

Belemmeringscan Blue Energy Nederland

hindernissen tot commerciële exploitatie

Marcel Bruggers
Joost Icke
Sam van der Zwan

1202044-005

Titel

Belemmeringscan Blue Energy Nederland

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Waterdienst 1202044-005

Project**Kenmerk**

1202044-005-VEB-0001

Pagina's

40

Trefwoorden

Blue Energy, Duurzame Energie, Renewable Energy, Sustainable Energy, Saline gradient energy, Waterenergie, Bottleneck analyse, Innovatie, Innovation, Waterinnovatie, WINN

Samenvatting

Dit rapport geeft inzicht in de bottlenecks die, naar alle waarschijnlijkheid, een rol spelen, in het proces om een Blue Energy centrale te realiseren in Nederland. Blue Energy staat voor een vorm van duurzame energie, waarbij energie uit zoet- en zoutwater gewonnen kan worden. Op dit moment is nog geen Blue Energy centrale gerealiseerd vanwege verschillende financiële, technologische en institutionele belemmeringen. De technologie omtrent Blue Energy biedt echter wel goede mogelijkheden voor toepassing in Nederland en biedt erg goede perspectieven qua winbare potentiëlen. Deze studie is uitgevoerd in het kader van het Waterinnovatieprogramma (WINN) van Rijkswaterstaat om hier mee inzicht te verschaffen, ten einde maatregelen te kunnen nemen om het innovatieproces van Blue Energy in Nederland te kunnen versnellen.

De geïdentificeerde bottlenecks zijn gecategoriseerd naar de relatie met de energiecentrale. De categorieën zijn: de componenten in de energiecentrale zelf, in de fysieke omgeving van de energiecentrale, in de institutionele omgeving van de energiecentrale en externe factoren, die niet te beïnvloeden zijn. Op pagina 9 staat een mindmap met een pallet van alle kleine en grote belemmeringen. Hierbinnen zijn de volgende "key" bottlenecks geïdentificeerd:

- De geschiktheid van de locatie: beschikbaar zoet- en zoutwater en beschikbare gradiënt
- Het voorkomen van kortsluitstromen tussen de waterinlaten en de wateruitlaat.
- Het (thans hoge) kostenniveau en (thans hoge) energieverbruik van de voorzuivering
- De (streng) waterkwaliteits-eisen ten behoeve van functioneren van de membranen
- De (nog lage) vermogensdichtheid van de membranen
- Het gebruik van reinigingsmiddelen en de intensiteit van de reinigingsprocedures
- De impact van de installatie op de omgeving
- Het gebrek aan adequate subsidieregelingen
- De geschiktheid van de wet- en regelgeving
- De openbaarheid van onderzoeksresultaten en kennis
- De weerstand door maatschappelijke organisaties, zoals milieu- of marktpartijen
- Gebrek aan concurrentie
- Gebrek aan investeerders en ondernemers

Welke van deze key bottlenecks prioriteit verdienen, is niet eenduidig te melden en verdient een discussie op zich.

Referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	jul. 2010	Marcel Bruggers		Ivo Pothof		Ipo Ritsema	
		Joost Icke				H. Vissen	
		Sam van der Zwan					

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding voor de quick scan	1
1.2 Doelstelling	1
1.3 Werkwijze	1
1.4 Leeswijzer en aanbevolen literatuur	1
1.5 Disclaimer	2
2 De Blue Energy centrale	3
2.1 Energie uit zoet en zout water	3
2.2 Pressure Retarded Osmosis installatie	5
2.3 Reversed Electro Dialysis installatie	6
3 Uitdagingen en bottlenecks in de realisatie van Blue Energy	7
3.1 Inleiding	7
3.2 De componenten van een Blue Energy-centrale	9
3.2.1 Zoet- en zoutwaterinlaat	9
3.2.2 Voorzuivering	10
3.2.3 Pompen, kleppen en leidingwerk	10
3.2.4 Energy Recovery Devices	10
3.2.5 Membraanmodules	10
3.2.6 Membranen	10
3.2.7 Wateruitlaat	11
3.3 De fysieke omgeving van de installatie	12
3.3.1 Effect op waterkeringen	12
3.3.2 Verzilting van riviermondingen	12
3.3.3 Waterkwaliteit	12
3.3.4 Landschappelijke inpassing	13
3.3.5 Morfologie	13
3.3.6 Beschikbaarheid van een goede zoet-zoutgradiënt	13
3.3.7 Beschikbaarheid van zoet water	14
3.3.8 Beschikbaarheid van zout water	14
3.4 De institutionele omgeving	14
3.4.1 Ondernemers	14
3.4.2 De overheid	14
3.4.3 Maatschappelijke weerstand	15
3.4.4 Elektriciteitsnet	15
3.5 Externe factoren	15
3.6 Samenvatting van de belangrijkste uitdagingen en bottlenecks	15
4 Betrokken partijen in onderzoek en markt	19
4.1 Inleiding	19
4.2 De ontwikkelaars van RED	19
4.3 De ontwikkelaars van PRO	20
4.4 Onderzoeks- en adviesbureaus en bedrijven	21
5 Innovatiepad	23

6 Advies over de inrichting van de workshop Blue Energy	25
6.1 Voorlopig advies	25
6.2 Voorstel voor het programma	25
6.3 Voorstel voor uit te nodigen partijen	26
7 Aanbevelingen voor nader onderzoek	31
8 Literatuurlijst	33

1 Inleiding

1.1 Aanleiding voor de quick scan

WINN WaterInnovatie Rijkswaterstaat en het platform Duurzame Elektriciteitsvoorziening hebben Deltares gevraagd een quick scan uit te voeren naar de huidige inzichten, de nog te nemen hindernissen en het benodigde innovatiepad met betrekking tot het vermarkten van Blue Energy in Nederland. De quick scan vormt een discussiestuk ter voorbereiding op een workshop met relevante partijen, die gericht is op het ontwikkelen van een business case voor Blue Energy in Nederland. Complementair hieraan is een studie door IMI (Institute for Infrastructure, Environment, and Innovation) uitgevoerd, waarin de internationale aspecten aan bod komen (IMI, 2009).

Deze rapportage focust op de huidige stand van de techniek, de benodigde innovaties en de algemene haalbaarheid van een Blue Energy installatie in Nederland (voor zover bekend is, d.d. medio 2009). Daartoe is onderzoek gedaan naar de technische aspecten en naar de invloed van en op de omgeving. De technische aspecten betreffen zaken als membranen en benodigde voorzuivering en de omgevingsaspecten betreffen zaken gerelateerd aan benodigde waterstromen, waterkwaliteit, ruimtebeslag en invloed op de ecologie. Het resultaat is een verzameling generieke aandachtspunten en behelst geen locatiespecifieke analyse. Een dergelijke analyse kan leiden tot afwijkingen van in dit rapport geïnventariseerde belemmeringen. Ten slotte levert de quick scan een overzicht op van relevante partijen, evenals een overzicht van relevante literatuur.

1.2 Doelstelling

De quick scan geeft inzicht in de uitdagingen en de bottlenecks, die samen het innovatiepad tot marktrijpheid van Blue Energy in Nederland in hoge mate beïnvloeden c.q. bepalen.

1.3 Werkwijze

Bij het uitvoeren van de quick scan is gekozen voor een combinatie van literatuuronderzoek en het afnemen van een aantal telefonische interviews, omdat dit op korte termijn het meest volledige beeld oplevert.

1.4 Leeswijzer en aanbevolen literatuur

In hoofdstuk 2 treft u een visualisatie van een Blue Energy installatie, gevolgd door een korte beschrijving van alle relevante onderdelen. In het volgende hoofdstuk worden vervolgens de belangrijkste technologische, economische en ecologische uitdagingen en belemmeringen beschreven. Hoofdstuk 4 gaat in op de markt van Blue Energy: welke partijen zijn hierbij betrokken en wat is hun rol? Daarna wordt in hoofdstuk 5 een eerste aanzet tot een innovatiepad gegeven. In hoofdstuk 6 wordt een voorstel gedaan over de invulling van de workshop.

Bij het uitvoeren van de quick scan is gebruik gemaakt van bestaande publicaties over Blue Energy. De quick scan bouwt in feite op deze kennis voort, aangevuld met de kennis van Deltares-medewerkers en de resultaten van enkele telefonische interviews. Wij raden u aan om in ieder geval kennis te nemen van de volgende twee publicaties:

- Het rapport “Energie uit zout en zoet water met osmose, een visualisatie bij de Afsluitdijk” van Ecofys (Dr. E.C. Molenbroek)
Deze rapportage geeft een uitgebreide beschrijving van een Blue Energy centrale, voor zowel de RED als de PRO variant. Het rapport gaat in op de stand van de techniek anno 2007 en beschrijft de technische uitdagingen die er nog liggen.
- De case study “Blue Energy (salinity power) in The Netherlands” van ECN (R. Willemse)
Deze rapportage beschrijft welke inspanningen door verschillende partijen in Nederland zijn verricht om onderzoek naar Blue Energy van de grond te krijgen. Het rapport gaat in op de vorming van consortia en de totstandkoming van de subsidieverstrekking door de Nederlandse overheid. De case study is uitgevoerd in het kader van het Europese onderzoek Create Acceptance¹.

1.5 Disclaimer

Deze quick scan is met grote zorg, zij het in relatief korte tijd, uitgevoerd en kan daarom op onderdelen onvolledig zijn.

¹ *Cultural Influences on Renewable Energy Acceptance and Tools for the development of communication strategies to promote ACCEPTANCE among key actor groups. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006).*

2 De Blue Energy centrale

2.1 Energie uit zoet en zout water

Blue Energy is de naam voor duurzame energie die opgewekt wordt op basis van de zoutgradiënt in het water. Energie uit de zoutgradiënt in water is een van de meest veelbelovende concepten van duurzame energie. Het wereldwijde potentieel is enorm en zal vooral waardevol blijken in dichtbevolkte deltagebieden, waar rivieren uitstromen in een zee of oceaan.

