



# BLUE ENERGY IS VOOR DE WATERKETEN VEELBELOVEND

## AUTEURS



Jan Post  
Wetsus/AquaBattery



Joost Veerman  
REDstack



Rik Siebers  
REDstack

Blue Energy, het opwekken van energie door de menging van zoet en zout water, is veel in het nieuws. Eind vorig jaar opende koning Willem-Alexander een proefinstallatie op de Afsluitdijk, maar ook het buitenland heeft volop belangstelling. Blue Energy: hoe werkt het precies, wat zijn de mogelijke toepassingen en wat is interessant voor de watersector?

Wanneer zoet water uitstroomt in de zee, vindt er binnen enige tijd spontane vermenging plaats van zoet en zout. Zout water bevat relatief veel geladen deeltjes (voornamelijk Na- en Cl-ionen). Als het zoete water en het zoute water met elkaar in contact worden gebracht, zullen de ionen uit het zoute water naar het zoete water bewegen. De drijvende kracht voor dit mengproces is de toename van de *entropie*, populair gezegd de wanorde, van het systeem. Het zoute water wordt dus langzaam zoeter en het zoete water zouter.

Als dit mengproces ongecontroleerd plaatsvindt – zoals in de natuur of bij een lozing – dan is het *onomkeerbaar*. Door het mengproces gecontroleerd (*omkeerbaar*) te laten verlopen, kan een deel van de energie die anders wordt verspild, omgezet worden in elektriciteit. In Nederland is dit bekend geworden als *Blue Energy*.

Uit het per seconde mengen van 1 kubieke meter zoet water met een gelijke hoeveelheid zeewater is theoretisch een elektrisch vermogen van 1,5 MegaWatt te produceren. Een energiedichtheid vergelijkbaar met een 150 meter hoog stuwmeer.

Onderzoeksinstituut Wetsus heeft vanaf 2005 een consortium van universiteiten, technolo-

giebedrijven en eindgebruikers bij elkaar gebracht voor onderzoek en ontwikkeling van technologie voor Blue Energy. De gekozen technologie staat bekend als RED, voluit *Reverse Electro Dialysis*.

Dit proces maakt gebruik van ion-selectieve membranen waartussen het zoute en het zoete water stroomt. Deze afwisselend geplaatste membranen laten selectief positieve dan wel negatieve ionen uit het zoute water door naar het zoete water, waardoor een scheiding van lading gecreëerd wordt en dus een spanningsverschil. Per membraan is dit spanningsverschil circa 80 millivolt, zodat met een stapel van zo'n 1.200 membranen een spanning wordt opgewekt van 100 Volt.

De membraanstapel (*stack*) is geplaatst tussen een anode en een kathode, waardoor de ionenstroom omgezet kan worden in een elektrische stroom. Op deze wijze wordt de mengenergie omgezet in elektrische energie.

Zowel de membranen als de elektroden zijn sleutelcomponenten, waaraan de afgelopen jaren veel ontwikkeld is.

### Onderzoek

De eerste zorg van de onderzoekers was om de vermogensdichtheid – het opgewekte vermogen per membraanoppervlak – te verhogen. Uit eerdere literatuur bleek dat er vooral veel gemodelleerd was met veelbelovende getallen, maar dat de hoogst gemeten vermogensdichtheid slechts 0,41 Watt per vierkante meter bedroeg. In de afgelopen jaren is de vermogensdichtheid met een factor vijf toegenomen als er gewerkt werd met zuivere NaCl-oplossingen. Volgende stap was het testen met kunstmatig rivieren- en zeewater: zoutoplossingen in zuiver water met dezelfde ion-samenstellingen als het natuurlijke water. Hier bleek dat het vermogen hierdoor aanzienlijk gereduceerd werd, wat aanvankelijk toegeschreven werd aan de andere ionen in het zeewater (voornamelijk de Mg-, Ca- en SO<sub>4</sub>-ionen). Het was dan ook een grote verrassing dat de samenstelling van het zoete water een behoorlijke impact bleek te hebben op de vermogensdichtheid. Terwijl de Na- en Cl-ionen worden getransporteerd van het zoute water naar zoete water, worden de andere aanwezige ionen

in het zoete water juist in tegenovergestelde richting getransporteerd. Nadat dit probleem was onderkend, zijn membranen ontwikkeld die selectief zijn voor enkelwaardig geladen ionen, waardoor het contraproductieve proces van ionenwisseling aanzienlijk werd gereduceerd.

