

Water als bron van duurzame energie

Omgevingseffecten van zes energietechnologieën

Water als bron van duurzame energie

Omgevingseffecten van zes energietechnologieën

-Vertrouwelijk-

Door: Maarten van den Berg, Yvonne de Bie, Fieke Geurts, Sjors van Iersel, Anna Ritzen, Nico Stolk

Datum: 11 maart 2010

Project nummer: PWNDNL084685

© Ecofys 2010
in opdracht van Deltares, in het kader van WINN (Waterinnovatie
Rijkswaterstaat)

Voorwoord

Utrecht, 11 maart 2010.

Onderliggend rapport geeft een overzicht van de omgevingseffecten van zes energietechnologieën gerelateerd aan water: warmte koude opslag, getijdenstroming, getijdenenergie op verval, golfenergie, aquatische biomassa en osmose-energie (blue energy).

Het rapport bouwt voort op het rapport *Water als bron van duurzame energie. Energiebalans en omgevingseffecten van energietechnologieën met water*, dat in 2009 door Ecofys in opdracht van Deltares is opgesteld. In het traject dat volgde op deze eerste studie, zijn de omgevingseffecten en de energiebalansen onafhankelijk van elkaar verder bestudeert. Dit heeft geresulteerd in twee rapporten: *Water als duurzame energiebron: aanbevelingen en energierterugverdiertijden van acht technologieën* en het onderliggende *Water als duurzame energiebron: omgevingseffecten van zes energietechnologieën*.

De besproken effecten richten zich voornamelijk op mogelijke negatieve omgevingseffecten op het gebied van ecologie, geluid en landschappelijke inpassing die een snelle groei van het aantal installaties in de weg kunnen staan, en maatregelen die genomen kunnen worden om deze effecten te voorkomen of beperken (mitigerende maatregelen). Ook worden enkele positieve effecten op bovengenoemde categorieën beschreven, voornamelijk bij aquatische biomassa. In dit licht moet worden benadrukt dat het uitgangspunt van deze innovatieve technieken altijd duurzamer is dan op fossiele brandstoffen gebaseerde alternatieven. De duurzame technieken zullen niet of nauwelijks bijdragen aan andere milieu-indicatoren zoals de uitputting van fossiele grondstoffen, klimaatverandering en lokale luchtvervuiling. De positieve effecten op uitputting van fossiele grondstoffen en CO₂ besparing komen in dit rapport niet aan bod maar zijn (deels) uitgewerkt in het rapport *Water als duurzame energiebron: aanbevelingen en energierterugverdiertijden van acht technologieën*.

Samenvatting

In dit rapport zijn de omgevingseffecten van zes energietechnologieën met water beschreven. Hieronder volgt per technologie de samenvatting van de belangrijkste bevindingen.

Golfenergie

Om een beeld te krijgen van de omgevingseffecten van golfenergie, is veelal uitgegaan van effecten die bekend zijn van offshore windenergie. Er is gekeken naar de volgende effecten: biologische-, visuele- en geluideffecten en trillingen, effecten als gevolg van incidenten, effecten als gevolg van ontmanteling en emissies.

Visuele effecten en geluid zorgen waarschijnlijk voor de grootste potentiële omgevingseffecten. Andere potentiële effecten zijn over het algemeen technisch op te lossen. Of deze conclusies gelden voor alle typen van golfenergie is moeilijk te zeggen. Het aantal beschikbare operationele installaties van golfenergie is te klein om op dit moment een goede beoordeling hiervan te geven. Hiervoor is meer onderzoek nodig.

Met geluidhinder moet zorgvuldig worden omgegaan voor prototypes, omdat de publieke opinie ten aanzien van geluidseffecten niet gemakkelijk verandert zodra nieuwe technieken met lagere geluidsemissies beschikbaar worden. Aantonen dat geluid van golfenergiecentrales niet relevant is, is belangrijk voor de toekomst van golfenergie.

De belangrijkste biologische impact van golfenergie is waarschijnlijk de impact op vissen, zeezoogdieren en verontreiniging die kan optreden bij aanvaring met schepen.

