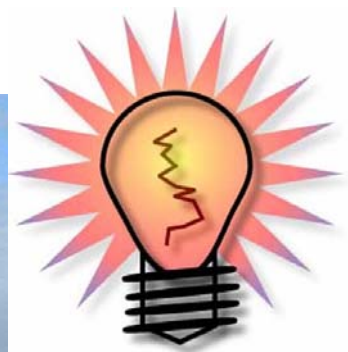


Thesis
Junior College Utrecht

Zonne-energie uit water

Reverse electrodialysis



Anton Kalsbeek
Jeroen Leliveld
23-01-2005

Inhoudsopgave

INHOUDSOPGAVE	2
ABSTRACT	3
INLEIDING	4
THEORIE	5
MEMBRANEN	5
DE ELEKTROLYT	5
DE ELEKTRODEN	7
DE STACK	7
ZONNE-ENERGIE	8
REKENEN AAN REVERSE ELECTRODIALYSIS	8
<i>Osmotische druk</i>	8
<i>Membraanspanning</i>	9
<i>Stackspanning</i>	10
<i>Weerstand van het elektrolyt</i>	10
<i>Electrolyt stroomsterkte</i>	11
<i>Externe stroomsterkte</i>	11
<i>Stack stroomsterkte</i>	11
ONDERZOEKSVRAAG	12
HYPOTHESE	12
METHODOLOGIE	13
MATERIAAL	13
METHODE	13
<i>De elektrodebehuizing</i>	13
<i>De stack op maat</i>	16
<i>De stack in elkaar</i>	17
<i>Gebruik van het apparaat</i>	17
<i>Rekenen aan resultaten</i>	18
RESULTATEN	19
CONCLUSIE	21
DISCUSSIE	22
REELE ENERGIEWINNING?	22
BRONVERMELDING	23

Abstract

Wij hebben een opstelling gemaakt om elektrische stroom die ontstaat uit zoutconcentratieverschil aan te tonen.

Het is al langere tijd bekend dat er uit het zoutverschil tussen zoet en zout water energie kan worden opgewekt. Het zoute en het zoete water lopen gescheiden door ionogeen selectieve membranen langs elkaar. De membranen laten enkel positieve óf negatieve ionen door. Door het verschil in osmotische druk zullen ionen door de membranen heengaan. Aan de kant waar de negatieve ionen het zoute water verlaten en in zoet water komen ontstaat een negatieve potentiaal. Aan de kant waar de positieve ionen het zoute water verlaten en in het zoete water komen ontstaat een positieve potentiaal. Door het ontstane potentiaalverschil kunnen elektronen van de negatieve naar de positieve potentiaal bewegen. Op die manier wordt elektriciteit opgewekt.

Inleiding

Blauwe energie is alle energie die gewonnen wordt uit water. Naast stuwdammen kan je ook met behulp van zoutconcentratieverschillen energie opwekken. Deze vorm, omgekeerde elektrolyse, zou een revolutionaire nieuwe energievorm kunnen zijn. Het is schoon en gebruikt alleen natuurlijke grondstoffen, een grondstof die deltalanden in overvloed hebben: zee- en rivierwater. Afgelopen twee jaar hebben kranten boordevol informatie en PR artikelen gestaan [1-7] Hoe ver zijn de ontwikkelingen op dit gebied nu eigenlijk?

Het opwekken van stroom uit zoutconcentratieverschil wordt gedaan met membranen die selectief positieve óf negatieve ionen doorlaten. Als de prijzen van deze membranen zouden dalen, zou het een veel aantrekkelijkere manier van energie worden. KEMA, een Nederlands bedrijf gespecialiseerd in de ontwikkeling van nieuwe membranen, heeft laatst een manier om deze membranen goedkoper te produceren ontdekt. [3][7] Tegenwoordig zijn deze membranen tussen de €50,- en de €100,- per vierkante meter. Aangezien er een behoorlijk aantal vierkante meters nodig zijn, wordt het dure energie. De kosten van de membranen die door KEMA zijn ontwikkeld zouden €5,- per vierkante meter zijn. Met een lage kostprijs van de membranen wordt deze vorm van blauwe energie mogelijk rendabel. Er zijn ook nog andere problemen gebonden aan deze energievorm. Om deze manier van stroom opwekken te demonstreren en meten moeten er experimentele opstellingen gemaakt worden. De membranen moeten met de hand geknipt en geperforeerd worden. Dit kost veel tijd zolang er nog geen mal voor is.

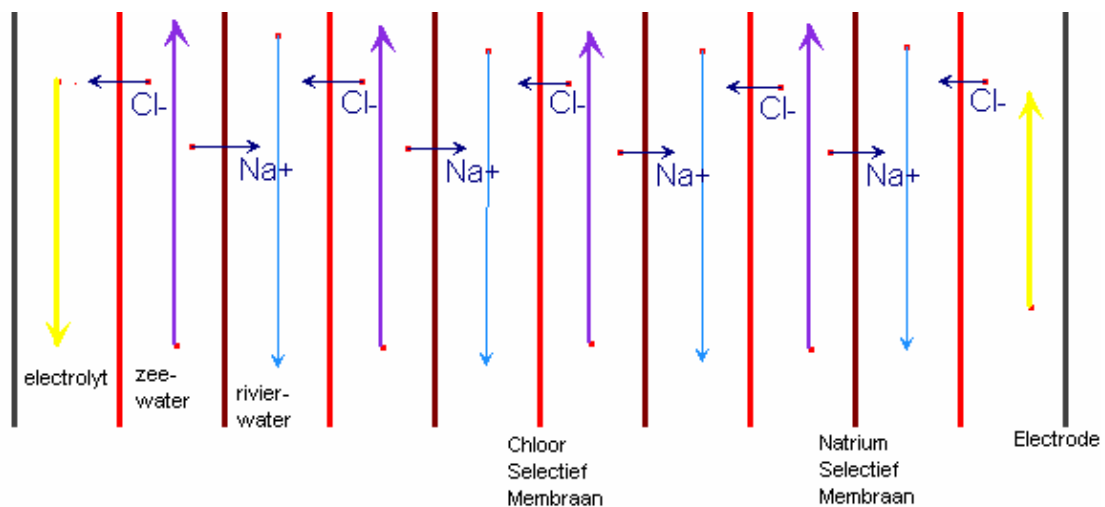
Wij hebben dit onderwerp voor onze thesis gekozen omdat we hopen dat dit een rendabele en groene energievorm kan worden in de toekomst. Wij willen kijken of wij deze manier van energie opwekken in het klein kunnen nabootsen.

