

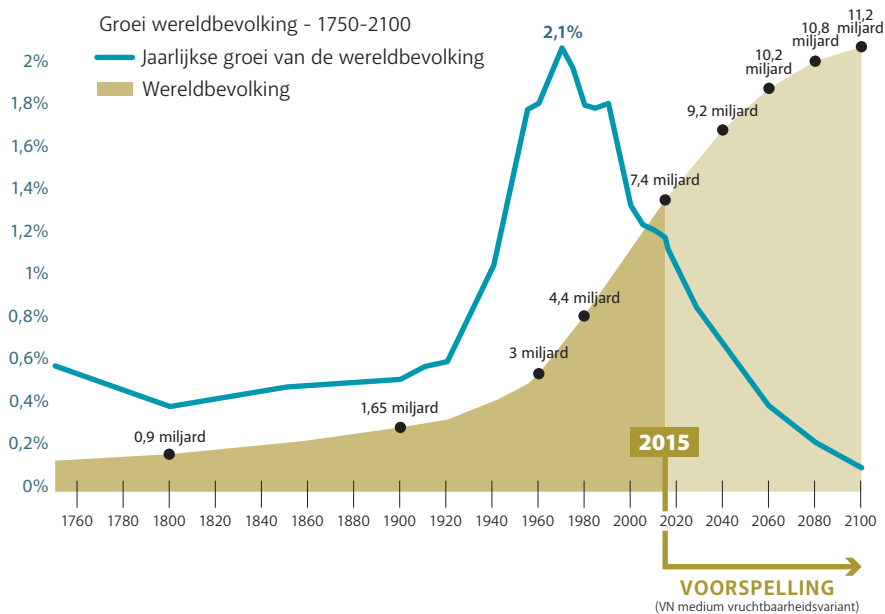
VAN ZEEWATER TOT DRINKWATER



Klimaatopwarming en een groeiende wereldbevolking doen de druk op drinkwater toenemen. Ook hier in België beginnen we dit te voelen, met hittegolven en periodes van droogte waarin we opgeroepen worden om zuinig om te springen met ons drinkwater. In mei 2018 lanceerde AquaFlanders, de koepelvereniging van de Vlaamse water- en rioleringsbedrijven, een actieplan dat de beschikbaarheid van drinkwater moet garanderen. Een van de acties besproken in dit plan is de diversifiëring van onze waterbronnen, met onder andere aandacht voor hergebruik van afvalwater en ontzouting van verzilte waters. Maar hoe zit het met die ontzouting? Is die vandaag al rendabel en een écht alternatief? En kan het energiezuiniger?

Marjolein Vanoppen¹

¹ UGent, Leerstoel Industriële en Circulaire Watertechnologie, Coupure Links 653, 9000 Gent; marjolein.vanoppen@ugent.be; www.marjoleinvanoppen.be



Evolutie en voorspelling van de wereldgroei en -bevolking. Hoewel verwacht wordt dat de bevolking tegen 2050 met ongeveer 25% zal stijgen, zou de vraag naar voedsel tegen dan met 70% stijgen. Bron: tot 2015: data van de VN en HYDE. Voorspelling van 2015 tot 2100: UN Population Division (2015) – Medium Variant. Data visualisatie: OurWorldinData.org. Licentie onder CC-BY-SA (auteur Max Roser).

WAAR KOMT ONS DRINKWATER VANDAAN?