Getijstroom energie

De omgevingseffecten van getijstroom energie kunnen onderverdeeld worden in effecten op globale schaal, effecten op regionale schaal en effecten op lokale schaal. De omgevingseffecten van getijstroom energie spelen vooral op lokale schaal. Het gaat hierbij vooral om effecten die optreden tijdens de ontwerp- en bouwfase, effecten op scheepvaart en beroeps- en sportvisserij, effecten op vissen en waterzoogdieren en waterverontreiniging.

De verwachting is dat grootschalige energiecentrales invloed hebben op de getijdenhoogte en de getijdentijd. Deze centrales kunnen het eb- en vloedregime beïnvloeden, waardoor de omvang van platen en schorren kleiner wordt en zodoende het voedselaanbod voor met name vogels afneemt.

Bij de energiecentrale zal een afname van de watersnelheid optreden. Grootschalige energiecentrales kunnen hierdoor effect hebben op de fysische processen zoals sedimentvorming en -afzetting.

Een van de belangrijkste effecten van getijstroom energiecentrales zijn vissterfte als gevolg van de turbinebladen en habitatverstoring van waterzoogdieren

Osmose energie

De te verwachten effecten van osmose energie zijn:

- Waterverontreiniging vanwege schadelijke reststromen (bij gebruik van chemicaliën tegen (bio)fouling);
- Landschappelijk inpassing;
- Bodembeschadiging;
- Afsluiting voor aquatisch milieu en scheepvaart;
- Verandering van zoet- en zoutwaterconcentraties.

Het kunstmatig veranderen van de zoet-zout water overgang zal nader onderzocht moeten worden met behulp van simulatiemodellen. Hiermee kan de verspreiding van het brakke water bepaald worden en de invloed van een verhoging of verlaging van de nutriëntenhuishoudingen in het zoete en zoute water.

Opgeloste nutriënten, zoals ammonium, nitraat en orthofosfaat, worden door het membraan in het geval van PRO tegengehouden. Dit kan leiden tot overmatige algengroei aan de inputzijde. Het verwachte effect van de brakke uitstroom met een lagere nutriëntenconcentratie aan de outputzijde is minimaal. In het geval van RED stromen de nutriënten gewoon langs het membraan heen en is het omgevingseffect 'vervuiling' minder van toepassing.

Warmte koude opslag (WKO)

Er wordt onderscheid gemaakt tussen het WKO systeem dat gebruik maakt van een aquifer en een systeem dat gebruik maakt van oppervlaktewater. Deze twee systemen kunnen los van elkaar gezien worden en hebben zeer verschillende effecten.

Te verwachten effecten van WKO in een aquifer zijn:

- doorboring van slecht doorlatende bodemlagen;
- verplaatsing en menging van grondwater (en mogelijk verontreinigingen) binnen een aquifer;
- beïnvloeding van de hydrologie (grondwaterstromingen) binnen een aquifer;
- (beperkte) verandering van de temperatuur in het grondwater.

Te verwachten effecten van regeneratievoorziening op basis van oppervlaktewater zijn:

- verstoring van het aquatische leven door het verplaatsen van water (pompen) en veranderingen van de temperatuur van het oppervlaktewater;
- minder algengroei door circulatie van het water (positief effect).

Het duurzame energieconcept waarbij WKO in een aquifer plaatsvindt wordt al op vele plaatsen in Nederland toegepast. Het risico op negatieve effecten door verplaatsing of verspreiding van grondwaterverontreinigingen of het beïnvloeden van bestaande

grondwatersystemen wordt beperkt door de strenge eisen die worden gesteld in de vergunningprocedure.

De combinatie van WKO met regeneratie via oppervlaktewater is nog niet (op grote schaal) toegepast, maar inpasbaar overal waar voldoende oppervlaktewater beschikbaar is. Beschadiging van levende organismen door circulatiepompen kan worden voorkomen door niet het oppervlaktewater zelf rond te pompen, maar kunststof slangen door het oppervlaktewater te leiden en hier het water doorheen te pompen.

