (Natuurkunde boek) hoofdstuk 8
8	Generator	Filmpjes hoe een generator werkt. http://www.metacafe.com/watch/3569670/how_do_magnetic_generators_work/ en http://www.vega.org.uk/video/programme/309
9	Gelijkrichter	World Lingo, werking van een gelijkrichter. http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/nl/Rectifier
10	Turbine	HowStuffWorks natuurkunde site met de werking van een turbine. http://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/turbine3.htm
11	Gedestilleerd water	Gedestilleerd water bestaat puur uit H ₂ O. http://www.ikhebeenvraag.be/vraag/4302
12	Practicum 'osmose'	-
13	Concentratie van zeewater is 3,5 %	Seafriends, website met alle weetjes over de zee. http://www.seafriends.org.nz/oceano/seawater.htm

14	Entropie is een maat van wanorde. Een hoge entropie is een hoge verdeeldheid (wanorde). Entropie is iets natuurlijks. Als men bijvoorbeeld in een bak rode en witte gesorteerd naast elkaar legt (de rode knikkers aan de ene kant, de witte knikkers aan de andere kant), is het zeer waarschijnlijk dat de knikkers in een wanorde door elkaar liggen nadat men de bak heeft geschud. Entropie komt ook voor bij warmteuitwisseling. Als men een ijsblokje in een glas hete thee doet wordt er warmte uitgewisseld. Het ijsblokje zal warmer worden (warmte opnemen van de hete thee) en smelten. De thee verliest een beetje warmte en wordt minder heet. De warmte verdeeld zich dus.	Blue energy module. http://betavak-nlt.nl/downloads/v120/v120_Blue_Energy_ev_l_07092010.doc/
15	Hoofdstuk hoeveel energie valt er te winnen.	-
16	Urine	YvyRose Hostilic, Urine en urine analyse. De samenstelling van urine. http://www.ivyrose.co.uk/HumanBody/Urinary/Urinary_System_Composition_Urine.php , Binas 85B, kennis verschaft via Dr. M. Klemt-Kropp
17	Reverse electro dialysis	Bron 4 van de geprinte bronnen en posterpresentatie over de rendabiliteit en werking van RED. http://cms.ieis.tue.nl/innov/Files/Img/Voorbeelden/InnovatieChallenge_Poster2.pdf , Membraan onderzoek naar Kitty Nijmijer van de Twente University. http://www.materialenkennis.nl/dico/UserFiles/File/Nijmeijer-E-and-P-polymers-sustainable-energy.pdf
18	Elektrodialyse	Lenntech, natuurkunde site van de TU Delft. Informatie over elektrodialyse. http://www.lenntech.nl/elektrodialyse.htm
19	Redox	Puslar Chemie (scheikunde boek)
20	Reden pompen elektrolytoplossing	Als de elektrolytoplossing niet wordt rondgepompt valt de reactie na een tijdje stil. Dit gebeurt omdat de Fe^{2+} in compartiment 1 reageert naar $Fe^{3+} + e^-$. Na een tijdje is er in compartiment 1 alleen nog maar Fe^{3+} aanwezig. In compartiment 4 reageert $Fe^{3+} + e^-$ naar Fe^{2+} . Na een tijdje zal in compartiment 4 alleen nog maar Fe^{2+} aanwezig zijn. Door de elektrolytoplossing rond te pompen komen er in compartiment 1 nieuwe Fe^{3+} ionen en in compartiment 4 nieuwe Fe^{2+} ionen.

21	Het winnen van energie	Wij kunnen natuurlijk geen energie winnen met onze opstelling. Wel kunnen we aantonen dat er (een spanningsverschil en) een stroomsterkte is.
22	Ionen in urine	Info.nu, werking van de nieren. Ionden in urine http://mens-en-gezondheid.infonu.nl/ziekten/24989-de-werking-van-nieren.html
23	Ladingen van de ionen	Binas tabel 45A
24	Niet geleidende frames	De frames mogen niet geleiden, omdat er anders de kans bestaat dat de elektronen van de redoxreactie niet via de elektroden en door het lampje/ampèremeter/etc. gaan, maar via de frames.
25	Ionomeer	Site over ionomeren. http://www.pslc.ws/macrog/ionomer.htm , Membraan onderzoek naar Kitty Nijmijer van de Twente University. http://www.materialenkennis.nl/dico/UserFiles/File/Nijmeijer-E-and-P-polymers-sustainable-energy.pdf (sheet 12)
26	Semipermeabel membraan	Nectar (biologie boek),
27	Formule voor osmotische druk	Applied physical pharmacy, Mansoor M. Amiji en Beverly J. Sandmann. Boek http://books.google.com/books?id=Q-VyaWiBDccC&pg=PA56&dq=Morse+equation&as_brr=3#v=onepage&q=Morse%20equation&=false
28	Gasconstante	Binas tabel 12
29	Samenstelling van zeewater. De concentratie is 3,5%	Seafriends, website met alle weetjes over de zee. http://www.seafriends.org.nz/oceano/seawater.htm