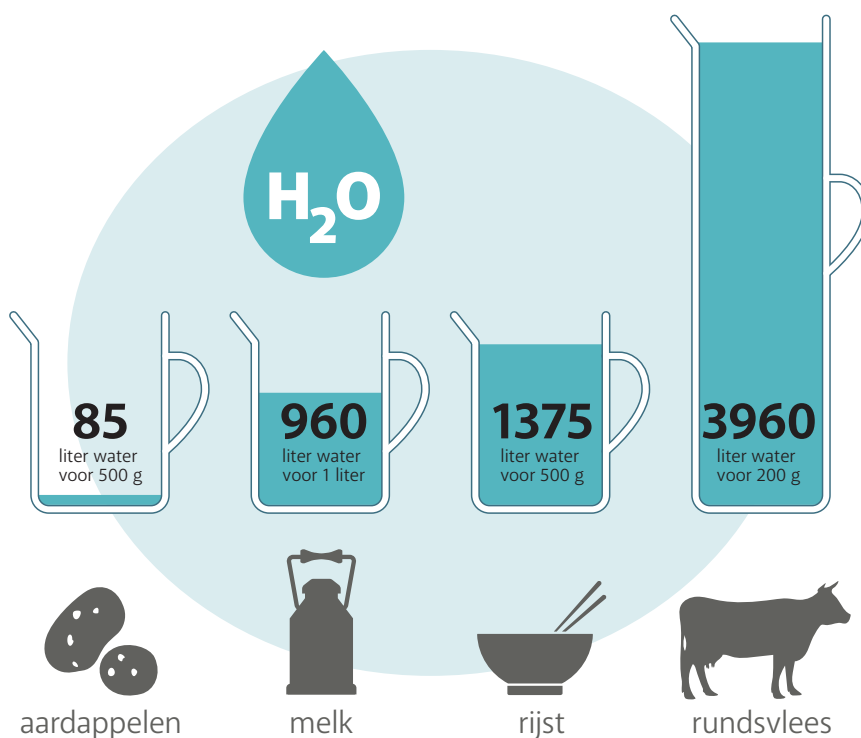
Schoon water komt bij ons gewoon uit de kraan en voor vele mensen is dat heel vanzelfsprekend. Toch heeft dat water een hele weg moeten afleggen van de bron tot in onze huiskamer. In Vlaanderen komt ongeveer de helft van het drinkwater uit grondwaterbronnen en de andere helft uit oppervlaktewater. Grondwater is over het algemeen schoner en heeft weinig behandeling nodig. De beschikbaarheid ervan is echter lager en grondwaterbronnen zijn bedreigd door verontreiniging, onder andere met zeewater. Aan het opgepompte grondwater voegt men eerst lucht toe, om andere gassen te verdrijven. Daarna volgt een filtering. De kwaliteit van oppervlaktewater is lager, met een groter risico op bijvoorbeeld microbiologische besmetting, en varieert met de seizoenen. Daarom is de behandeling ervan heel wat uitgebreider. Naast verschillende filters volgt meestal een actief koolfiltratie en altijd een desinfectie vooraleer je van drinkwater kunt spreken.

Niet de kwaliteit van het water is in België een probleem, maar de hoeveelheid. Wie regelmatig kletsnat thuiskomt, kan het zich misschien moeilijk voorstellen, maar België is een waterschaars gebied (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/use-of-freshwater-resources-2/assessment-3>). Er wordt met andere woorden veel water verbruikt ten opzichte van wat de natuurlijke

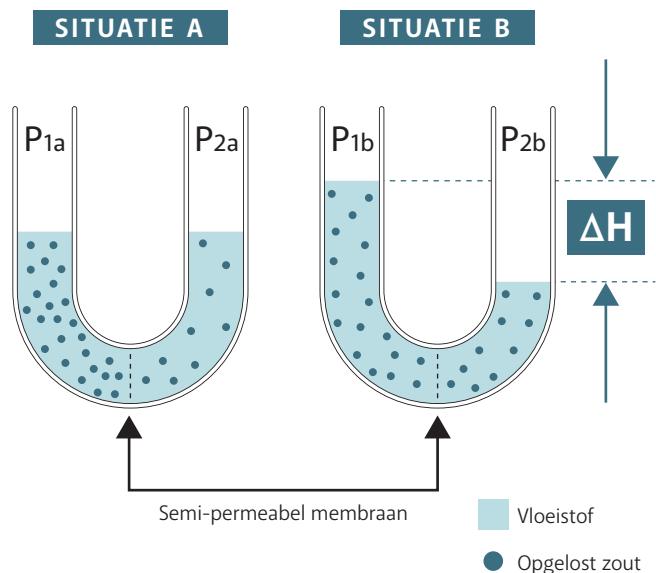
aanvoer is. Ook wereldwijd zijn we maar al te bekend met de vele regio's waar droogte leidt tot waterschaarste, ziekte en natuurrampen. Verwacht wordt dat deze problemen in de nabije toekomst alleen maar zullen verergeren. Enerzijds zullen extreme

weersomstandigheden vaker voorkomen door de verandering van ons klimaat. Anderzijds zorgt ook een groeiende wereldbevolking voor een stijgend waterverbruik. Volgens voorspellingen zal de wereldbevolking tegen 2040 met 25% groeien ten opzichte van 2015 (zie figuur). Door de groeiende welvaart en stijgende levenskwaliteit, zal dit gepaard gaan met 70% stijging in de vraag naar water. De gemiddelde Belg verbruikt zo'n 100 liter water per dag om zich te wassen, te koken, het toilet door te spoelen, ... Maar ook voor de producten die we gebruiken en het voedsel dat we verorberen is water nodig. Als we dat mee in rekening brengen, komt ons gemiddeld waterverbruik op zo'n 7.400 liter water per dag per persoon (voor meer informatie over je watervoetafdruk, zie BioMens). Een kilo katoen produceren bijvoorbeeld vergt 11.000 liter water. Dat water wordt niet in België verbruikt, maar wel in de landen waar dat katoen gekweekt wordt, zoals India, Pakistan, Oezbekistan, Turkije en China. 75% van ons indirect waterverbruik ligt dan ook buiten België.