Aquatische biomassa

De milieueffecten van energie uit algen (microalgen), kunnen negatief zijn maar ook zeker positief. Algen gebruiken CO₂ als koolstof bron, en helpen dus dit broeikasgas periodiek vast te leggen. Vele algen kunnen direct groeien op verbrandingsgas van bijvoorbeeld een energie centrale, de groei wordt zelfs gestimuleerd door de hogere CO₂ concentratie. Algen hebben ook nutriënten nodig, maar in plaats van kunstmest kan ook afvalwater of mest als bron dienen, of nutriënten kunnen worden gerecycled. Combinatie met waterzuivering kan derhalve synergie voordelen bieden.

Ook zeewier (macroalgen) neemt CO₂ op. Overdag wordt zuurstof geproduceerd. Een hogere zuurstof concentratie helpt de microbiologische uitstoot van de broeikasgassen methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) verminderen. In het donker echter, nemen zeewier en alle andere aerobe organismen zuurstof op, wat de uitstoot van genoemde broeikasgassen kan stimuleren en in extreme gevallen een negatieve impact op vissen hebben. Door de opname van stikstof door zeewier kan de natuurlijke uitstoot van N₂O verminderen. Afgebroken en afgestorven biomassa kan deels microbiologisch omgezet worden in methaan. Het netto broeikas effect is nog onduidelijk.

Zeewier neemt ook nutriënten op uit het water. Het nutriënt fosfaat wordt vooral gewonnen in mijnen, en is dus in feite een fossiele grondstof, waarvoor uitputting dreigt. Na inzet als (kunst)mest zal een deel via het oppervlaktewater de zee bereiken. Een deel kan via zeewierkweek terug gewonnen worden waarmee zeewierkweek een positief effect op de nutriënthuishouding kan hebben. Door gebrek aan praktijkonderzoek zijn mogelijke effecten van zeewierteeltsystemen op de migratie van zeezoogdieren zoals bruinvissen nog onduidelijk. Zeewierteelt kan mogelijk bijdragen aan versterking van de biodiversiteit. De zeewieren en de kweekconstructies zullen een aanhechtingsplaats bieden voor andere sessiele organismen. Daarnaast kunnen de zeewieren voedsel en beschutting bieden voor diersoorten zoals vissen. Door het uitzetten van pootvis in het teeltsysteem kan potentieel een "broedkamer" worden gerealiseerd voor jonge vis zodat het systeem een bijdrage levert aan herstel van de visstanden in de Noordzee.

Algenconcepten hebben uiteenlopende positieve milieueffecten, vaak uniek voor dit organisme. Ook bestaan er mogelijke nadelige milieueffecten als gevolg van kunstmest gebruik en verstoring van ecosystemen, maar geen enkele van deze

effecten lijkt onoverkoombaar. Kweeksystemen op zee dienen verder te worden ontwikkeld, en ook de milieueffecten zijn minder goed bekend.

Kansen voor positieve milieu effecten algenteelt en zeewierenkweek:

- Periodieke vastlegging CO₂;
- Zuivering van afvalwaterstromen;
- Terugwinning uitgespoelde nitraten en fosfaten;
- Functie als kraamkamer voor vis.

Kleinschalige waterkracht

De te verwachten effecten van kleinschalige toepassingen van waterkracht zijn:

- Ecologische schade door vissterfte;
- Barrière voor scheepvaart en recreatievaart.

Waterkrachtcentrales vormen een gevaarlijke barrière. De turbines van de centrales liggen namelijk in de hoofdstroom, die vissen instinctief gebruiken. Daarom komen zij zonder visgeleiding in de turbine terecht. Bij trekvissen, maar ook bij rivierstandvissen die grotere afstanden in de rivier afleggen, moet rekening gehouden worden met het cumulatieve effect van meerdere waterkrachtcentrales in de loop van een rivier. Als een vis per waterkrachtcentrale een overlevingspercentage van 80% heeft, heeft deze na het passeren van vijf waterkrachtcentrales nog maar een overlevingskans van 33%.