Theorie

Membranen

Het basisprincipe van deze energievorm is omgekeerde elektrolyse, reverse electrolysis of RED, het scheiden van zouten op ion niveau. Als twee watervolumes met een zoutconcentratieverschil aan elkaar verbonden worden, terwijl alleen de ionen van volume naar volume kunnen bewegen, ontstaat er een ionendrukverschil, ook osmotisch drukverschil genoemd. De ion concentratie wil in beide volumes gelijk zijn en de ionen zullen van de hoge concentratie naar de lage bewegen. Membranen zijn een manier om alleen ionen en niet watermoleculen tussen de vloeistoffen te laten bewegen.

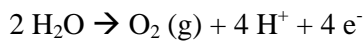
Er bestaan ook membranen die alleen positieve of alleen negatieve ionen doorlaten, de zogenaamde selectief ionogene membranen. Als deze gebruikt worden kan alleen het negatieve of het positieve, in zee-water dus vooral het chloor- of het natriumion tussen de vloeistoffen bewegen. Dit betekent dat aan de ene kant een oplossing met een positievere potentiaal ontstaat met vooral natriumionen tegenover de negatievere potentiaal aan de andere kant met vooral chloorionen. Er ontstaat hierdoor een potentiaal verschil tussen beide kanten. Met dit potentiaal verschil is energie op te wekken. Er is één negatief doorlatend membraan meer, dat is om de positieve ionen in het elektrolyt te houden. Dit wordt in de volgende paragraaf verder uitgelegd.



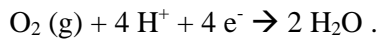
De elektrolyt

Uit het potentiaal verschil wordt energie opgewekt door met een redox koppel elektronen rond te laten lopen. Aan de anode ontstaan elektronen die daarna naar de kathode lopen, waar ze weer op worden genomen.

Dit kan met elk redox koppel, bijvoorbeeld water:

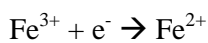


en de omgekeerde reactie



Het probleem bij dit redox koppel is dat er zuurstof(gas) ontstaat. Deze belletjes zorgen voor verstoring op de elektrode.

In plaats van water wordt daarom het $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ redox koppel gebruikt. De precieze reacties zijn hierbij:



&



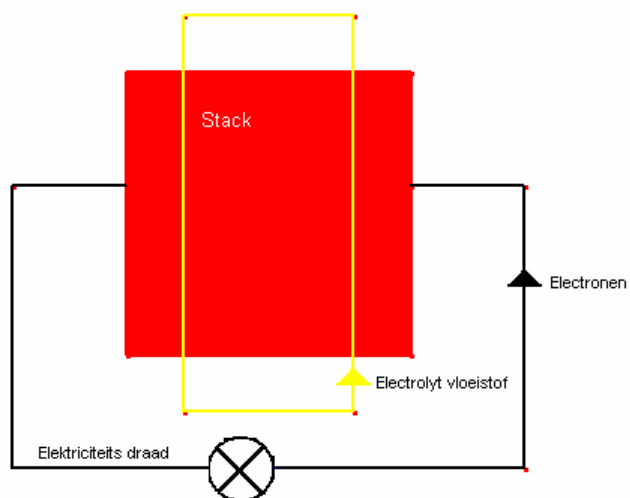
Het $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ redox koppel bevindt zich in een elektrolytoplossing. Dit is een vloeistof waarin ionen zijn opgelost en daardoor stroom geleidt. De redox-reactie kan omgekeerd worden, daarom wordt de elektrolytoplossing wordt van anode naar kathode (en andersom) rondgepompt, zodat het reactieproduct dat aan de ene kant gebruikt is om een elektron af te staan weer een elektron kan opnemen aan de ander kant en andersom.

Onze elektrolytoplossing heeft de volgende samenstelling:

- 0,1 M $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ (In dit complex is ijzer Fe^{2+})
- 0,1 M $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ (In dit complex is ijzer Fe^{3+})
- 0,05 M Na_2SO_4 (Er wordt SO_4 gebruikt in plaats van Cl , omdat er dan geen chloorgas ontstaat)

De elektrolyt vloeistof wordt afgescheiden van de rest van de stack met een chloorion selectief membraan, dit wordt gedaan zodat het ijzer niet uit de elektrolytvloeistof in het normale water verdwijnt.

De ijzer-ionen zitten in een ijzercyanide-complex om roestvorming tegen te gaan. Als je dit niet zou doen zou er versneld ijzeroxide ontstaan onder invloed van het potentiaal verschil. Aan dit complex zitten echter wel nadelen. De belangrijkste is dat als het complex in aanraking komt met een sterk zuur er blauwzuur gas ontstaat. Dit is bij inademing dodelijk, het verhindert de ademhaling waardoor je stikt.