Geschikte locaties voor Blue Energy centrales zijn de locaties, die gekenmerkt zijn door grote zoutgradiënten. Interessante zoutgradiënten treden op, op plaatsen waar zoet- en zoutwater elkaar samenkomen. Het meest evidente voorbeeld van een dergelijke locatie is de monding van een rivier in een zee of oceaan. Op deze plekken zijn grote hoeveelheden zoet- en zoutwater meestal gewaarborgd en wordt de nodige aanvoer voor een betrouwbare werking van een Blue Energy centrale verstrekt. Helaas, door bijvoorbeeld getijbewegingen en -stromingen en/of een fluctuerende rivierafvoer mengt het water uit zee of oceaan zich met het rivierwater, waardoor het potentieel afneemt. Daarom zijn locaties met een fysieke scheiding van zoet- en zoutwater, zoals in geval bij een sluis, dijk of dam nabij de monding van een rivier nog interessanter voor de realisatie van een Blue Energy centrale, omdat deze vermenging van het water voorkomen en het concentratieverschil behouden blijft.

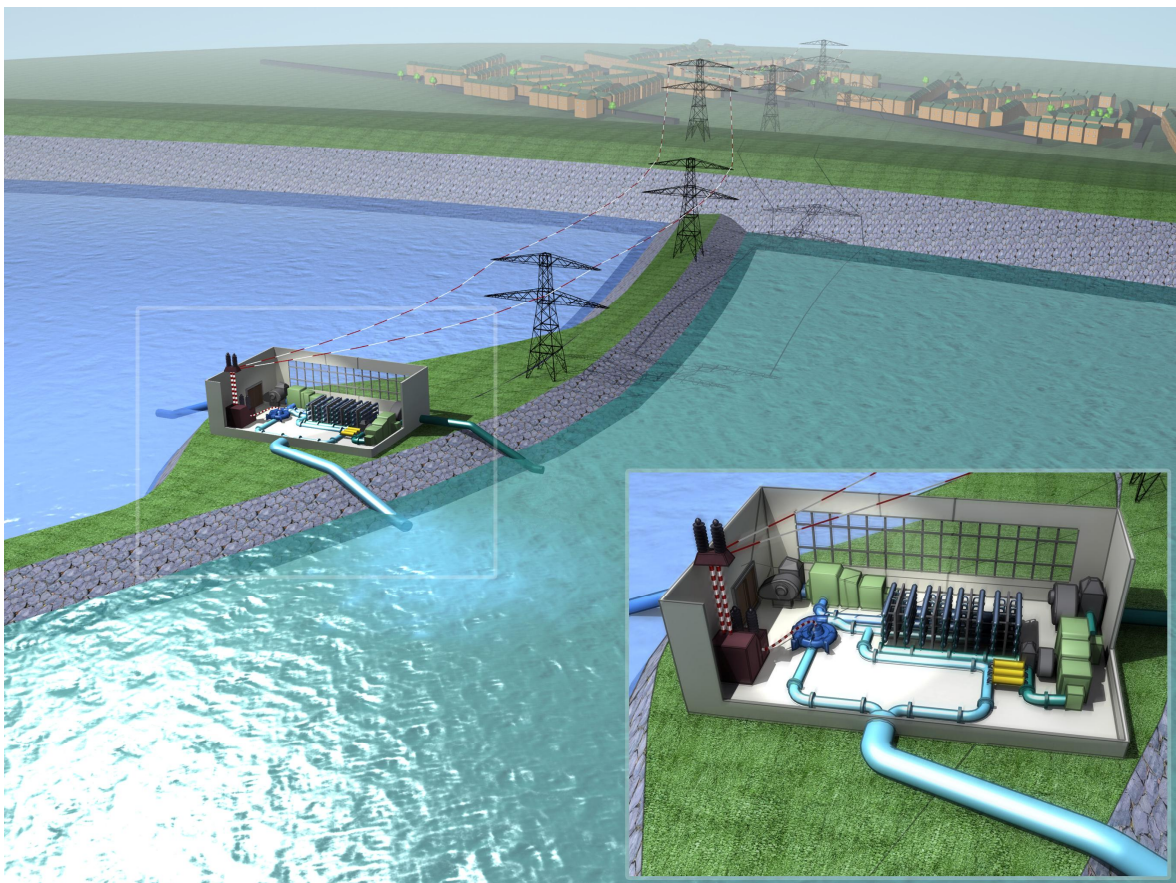
De twee belangrijkste technieken om elektriciteit te genereren uit zoet- en zoutwater zijn Pressure Retarded Osmose (PRO) en Reverse Electro Dialysis (RED). Bij beide technieken wordt gebruik gemaakt van specifieke membranen die het zoet- en zoutwater onder gecontroleerde omstandigheden laat mengen, waarmee grote hoeveelheden elektriciteit gegenereerd kunnen worden.

De PRO-techniek is gebaseerd op het principe van osmose en maakt gebruik van een semi-permeabel membraan tussen de twee vloeistoffen, dat alleen kan worden gepasseerd door watermoleculen. Osmotische verschijnselen doen zich voor, wanneer vloeistoffen met verschillende concentraties van opgeloste stoffen met elkaar in contact gebracht worden. Net zoals bij diffusieprocessen, wordt er - van nature - gestreefd naar gelijkheid in de concentraties. Echter, door de aanwezigheid van het semi-permeabele membraan wordt verspreiding van zoutionen hier voorkomen. De osmotische druk drijft watermoleculen door het membraan van de zoetwater zijde naar de zoutwater zijde, waardoor verdunning van het zoutwater optreedt en de concentraties meer in balans komen. Als zoetwater overvloedig beschikbaar is, kan dit proces leiden tot een stijging van het waterpeil aan de zoutwater zijde tot ongeveer 250 m, afhankelijk van zoutgehaltes en lokale omstandigheden. Door het stijgen van het water te beperken kan waterdruk worden opgebouwd, die vervolgens kan worden aangewend om een turbine in beweging zetten. In de praktijk kan ongeveer de helft van de 25 bar druk die opgebouwd wordt, gebruikt worden voor het aandrijven van een turbine. Op dat punt is de verhouding tussen druk en doorstroming optimaal voor een zo groot mogelijke energieopwekking.

De RED-techniek is gebaseerd op omgekeerde electrodialyse. Bij toepassing van deze techniek, zijn er drie compartimenten, dit keer van elkaar gescheiden door twee ion-selectieve membranen, die alleen kan worden gepasseerd door zout-ionen. Door het chemische potentiaalverschil ontstaat een transport van kat-ionen (positief geladen) en anionen (negatief geladen) door de membranen aan beide zijden.

Hier migreren dus, in plaats van de watermoleculen, de zout-ionen (de positief en negatief geladen delen van zoutmoleculen) door de membranen. De migratie van ionen, die allemaal een elektrische lading hebben, creëren een potentiaal dat kan worden omgezet in een elektrische stroom, wanneer een kathode en anode aan de energie-cel gekoppeld worden. Een energie-cel bestaat uit een kat-ion en an-ion permeabel membraan, die een migratieroute voor de positieve en negatieve ionen vormen. De energie-cellen kunnen worden gestapeld als gewone batterijen, en de energie-output is gelijk aan het product van het aantal cellen en de output per cel. De totale energie-opbrengst per kubieke meter van zoet- en zoutwater is vergelijkbaar met die van de PRO-methode.

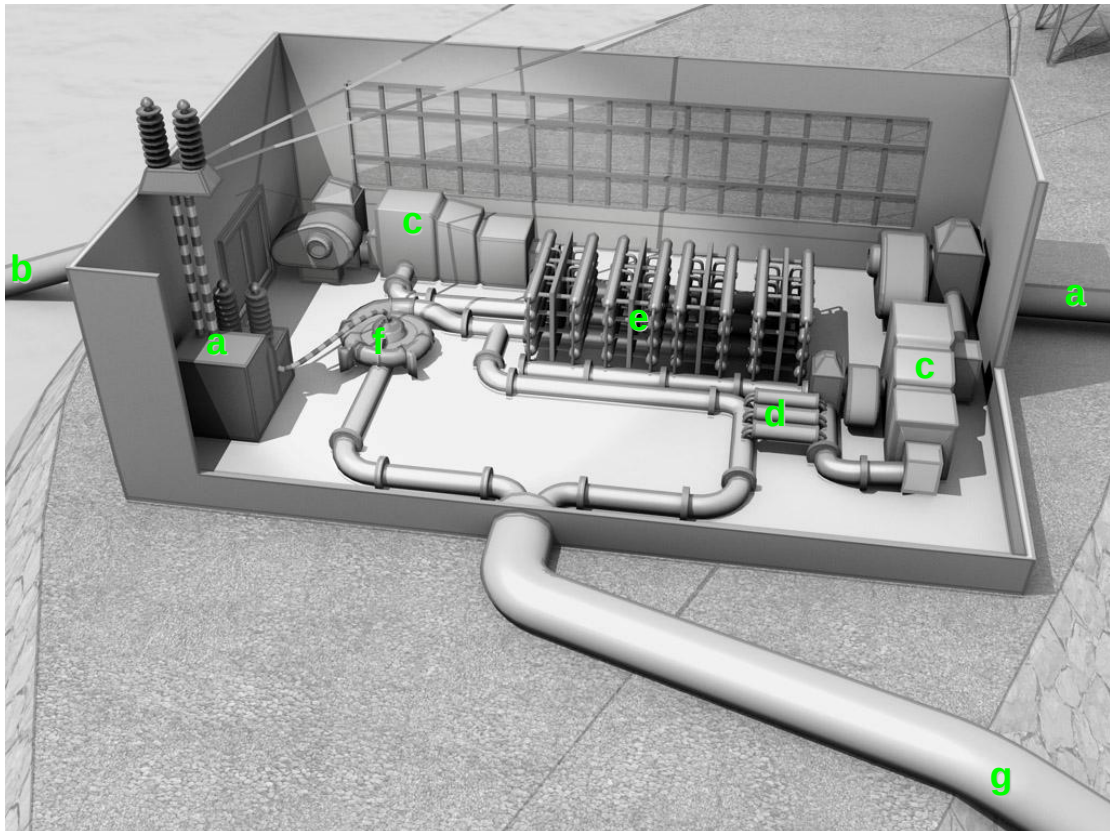
Beide methoden zijn reeds decennia bekend, maar tot nu toe hebben hoge kosten en lage energie-opbrengsten verhinderd dat deze technieken een realistisch alternatief voor fossiele brandstoffen werden. Echter, met technologische verbeteringen, de eventuele schaalvergroting en toenemende bewustwording van de energieproblematiek, samen met de stijgende kosten van fossiele brandstoffen, wordt Blue Energy langzamerhand een interessant en haalbaar alternatief. In Figuur 2.1 is het concept van een werkende Blue Energy centrale op een dijk weergegeven.