Door het aanleggen van stuwen en dammen voor kleinschalige waterkracht zou de situatie zich voor kunnen doen dat de doorgang voor commerciële scheepvaart en recreatievaart geheel geblokkeerd wordt. De schade voor beroeps- en sportvisserij hangt nauw samen met het eerst genoemde effect: vissterfte.

De vissterfte bij waterkrachtcentrales kan teruggebracht worden door:

- Visgeleidingssystemen;
- Ecologisch turbinebeheer (wat leidt tot suboptimale energie-opwekking).

Een visgeleidingssysteem moet de vissen die met de stroom mee naar beneden zwemmen naar een bypass of vistrap leiden en voorkomen dat de vissen in aanraking komen met de turbine van een waterkrachtcentrale. Sinds 2002 zijn visgeleidingssystemen verplicht bij waterkrachtcentrales in Nederland. Bij ecologisch turbinebeheer worden de turbines van een waterkrachtcentrale tijdens de massale trek van bijvoorbeeld de paling tijdelijk stopgezet.

Leeswijzer

In het eerste hoofdstuk zijn het doel van de studie en de onderzoeks aanpak uitgewerkt.

In de hoofdstukken 2 tot en met 7 worden per techniek de omgevingseffecten in detail besproken.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Golfenergie	2
2.1	Effecten	2
2.1.1	Biologische effecten	2
2.1.2	Visuele effecten	6
2.1.3	Geluid	7
2.1.4	Effecten als gevolg van incidenten	8
2.1.5	Effecten als gevolg van ontmanteling	9
2.2	Mitigerende maatregelen	10
2.3	Conclusies en aanbevelingen	11
3	Getijstroom energie	12
3.1	Effecten	12
3.1.1	Verstoring macro getijstroom energiebalans	12
3.1.2	Verandering in getijdenhoogte, -snelheid en -tijd	13
3.1.3	Ontwerp- en bouwfase	13
3.1.4	Scheepvaart en beroeps- en sportvisserij	14
3.1.5	Verstoring leefgebied vissen en waterzoogdieren (lokaal)	14
3.1.6	Waterverontreiniging	15
3.2	Mitigerende maatregelen	15
3.3	Conclusies en aanbevelingen	16
4	Osmose Energie	17
4.1	Effecten	17
4.1.1	Waterverontreiniging	17
4.1.2	Landschappelijke inpassing	18
4.1.3	Bodembeschadiging	18
4.1.4	Afsluiting voor aquatisch milieu en scheepvaart	19
4.1.5	Verandering van zoet- en zoutwaterconcentraties	19
4.1.6	Verandering van nutriëntenhuishouding	19

4.2	Mitigerende maatregelen	20
4.2.1	Waterverontreiniging.....	20
4.2.2	Landschappelijke inpassing	20
4.2.3	Bodembeschadiging	20
4.2.4	Afsluiting voor aquatisch milieu en scheepvaart	20
4.2.5	Verandering van zoet en zoutwaterconcentraties	21
4.2.6	Verandering van nutriëntenhuishouding.....	21
4.3	Conclusies en aanbevelingen.....	21
5	Warmte Koude Opslag	22
5.1	Effecten.....	22
5.2	Effecten bij warmte koude opslag met open bronnen.....	23
5.2.1	Verplaatsing/verspreiding van verontreinigingen in een aquifer	24
5.2.2	Beïnvloeding van bestaande functies in het grondwater	24
5.2.3	Menging van grondwater binnen een aquifer	24
5.2.4	Lekkage van grondwater tussen aquifers	24
5.2.5	Verandering van de temperatuur in het grondwater	25
5.3	Effecten bij regeneratie d.m.v. oppervlaktewater	25
5.3.1	Verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater.....	25
5.3.2	Schade aan het leven in het water	25
5.3.3	Beïnvloeding van het paargedrag.....	26
5.4	Mitigerende maatregelen	26
5.5	Conclusies en aanbevelingen.....	26
6	Aquatische Biomassa	28
6.1	Effecten.....	28
6.1.1	Macroalgen kweek op zee: ruimte.....	29
6.1.2	Macroalgen kweek op zee: nutriënten	30
6.1.3	Macroalgen kweek op zee: Ecologische effecten.....	31
6.1.4	Microalgen kweek op land: ruimte	31
6.1.5	Microalgen kweek op land: Broeikasgassen	31
6.1.6	Microalgen kweek op land: Nutriënten	32
6.1.7	Microalgen kweek op land: Waterverbruik.....	32