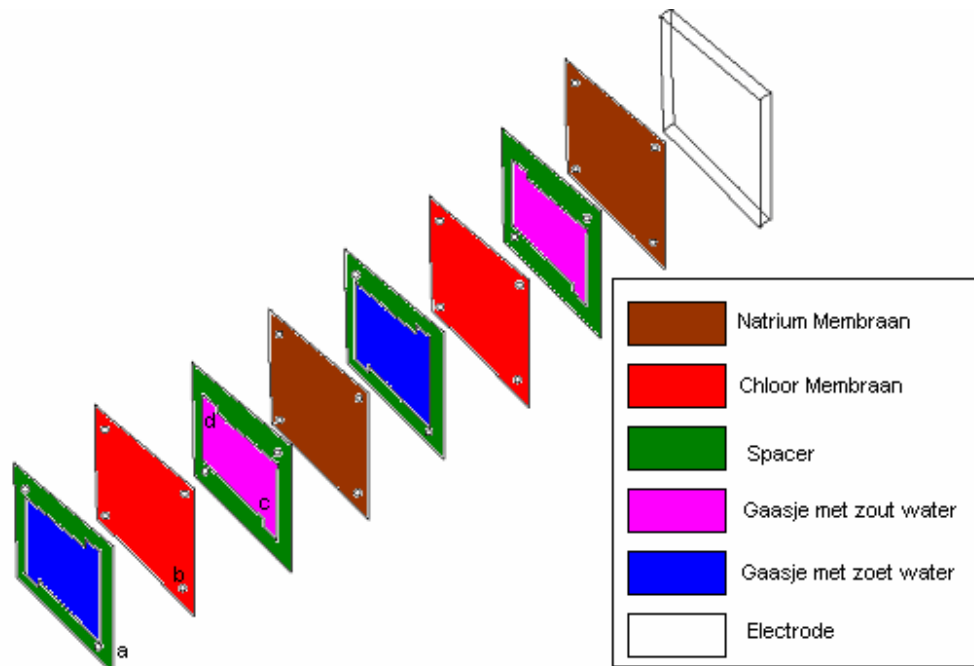


De elektroden

Als elektrode wordt in professionele opstellingen een titaanverbinding gebruikt. Dit wordt gedaan omdat dit metaal erg goed elektriciteit geleid. Daarnaast gaat het geen reactie aan met de elektrolyt, zodat de elektrode niet in oplossing raakt en verdwijnt. Het kan theoretisch gezien ook met andere stoffen als elektrode.

De stack

De stack is de verzameling opeenvolgende membranen met ruimte daartussen voor het water. De stack is opgebouwd uit verschillende onderdelen: Twee soorten membranen, spacers, elektroden en een gaasje. De spacer zorgt ervoor dat het water niet uit zijn compartiment tussen de twee membranen kan weglopen en dat er alleen één bepaald soort water in het compartiment kan komen, zout of zoet. Het gaasje scheidt twee naast elkaar liggende membranen, zodat er een ruimte voor het water ontstaat.



De figuur laat een voorbeeld van een stack zien. Bij het opeenstapelen van membranen en spacers, komen de gaten en uitsparingen zo op elkaar te liggen, dat er een leiding ontstaat waar het zoute óf het zoete water doorheen kan lopen. Het zoute en het zoete water worden beide aan de onderkant van de stack erin geleid. Het ene links en het andere rechts. Aan de bovenkant van de stack zitten de uitgangen. We nemen even de rechter buis. Het water gaat eerst door het gat rechtsonder in de eerste spacer (a), er gebeurt niets. Daarna gaat het door het eerste membraan (b), er gebeurt weer niets. Dan komt het bij de tweede spacer/gaasje combinatie. Hier gaat het echter niet door het gaatje, maar komt het in het gaasje (c). Dit gaasje zit in de uitsparing van de spacer, het zorgt ervoor dat er wel water tussen de membranen kan stromen, maar de membranen komen niet tegen elkaar aan. Door de druk die het water door de stack duwt loopt het water naar linksboven door het gaasje en langs de

membranen. Als aan de andere kant van het membraan op eenzelfde manier het zoute water loopt vindt ionwisseling plaats. Aan de linkerbovenkant van de stack loopt het water nu weer terug naar buiten (d).

Een (groot) gedeelte van het water loopt echter verder door het buisje en komt pas in het volgende gaasje terecht of zelfs die daarna.

Zonne-energie

Het is allemaal wel leuk en aardig dat er uit een zoutconcentratieverschil energie kan worden afgetapt, maar waar komt deze energie dan vandaan? Dit kan niet zomaar uit het niets ontstaan. Indirect wordt er bij Reverse Electrodialysis gebruikt gemaakt van zonne-energie. De zon verwarmt namelijk de zee, onder invloed van deze warmte verdampt een gedeelte van het water, dit stijgt op en vormt onder andere wolken. Het toevoegen van warmte is hetzelfde als het toevoegen van energie, warmte is een vorm van energie. Door deze energietoevoer wordt zoet water gescheiden van zout water in de zee, bij verdamping gaat het zout niet mee.

Bij Reverse Electrodialysis wordt dit principe onder gecontroleerde omstandigheden omgedraaid. Het energierijke(re) zoete water wordt samengevoegd met het energiearme(re) zeewater, de energie komt dan weer vrij. De zonne-energie komt vrij. In de natuur merk je hier niets tot weinig van.

Rekenen aan Reverse Electrodialysis

Osmotische druk

Als een zoute en een zoete vloeistof door een selectief ionogeen membraan gescheiden worden ontstaat er een drukverschil door het concentratieverschil tussen de ionen in de vloeistoffen. Deze druk is de osmotische druk $\pi = \frac{nRT}{V}$. Hierin is n het aantal (mol) deeltjes, R de gasconstante, T de temperatuur en V het volume in kubieke meters.

Gemiddeld onvervuild zeewater heeft een chloorion concentratie van 19,455 gram/L en een natriumion concentratie van 10,820 gram/L. Chloor weegt 35,45 gram/mol en natrium weegt 22,99 gram/mol. In één liter zeewater zit dus $\frac{19,455}{35,45} = 0,55$ mol chloorionen en

$\frac{10,820}{22,99} = 0,47$ mol natriumionen.

Per liter water is de osmotische druk van zeewater dus:

$$\pi = \frac{nRT}{V}$$
$$\pi = \frac{(0,55 + 0,47) * 8,3145 * (273,15 + 12)}{0,001}$$
$$\pi = 2418297,2685 \text{ pascal}$$
$$\pi = 24,1830 \text{ bar}$$

De gemiddelde jaartemperatuur van zeewater aan de kust is ongeveer 12 graden Celsius. [8]

Ook in rivierwater zit een klein beetje (0,01) natriumionen en chloorionen. De osmotische druk die hier door ontstaat is:

$$\pi = \frac{nRT}{V}$$
$$\pi = \frac{(0,01) * 8,3145 * (273,15 + 14)}{0,001}$$
$$\pi = 23875,08675 \text{ pascal}$$
$$\pi = 0,237 \text{ bar}$$

De gemiddelde jaartemperatuur van zeewater is ongeveer 14 graden Celsius. [8]

De gemiddelde totale osmotische druk van zeewater tegenover rivierwater per liter water van beide vloeistoffen is dus:

$$\pi = \pi_{\text{zeewater}} - \pi_{\text{rivierwater}}$$
$$\pi = 24,1830 - 0,237$$
$$\pi = 23,95 \text{ bar}$$

Membraanspanning

De membraanspanning is afhankelijk van gasconstante R , de temperatuur T , het aantal elektronen dat betrokken is bij de reactie n en de constante van Faraday F , daarnaast is hij ook afhankelijk van de ionconcentraties in het zoute en zoete water;

$$U_{\text{membraan}} = \frac{RT}{nF} * \ln \frac{[Cl^-]_{\text{rivier}}}{[Cl^-]_{\text{zee}}}$$

$$U_{\text{membraan}} = \frac{RT}{nF} * \ln \frac{[Na^+]_{\text{rivier}}}{[Na^+]_{\text{zee}}}$$