Figuur 2.1 Visualisatie van een Blue Energy centrale op basis van de PRO-techniek.

2.2 Pressure Retarded Osmosis installatie

Een opengewerkte installatie van een PRO-centrale staat weergegeven in Figuur 2.2. Het zoute water (a) en het zoete water (b) worden eerst door de voorzuivering gepompt (c) om de ergste vervuiling uit het water te halen en te zorgen dat de membranen niet verstopt raken. Daarna gaat het zoute water door een lage-druk pomp (niet getekend) en een energy recovery device (ERD) (d); deze zorgt dat het zoute water onder een hoge druk wordt gezet met behulp van het brakke water dat de cyclus al doorlopen heeft en nog op een hoge druk staat. Het zoute water stroomt dan op de gewenste druk de membraanmodule (e) binnen. Het zoete water gaat direct van de voorzuivering door de membraanmodule. Een groot deel van het zoete water debiet zal onder invloed van de osmotische druk door het membraan stromen. De brakke waterstroom die uit het membraan komt, wordt dan in tweeën opgesplitst. Een debiet dat gelijk is aan het zoete water debiet door het membraan wordt door een turbine (f) geleid. Het overige brakke water stroomt door de ERD (d) om het zoute water onder druk te zetten. Deze twee brakke stromen worden dan samen naar zee gevoerd (g).



Figuur 2.2 Opengewerkte visualisatie van een Blue Energy-centrale. De letters corresponderen met de toelichting in paragraaf 2.2.

2.3 Reversed Electro Dialysis installatie

Een RED installatie lijkt sterk op een PRO installatie, alleen wordt hier het zoete en zoute water direct na de voorzuivering de membraanmodule ingepompt. Het water wordt er zo ingepompt dat er om en om een zoete en een zoute cel ontstaat. De ionen diffunderen dan door de membranen en brak water stroomt uit de cellen. Om daadwerkelijk elektriciteit op te wekken is het noodzakelijk om een redox koppel, bijvoorbeeld door Fe^{2+} en Fe^{3+} toe te voegen aan de buitenste cellen. Door deze twee cellen te verbinden en het water rond te pompen kan er een reactie plaats vinden aan de anode en kathode in deze buitenste cellen, waardoor direct elektriciteit opgewekt kan worden. Deze moet dan nog wel omgevormd worden to wisselspanning voordat hij aan het net geleverd kan worden.

3 Uitdagingen en bottlenecks in de realisatie van Blue Energy

3.1 Inleiding

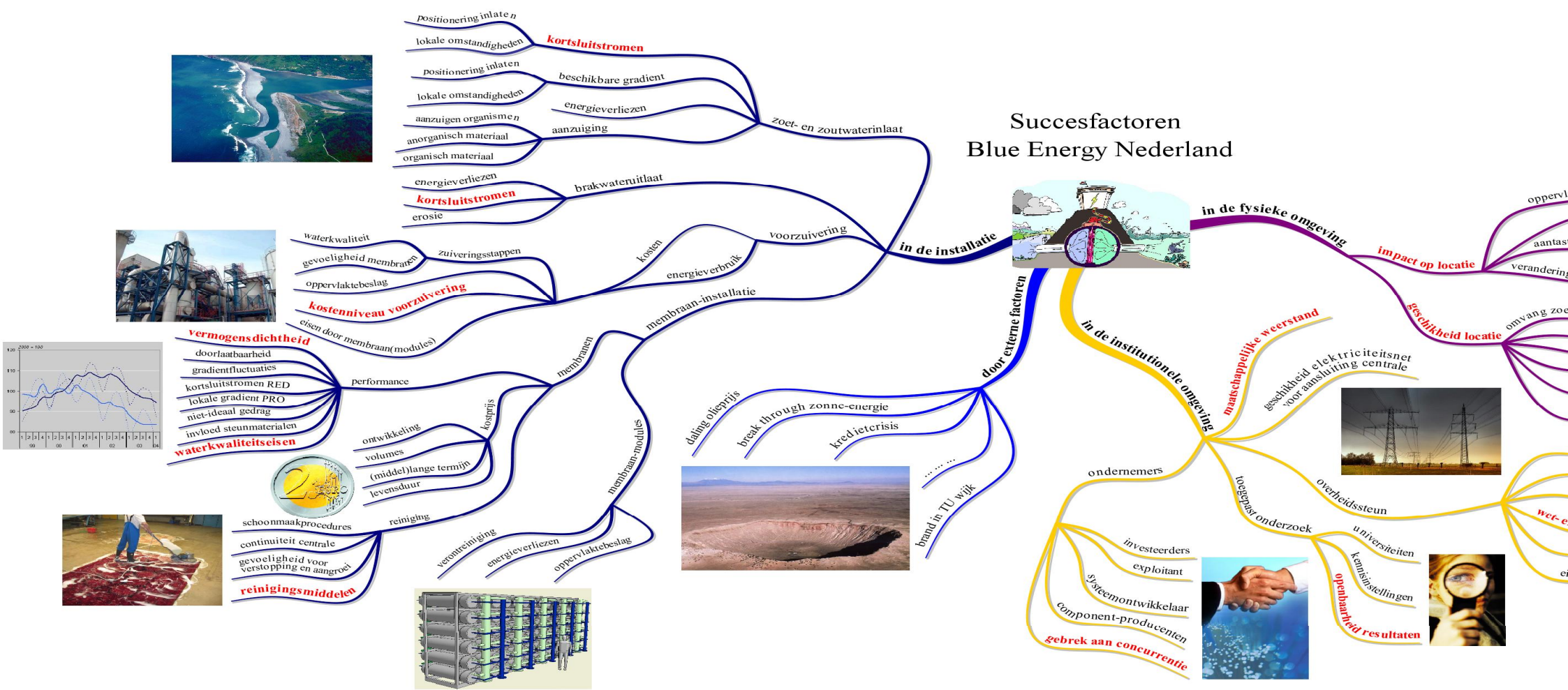
Blue Energy is, ongeacht of het de RED of de PRO variant betreft, nog niet uitontwikkeld tot op commercieel exploitabel niveau. Na diverse informatiebronnen geraadpleegd te hebben, zijn verschillende bottlenecks geïdentificeerd. Deze bottlenecks spelen een rol, of kunnen dit gaan doen, in het proces om in Nederland een Blue Energy elektriciteitscentrale te realiseren. Zij zijn gecategoriseerd naar relatie met de energiecentrale. De categorieën van “binnen naar buiten de centrale” zijn:

- De componenten van de centrale zelf (paragraaf 0).
- De fysieke omgeving van de centrale (paragraaf 3.2).
- De institutionele omgeving van de centrale (paragraaf 3.3).
- Externe factoren, die niet te beïnvloeden zijn (paragraaf 3.4).

Aan de hand van de geïnterviewde bottlenecks zijn diverse experts benaderd en bevraagd over hun visie op de grootte en oplosbaarheid van de betreffende bottleneck. Een beschrijving van de betrokken partijen in onderzoek en advies is gegeven in hoofdstuk 4, een lijst van uit te nodigen partijen en personen is gegeven in paragraaf 6.3.

Met nadruk moet gemeld worden dat de focus hier uitsluitend ligt op de bottlenecks en niet op de mogelijkheden, de kansen en de gunstige neveneffecten ten opzichte van conventionele energiewinning. Hierdoor kan de indruk van dit hoofdstuk als niet-positief worden ervaren, terwijl Blue Energy door velen, evenals door de auteurs van dit stuk, gezien wordt als een belofte op energiegebied.

De figuur op de volgende bladzijde, een zogeheten ‘Mindmap’, geeft een overzicht van de belangrijkste uitdagingen en bottlenecks voor de realisatie van een Blue Energy installatie. De naar onze inzichten meest cruciale factoren zijn met rood weergegeven in de Mindmap.



De componenten van een Blue Energy-centrale

De Blue Energy centrales voor zowel de RED als de PRO variant bevatten veel vergelijkbare componenten. Beide methoden zijn nog in een ontwikkelstadium en het is de verwachting dat diverse componenten aangepast zullen worden voor de specifieke toepassing in één van de twee typen centrales. Desondanks wordt aangenomen dat in het huidige stadium en specifiek voor deze quick scan, de momenteel bekende karakteristieken en bottlenecks voor gelijke componenten in beide methoden geldig zijn.

De bottlenecks die in een centrale een obstakel kunnen vormen, zijn hieronder weergegeven op volgorde van doorstroming in de centrale. Onderstaande opsomming van bottlenecks is op een dusdanige manier opgesteld dat alle onderwerpen gelden voor beide technologieën, tenzij expliciet anders vermeld is. Evident is dat het gewicht van de bottleneck gelijke tred houdt met de omvang van de (beoogde) installatie.

3.1.1 Zoet- en zoutwaterinlaat

De inlaten voor zoet- en zout water dienen op een dusdanige manier uit elkaar gepositioneerd te worden dat kortsluitstromen tussen deze inlaten en de uitlaat van brak water niet, of zeer zeldzaam, op kunnen treden. Afhankelijk van de lokale omstandigheden kan dit wel of niet gerealiseerd worden.

Een tweede eis aan de positionering is dat de zoutgradiënt maximaal is. De huidige inzichten in de effecten op de rendementen van de membranen geven blijk van een sterke afname van de opgewekte energie bij vermindering van zoutgradiënt.

- De meest voor de hand liggende locatie van een Blue Energy centrale is nabij de monding van een rivier. Daarom moet rekening gehouden worden met de zoetwaterpluim die zich vanuit de rivier, in en op zee manifesteert. Afhankelijk van de getijgemiddelde zeewaterstroming parallel aan de kustlijn, dat wil zeggen haaks op de mondingrichting van de rivier, dient de zoutwaterinlaat links van de linkeroever of rechts van de rechteroever geplaatst te worden. Afgezien van het effect van de zeestroming dient de zoutwaterinlaat zo laag mogelijk geplaatst te worden, omdat zoutwater een grotere dichtheid, en dus een groter specifiek gewicht heeft dan zoetwater.
- Voor wat betreft de zoetwaterinlaat geldt dat deze in eerste instantie buiten het invloedsgebied van het getij geplaatst dient te worden, omdat met het getij een “zoutwatertong” over de bodem van de rivier stroomopwaarts kan trekken. Mocht het invloedsgebied “ver” reiken, dan dient de zoetwaterinlaat zo hoog mogelijk in de waterkolom geplaatst te worden, ten einde zo zoet mogelijk water in te laten. De lokale omstandigheden bepalen daardoor mede wat de maximale gradiënt is die ontgonnen kan worden.
- Beide inlaten dienen dusdanig gedimensioneerd te worden dat energieverliezen, onder andere als gevolg van turbulentie, minimaal zijn. Ook moet het aanzuigen van kwallen, mosselen, vissen, algen, sediment en overige materialen voorkomen worden. Deze bottleneck is met de huidige stand van de techniek oplosbaar en zal niet verder besproken worden.