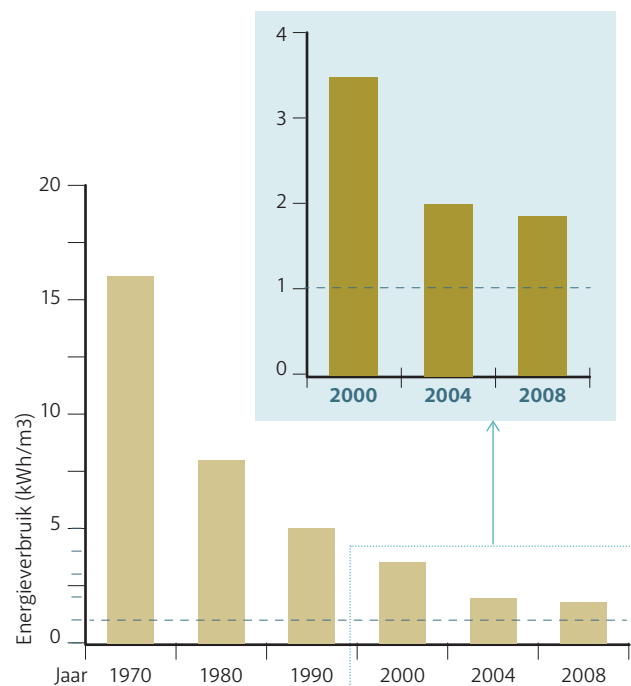
Wereldwijd is zoet water een zeldzaam goed als je de volledige waterhuishouding bekijkt. Zo'n 97% is zout en zit vervat in de oceaan, zeeën en meren. Slechts 3% van al het water op aarde is zoet en het meeste daarvan (2,5% in totaal) is bevroren. Antarctica alleen bevat ongeveer 60% van al het zoet water op aarde. Dat betekent dat maar 0,5% van al het water op aarde direct beschikbaar is voor de mens. Waarom gebruiken we dan geen zeewater om er drinkwater van te maken?



Water nodig voor enkele dagdagelijkse voedingsmiddelen (www.watervoetafdruk.be)



Illustratie van osmotische druk. A: twee vloeistoffen met verschillende osmotische druk (door een verschillende zoutconcentratie) zijn van elkaar gescheiden door een semipermeabel membraan dat water doorlaat maar zout tegenhoudt. Water zal zich spontaan bewegen van de oplossing met een lage concentratie naar die met een hoge concentratie om een evenwicht te bereiken. B: dit evenwicht is bereikt als de concentratie aan beide kanten gelijk is. Het verschil in hoogte (ΔH) wordt de osmotische druk genoemd. ©HansHillewaert / CC BY-SA 4.0



Het energieverbruik van zeewaterontzouting via omgekeerde osmose sinds 1970 (Elimelech & Philip 2011). De theoretisch minimaal benodigde energie is aangegeven met een stippellijn en situeert zich op 1,1 kWh/m³.

IS DE OCEAAN DÉ WATERBRON VAN DE TOEKOMST?

ZEEWATERONTZOUTING NU

Water is overvloedig aanwezig op de aarde, proper zoet water is echter schaars. De enige manieren om meer drinkbaar water beschikbaar te maken, is door ontzouting en waterhergebruik. In regio's waar grondwater en oppervlaktewater schaars zijn, wordt al heel lang zeewater ontzout om in de behoefte aan drinkwater te voorzien. Koeweit bijvoorbeeld haalt al zijn drinkwater uit zeewater. En in Jubail (Saudi-Arabië) wordt al decennialang drinkwater geproduceerd uit zeewater van de Perzische Golf. Hier bevindt zich de grootste ontzoutingsinstallatie ter wereld. Deze installatie produceert door middel van 'multi-stage flash' destillatie (zie 'Van zeewater tot drinkwater...') en omgekeerde osmose 1.401.000 m³/dag. Naast drinkwater produceert de fabriek ook 2.400 megawatt (MW) energie, waarvan 200 MW dient voor de ontzouting zelf. Dichter bij huis doen alsmaar meer landen in het mediterrane zeegebied aan zeewaterontzouting. Zo bouwde Spanje zo'n 50 jaar geleden al een eerste zeewaterontzoutingsinstallatie.