De membraanspanning over het chloormembraan zou in een echte opstelling de volgende zijn:

$$U_{\text{membraan}} = \frac{RT}{nF} * \ln \frac{[Cl^-]_{\text{rivier}}}{[Cl^-]_{\text{zee}}}$$

$$U_{\text{membraan}} = \frac{8,3145 * (273,15 + 12,5)}{1 * 9,64853 * 10^4} * \ln \frac{0,005}{0,55}$$

$$U_{\text{membraan}} = -0,12 \text{ Volt}$$

De temperatuur is de gemiddelde temperatuur van rivier en zeewater [8]. Dit geldt alleen over het anionselectief permeabel membraan.

De membraanspanning over het natriummembraan zou in een opstelling de volgende zijn:

$$U_{\text{membraan}} = \frac{RT}{nF} * \ln \frac{[Na^+]_{\text{rivier}}}{[Na^+]_{\text{zee}}}$$

$$U_{\text{membraan}} = \frac{8,3145 * (273,15 + 12,5)}{1 * 9,64853 * 10^4} * \ln \frac{0,005}{0,47}$$

$$U_{\text{membraan}} = -0,11 \text{ Volt}$$

Dit geldt alleen over het kationselectief permeabel membraan.

Stackspanning

De spanning over de gehele stack is de spanning over de verschillende membranen minus de spanningsval volgens de wet van Ohm:

$$U_{\text{stack}} = U_{\text{membraan}} * n - I_{\text{stack}} * R_{\text{stack}}$$

Hierin is n het aantal membranen in de stack.

Weerstand van het elektrolyt

Er kan ook een stroom gaan lopen door de elektrolytoplossing het ferri-ferrocyanide circuit dus. Het is de bedoeling dat de stroom zo veel mogelijk door de externe stroomkring loopt, waarin nuttige elektrische arbeid kan worden verricht, daarom moet de weerstand van deze elektrolyt zo hoog mogelijk zijn. De weerstand van het elektrolyt (R_{lyt}) valt te berekenen met:

$$R_{\text{lyt}} \cong \frac{1}{\rho} * \frac{L}{S}$$

Hierin is ρ het specifieke geleidingsvermogen van de elektrolytoplossing, L is de lengte van de slang waardoor de elektrolyt wordt rondgepompt en S de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van deze slang.

Elektrolyt stroomsterkte

De stroomsterkte die door de elektrolyt loopt (I_{lyt}) kan worden berekend met:

$$I_{lyt} = \frac{U_{stack}}{R_{lyt}}$$

Waarin R_{lyt} de weerstand van de elektrolyt is.

Externe stroomsterkte

De stroomsterkte die om de stack heen loopt (I_{ext}) kan worden berekend met:

$$I_{ext} = \frac{U_{stack}}{R_{ext}}$$

Waarin R_{ext} de weerstand van de externe stroomkring is

Stack stroomsterkte

De stroomsterkte van de stack (I_{stack}) is gelijk aan de stroomsterkte die door de elektrolyt (I_{lyt}) loopt opgeteld bij de stroomsterkte die door de externe stroomkring loopt (I_{ext}), bijvoorbeeld door een lampje.

De totale stroomsterkte die de stack genereert kan worden bepaald met de volgende formule:

$$I_{stack} = I_{ext} + I_{lyt} = \frac{U_{stack}}{R_{ext}} + \frac{U_{stack}}{R_{lyt}}$$

Waarin R_{ext} de weerstand van de externe stroomkring en R_{lyt} de weerstand van de elektrolyt is.

De R_{lyt} moet groter zijn dan de R_{ext} anders loopt de stroom door de elektrolyt in plaats van door de externe stroomkring. Hierdoor wordt ook de hoeveelheid vermogen beperkt. Als het externe circuit een hypothetische weerstand van nul heeft, zal de weerstand stijgen bij de toevoeging van bijvoorbeeld een lampje.

Onderzoeksvraag.

Hoe maak je een opstelling die energie op kan wekken uit het zoutconcentratieverschil tussen zout en zoet water?

Hypothese.

Door een selectief ionogeen membraan tussen twee watervolumes te plaatsen, één met een hoge zoutconcentratie en één met een lage concentratie, ontstaat een potentiaal verschil. Met behulp van een redox koppel laten we elektronen rondlopen. Een verplaatsing van elektronen is elektriciteit.

Methodologie

Materiaal

- 2 Elektrodebehuizingen
- 2 Elektroden
- Een n aantal natriumion selectief permeabele membranen
- Een n + 1 aantal chloorion selectief permeabele membranen
- Een 2n + 2 aantal rubberen spacers
- Een 2n + 2 aantal gaasjes
- 10 verbindingsstukken om slangen aan te sluiten op de elektrodebehuizing
- Teflon tape om verbindingsstukken waterdicht te maken
- 4 bouten om stack mee vast te zetten
- Water
- NaCl
- Elektrolytvloeistof bestaande uit
 - 0,1 M $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ (In dit complex is ijzer Fe^{2+})
 - 0,1 M $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ (In dit complex is ijzer Fe^{3+})
 - 0,05 M Na_2SO_4

Extra te gebruiken:

- Slangen
- 3 (Hand)pompjes óf spuiten
- 6 Vloeistofreservoirs

Methode

De elektrodebehuizing

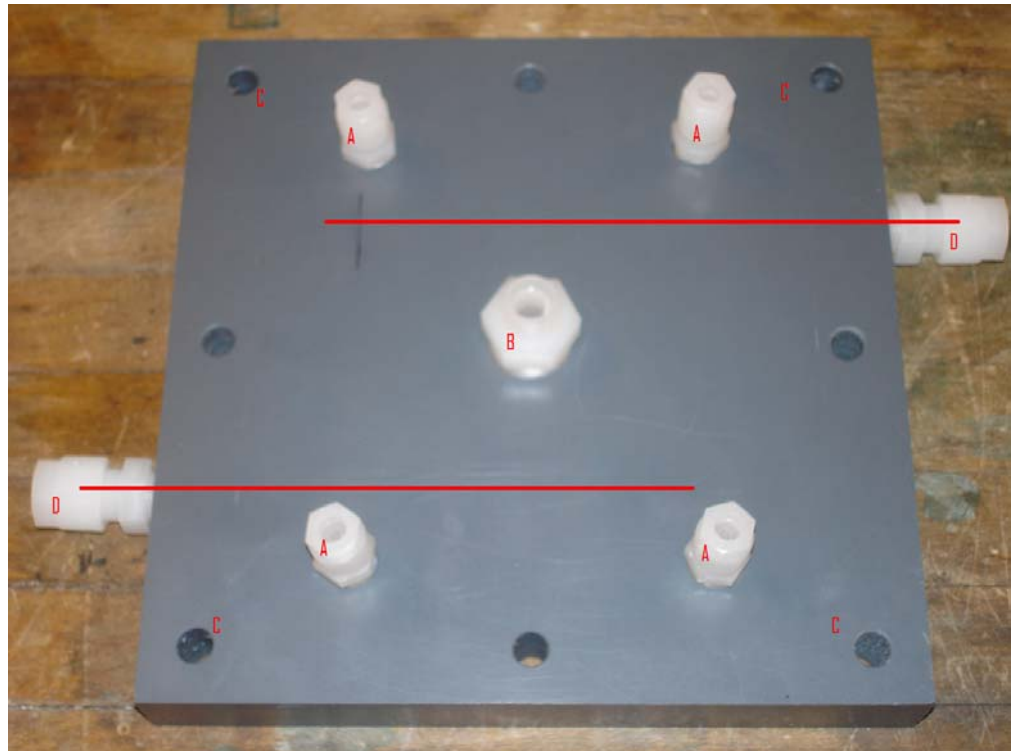
De verwijzingen in de methode zijn als volgt weergegeven: [f{figuur},{letter}]. De verwijzing [f1,A] verwijst dus naar punt A in figuur 1.

1. Boor voor de aanhechtingspunten van de slangen in één van de twee elektrodebehuizingen vier gaten met regelmatige afstanden van de zijden. Deze gaten moeten straks op één lijn liggen met de gaten in de spacers en membranen dus houdt hier rekening mee [f1,A]. De diameter van deze gaten moeten zó gekozen worden dat ze overeenkomen met die van de verbindingstukken waarmee de slangen later worden vastgezet.
2. Boor voor het elektrodegat in beide elektrodebehuizingen in het midden één gat, waardoor de achterzijde van de elektrode naar buiten kan steken [f1,B].
3. Boor voor de boutgaten vier gaten in de vier hoeken van beide elektrodebehuizingen op regelmatige (kleine) afstanden van de zijden [f1,C].

4. De elektrolytvloeistof ingangen zijn ingewikkelder. Hiervoor moet aan de zijkant van beide elektrodebehuizingen een diep gat geboord worden dat de andere zijkant niet raakt [f1,D]. Er moet ook voor gezorgd worden dat de andere gaten in de elektrodebehuizing dit elektrolytvloeistofgat niet raken.

Boor dit gat aan de ene kant van de elektrodebehuizing aan de bovenkant en aan de andere kant aan de onderkant. Zorg ervoor dat de afstand tussen beide gaten niet langer is dan de afmeting van je elektrodeplaat.

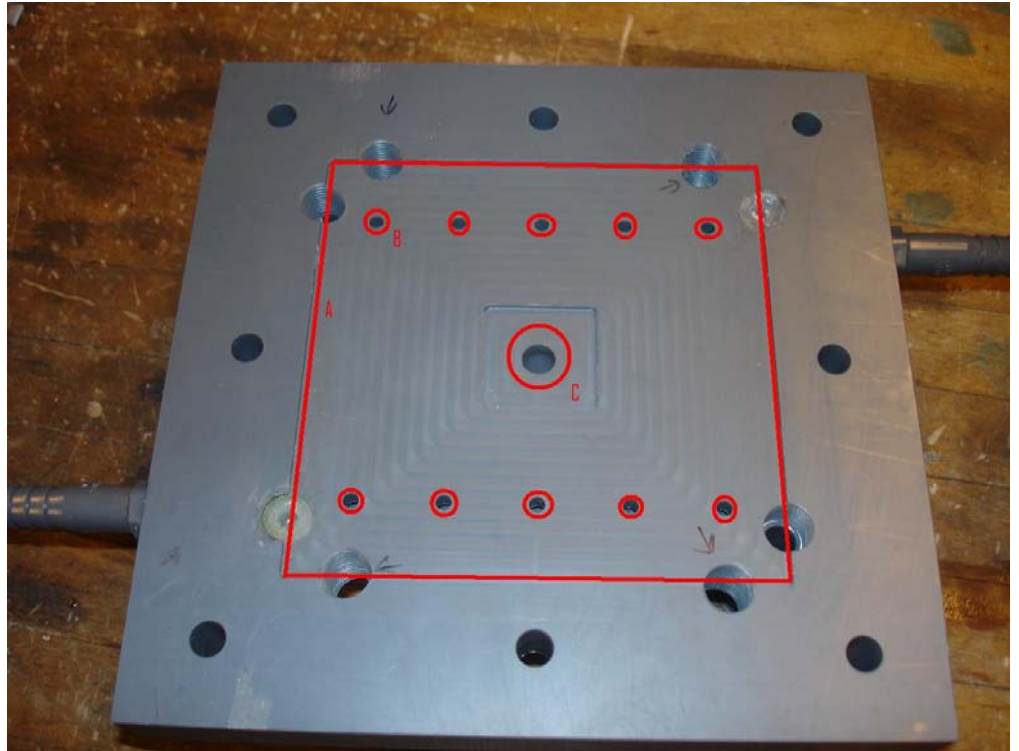
Let erop dat als de voorzijde van beide elektrodebehuizingen naar elkaar toe gericht staan de gaten van beide behuizingen niet op de zelfde hoogte zitten. Als bijvoorbeeld het gat in de eerste behuizing hoog zit moet het gat in de andere laag zitten.