3.1.2 Voorzuivering

Het ingenomen water kan veel verontreinigingen bevatten. Deze variëren tussen drijvende of zwevende materialen, zoals algen en sediment, en tot op moleculair niveau opgeloste stoffen zoals zouten en nutriënten. Ondanks optimaal vormgegeven en gepositioneerde inlaten, komen veel organische en anorganische verontreinigingen via de inlaten binnen. De benodigde voorzuivering hangt samen met de vereiste waterkwaliteit voor de membranen en de lokale waterkwaliteit. Volgens de rapportage van Ecofys [2007] is de voorzuivering verantwoordelijk voor een derde tot de helft van de kostprijs van energie geproduceerd door PRO en RED.

3.1.3 Pompen, kleppen en leidingwerk

Geen bottlenecks.

3.1.4 Energy Recovery Devices

Geen bottlenecks.

3.1.5 Membraanmodules

De membraanmodule in een Reverse Osmosis drinkwaterinstallatie lijkt op het eerste gezicht goed vertaalbaar naar de membraanopstelling voor PRO. Dit is echter niet het geval. Er zijn twee duidelijke verschillen tussen een gangbare RO module en een PRO module. De meest gebruikte RO module bevat opgerolde membraan-vellen (spiral-wound flat sheet module). Het eerste verschil zit in de meest geschikte stromingsrichtingen aan beide zijden van het membraan: deze staan in een RO module loodrecht op elkaar, terwijl ze in een PRO module tegengesteld moeten zijn (Zwan et al. 2010). Het tweede verschil is dat een RO module drie aansluitingen heeft (voor zout water, voor het zoete permeaat en voor het ingedikte zoute water), terwijl een PRO module vier aansluitingen nodig heeft. Beide bottlenecks worden ondervangen door holle vezel membranen (hollow-fibre membranen), maar de geschiktheid van dergelijke membranen in een PRO module is vooralsnog alleen met rekenmodellen aangetoond (Zwan et al., 2010). Uit Ecofys, 2007 blijkt dat het oppervlakte beslag van een blue Energy centrale voor het grootste deel bepaald wordt door de membraaninstallatie. Voor PRO en RED zijn schattingen gemaakt die neerkomen op respectievelijk 14.000 m³ en 7000 m³ voor een 10 MW centrale.

3.1.6 Membranen

De theoretische hoeveelheid energie die aanwezig is, wanneer 1 m³/s zoet water (puur) gemengd wordt met een oneindige hoeveelheid (puur) zoutwater, is 2,7 MW (0,74 kWh/m³). De theoretisch te winnen hoeveelheid energie bij het samenbrengen van 1 m³ zoutwater en 1 m³ zoet water, is 1,5 MW (0,41 kWh/m³). Diverse verliezen als gevolg van de voorzuivering, de mengverhouding tussen zoet- en zoutwater, bleeding van zoet- (en zout-) water, het rendement van de drukwisselaar en de turbine, zullen de winbare hoeveelheid energie verminderen. De permeabiliteit voor ionen (RED) of zoet water en zout (PRO) en de vermogensdichtheid van de membranen bepalen samen de energieopbrengst.

PRO membraanmodules zullen doorontwikkeld worden uit bestaande BWRO membranen of NF membranen, die beide al op grote schaal geproduceerd worden.

Momenteel ligt de bruto vermogensdichtheid van PRO-membranen op 5 W/m^2 en voor RED-membranen op ongeveer 1 W/m^2 (Post, 2009). Deze specifieke opbrengst bepaalt samen met de kostprijs van de membranen een gedeelte van de kWh-prijs.

Andere aspecten die invloed hebben op de performance van de membranen zijn:

- De gevoeligheid van de vermogensdichtheid voor gradiëntfluctuaties en/of fluctuaties uitsluitend in het zoute- dan wel zoete water.
- Het optreden van kortsluitstromen aan de rand van RED-membranen.
- De lokale verlaging van de zoutgradiënt doordat water door het PRO-membraan diffundeert (Concentratie-polarisatie).
- Het vertonen van niet-ideaal gedrag door de membranen.
- Eigenschappen van “steunmaterialen” die de zoutgradiënt en/of het watertransport en/of de aangroei/dichtslibbing beïnvloeden.

De huidige prijs voor RED-membranen is hoog (orde 200 €/m^2). De markt voor RED membranen is in vergelijking met de markt voor RO en NF membranen relatief klein met een klein aantal membraan-leveranciers wereldwijd. Gegeven het feit dat het mondiale potentieel enorm groot is, is een evenredig grote potentiële afzetmarkt aanwezig. De kans dat de prijzen van RED membranen na verloop van tijd fors zullen dalen, is hierdoor reëel. Post (2009) werkt een rekenvoorbeeld uit met een membraan-prijs van 2 €/m^2 . De huidige prijs van BWRO (brackish water reverse osmosis en NF (nanofiltratie) membranen is een stuk lager (orde 2.50 €/m^2), maar de ruimte voor verdere prijsdalingen lijkt beperkt.

De aangroei van bacteriën en de dichtslibbing door onzuiverheden veroorzaken een lagere doorlaatbaarheid en lagere performance van de membranen. Schoonmaakprocedures en het toepassen van reinigingsmiddelen zijn hierdoor noodzakelijk. De “intensiteit” van de voorzuivering bepaald hoeveel verontreinigingen bij de membraanmodules terechtkomen en bepaalt daarmee de frequentie van schoonspoelprocedures en de hoeveelheid schoonmaakmiddelen die gebruikt moeten worden. Ook zorgt snellere vervuiling van de membranen voor een vermindering in de continuïteit van de elektriciteitsproductie. De milieuvriendelijkheid van de schoonmaakmiddelen behoeft nog ook aandacht omdat deze vaak bestaan uit chloor-, loog- of zuurverbindingen en niet rücksichtslos in het milieu terecht dienen te komen.

3.1.7 Wateruitlaat

De uitlaat van brak water dient op een dusdanige manier geplaatst te worden dat kortsluitstromen tussen deze en de waterinlaten niet, of zeer zeldzaam, op kunnen treden. Afhankelijk van de lokale omstandigheden kan dit wel of niet gerealiseerd worden [zie ook bottleneck waterinlaten]. Hiernaast is het van belang om de uitlaat dusdanig vorm te geven dat de energieverliezen bij het uittreden van het water minimaal zijn.

Wanneer volumes water, in de orde van tientallen tot honderden kubieke meters per seconde, de wateruitlaatbuis verlaten, is de kans aanwezig dat rondom deze uitlaat erosie optreedt. Erosie kan de fundering van een waterkering ondermijnen, zowel bij waterkerende constructies als bij duinen en dijken.

De “afwatering” dient hierom op een dusdanige plaats gepositioneerd te worden dat de waterkeringen buiten het invloedsgebied van het uitgelaten water liggen.

3.2 De fysieke omgeving van de installatie

3.2.1 Effect op waterkeringen

De meest voor de hand liggende locatie voor een Blue Energy centrale is nabij de monding van een rivier of kanaal in zee. Op de meeste plekken wordt het achterland beschermd door dijken, duinen of waterkerende constructies. Vanwege de relatief grote debieten die in commerciële installaties door de aan- en afvoerleidingen zullen gaan (tientallen tot enkele honderden kubieke meters per seconde), zullen de waterkeringen belast worden met en/of doorboord worden door deze leidingen. Het is mogelijk dat de waterkerende functie hierdoor aangetast wordt. Het is de uitdaging om de fysieke omstandigheden geschikt te maken voor het transport van zoet-, zout- en brakwater.

Ook kan een Blue Energy Centrale gevolgen hebben op het operationele beheer van een waterkering. Doordat continu water afgevoerd wordt, is er minder noodzaak om via de spui-openingen in de waterkering water af te voeren. Uiteraard afhankelijk van de nul-situatie, de reductie in spui-cycli en eventuele overige locale omstandigheden, wordt de vismigraatie beïnvloedt door het veranderen van het operationele beheer.

3.2.2 Verzilting van riviermondingen

Door het gebruik van zoetwater in de elektriciteitscentrale zal er een beperktere hoeveelheid beschikbaar blijven om het zoute water uit de monding van de rivier te verdringen. Hierdoor zal zich een wigvormige zoutwatertong in de rivier manifesteren, waarvan de reikwijdte landinwaarts onder invloed staat van het getij en de tegenstroming door het zoete water. Scheepvaart, het schutten van de sluiskolken en andere functies zullen het vermengingsproces tussen het zoute met het zoete water versnellen. De verzilting van het “laatste deel” van de rivier tot de monding kan leiden tot verzilting van het grondwater en brakke kwel in de rondomgelegen polders, tot waterinnamestops door landbouwbedrijven, drinkwaterbedrijven en waterschappen. Ook kan het ecosysteem beïnvloed raken en kan omslaan van een zoet naar een brak ecosysteem. De waterinname moet op een dusdanige manier vormgegeven worden dat de zoutwaterwig stabiel is en niet steeds verder de rivier op migreert; dit is uiteraard ook noodzakelijk voor de continuïteit van de elektriciteitsproductie. Mogelijkerwijs kunnen bestaande waterstaatkundige kunstwerken een rol spelen in de beheersing van dit potentiële probleem.

3.2.3 Waterkwaliteit

Water dat door de voorzuivering en door/langs de PRO- en RED- membranen is gestroomd, bevat nagenoeg geen verontreinigingen. Nutriënten, sediment, organische en anorganische stoffen zijn verwijderd.