Membraanontwikkeling is hoe dan ook een belangrijk aspect geweest van het onderzoek door Universiteit Twente, nodig voor verlaging van de interne elektrische weerstand van het systeem, maar ook van de hydraulische weerstand en de vervuilingsgevoeligheid. Zo zijn er membranen ontwikkeld met gemodificeerde oppervlakten waarop biofilms zich minder snel hechten. Ook zijn membranen ontwikkeld met een geprofileerd oppervlak, waarmee een optimale verdeling, doorstroming en menging van het zoete en het zoute water worden bereikt. Daarnaast is ingezet op het verminderen van *biofouling* door variaties in de bedrijfsvoering.

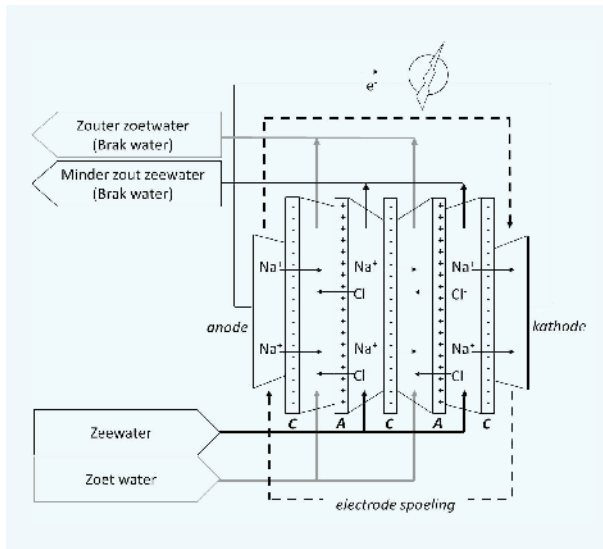
Zo is tijdens de onderzoeksfase aandacht besteed aan de werking van de RED-technologie, zowel in het laboratorium als bij de haven en in de zoutfabriek van Esco te Harlingen. Op basis van de resultaten is het procesontwerp regelmatig aangepast.

Nu is de tijd gekomen om de ontwikkelde technologie op grote schaal en over langere tijd te beproeven in de praktijk. Het bedrijf REDstack heeft samen met Fujifilm, Magneto en met andere bij Wetsus aangesloten bedrijven – gesteund door de provincie Friesland en in nauwe samenwerking met Rijkswaterstaat – een proefinstallatie gerealiseerd op de Afsluitdijk. Het gaat hierbij om een installatie die per uur 200 kubieke meter IJsselmeerwater kan mengen met 200 kubieke meter Waddenzeewater. De proefinstallatie zal tenminste operationeel zijn tot en met eind 2015.

Bij grootschalige toepassing in de toekomst wordt de ecologische impact van de zoetwaterspui ten opzichte van de huidige situatie verlaagd doordat het zoete water wordt voorgemengd met zeewater en door een betere spreiding in de tijd. Anderzijds worden het zoete water en het zeewater wel eerst gezeefd