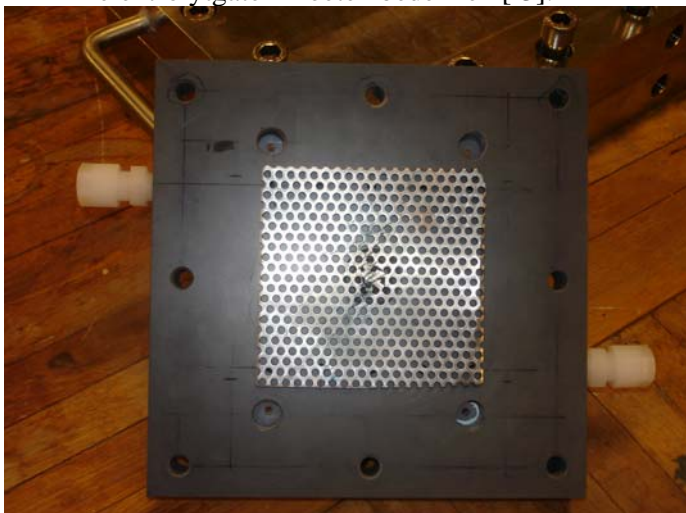
Figuur 1: De achterzijde van een elektrodebehuizing: watergaten (A), elektrodestaafgat (B), boutgaten (C), en elektrolytgaten (D).

5. Boor aan de voorzijde van de elektrodebehuizing (waar de verbindingstukken straks niet geplaatst worden) enkele gaatjes richting het diepe gat van de twee elektrolytvloeistofgaten. Hierdoor kan de elektrolytvloeistof straks via het ene diepe gat uit de kleine gaatjes over de elektrode lopen en dan weer via de andere rij kleine gaatjes in het andere diepe gat verdwijnen. Boor de gaten niet verder uit elkaar als de lengte van je elektrodeplaat [f2,B].

Figuur 2: Een fout geboorde elektrodebehuizing met daarop de goede elektrodeplaat (A), de gaatjes richting het elektrolytgat (B) en het elektrodestaafgat (C).



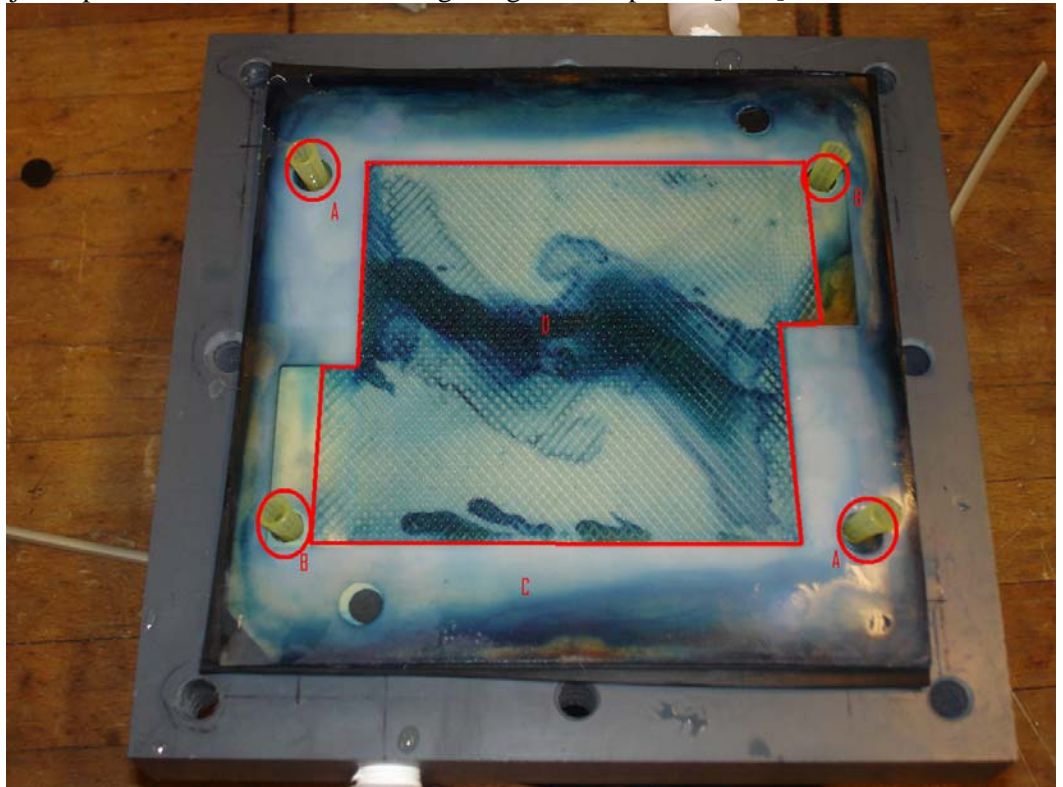
6. In de gaten voor de slangen en de elektroden moeten schroefdraden geboord worden.
7. Omwikkel de schroefuiteinden van de verbindingstukken met teflon tape, zodat de verbindingen bij het indraaien van deze verbindingstukken waterdicht zijn.
8. Draai de verbindingstukken (met schroefuiteinde) in de gaten voor de elektroden en de slangen [f1,A][f1,B][f1,D].
9. Duw de achterzijde van de elektrode door de desbetreffende gaten, zodat de achterzijde uit het verbindingstuk steekt en de elektrodeplaat tegen de voorzijde van de elektrodebehuizing gedrukt zit. De elektrodeplaat zou nu alle gaatjes richting de elektrolytgaten moeten bedekken [f3].



Figuur 3: De voorzijde van een elektrodebehuizing met elektrode.

De stack op maat

1. Knip de membranen vierkant in de gewenste grootte. Deze membranen moet wel kleiner zijn dan de elektrodebehuizing en niet in de weg zitten als de elektrodebehuizingen straks tegen elkaar worden gedrukt met bouten in de hoeken.
2. Knip de rubberen spacers in dezelfde grootte als de membranen [f3,C].
3. Perforeer in de hoeken van de membranen op regelmatige afstand van de zijden vier gaten, zodat deze op één lijn liggen met de gaten in de elektrodebehuizing, zodat het water via de elektrodebehuizing door de gaten in de membranen kan lopen.
4. In de spacers moet op regelmatige afstand van de zijden twee gaten geperforeerd worden in de tegenoverstaande hoeken [f3,A], zodat deze op één lijn liggen met de gaten in de elektrodebehuizing, zodat het water via de elektrodebehuizing door de gaten in de spacers kan lopen.
5. Knip in het midden van de spacers een groot gat uit zodat er een afstand tot de zijkant en de gaten overblijft én de gaten in de elektrodebehuizing op één lijn liggen met zowel de gaten in de spacer als het grote gat in deze spacer [f3,B].
6. Knip de gaasjes in precies dezelfde vorm als het grote gat in de spacers [f3,D].