- De aantasting van de waterkwaliteit van het oppervlaktewater door “biologisch-dode” brakwaterlozingen, vormt geen bottleneck

- Vanwege de voorzuivering van het zoete water wordt de particulier gebonden stikstof en fosfaat afgevangen door een Blue Energy centrale. Dit particuliere materiaal is een mengsel van zwevende stof, organische stof en algen. Het verlagen van nutriëntenvrachten op de kustwateren hoeft op zich niet ongunstig te zijn, het is in feite extra waterzuivering. Een lagere nutriëntenconcentratie leidt tot een verandering van de algensamenstelling en tot een verminderde productie van biomassa (algen, mosselen, vissen). Door de sterk verbeterde afvalwaterzuivering is de afgelopen jaren al een verandering in de algenpopulatie waargenomen, van stikstofgelimiteerde naar fosfaatgelimiteerde soorten.
- Het is van belang om uit te zoeken of opgeloste nutriënten zoals ammonium, nitraat en ortho-fosfaat, tegengehouden worden door de membranen in een Blue Energy installatie en of deze opgeloste nutriënten vervolgens achterblijven in het zoete oppervlaktewater, bijvoorbeeld in afgesloten zoetwaterbekkens, zoals het IJsselmeer. Als opgeloste nutriënten de Blue Energy centrale niet kunnen passeren en achterblijven, dan lopen de concentraties op. Hogere nutriëntenconcentraties kunnen leiden tot overmatige algengroei.
- De aantasting van de waterkwaliteit van het oppervlakte water door lozingen waarin schoonmaakmiddelen, gebruikt voor de reiniging van de membranen, moet voorkomen worden [zie membranen].

3.2.4 Landschappelijke inpassing

De impact op de locatie wordt eveneens gevormd door het oppervlaktebeslag en de “horizonvervuiling” van een Blue Energy centrale. Een 10 MW centrale heeft volgens Ecofys, 2007 een ruimte nodig van 7.000 m³ en 14.000 m³ voor RED respectievelijk PRO. De landschappelijke inpassing is een essentieel punt voor maatschappelijke acceptatie. Vanwege het grote ruimtebeslag is het ook zaak om tijdig ruimte te reserveren.

3.2.5 Morfologie

De verandering van het stromingsbeeld van de rivier kan leiden tot het neerslaan van sediment. Enerzijds kan dit gebeuren op stromingsluwe locaties en anderzijds kan de capaciteit van de rivier onvoldoende worden, om het aangevoerde sediment af te voeren. Om de huidige functies, zoals scheepvaart, te kunnen handhaven, zijn eventueel baggerwerkzaamheden nodig. Ook moet in acht genomen worden dat het stromingsbeeld verandert en andere functies eventueel slechter mogelijk maakt.

3.2.6 Beschikbaarheid van een goede zoet-zoutgradiënt

Naast de bottlenecks afkomstig van de impact op de omgeving, bestaan ook bottlenecks van de omgeving voor de geschiktheid voor energiewinning. De geschiktheid van een riviermonding om energie te winnen, hangt af van de maximaal benutbare zoutgradiënt (en fluctuatie daarin) en de bijbehorende beschikbaarheid van zoet- en zoutwater en de mogelijkheid om het brakke water te lozen.

Ook speelt de afstand tussen het in- en uitlaatpunt van zoet-, zout- en brakwater een rol in de haalbaarheid van een centrale. Bij estuaria kan het overgangsgebied van zoet naar zout vele kilometers bedragen (Westerschelde ca 50 km) en dienen de aan- en afvoerleidingen deze afstand te overbruggen.

Riviermondingen met gefixeerde kunstwerken bieden een scherpe scheiding tussen het zoete en zoute water en bieden in eerste instantie beter haalbare mogelijkheden.

De inspanning om het water voor te zuiveren kan beïnvloed worden door functies van het water bovenstrooms van de locatie van de centrale. Havenactiviteiten, scheepvaart, zandwinning, lozingen door bedrijven langs de rivier (zelfs binnen wettelijke grenzen) kunnen een uitgebreidere voorzuivering noodzakelijk maken en een beslag leggen op plaatselijke mogelijkheden (ruimte, toegang, waterbeschikbaarheid, e.d.). Vanwege de hoge kosten die gepaard gaan met de voorzuivering, geeft een waterkwaliteitsanalyse een extra input voor de haalbaarheid van een Blue Energy centrale.

3.2.7 Beschikbaarheid van zoet water

Blue Energy concurreert met de landbouw en de drinkwatervoorziening om het schaarse zoete water. Ook oppervlaktewater heeft een prijs, het is een economisch goed. Nu wordt er vanuit gegaan dat de zoetwaterafvoer uit Nederland 'gratis' zijn, maar is dat wel terecht?

Het IJsselmeer wordt in de plannen van de commissie Veerman bestempeld als het zoetwaterbekken van Nederland, een belangrijke bron van zoet water tijdens de zomer voor de landbouw. De effecten van klimaatveranderingen zullen ook zichtbaar zijn in de afvoer van de grote rivieren. Het is daarom nog maar de vraag hoeveel zoet water in de toekomst beschikbaar is voor Blue Energy.

3.2.8 Beschikbaarheid van zout water

Voor de Nederlandse kust stroomt de 'kustrivier'. Het water dat bij de Nieuwe Waterweg naar zee stroomt, mengt niet onmiddellijk en volledig met het zoute water van de Noordzee. Dichtbij de kust zijn de zoutconcentraties daarom lager dan op open zee. Hetzelfde effect is ook zichtbaar bij de Afsluitdijk, daar dient het water met een grote pijpleiding uit de Doove Balg aangevoerd te worden, om voldoende zout water te hebben. Lagere zoutgehalten betekenen een lagere energieopbrengst.

3.3 De institutionele omgeving

De meeste factoren in de institutionele en maatschappelijke omgeving zijn te categoriseren naar onderzoek, ondernemers en overheidssteun. Het uitvoeren en financieren van toegepast onderzoek behoeft geen verdere uitleg, gezien het ontwikkelstadium waarin Blue Energy zich momenteel bevindt. Het delen van onderzoeksresultaten en ervaringskennis en het publiceren over Blue Energy is belangrijk voor het op peil brengen van het kennisniveau in Nederland, voor het enthousiasmeren van startende onderzoekers en voor het verkrijgen van maatschappelijke acceptatie.

3.3.1 Ondernemers

Het gedrag van ondernemers is van belang vanwege hun inzet en daadkracht om (proef)installaties gerealiseerd te krijgen, vanwege de investeringen die zij doen en vanwege de concurrentie die zij met hun aanwezigheid stimuleren.

3.3.2 De overheid

Momenteel is het gebruik van conventionele energiebronnen nog mogelijk en is het benutten van alternatieve bronnen vooralsnog niet volledig gedreven vanuit de commercie. Vanuit de zorgtaak van de overheid is het noodzakelijk dat de exploitatie van duurzame bronnen gestimuleerd wordt en dat onderzoek hiernaar gedaan wordt.

De overheid kan de exploitatie van de zoutgradiënt steunen en drempels vereffen door onderzoek en exploitatie te subsidiëren, locaties ter beschikking te stellen, wet- en regelgeving aan te passen en door de eisen aan exploitatie in het ontwikkelstadium mild te houden. Omdat de beheerstaak van nagenoeg alle relevante zoetwaterstromen die in zee uitmonden ligt bij het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, dient dit ministerie zich van te voren te beraden op de rol die zij wil gaan spelen bij de benutting van deze bron. Wellicht is het mogelijk, in samenwerking met het Ministerie van Economische Zaken, om de rol van “launching customer” op zich te nemen, waarbij in ruil de energievoorziening van diverse primaire overheidstaken als veiligheid (primaire waterkering) geprioriteerd worden.

3.3.3 Maatschappelijke weerstand

Naast de genoemde drie categorieën kan maatschappelijke weerstand, bijvoorbeeld vanuit milieubewegingen of private partijen, een vertragend effect hebben op de uitrol van Blue Energy in Nederland.

3.3.4 Elektriciteitsnet

De geschiktheid van het elektriciteitsnet om Blue Energy centrales in te “pluggen” kan een obstakel gaan vormen. Het gaat hier bijvoorbeeld om de aanwezigheid en beschikbare capaciteit van hoogspanningskabels. Deze beperking is erg locatie-specifiek, die voor verschillende locaties een grotere dan wel kleinere rol kan spelen. Ook moet onderzocht worden hoe en door wie investeringen, om het net geschikt te maken, gedaan moeten worden.

3.4 Externe factoren

De bottlenecks in externe factoren, zijn factoren die niet beïnvloed kunnen worden. Zij zijn legio en kunnen uiteen lopen van zeer gerelateerde zaken, zoals de kredietcrisis of een daling van de olieprijs tot totaal ongerelateerde zaken, zoals calamiteiten. Deze factoren zijn niet beïnvloedbaar en worden daarom niet behandeld.

3.5 Samenvatting van de belangrijkste uitdagingen en bottlenecks

De in de tekst genoemde en in de mindmap getoonde circa 70 bottlenecks, of positiever gebracht: succesfactoren, hebben niet alle een gelijk gewicht en vele zijn in wisselwerking. Welke bottlenecks de prioriteit verdienen, is niet eenduidig te melden en verdient een discussie op zich. Vanuit de visie van de auteurs zijn de volgende factoren cruciaal in het innovatieproces van Blue Energy:

- *Het voorkomen van kortsluitstromen tussen de waterinlaten en de uitlaat.*
Uitgegaan van een geschikte locatie vormen kortsluitstromen de grootste bedreiging, omdat er twee water-aan- en -afvoerroutes zijn en drie waterstromen moeten optreden voor exploitatie. Overige zaken worden verondersteld oplosbaar te zijn met hedendaagse engineering.