VAN ZEEWATER TOT DRINKWATER: DE GANGBARE TECHNIEKEN

Destillatie is dé klassieke methode voor ontzilting. Men laat zeewater verdampen onder lage druk en hoge temperatuur. Opgeloste stoffen zoals zouten blijven achter en de waterdamp wordt opgevangen als gezuiverd water. Dat kan op verschillende manieren gebeuren. Bij multi-stage flash destillatie (MSF) bijvoorbeeld wordt het zeewater door verschillende stadia met telkens een lagere druk gevoerd. In elk stadium verdampt een deel van het water. Het grote probleem hierbij is dat deze techniek enorm veel energie vraagt, tot 15-30 kilowattuur (kWh)/m³ geproduceerd water.

Een nieuwere technologie, tegenwoordig vaker gebruikt dan destillatie, is *omgekeerde osmose* ('reverse osmosis' of RO). In RO vormt een membraan een selectieve barrière die water doorlaat maar opgeloste stoffen (zout en andere mineralen) tegenhoudt. Het resulterende water is zuiver. Het is zelfs zo zuiver dat na afloop mineralen dienen te worden toegevoegd om het ook drinkbaar te maken. Volledig gedestilleerd water is immers ongezond, zelfs giftig! Om bij omgekeerde osmose het water door het membraan te krijgen is echter een zeer hoge druk vereist. Die druk is nodig om de 'spontane' osmotische druk (zie kader) van het zeewater te overwinnen.

Osmotische druk/waarde Water bevat, naast H₂O moleculen, nog heel wat opgeloste stoffen. Wanneer je twee omgevingen waarin water circuleert in contact brengt met elkaar, met tussenin een half-doorlaatbare wand of membraan, zal de natuur steeds streven naar een evenwicht. Enkel de watermoleculen – en niet de opgeloste stoffen – kunnen zich door de wand heen wringen. Ze doen dit stevast in één richting, namelijk van de omgeving met minst opgeloste stoffen naar die met het meest opgeloste stof. Dit passief transport van watermoleculen door een semipermeabel membraan, van de kant met de laagste concentratie aan opgeloste stoffen naar de kant met de hoogste concentratie, noemt men osmose. Osmotische druk is de druk die ontstaat door dit proces. Een oplossing met een hoge osmotische druk zal immers water uit een oplossing met een lagere osmotische druk aantrekken om een evenwicht te bereiken. Dit principe is alomtegenwoordig in de natuur. Het laat plantencellen bijvoorbeeld toe water te onttrekken uit de omgeving. Is dit water onvoldoende aanwezig, dan gaat de plant verslensen. De osmotische druk van zeewater is erg hoog. Ze bedraagt 25 bar, wat overeenkomt met de druk uitgeoefend door een waterkolom van 250 meter hoog. Die hoge osmotische druk is te wijten aan het vele opgeloste zout (gemiddeld 35 g/l).

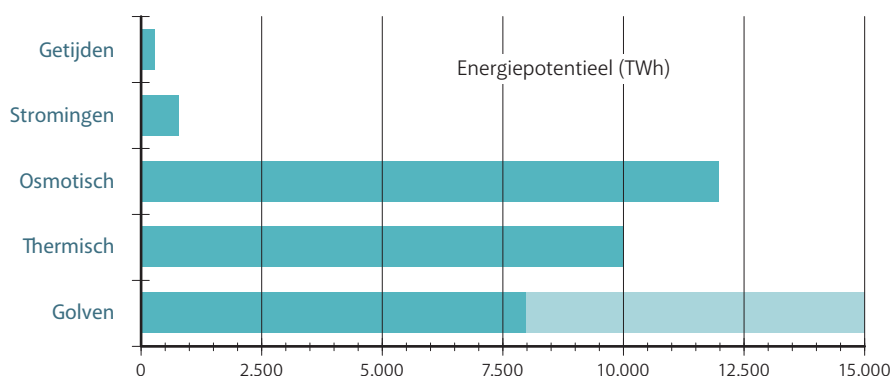


Een ontziltingsinstallatie die het principe van omgekeerde osmose toepast.