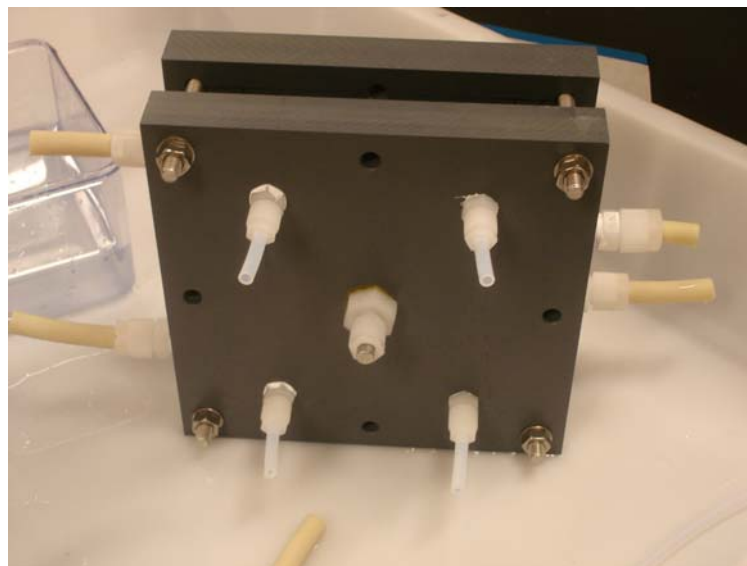


Figuur 4: Een spacer/gaasje combinatie:
de spacer (C),
het gaasje (D),
gaten in de spacer (A), en
het gaasjesgat in de spacer (B)

7. Knip nog twee extra dikke spacers die om de elektrodeplaat heen passen. Hierin moeten vier gaten voor de watertoevoer, op één lijn met de gaten in de elektrodebehuizing, en een gat voor de elektrodeplaat. Ook hierin moet een gaasje op maat geknipt worden. De spacer (je kunt ook twee op elkaar gelegen spacers gebruiken) moet dikker zijn dan de elektrodeplaat en de gaasjes samen.

De stack in elkaar

1. Leg één van de extra dikke spacers om de elektrode plaat heen en leg hierin een gaasje.
2. Leg op deze spacer/gaasje combinatie het eerste chloorion selectief permeabel membraan.
3. Leg op dit membraan een van de normale spacer/gaasje combinaties.
4. Leg op deze combinatie een natriumion selectief permeabel membraan.
5. Leg op dit membraan een van de normale spacer/gaasje combinaties. Deze combinatie zou nu gespiegeld ten opzichte van de vorige moeten liggen. Als de vorige dus een gat linksboven had, moet deze een gat rechtsboven hebben.
6. Herhaal stappen 2-5 totdat je klaar bent. Je zou moeten eindigen met een chloorion membraan.
7. Op dit membraan komt weer een gaasje met een extra dikke spacer om de elektrodeplaat in de elektrodebehuizing heen.
8. Zorg ervoor dat alle gaten op dezelfde hoogte zitten.
9. Duw de tweede elektrodebehuizing op de stack en draai in de hoeken vier bouten strak aan.
10. Het apparaat is nu technisch gezien klaar. Aan de verschillende uiteinden kunnen spuiten met vloeistoffen of pompen richting vloeistofreservoirs aangesloten worden. Aan de twee elektrodestaven kan een elektriciteitsdraad en een voltmeter gehangen worden.



Figuur 5: Een voltooide stack.

Gebruik van het apparaat

1. Zet het apparaat op één van zijn zijkanten (waar natuurlijk geen elektrolytvloeistof aansluitingen zitten). De ingangen van het apparaat zitten altijd aan de onderkant, terwijl de uitgangen aan de bovenkant zitten. Hierdoor worden alle luchtbellen uit de stack geduwd.
2. De in- en uitgangen van de watertoevoer zitten kruislings. Als vloeistof A linksonder erin gaat komt hij er rechtsboven uit.

Rekenen aan resultaten

De gemeten spanning kan vergeleken worden met theoretische waarden. Deze kunnen berekend worden met de volgende formules uit de voorgaande theorie:

$$U_{\text{membraan}} = \frac{RT}{nF} * \ln \frac{[Cl^-]_{\text{rivier}}}{[Cl^-]_{\text{zee}}}$$

$$U_{\text{membraan}} = \frac{RT}{nF} * \ln \frac{[Na^+]_{\text{rivier}}}{[Na^+]_{\text{zee}}}$$

$$U_{\text{stack}} = U_{\text{membraan-Na}} * n_{Na} + U_{\text{membraan-Cl}} * n_{Cl}$$

Resultaten

Het doel van ons onderzoek was het maken van een opstelling waarmee je aan kan tonen dat het mogelijk is energie te onttrekken aan het zoutconcentratieverschil tussen zout en zoet water. Dit is gelukt, er ontstond een spanning van 0.602 volt. Ons tweede doel was het maken van een handleiding voor het maken van de omgekeerde elektrolyse opstelling. Deze handleiding staat onder de kop methodologie en heeft u waarschijnlijk net gelezen.

Aan ons zoute water hadden we 165 gram NaCl toegevoegd. Chloor weegt 35,45 gram/mol en natrium weegt 22,99 gram/mol. In één liter water zit dus $\frac{100}{35,45} = 2,82$ mol chloorionen

en $\frac{64,8}{22,99} = 2,82$ mol natriumionen.

Aan ons zoete water hadden we 20 gram NaCl toegevoegd. In één liter water zit dus $\frac{15}{35,45} = 0,23$ mol chloorionen en $\frac{5}{22,99} = 0,23$ mol natriumionen.

$$U_{\text{membraan}} = \frac{RT}{nF} * \ln \frac{[Cl^-]_{\text{rivier}}}{[Cl^-]_{\text{zee}}}$$

$$U_{\text{membraan}} = \frac{8,3145 * (298)}{1 * 9,64853 * 10^4} * \ln \frac{0,23}{2,82}$$

$$U_{\text{membraan}} = -0,06\text{Volt}$$

De temperatuur is de kamertemperatuur.