- *Het kostenniveau en energieverbruik van de voorzuivering*
Deze kosten bedragen tussen eenderde en de helft van de totale kosten die gemaakt worden om de componenten aan te schaffen en te onderhouden. Dit is opmerkelijk, omdat het doel van een elektriciteitscentrale het opwekken van energie is en niet het zuiveren van water. Hiernaast zijn de absolute kosten van de voorzuivering erg hoog en leveren het een belemmering voor vercommercialisering.
- *De waterkwaliteitseisen van de membranen*
De waterkwaliteitseisen van de membranen bepalen de benodigde intensiteit (aantal zuiveringsstappen) van de voorzuivering en daarmee een groot deel van de kosten.
- *De vermogensdichtheid van de membranen*
De vermogensdichtheid (aantal Watt/m²) van de membranen leveren in combinatie met de kostprijs, de levensduur en het ruimtebeslag nog geen combinatie op die op commerciële basis exploitabel is.
- *Het gebruik van reinigingsmiddelen*
Natuurvreemde stoffen kunnen niet geloosd worden op het oppervlaktewater. Milieuvriendelijke alternatieven moeten ontwikkeld worden.
- *De impact van de installatie op de omgeving*
Huidige belangen kunnen geschaad worden als een centrale gebouwd wordt en wanneer deze operationeel is. Het schaden van belangen leidt onherroepelijk tot confrontaties, die over het algemeen de realisatie niet versnellen. Drie categorieën zijn hierin te ontdekken: impact op de natuur, impact op functies en op de perceptie van de omgeving.
- *De geschiktheid van de locatie*
Als exponent van de geschiktheid van de locatie kan de aanwezige benutbare zoutgradiënt genoemd worden, alsmede de samenstelling van de waterstromen (sediment en waterkwaliteit). Beslagen van andere functies, vigerende wet- en regelgeving en de omvang van de zoetwateraanvoer zijn voorbeelden die in deze categorie passen.
- *Het ontwerpen van subsidieregelingen*
Het energievraagstuk is een maatschappelijke kwestie met maatschappelijke belangen en economische onhaalbaarheden behoeft daarom een politiek-economische stimulans in de vorm van bijvoorbeeld subsidiering.

- *De geschiktheid van wet- en regelgeving*

Diverse componenten moeten nog ontwikkelingen doormaken, hetgeen nog jaren van onderzoek vergt. Om de haalbaarheid van Blue Energy in Nederland naar voren in de tijd te halen is het uitvoeren van parallelle sporen noodzakelijk. Wijzigingen in de wet- en regelgeving doorvoeren kost jaren voordat alle procedures doorlopen zijn. Als hiervoor nu reeds voorbereiding voor getroffen worden, zal hierdoor het kritiek tijdspad bijzonder verkort worden. Vaak is het met innovaties zo dat er gebruik gemaakt moet worden van een bepaalde drive, flow of kracht in de samenleving of tussen bepaalde partijen. Wanneer pilots of testen jaren uitgesteld moeten worden in verband met obstakels in wet- en regelgeving, is de kans aanwezig dat de innovatiekracht tussen de partijen verdwijnt. Vanuit het oogpunt van stimulering door de overheid zo het ook goed zijn de voorbereidingen in werking te zetten. Wanneer marktpartijen zien dat de overheid het meent, zullen de ondernemers daar zeker op inspringen.
- *De openbaarheid van de resultaten*

Het delen van kennis en ervaringen verhoogt het kennisniveau van onderzoeksinstellingen en universiteiten. Hoe groter de groep is die zich op dit thema stort en hoe hoger het kennisniveau van deze groep is, hoe groter de kans dat er op kortere termijn de noodzakelijke doorbraken zijn.
- *Weerstand door milieu- of marktpartijen*

Vanuit het oogpunt van impact op het milieu, of vanuit een concurrentiepositie is van diverse partijen weerstand te verwachten .
- *Gebrek aan concurrentie*

Gebrek aan concurrentie, zowel nationaal als internationaal, maakt dat bedrijven te weinig druk voelen om de ontwikkelde kennis te operationaliseren en daardoor mogelijk te lang in een fase van gesubsidieerd onderzoek blijven hangen.
Gebrek aan concurrentie kan ook uitgelegd worden als een gebrek aan partijen die ontwikkelen.
- *Gebrek aan investeerders*

Het aanleggen van een Blue Energy betekent een financieel risico voor investeerders, zeker als nu nog niet duidelijk is welke prijs voor de stroom betaald gaat worden in de toekomst.

4 Betrokken partijen in onderzoek en markt

4.1 Inleiding

De onderzoekswereld voor Blue Energy laat zich onderverdelen in een groep die werkt aan de RED-techniek en een groep die werkt aan de PRO-techniek. Daaromheen is een groep van bedrijven en adviesbureaus die zich richten op de overige onderdelen van een Blue Energy installatie of de installatie als geheel.

Hiernaast speelt een aantal partijen een rol rond de effecten op en de geschiktheid van de fysieke omgeving van de installatie. Deze laatste groep partijen en de partijen die zich in de institutionele omgeving bevinden van een potentiële Blue Energy centrale, zijn niet nader geïnventariseerd.

In de volgende paragrafen zijn de belangrijkste partijen beschreven, die zich richten op of kunnen adviseren in bepaalde aspecten van een Blue Energy centrale. De tabel in paragraaf 6.3 omvat een completer beeld van gerelateerde bedrijven.

4.2 De ontwikkelaars van RED

Het onderzoeksinstituut **Wetsus** in Leeuwarden doet onderzoek naar de RED techniek. Wij hebben contact gezocht met Wetsus (Jan Post). Hij verwees voor technische informatie over membranen door naar het bedrijf Redstack, dat het onderzoek financiert.

Binnen Wetsus werken toponderzoekers van diverse universiteiten en andere kennisinstellingen multidisciplinair samen. Vanuit het raakvlak van scheidingstechnologie en biotechnologie wordt duurzame technologie voor de behandeling en bereiding van water ontwikkeld. Kristallisatie, membraantechnologie en adsorptie worden in het onderzoek gekoppeld aan bioconversies. Het onderzoeksprogramma wordt bepaald door de bedrijven, die zich als participant aan Wetsus verbonden hebben, en uitgevoerd door Wetsus onder de wetenschappelijke verantwoordelijkheid van universiteiten. Op deze manier worden wetenschappelijke excellentie en commerciële relevantie met elkaar verweven.

Binnen het thema Energie uit water worden de volgende researchprojecten uitgevoerd:

- Power generation by Reverse Electro Dialysis (RED): prevention of fouling
- Power generation by Reverse Electro Dialysis (RED): system design
- Power generation by Reverse Electro Dialysis (RED): membrane design
- Microbial fuel cell. Bacteria produce clean electricity.
- Microbiology and Mechanisms of Exocellular Electron Transfer in Microbial Fuel Cells

Bron: www.wetsus.nl

Het bedrijf **REDstack** is het eerste spin-off bedrijf van Wetsus en richt zich op het ontwikkelen, opschalen en vermarkten van de R.E.D.-technologie. De aandeelhouders van REDstack zijn Harlingen Holding Industries B.V. (Landustrie en Hubert Stavoren BV) en Magneto Special Anodes B.V. Partners zijn o.a. de Noordelijke Hogeschool Leeuwarden, Wetsus, KEMA, Tetradon B.V., FRISIA Harlingen en NUON.

Wij hebben contact gezocht met de directeur van Redstack (Pieter Hack) met het verzoek om mee te werken aan de quick scan en om zijn interesse te peilen voor deelname aan een workshop, waarin een business case kan worden uitgewerkt. De heer Hack gaf aan dat hij uit concurrentie-overwegingen geen informatie wil verstrekken aan Deltares, want Deltares werkt momenteel aan een project rondom de concurrerende PRO-techniek.

Momenteel laten REDstack en Eneco een 'marsroute' uitstippelen voor de RED-variant van Blue Energy. Zij hebben hiervoor een opdracht uitgezet bij Haskoning en die is daar nog twee maanden mee bezig. Deze opdracht is in zijn ogen exact hetzelfde als wat wij beogen met onze quick scan en de business case. Gevraagd of hij de uitkomsten van die opdracht bij de workshop zou willen presenteren, gaf dhr. Hack aan eerst de uitkomsten te willen afwachten en daar ook Eneco over te willen raadplegen. Als toehoorder wil hij wel deelnemen aan een workshop.

4.3 De ontwikkelaars van PRO

De **Technische Universiteit Twente** heeft een membraaninstituut opgericht, The European Membrane Institute Twente (**EMI**). Van de website: *"The European Membrane Institute Twente (EMI Twente) was founded by the Membrane Technology group of the University of Twente in 1995, with the purpose to offer industry and public organisations a platform where short-term research and development projects in the field of membrane science and technology can be carried out"*. Het instituut wordt niet door de universiteit gefinancierd en is afhankelijk van contractresearch. EMI Twente heeft twee typen PRO-membranen getest (mondelinge mededeling E. Molenbroek, Ecofys).

Bij telefonische raadpleging bleek EMI niet bereid om mee te werken aan de quickscan. Het instituut werkt in opdracht van Statkraft en kan daarom geen mededelingen doen over het lopende onderzoek. Uit concurrentieoverwegingen wil EMI ook niet uitgenodigd worden voor een workshop waar zowel de RED- als de PRO-variant van Blue Energy worden besproken en mogelijk ook met elkaar worden vergeleken.

Het Noorse bedrijf **Statkraft** doet onderzoek aan de PRO-techniek. Statkraft is (nog) niet benaderd in het kader van deze quick scan, die zich in eerste instantie op Nederlandse partijen heeft gericht.

Het bedrijf **Norit** heeft veel kennis van waterzuivering. Momenteel is het bedrijf nog niet actief in het PRO-onderzoek, maar heeft daarvoor wel belangstelling. Harry Futselaar van Norit noemde als grootste bottlenecks de flux van de membranen en de vervuiling van de membranen. Hij gaf hierbij ook aan dat je op dit moment met een dilemma zit: je hebt meer flux nodig dus ga je membranen dichter pakken, maar daardoor vervuult het sneller en heb je meer voorzuivering nodig.

Hij zag mogelijkheden in het ontwikkelen van Hollow-fibre membranen. Hij wilde graag op de hoogte gehouden worden van de workshop en indien mogelijk ook deelnemen.

4.4 Onderzoeks- en adviesbureaus en bedrijven

KEMA heeft in 2003 als eerste de naam Blue Energy geïntroduceerd voor een SenterNovem project, waar ze ook projectleider van waren. Het onderzoek naar energieopwekking met behulp van concentratiegradiënt is in Nederland gestart bij KEMA. Dit instituut werkt op commerciële basis en is voor onderzoek afhankelijk van externe financiers, wat de continuïteit van het onderzoek niet altijd ten goede kwam. Contactpersoon Kees van de Ende verbleef in het buitenland tijdens de uitvoering van de quick scan. (afwezig tot 23.2)

Het Energie Centrum Nederland (**ECN**) voert onderzoek uit naar diverse vormen van energieopwekking. In het kader van het project 'Create Acceptance' is door ECN de voorgeschiedenis van het Nederlandse onderzoek naar Blue Energy in beeld gebracht. Contactpersoon van het Clear Acceptance project is Ruth Mourik, maar zij werkt zelf niet aan Blue Energy onderzoek.