In RO gebeurt, zoals de naam al zegt, het omgekeerde van osmose. Dit vereist energie om de nodige druk te ontwikkelen. Naarmate meer water door het membraan geduwd wordt, zal ook de osmotische druk aan de bron zijde stijgen. Immers, de zoutconcentratie stijgt nu er steeds meer water wordt verwijderd. Gevolg: naarmate de omgekeerde osmose vordert, zal ook de druk die aangelegd moet worden, stijgen. Moderne

RO-installaties zijn meestal gelimiteerd tot 50-60 bar, wat betekent dat slechts ongeveer de helft van het water verwijderd kan worden. Een efficiëntie van 50% bij zeewaterontzouting lijkt laag, maar door de virtueel oneindige voorraad zeewater is dit geen enkel probleem. De hoge druk die nodig is, zorgt er echter wel voor dat het proces zeer energie-intensief is. Met een energievraag van 2 à 4 kWh/m³ geproduceerd water

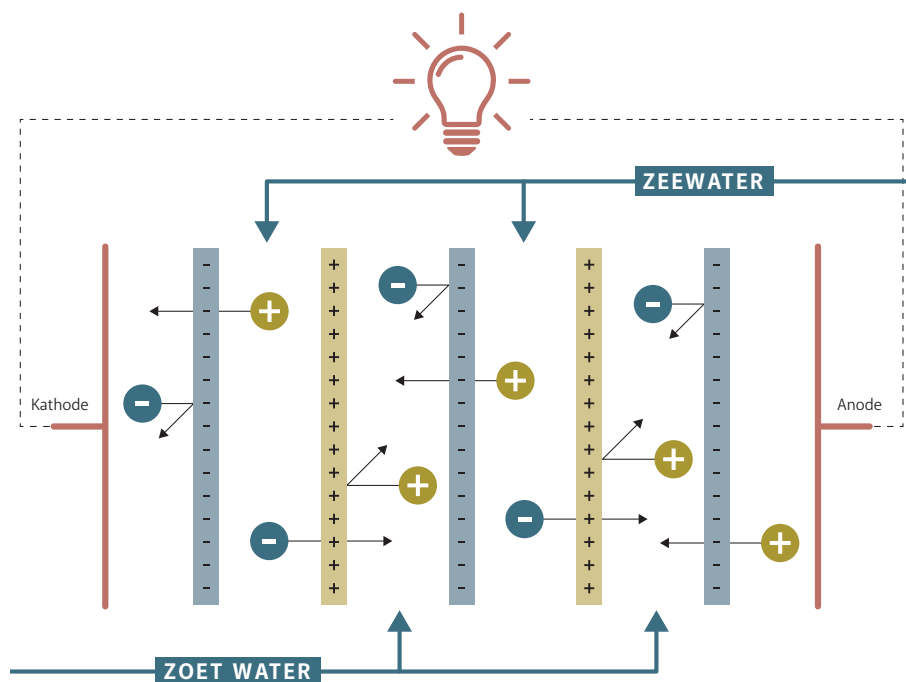
doet RO het vandaag echter al heel wat beter dan destillatie. Ook gaat het al een stuk efficiënter dan in de beginjaren van RO. De energievraag per geproduceerde m³ water bedroeg in de jaren '70 nog meer dan 15 kWh/m³ (zie fig. pg. 6) De energievraag van zeewaterontzouting nog verder doen dalen, wordt evenwel moeilijk. Aangezien je bij ontzouting tegen een natuurlijk proces ingaat – een beetje zoals water naar boven pompen in plaats van het naar beneden te laten stromen – zal dit proces altijd energie vergen, zelfs al is de technologie 100% efficiënt. Bij ontzouting van zeewater is die minimale benodigde energie ongeveer 1,1 kWh/m³.



Het wereldwijd energiepotentieel van de verschillende manieren om energie te produceren uit zeewater. De voorspellingen voor energie uit golven lopen zo sterk uit elkaar (8000 - 80 000 TWh) dat hier een opdeling gemaakt is. Ter vergelijking, het totale energieverbruik in België in 2016 bedroeg 650 TWh
© Marjolein Vanoppen.

KAN ENERGIE UIT ZEEWATER DE OPLOSSING BIEDEN?