De membraanspanning over het natriummembraan zou in een opstelling de volgende zijn:

$$U_{\text{membraan}} = \frac{RT}{nF} * \ln \frac{[Na^+]_{\text{rivier}}}{[Na^+]_{\text{zee}}}$$

$$U_{\text{membraan}} = \frac{8,3145 * (298)}{1 * 9,64853 * 10^4} * \ln \frac{0,23}{2,82}$$

$$U_{\text{membraan}} = -0,06\text{Volt}$$

De spanning over de gehele stack genomen is de som van alle membraanspanningen:

$$U_{stack} = U_{membraan-Na} * n_{Na} + U_{membraan-Cl} * n_{Cl}$$

$$U_{stack} = -0,06 * 5 + -0,06 * 6$$

$$U_{stack} = -0,66 \text{ Volt}$$

Conclusie

Het onderzoeken naar het maken van een dergelijke opstelling en het vergaren van de achterliggende theorie zijn een behoorlijke opgave. Uiteindelijk komt het maken van de opstelling neer op het nauwkeurig knippen van de membranen, de spacers en de gaasjes. Ook de gaten in de elektrodebehuizing moeten nauwkeurig worden geboord. Daarna kan het geheel vrij snel in elkaar worden gezet en is door middel van een voltmeter al snel aan te tonen dat er wel degelijk spanning ontstaat.

In vergelijking tot de theoretische waarde die deze stack zou moeten geven zitten wij er maar 0,06 Volt vanaf. Percentueel is dit een prachtig verschil (slechts 10%). Over de stroomsterkte kunnen we weinig zeggen, want daar hebben we niet aan gemeten en we hebben er geen lampje op laten branden.

Discussie

In onze opstelling zitten ook nog een aantal eigenaardigheden. De belangrijkste is dat de opstelling niet dezelfde spanning geeft als de theoretische waarde. Dit komt waarschijnlijk omdat er kortsluiting ontstaat in het water dat door de stack loopt. Al dit water staat met elkaar in verbinding, dus het potentiaal kan via de buizen “weglopen”.

Daarnaast hebben wij nog geen stroomsterkte gemeten, maar deze zal niet hoger zijn dan een batterij, en door de lage spanning is het vermogen van onze opstelling waarschijnlijk erg laag.

Daarnaast hebben wij een ijzeren elektrode gebruikt. Het voordeel hier van is dat het een stuk goedkoper is dan titanium. Het nadeel is echter dat de elektrode in oplossing zal gaan. Hij doet mee aan de redoxreacties. Uiteindelijk zal er een elektrode verdwijnen.

Reële energiewinning?

De grote vraag is natuurlijk: Is deze vorm van energiewinning wel reëel mogelijk en winstgevend? En zo niet, is dat in de toekomst dan wel mogelijk?

De opstelling die wij hebben gemaakt draait alleen maar op zout en zoet water. Als je bijvoorbeeld een fietslampje (5V) zou gebruiken als leeslampje zou je op je kamer ongeveer tien van deze apparaten nodig hebben. Je hoeft dan alleen maar zout en zoet water toe te voegen, iets wat in sommige streken gratis verkrijgbaar is. Op lange termijn is dit dus goedkoper dan lichtnetstroom, ook al is de startinvestering vele malen hoger. Als één zo'n apparaat al zo'n 50 euro aan materiaal en één hele werkdag aan arbeid kost, kost het voor een achttienjarige 500 euro aan materiaal en $10 * 8 * 3,30 = 264$ euro aan arbeid tegen het minimum loon. Dit is een startinvestering van 764 euro.

Omdat er op dit moment nog geen fabrieken zijn die deze apparaten maken, is de productieprijs zeer hoog, maar zelfs als de prijs omlaag gaat door bijvoorbeeld mechanisatie etc. Zet de membraanprijs een strop op de productiekosten. Een hoge startinvestering schrikt altijd investeerders af, omdat het mogelijk is dat het nooit zal worden teruggewonnen. Met de nieuwe membranen van KEMA zal deze startinvestering dalen, zodat het ondernemersrisico ook daalt. Hierdoor zal er meer mogelijk worden op dit gebied.

Naast de startinvestering zijn er nog andere bottlenecks voor omgekeerde elektrolyse. Allereerst hebben we in deze opstelling puur zout en zoet water gebruikt. Het zoete water had een klein beetje NaCl om het water geleidend te maken en het zoute water bevatte alleen NaCl, terwijl in de zee ook nog heel veel andere zouten zijn opgelost. Daarnaast zijn er ook nog andere chemicaliën opgelost, waarvan het effect op de membranen niet bekend is. Er leven ook veel dieren en planten in de zee, welk effect hebben deze op de stack. Hoe snel worden deze membranen vies, kan je ze schoonmaken en hoe vaak?

Deze vragen zijn goede kandidaten om met nieuwe experimenten en onderzoeken op te lossen. We kunnen ook nog onderzoek doen naar de stroomsterkte die deze of een dergelijke opstelling zou kunnen leveren, daarmee zouden we het vermogen uit kunnen rekenen.

Bronvermelding

1. E. van Eijk, Blauwe Energie, 10-05-2004 Op:
<http://www.natutech.nl/nieuwsDetail.lasso?ID=2425&-session=NTses:D370DA4246BC4BBA242908FFC0542CA3>
2. Zout en zoet water, daar zit energie in! Blue Energie: nieuw, schoon en duurzaam, In: Altijd, 12-04
3. Blue Energy “Energie op het grensvlak van zoet en zout”, In: KEMA Folder Blue Energy
4. A.T. Jones, W. Finley, Recent Developments in Salinity Gradient Power, 2003
5. J. Veerman, J. Krijgsman, J.M. Nederend, G. Oudakker, Blauwe stroom kansrijk bij Afsluitdijk, In: Land + Water, 09-04
- A. de Muttenaere, Ijsselmeer: een onuitputtelijke accu, In: De Leeuwarder Courant, 26-03-05
6. G.W. Euverink, C.J.N. Buisman, Duurzame energie uit water, In: NVOX, 12-04
7. D. Husaarts, Water naar de zee... levert stroom, In: Telegraaf, 19-06-04
8. H.R.A. Wessels, T. Brandsma, T.A. Buishand, A.M.G. Klein Tank, G.P. Können, De toestand van het klimaat in Nederland 1999. Waargenomen schommelingen in het Nederlandse klimaat van de 20e eeuw, Op:
http://www.knmi.nl/kenniscentrum/de_toestand_van_het_klimaat_in_Nederland_1999/waarnemingen.html