Het kennisinstituut **TNO** doet onderzoek aan membranen ten behoeve van drinkwaterwinning uit zeewater en afvalwater. Deltares onderhoudt contacten met Joost van Erkel (TNO Built Environment and Geosciences, Water Treatment Department). Aanbevelingen door hem gedaan, uit eerdere correspondentie: *de bijdrage van onze groep WT/B&O kan dan bestaan uit adviseren over eisen te stellen aan membranen, het modelleren van de modules, bench-scale en pilot fabricage van modules en eventueel samen met jullie (Deltares) het doormeten van de performance van kleine modules.*

Het bedrijf **Ecofys** verkoopt en doet onderzoek naar duurzame energieoplossingen. Dr. E. Molenbroek van Ecofys is auteur van het rapport "Energie uit zout en zoet water met osmose" dat in opdracht van Rijkswaterstaat in 2007 is geschreven. Deltares heeft een informatief gesprek met haar gehad over de stand van het onderzoek. Mevrouw Molenbroek constateert dat nog veel onderzoek nodig is om de energieopbrengst van de membranen te vergroten en de kosten van voorzuivering te verlagen. Er is een gapend gat tussen de huidige kosten voor waterzuivering en het gewenste kostenniveau om commercieel aantrekkelijk energie te kunnen produceren. Daarbij adviseert ze om nader onderzoek te doen naar de effecten van een Blue Energy centrale op de omgeving.

Bij de **Technische Universiteit Delft** hebben we contact gehad met hoogleraar Mark van Loosdrecht (Technische Natuurwetenschappen, Environmental Biotechnology). Hij waarschuwt voor de hoge kosten van zuivering om verstopping en biofouling van de membranen te voorkomen en heeft zorgen over de mogelijk hoge energie-terugverdientijd.

Kennisinstituut **Deltares** werkt voor Rijkswaterstaat aan het Waterinnovatieprogramma (WINN), waaronder ook aan het thema Energie uit Water. Daarnaast heeft Deltares bedrijven benaderd om te participeren in een Joint Industry Project (JIP) gericht op experimenteel onderzoek naar energie-opwekking met osmotische membraanmodules. In 2009 heeft Deltares een gedetailleerd rekenmodel ontwikkeld voor PRO in samenwerking met het bedrijfsleven (Zwan et al. 2010). Deltares heeft verder de kennis en kunde in huis om te adviseren over de inpassing van een Blue Energy installatie in de omgeving, denk daarbij aan de beschikbaarheid van water, de modellering van waterstromen (zout, nutriënten) in het oppervlaktewater, ecologische effecten, en veiligheidsaspecten.

5 Innovatiepad

De tekst in dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op het rapport van Ecofys uit 2007.

Tussen het eerste idee voor een nieuwe technologie tot en met commerciële exploitatie van de technologie zitten een aantal stadia. Het kan vele jaren duren voordat alle stadia doorlopen zijn. Aan de hand van de onderstaande indeling van de verschillende stadia van technologieontwikkeling ontstaat een beeld van de stand van de techniek van PRO en RED:

1. Inventie (ontdekking; fundamenteel onderzoek).

In 1973 verscheen het eerste artikel over PRO van Sydney Loeb. In 1954 is het eerste artikel over RED verschenen.

2. Toegepast onderzoek

In de jaren zeventig heeft Sydney Loeb enkele PRO-experimenten verricht. In 2001 is het Statkraft consortium begonnen met PRO. In 2003 is KEMA begonnen met RED. In 2005/6 is het REDstack consortium begonnen met RED. Toegepast onderzoek vormt momenteel de bulk van de activiteiten op het gebied van zowel PRO als RED, zoals het synthetiseren en karakteriseren van membranen, het testen in labopstellingen, vermogensmetingen, het maken van prototype modules. Het onderzoek naar voorzuivering gaat bij REDstack binnenkort beginnen. Daarnaast heeft Statkraft een veldopstelling aan de kust bij Trondheim waar duurtesten gedaan worden.

3. Proof of concept

Voor zowel RED als PRO is bewezen dat de technologie in principe werkt: met enkele membranen is bruto vermogen opgewekt.

4. Pilot scale demonstration

Dit stadium is nog niet bereikt, noch voor PRO noch voor RED. In dit stadium moeten in het lab behaalde resultaten (bijvoorbeeld vermogensdichtheid) in grotere modules en in een realistischer omgeving gehaald worden. Systeem- en procesoptimalisatie op techniek en kosten, duurtesten. Grootte: 1 – 100 kW. Op dit moment bestaat er een demonstratie-opstelling in het lab voor RED. Voor PRO draait in Noorwegen een pilot installatie sinds november 2009.

In Harlingen is een opstelling gebouwd met RED, die een vermogen heeft van 2 to 3 kW.

In het kader van het JIP bij Deltares wordt een flexibele opstelling gebouwd voor PRO membraanmodules van verschillende leveranciers. In maart 2010 wordt bekend of dit JIP voldoende externe financiering krijgt.

5. Full scale demonstration (nog niet bereikt).

Na de pilot scale demonstratie kan de opschaling komen.

6. Marktintroductie

Dit is de fase waarin de centrale van de visualisatie gerealiseerd zou kunnen worden (10 MW). In deze fase zal ook internationale normontwikkeling plaats vinden, voor standaardisatie, veiligheidsissues en dergelijke.

7. Diffusie en commercialisatie

Als de eerste commerciële toepassing economisch rendabel blijkt te zijn, zal er zich een industrie ontwikkelen rond deze techniek. Naarmate er meer wordt geïnvesteerd in de toepassing van RED en PRO op andere locaties, zullen er leereffecten in de productie optreden waardoor de kosten omlaag kunnen gaan en het energetisch rendement omhoog. Ook zullen de membranen voor goedkoper worden als deze in grotere aantallen kunnen worden geproduceerd.

Door de verlaging van de kosten zal de vraag weer toenemen, waardoor de toepassingsmogelijkheden en de technologische (door)ontwikkeling elkaar versterken. Na een eerste periode waarin de techniek moeilijk van de grond komt, zal er op een gegeven moment voldoende kritieke massa worden bereikt waardoor de vraag explosief zal groeien (volgens een S-curve).

Zowel RED en PRO zijn tot en met het stadium van 'proof of concept' gekomen. De activiteiten die nu plaats vinden zijn te scharen onder 'toegepast onderzoek' en gericht op het realiseren van 'Pilot Scale Demonstrations'. Afhankelijk van de exacte definitie zou het membraanonderzoek wellicht ook als 'fundamenteel onderzoek' aangemerkt kunnen worden.

6 Advies over de inrichting van de workshop Blue Energy

6.1 Voorlopig advies

Het voorlopig advies van Deltares luidt als volgt:

- Wacht nog enkele maanden met het organiseren van een workshop, want dan heeft het REDstack / Eneco-consortium een business plan gereed en zijn naar verwachting ook de testresultaten van een PRO-installatie bij Deltares beschikbaar.
- Ook al duurt het nog vele jaren voordat een commerciële Blue Energy installatie gerealiseerd kan worden, reserveer nu toch al ruimte op plekken waar in de toekomst mogelijk een Blue Energy installatie gebouwd kan worden.
- Naast de technische uitdagingen (membraanontwikkeling, zuiveringstechnieken), is het ook zaak om te kijken naar de werkelijke beschikbaarheid van zoet en zout water, de milieueffecten en de inpasbaarheid in de omgeving.
- Bekijk samen met betrokken partijen tijdens de workshop of het mogelijk is om het innovatieproces te versnellen, door de verschillende onderzoeken en ontwikkeltrajecten parallel aan elkaar te laten verlopen.

6.2 Voorstel voor het programma

Het programma van een workshop kan er als volgt uitzien:

- Plenaire opening, met algemene presentaties over de stand van de techniek, beschikbaarheid van zoet en zout water, milieueffecten en inpasbaarheid in de omgeving.
- Parallele workshops op specifieke onderwerpen:
 - Technische aspecten (membranen, voorzuivering),
 - Omgevingsaspecten (impact op en geschiktheid van locaties),
 - Institutionele aspecten.
- Plenaire discussie over het te volgen innovatiepad, gegeven de verschillende uitdagingen die er nog liggen.
- Is het mogelijk om nieuwe consortia / samenwerkingsverbanden te smeden (businesscase) of liggen de belangen daarvoor te ver uiteen?

6.3 Voorstel voor uit te nodigen partijen

Tabel 6.1 Voorstel van uit te nodigen partijen voor een workshop Blue Energy

Expertise van component/onderdeel	Partij en contactpersoon	Typering partij & expertise
Algemeen	Ecofys (Eneco) <i>E. Molenbroek</i>	Onderzoek-/adviesbureau <i>Sinds 1984 bezig met onderzoek- en advies voor energiebesparing en duurzame energietoepassingen.</i> Realisatie van duurz. energie-installaties Kennis duurzame energiesector
Algemeen	ECN <i>R. Mourik</i>	Onderzoeksinstituut <i>Onderzoek in het overgangsgebied tussen het fundamentele onderzoek en toepassing op gebied van energie</i> Kennis energiesector Kennis institutionele omgeving Kennis van politiek & maatsch. draagvlak
Algemeen	Rijkswaterstaat <i>P. Paulus J. van de Beek H. Overbeek</i>	Overheid (beheerder) <i>Uitvoeren van beheer en onderhoud van de Rijkswateren en het handhaven van goed waterkwaliteit- en -kwantiteitsbeheer.</i> Kennis Rijkswateren Kennis B&O-eisen
Algemeen	Berenschot <i>A. Hendriks</i>	Organisatieadviesbureau Internationale samenwerking & projecten Onderzoek & benchmarking Subsidie- & Innovatieadvies
Algemeen	TU Delft <i>M. van Loosdrecht</i>	Universiteit / kennisinstituut <i>Onderzoek op gebied van duurzame energie en toepassingen.</i> Kennis van duurzame energie-installaties Realisatie van duurz. energie-installaties
Algemeen	IMI <i>F. Neumann</i>	Non-profit organisatie <i>Ontwikkeling van infrastructuur</i>