Blue Energy is  
veelbelovend

26



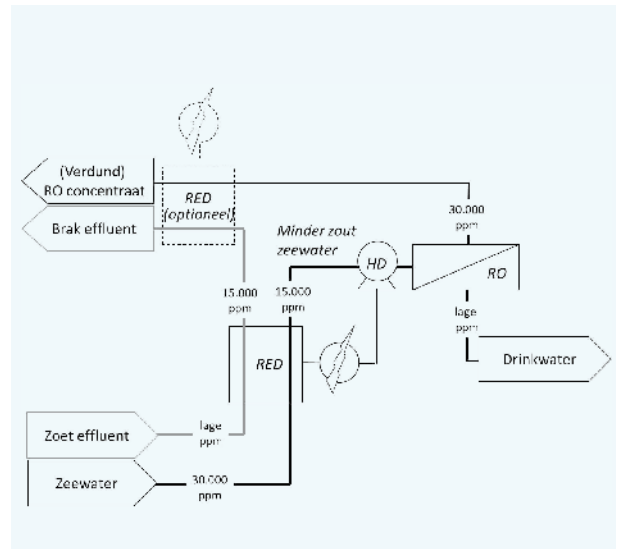
Schematische weergave van een Reverse Electro Dialysis (RED) stack voor de omzetting van mengenergie in elektrische energie (Blue Energy); C is een negatief geladen kationwisselend membraan, A is een positief geladen anionwisselend membraan

en door een installatie gepompt. Dit alles gebeurt met geringe doorstroomsnelheid. Hierbij kan het invangen van grotere organismen eenvoudig worden voorkomen.

Micro-organismen en kleine deeltjes zullen echter wel de zeven passeren en langs de membranen worden meegevoerd. Niet alleen de effecten hiervan op de prestatie van de installatie (vervuiling van en aangroei op de membranen), maar ook de effecten van de installatie op deze micro-organismen vormen onderdeel van de proef op de Afsluitdijk. In een monitoringsprogramma wordt gemeten wat de gevolgen van de installatie zijn op de natuurwaarden.

### Toepassingen

Het eerste waaraan gedacht wordt bij Blue Energy is toepassing als onderdeel van de natuurlijke waterkringloop. Dat kan bijvoorbeeld op plaatsen waar zoet water wordt gespuid of uitgeslagen op zee, dus bij zeesluizen of zeegemalen. In de kringloop van huishoudelijk en industrieel watergebruik, kan de RED-technologie op deze manier ook worden toegepast bij effluentlozingen op zout oppervlaktewater. Waterschappen aan zee kunnen zodoende niet alleen energie winnen uit de organische fractie in het afvalwater, wat ze al doen, maar ook nog een keer end-of-pipe een hoeveelheid elektrische energie van



Schematische weergave van Reverse Electro Dialysis (RED) toegepast als zoutwisselaar waarbij zouten uit relatief schoon zeewater worden overgebracht op effluent als voorbehandeling van een ontzoutingsinstallatie. De getallen geven indicatief het zoutgehalte in ppm, RO voor Reverse Osmosis en HD voor hogedrukpomp

vergelijkbare omvang.

Naast deze toepassingen zijn er ook minder voor de hand liggende mogelijkheden in de waterketen, bijvoorbeeld in droge gebieden elders in de wereld en bijvoorbeeld ook op de Waddeneilanden, maar dan als *ontzoutingstechnologie*. Zeewaterontzouting heeft weliswaar een hogere maatschappelijke acceptatie dan hoogwaardig waterhergebruik, maar het is vanwege het hoge energieverbruik veel minder duurzaam. Toch is het mogelijk om het beste van beide opties te combineren door toepassing van RED: een laag energieverbruik én de acceptatie van zeewater als bron voor drinkwater.

De eenvoudigste manier om het energieverbruik van zeewaterontzouting te verlagen is het verlagen van de zoutconcentratie. Dit gebeurt nu soms door verdund zeewater in te nemen bij een effluentlozing. Energetisch (en qua acceptatie) is het echter veel beter om deze voorverdunding te laten plaatsvinden door gecontroleerde migratie van zouten van zeewater naar zoet water, zoals ook gebeurt in RED. Met RED-technologie als 'zoutwisselaar' worden zouten overgebracht van zeewater naar effluent. Het zeewater komt niet in direct contact met het effluent, waardoor geen contaminatie plaatsvindt met ziekteverwekkers (pathogenen) vanuit het effluent

naar het zeewater dat als bron dient voor de drinkwaterproductie. Voor de watervoorziening van eilanden kan ontzouting zo een duurzame optie worden met een hogere maatschappelijke acceptatie dan direct hergebruik van effluent of andere vervuilde afvalwaterstromen.