Stel, je kunt bij het ontzilten tegelijkertijd energie uit het zeewater onttrekken en zo het eerder geschetste probleem het hoofd bieden. Zou toch mooi zijn! Wel, er is hoop. Er zijn immers heel wat manieren om energie op te wekken uit zeewater. De bekendste zijn energiewinning uit de getijden, de stromingen en de golven. Hierbij halen turbines energie uit de beweging van het water. Maar ook temperatuurverschillen tussen



Schematische voorstelling van omgekeerde elektrolyse. Anion- en kation-uitwisselingsmembranen wisselen elkaar af tussen twee elektroden. Zoutionen bewegen zich spontaan van het zeewater (hoge concentratie) naar het zoet water (lage concentratie) © Marjolein Vanoppen.

waterlagen kunnen energie opleveren: in dat geval drijft koud zeewater, opgepompt uit diepere lagen en in een warmtewisselaar gecombineerd met warmer oppervlaktewater, een turbine aan. In nieuwere systemen kan energie zelfs voortkomen uit de osmotische druk hierboven beschreven. Het enige wat je moet doen is twee waterstromen met een verschillende osmotische druk samenbrengen langs een semipermeabel membraan. Het potentieel van al deze technologieën is zeer verschillend (zie fig. pg. 7). Vooral energie uit golven, temperatuurgradiënten en osmotische druk hebben een groot wereldwijd potentieel, zo blijkt.

OMGEKEERDE ELEKTRODIALYSE (RED)

Energie winnen gebruikmakend van osmotische druk kan op twee manieren. 'Pressure retarded osmosis' (PRO) wekt mechanische energie op door water, dat zich spontaan door het semipermeabel membraan van lage naar hoge concentratie zal bewegen, over een turbine te jagen. De naam PRO verwijst naar de tegendruk die men met de turbine creëert om het proces van osmose te vertragen. Bij omgekeerde elektrolyse (RED of 'reverse electrodialysis') laten de membranen geen water door, maar wel zouten (en andere geladen componenten). Vandaar de naam ion-uitwisselingsmembranen. Hiervan zijn er twee soorten: (1) kationuitwisselingsmembranen: dragen een negatieve lading, waardoor ze kationen of

positief geladen moleculen aantrekken en doorlaten; (2) anionuitwisselingsmembranen: hebben een positieve lading, en trekken net anionen of negatief geladen moleculen aan. De lading van het membraan is tegengesteld aan de ionen die het doorlaat. Net zoals bij de polen van een magneet, stoten gelijke ladingen elkaar namelijk af en trekken tegengestelde ladingen elkaar aan.

Zouten en ladingen Zouten bestaan uit evenveel negatieve als positieve ladingen. Deze ladingen worden gedragen door ionen. In het geval van natriumchloride of keukenzout (NaCl), het belangrijkste zout in zeewater, is dit een natrium ion (Na^+ : 1 positieve lading) en een chloride ion (Cl^- : 1 negatieve lading). Wanneer zouten opgelost zijn in water, kunnen de aanwezige ladingen zich vrij van elkaar bewegen, terwijl ze in vast zout strikt aan elkaar gebonden zijn. In water bestaat met andere woorden de mogelijkheid om ladingen te laten bewegen en dus stroom te genereren.

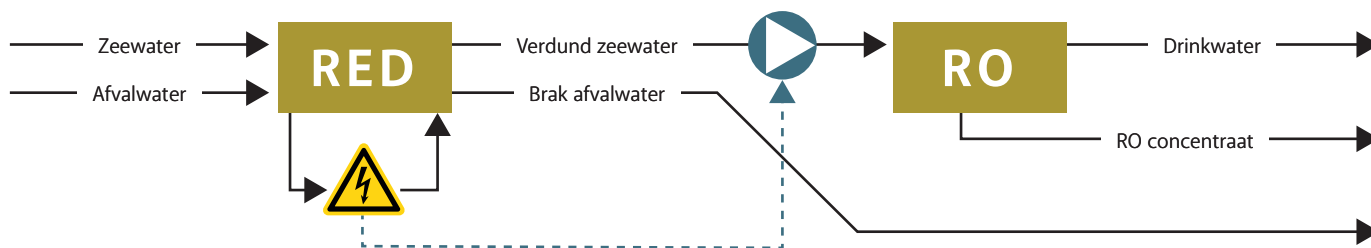
Wanneer men deze membranen inzet om zoet en zout water van elkaar te scheiden, verplaatsen zoutionen zich van het zoute water (hoge concentratie) naar het zoete water (lage concentratie) om zo een nieuw evenwicht te bereiken. Door kation- en anion-uitwisselingsmembranen af te wisselen (zie figuur), bewegen alle kationen zich naar één kant en alle anionen naar de andere. Hierdoor ontstaat een potentiaalverschil of een elektrische spanning over de membranen.