Expertise van component/onderdeel	Partij en contactpersoon	Typering partij & expertise
		met handhaving van natuurwaarden en klimaatdoelstellingen. Internationaal netwerk Organisatie expertsessies Europese subsidies
Algemeen	WUR <i>B. Hamelers</i> <i>J. Balendonck</i> <i>M. Dirkse</i>	Universiteit / kennisinstituut <i>Onderzoek en ontwikkeling omtrent Blue Energy</i> <i>Systeemonderzoek</i>
Algemeen	Eneco <i>G. Bijvoets</i>	Energieleverancier <i>Productie en levering van groene energie</i> <i>Kennis en realisatie van duurzame energie-installaties</i> <i>Partner in REDstack</i>
Algemeen	NUON (Vattenfall) <i>D. Snikkers</i>	Energieleverancier <i>Productie en levering van energie</i> <i>Partner in REDstack</i>
Omgevingsaspecten	IMI <i>F. Neumann</i>	Non-profit organisatie <i>Ontwikkeling van infrastructuur met handhaving van natuurwaarden en klimaatdoelstellingen.</i> Omgevingsaspecten Internationaal netwerk Europese subsidies
Omgevingsaspecten	DHV <i>E. Ruiter</i>	Adviesbureau <i>Advisering in milieu- en duurzaamheidsprojecten</i> <i>Omgevingsaspecten</i>
Omgevingsaspecten	WUR <i>B. Hamelers</i> <i>J. Balendonck</i> <i>M. Dirkse</i>	Universiteit / kennisinstituut <i>Onderzoek en ontwikkeling omtrent Blue Energy</i> <i>Omgevingsaspecten</i>
Omgevingsaspecten	Deltares <i>L. van Duren,</i> <i>B. van Maren,</i>	Kennisinstituut <i>Onderzoek en advisering omtrent gebruik van en impact op lokale</i>

Expertise van component/onderdeel	Partij en contactpersoon	Typering partij & expertise
	<i>Z. Wang.</i>	<i>waterstaatkundige omstandigheden.</i> Sedimentatie en erosie Ecologie 3D-modellering waterkwantiteit/-kwaliteit Verzilting
RED-systeem	REDstack <i>P. Hack</i>	Consortium van bedrijven <i>Het doel van dit consortium is de RED techniek te ontwikkelen, zodat het gecommmercialiseerd kan worden.</i> RED-opstelling Vermarkten RED-technologie
PRO-systeem	Statkraft <i>S. Skilhagen</i>	Noors Energie bedrijf <i>Sinds 1998 bezig met de ontwikkeling van PRO. Daarnaast eigenaar van vele waterkrachtcentrales in Noorwegen.</i> PRO membranen Systeemontwerp Aansluiting centrale op elektriciteitsnet
PRO-systeem	Deltares <i>I. Pothof</i> <i>S. van de Zwan</i>	Kennisinstituut <i>Onderzoek naar optimale systeemopstelling en reductie energieverliezen van PRO installaties.</i> Systeemontwerp Energieoptimalisatie
Voorzuivering	Norit <i>H. Futselaar</i>	Commercieel bedrijf <i>Producent van waterzuiveringsinstallatie.</i> Pompen Membranen UF filters
Voorzuivering	Lenntech <i>D. van Lennep</i>	Bedrijf <i>Ontwikkeling, ontwerp, productie en plaatsing van milieuvriendelijke waterzuivering.</i> RO installaties UF zuivering installatie Systeemontwerp
Voorzuivering	KWR (KIWA)	Kennisinstituut

Expertise van component/onderdeel	Partij en contactpersoon	Typering partij & expertise
	<i>J. Post</i>	Ontwikkeling van strategieën en methoden om de kwaliteit van water te garanderen Voorzuivering Membraaninstallatie
Voorzuivering	Paques <i>J. Kruit</i>	Commercieel bedrijf <i>Ontwikkeling en productie van waterzuiveringstechnologieën.</i> Voorzuivering
Water in- en uitlaat	Deltares <i>B. Hofland</i> <i>R. Uittenbogaard</i> <i>H. Hartmann</i>	Kennisinstituut <i>Onderzoek en advisering omtrent gebruik van en impact op lokale waterstaatkundige omstandigheden en op gebied van dimensionering van in- en uitlaat.</i> Sedimentatie en erosie Zoutgehaltes Energieverliezen Positionering en vormgeving inlaten
Membraaninstallatie	Wetsus <i>J. Veerman</i>	Kennisinstituut <i>Onderzoek naar de RED-methode om energie op te wekken.</i> Membraanontwerp Vervuilingspreventie Systeemontwerp
Membraaninstallatie	KWR (KIWA) <i>J. Post</i>	Kennisinstituut Ontwikkeling van strategieën en methoden om de kwaliteit van water te garanderen Voorzuivering Membraaninstallatie
Membraaninstallatie	EMI Twente <i>A. Kemperman</i>	Commercieel onderzoeksinstituut <i>Sinds 1985 onderzoek en ontwikkeling van membraantechnologie.</i> Membraanontwikkeling Membraankarakterisatie en -screening Membraanmodule-onderzoek
Membraaninstallatie	KEMA <i>K. van de Ende</i> <i>R. Ross</i>	Kennisinstituut <i>Onderzoek naar RED begonnen; Blue Energy geïntroduceerd.</i>

Expertise van component/onderdeel	Partij en contactpersoon	Typering partij & expertise
	<i>J. Krijgsman</i>	Membraanontwerp
Membraaninstallatie	TNO <i>J. van Erkel</i>	Kennisinstituut <i>De afdeling Water treatment heeft ervaring met het ontwerpen van membranen.</i> Membraanontwerp
Membraaninstallatie	Paques <i>J. Kruit</i>	Commercieel bedrijf <i>Ontwikkeling en productie van waterzuiveringstechnologieën.</i> Membraanontwerp
Membraaninstallatie	Fuji	Membraan producent Enige leverancier van RED membranen <i>Ion selectieve membranen.</i>
Installatiecomponenten	Flowserve	Pomp fabrikant <i>Bouwer en leverancier van pompen en kleppen</i> Pompen kleppen
Installatiecomponenten	Nijhuis pompen	Producent van pompen onderdeel van Norit <i>Bouwer en leverancier van pompen</i> Pompen
Installatiecomponenten	ERI	Producent <i>Ontwerper en verkoper van de PX (Energy recovery device)</i> Energy Recovery Device PX
Installatiecomponenten	Siemens Voith (onder andere)	Producent <i>Bouwer en ontwerper van turbines</i> Turbine

7 Aanbevelingen voor nader onderzoek

Onderstaande aanbevelingen voor nader onderzoek zijn op hoofdlijnen geformuleerd en in lijn met de uitdagingen en bottlenecks die in hoofdstuk 3 zijn gesignaleerd.

Componenten in de Blue Energy centrale:

- Onderzoek naar mogelijkheden tot kosteneffectievere voorzuivering.
- Onderzoek naar hogere performance membraanmodules.
- Onderzoek naar lagere vervuilinggevoeligheid van de membranen.
- Onderzoek naar milieuvriendelijker reinigingsmiddelen.

Fysieke omgeving van de centrale:

- Onderzoek naar effecten op de natuurlijke omgeving (milieuaspecten).
- Onderzoek naar effecten op waterstaatkundige functies.
- Onderzoek naar effecten op belanghebbenden.
- Onderzoek naar geschiktheid van locaties, waaronder ook de beschikbaarheid van voldoende zoet en zout water.

Institutionele omgeving van de centrale:

- Onderzoek naar mogelijkheden van financiële stimulering door de overheid.
- Onderzoek naar mogelijkheden van niet-financiële stimulering door de overheid.
- Onderzoek naar de mogelijkheid van betere kennis- en ervaringdeling.
- Onderzoek naar het voorkomen van maatschappelijke weerstand.

8 Literatuurlijst

Tzahi Y. Cath, Amy E. Childress, Menachem Elimelech, *Forward osmosis: Principles, applications, and recent developments*, Journal of Membrane Science Volume 281, Issues 1-2, 15 September 2006, Pages 70-87.

Piotr Dlugolecki, Kitty Nymeijer, Sybrand Metz, Matthias Wessling, *Current status of ion exchange membranes for power generation from salinity gradients*, Journal of Membrane Science Volume 319, Issues 1-2, 1 July 2008, Pages 214-222.

ECN (2007). Case 27: Blue Energy (salinity power) in The Netherlands. Project Create Acceptance: Cultural Influences on Renewable Energy Acceptance and Tools for the development of communication strategies to promote ACCEPTANCE among key actor groups. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006).

IMI, *International exploration initiatives of Energy from Osmosis and Salinity Gradient Power*, 2009-07-21

R.E. Lacey, *Energy by reverse electrodialysis*, Ocean Engineering, Volume 7, Issue 1, 1980, Pages 1-47, ISSN 0029-8018

Sidney Loeb, *Large-scale power production by pressure-retarded osmosis, using river water and seawater passing through spiral modules*, Desalination Volume 143, Issue 2, 20 May 2002, Pages 115-122.

Jeffrey R. McCutcheon, Menachem Elimelech Influence of membrane support layer hydrophobicity on water flux in osmotically driven membrane processes *Journal of Membrane Science*, Volume 318, Issues 1-2, 20 June 2008, Pages 458-466

Dr. E.C. Molenbroek *Energie uit zout en zoet water met osmose uitgevoerd door Ecofys Nederland B.V. in opdracht van het Energie-Nul programma van Rijkswaterstaat 17-10-2007*

Post, J., *Blue Energy Electricity production from salinity gradients by reverse electrodialysis*, PhD Thesis, Wageningen University, 2009

Jan W. Post, Joost Veerman, Hubertus V.M. Hamelers, Gerrit J.W. Euverink, Sybrand J. Metz, Kitty Nymeijer, Cees J.N. Buisman, *Salinity-gradient power: Evaluation of pressure-retarded osmosis and reverse electrodialysis*, Journal of Membrane Science Volume 288, Issues 1-2, 1 February 2007, Pages 218-230.

Stein Erik Skilhagen, Jon E. Dugstad, Rolf Jarle Aaberg, *Osmotic power -- power production based on the osmotic pressure difference between waters with varying salt gradients*, Desalination Volume 220, Issues 1-3,

J. Veerman, M. Saakes, S.J. Metz, G.J. Harmsen, Reverse electrodialysis: Performance of a stack with 50 cells on the mixing of sea and river water, Journal of Membrane Science, Volume 327, Issues 1-2, 5 February 2009, Pages 136-144, ISSN 0376-7388,

Zwan, S. van der, Pothof, I.W.M., Blankert, B., Bara, J. (2010), Feasibility of Osmotic Power from a hydrodynamic analysis at module and plant scale, Journal of Membrane Science (in review).