De lagere zoutconcentratie zorgt hierbij enerzijds voor energiebesparing voor de navolgende ontzoutingsstap met reverse osmosis (RO), anderzijds kan de opgewekte energie direct ingezet worden voor de pomp van de RO. Zo is het in principe mogelijk een energetisch zelfvoorzienend ontzoutingssysteem te maken. Bovendien leidt de verlaging van de zoutconcentraties aan het eind tot minder problemen met de concentraatlozing.

Uiteraard moet dit alles nog onderzocht worden. Dat geldt ook voor de vraag of en hoe zware metalen en organische microverontreinigingen in dit systeem vanuit het effluent getransporteerd zullen worden naar het zeewater en of deze na de RO nog terug zijn te vinden in het uiteindelijk bereide drinkwater.

In wetenschappelijke artikelen worden nog veel andere toepassingen van RED – of aanverwante CapMix-technologie die ook bij Wetsus ontwikkeld is op basis van capacatieve elektroden – genoemd met mogelijke toepassingen in de waterketen. Zo worden combinaties beschreven met microbiële brandstofcellen, waarbij afvalwaterzuivering en elektriciteitsopwekking in één stap zouden kunnen plaatsvinden. Ook zijn er concepten beschreven waarin RED wordt toegepast voor omzetting van warmte in elektriciteit via een kunstmatig verkregen zoutgradiënt, of waarin gasemissies worden omgezet naar elektriciteit via een zoutgradiënt. Daarnaast wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een energieopslagsysteem op basis van zoutgradiënten, waarin RED of CapMix een centrale rol vervult.

Jan Post  
Wetsus/AquaBattery  
Joost Veerman  
REDstack  
Rik Siebers  
REDstack

#### Literatuur

- J.W. Post (Wageningen Universiteit, 2009)  
(<http://edepot.wur.nl/12605>)
- P. Długotęcki (Universiteit Twente, 2009)  
([http://doc.utwente.nl/69120/1/thesis\\_p\\_dlugotlecki.pdf](http://doc.utwente.nl/69120/1/thesis_p_dlugotlecki.pdf))
- J. Veerman (Rijksuniversiteit Groningen, 2010) –  
(<http://dissertations.ub.rug.nl/faculties/science/2010/j.veerman>)
- B.B. Sales (Wageningen Universiteit, 2013)  
(<http://edepot.wur.nl/278246>)
- D.A. Vermaas (Universiteit Twente, 2014)  
(<http://doc.utwente.nl/88706/>)
- E. Güler (Universiteit Twente, 2014)  
(<http://doc.utwente.nl/88706>)
- Li, W., W.B. Krantz, E.R. Cornelissen, J.W. Post, A.R.D. Verliefde, C.Y. Tang (2013), Applied Energy, 104, 592-602.

#### SAMENVATTING

Blue Energy is een grote belofte voor waterschappen aan zee. Zij kunnen met deze techniek van het gecontroleerd mengen van zoet en zout water energie gaan opwekken in hoeveelheden die vergelijkbaar zijn met wat ze nu uit de organische fractie in het afvalwater halen. Tijdens een uitgebreide onderzoeksfase is aandacht besteed aan de werking van de RED-technologie, zowel in het laboratorium als bij de haven en in de zoutfabriek van Esco te Harlingen. Op de Afsluitdijk is nu tot eind 2015 een proefinstallatie operationeel die per uur 200 kubieke meter IJsselmeerwater kan mengen met 200 kubieke meter Waddenzeeewater. Naast energieopwekking zijn er ook minder voor de hand liggende mogelijkheden van Blue Energy in de waterketen, bijvoorbeeld als ontzoutings-technologie.

Blue Energy is  
veelbelovend