Die elektrische spanning kan dan gebruikt worden om elektrische stroom, ook een beweging van (negatief) geladen deeltjes, op te wekken. Deze technologie zet met andere woorden de beweging van geladen zoutdeeltjes om in elektriciteit. Voor het eerst beschreven in de jaren '1970, kent ze pas de laatste jaren een grote opmars door de ontwikkeling van betere membranen. Bovendien is het duurzame energie, wat in tijden van klimaatverandering geen onbelangrijk element is. Ideale locaties bevinden zich daar waar rivierwater de zee of oceaan instroomt. Dat geeft de technologie een enorm potentieel, wereldwijd (12.000 TWh). Ter vergelijking: in 2016 lag het energieverbruik in België op 650 TWh; wereldwijd was dit 160.000 TWh. Dat betekent dat RED zou kunnen instaan voor bijna 10% van de wereldwijde energiebehoefte. Het grote voordeel van RED (en andere energiebronnen uit de zee) is dat ze, in tegenstelling tot wind- en zonne-energie, continue energie levert. Meer nog, RED kan zelfs nuttig zijn om zonne-energie op te slaan. Het Nederlandse bedrijf AquaBattery gebruikt de technologie nu al om met overtollige zonne-energie zout water op te concentreren. Op momenten dat de energievraag hoog is maar er geen zon is, levert dit geconcentreerde water energie via het RED-concept.

HET BESTE VAN TWEE WERELDEN

RED mag dan wel ontwikkeld zijn om duurzame energie op te wekken, de techniek werkt ook prima om zeewaterontzouting energiezuiniger te maken. In een zogenaamd hybride proces – twee of meer technieken gecombineerd tot één optimaal systeem – biedt RED in combinatie met RO heel wat kansen. Deze combinatie (zie fig. pg. 9) heeft twee grote voordelen: (1) energie met RED opgewekt uit zeewater vangt (een deel van) de energievraag van RO op; (2) bij RED is al een deel van het zout gemigreerd van de zeewaterzijde naar de zoetwaterkant, waardoor de concentratie in het zeewater daalt. Die lagere concentratie zorgt voor een lagere osmotische druk en dus een lagere energievraag van de RO. Het is vooral dat laatste effect dat een grote impact heeft op de energievraag van het volledige proces.

Een belangrijke bedenking bij dit hybride proces is natuurlijk dat het geen zin heeft rivierwater te gebruiken als zoetwaterbron. Dan is het nuttiger dat rivierwater rechtstreeks te gebruiken voor drinkwaterproductie. Veel beter is op zoek te gaan naar een waterbron die zoet is en ongeschikt voor de productie van drinkwater, zoals afvalwater. Dat afvalwater komt na zuivering, zeker voor grote kuststeden, vaak in zee terecht.



De hybride combinatie van RED ('reverse electrodialysis' of omgekeerde elektrodialyse) en RO ('reverse osmosis' of omgekeerde osmose). Door energie op te wekken en de zeewaterconcentratie te verlagen in RED, kan drinkwater geproduceerd worden aan een lagere energiekost © Marjolein Vanoppen.

Een goed voorbeeld hiervan is Botany Bay in Sydney, waar de afvalwaterzuivering en een zeewaterontzoutingsinstallatie langs dezelfde baai liggen. Hier zou het RED-RO-concept perfect toegepast kunnen worden. Als je daarbij bedenkt dat naar schatting 20-50% van de wereldbevolking (afhankelijk van de bron) binnen 100 km van een zee of oceaan woont, vaak in grote steden, weet je dat het potentieel enorm is.

Drinkwater uit afvalwater? Kan perfect!

Er zijn alvast geen technologische bezwaren voor. Toch gebeurt dit momenteel nog zelden. Een van de redenen hiervoor is publieke perceptie. Hoewel het geproduceerde water perfect drinkbaar is, vormt het feit dat het uit afvalwater voortkomt toch een grote psychologische barrière. Verder vergt de zuivering van afvalwater, dat een intensievere behandeling vraagt dan grond- of oppervlaktewater, natuurlijk ook een extra kost en energievraag. Toch zijn er al enkele goede voorbeelden van drinkwater uit afvalwater, waarvan eentje aan onze eigen kust! De Intercommunale Waterleidingsmaatschappij van Veurne-Ambacht neemt namelijk gezuiverd afvalwater binnen om er dan drinkwater van te maken. Na een extra behandeling infiltreren zij het water in de duinen, waar het doorsijpelt naar een grondwaterreservoir. Van daar pompen ze het weer op om er drinkwater van te maken. Omdat er een natuurlijke buffer in het proces vervat zit (de duinen en het grondwaterreservoir), heet dit soort afvalwaterhergebruik "indirect hergebruik". Als zo'n buffer niet aanwezig is, spreken we van "direct hergebruik" van afvalwater. Het beste voorbeeld van dit laatste is dat van Windhoek in Namibië, waar al sinds de jaren 1960 gezuiverd afvalwater gezuiverd wordt tot drinkbaar water.

EN WAT LEVERT HET OP?

De vraag is nu natuurlijk hoe groot de energiebesparing is bij dit hybride proces. RED is volop in ontwikkeling. Langs de Afsluitdijk in Nederland wordt het op dit moment op

pilootschaal getest en geoptimaliseerd. Industriële toepassingen zijn er dus nog niet. We moeten ons dan ook beroepen op theoretische berekeningen. Net zoals de thermodynamische bepaling van de minimale energie die nodig is om zeewater te ontzouten, kan ook uitgerekend worden hoeveel energie onder ideale omstandigheden te besparen valt. Door in die berekeningen ook rekening te houden met de realiteit (membranen zijn nu eenmaal niet perfect en water rondpompen kost energie), kunnen we het potentieel van de technologie redelijk inschatten. Als RED een kwart van het zout verwijderd – waarbij het energie opwekt – zakt de energievraag zo al onder de thermodynamische limiet van RO (1,1 kWh/m³ geproduceerd water). Puur theoretisch, op basis van de thermodynamische wetten in een ideale wereld, zou de energievraag op dit punt zelfs 0 kWh/m³ bedragen. Drinkwater zou met andere woorden energieneutraal uit zeewater geproduceerd kunnen worden. Hoewel het een hele uitdaging zal zijn om dit punt te bereiken, tonen de berekeningen wel het potentieel van de technologie aan.

“ DRINKWATER ZOU MET ANDERE WOORDEN ENERGIENEUTRAAL UIT ZEEWATER GEPRODUCEERD KUNNEN WORDEN ”

DE TOEKOMST

De RED-technologie is in volle ontwikkeling. Hierbij komen heel wat uitdagingen naar voor. Hoe reageert het systeem bijvoorbeeld op het gebruik van afvalwater in plaats van rivierwater? Membranen zijn namelijk gevoelig aan vervuiling en werken dan minder goed. Verder brengt het gebruik

van afvalwater ook de bezorgdheid rond organische micropolluenten met zich mee. Geneesmiddelen en pesticiden die via de mens in het afvalwater terecht komen, komen via het RED-systeem in principe niet in het te ontzouten zeewater terecht, maar onderzoek moet dit bevestigen. Daarnaast dringt zich een verdere optimalisatie van het RED-systeem op, met als doel een maximale energieproductie aan minimale kost. Via projecten en onderzoeken aan de UGent en daarbuiten, zoeken wetenschappers antwoorden op deze uitdagingen. Ondertussen verschijnen ook de eerste prototypes van commerciële installaties, klaar om binnenkort uitgetest te worden.

HET WATERPROBLEEM OPGELOST?

Geen twijfel mogelijk, zeewaterontzouting vormt een stukje in de puzzel bij het aanpakken van de wereldwijde waterschaarste, nu en in de toekomst. Door het proces energiezuiniger te maken, zal de technologie ook makkelijker toepassing vinden in ontwikkelingslanden en armere gebieden die te kampen hebben met droogte. Maar met zeewaterontzouting alleen komen we er niet. Er zijn meer stukjes die op hun plaats moeten vallen en die een rol kunnen spelen. Enerzijds is zeewater niet de enige alternatieve waterbron. Ook afvalwater en waterhergebruik, niet alleen van huishoudens maar ook van industriële bronnen, kunnen dienen als basis voor drinkwater. Anderzijds is ook bewustmaking essentieel om het probleem aan te pakken. Mensen zijn zich vaak nog veel te weinig bewust van waar hun water vandaan komt en hoeveel water ze (indirect) verbruiken. En vooral welke impact dat allemaal heeft, niet alleen op hun eigen leven maar ook op dat van andere mensen en op het milieu. Water is een kostbaar goed. We moeten er dan ook zorgzaam mee omspringen!