6.2	Conclusies en aanbevelingen	32
7	Kleinschalige (gestuwde) waterkracht	34
7.1	Effecten	34
7.1.1	Vissterfte	34
7.1.2	Barrière voor scheepvaart en recreatievaart	35
7.1.3	Schade voor beroeps- en sportvisserij	35
7.2	Mitigerende maatregelen	35
7.2.1	Vissterfte	35
7.2.2	Barrière voor scheepvaart en recreatie	37
7.2.3	Schade voor beroeps- en sportvisserij	37
7.3	Conclusies en aanbevelingen	37
8	Referenties	38

1 Inleiding

In navolging van de onder het innovatieprogramma WINN (Waterinnovatie Rijkswaterstaat) opgestelde inspiratieatlas 'Water als bron van duurzame energie' heeft Deltares een aantal zaken nader laten onderzoeken door Ecofys. Deltares wil inzicht in de mogelijke effecten op natuur, milieu en overige gebruiksfuncties op locaties waar duurzame energiewinning plaatsvindt. In dit rapport – *Omgevingseffecten van zes duurzame energie technieken* – worden de omgevingseffecten van zes duurzame, water gerelateerde energietechnologieën gepresenteerd, te weten: golfenergie, getijstroom energie, osmose energie, warmte koude energie, energie uit aquatische biomassa en kleinschalige waterkracht.

De omgevingseffecten, zoals effect op milieu of mens, zullen per technologie worden beschreven. De besproken effecten richten zich voornamelijk op mogelijke negatieve omgevingseffecten op het gebied van ecologie, geluid en landschappelijke inpassing. Per technologie wordt besproken hoe de negatieve effecten zoveel mogelijk voorkomen of beperkt kunnen worden (mitigerende maatregelen).

Hierbij willen we nogmaals benadrukken dat het uitgangspunt van deze technieken altijd duurzamer is dan de alternatieven gebaseerd op fossiele brandstoffen: de duurzame technieken zullen niet of nauwelijks bijdragen aan de uitputting van fossiele bronnen, klimaatverandering of lokale luchtvervuiling. Deze positieve effecten worden in de hoofdstukken niet verder uitgewerkt.

In de hoofdstukken 2 tot en met 7 worden per techniek de omgevingseffecten in detail besproken.

2 Golfenergie

Golfenergie is een afgeleide vorm van de primaire energie van de zon. Windvelden boven de oceaan ontstaan doordat de zon de aarde niet gelijkmatig opwarmt. Als een wind waait over een wateroppervlakte, ontstaan golven. Op die manier wordt een deel van de windenergie omgezet in golfenergie. Naar schatting is het totaal beschikbaar golfvermogen van alle kustlijnen in de hele wereld vergelijkbaar met het huidige elektriciteitsverbruik: 56 EJ¹

Tot nu toe werden tal van technieken bedacht om energie uit watergolven te winnen. Deze systemen zijn gebaseerd op totaal verschillende werkingsprincipes, waaronder resonatiesystemen, 'overtopping' van golven, drijvende lichamen.

2.1 Effecten

De te verwachten omgevingseffecten van golfenergie² zijn:

- Biologische effecten;
- Visuele effecten;
- Geluid en trillingen;
- Effecten als gevolg van incidenten;
- Effecten als gevolg van ontmanteling.

2.1.1 Biologische effecten

De omgevingseffecten van golfenergie zijn in grote mate te vergelijken met de effecten van offshore windenergie. In "The Concerted Action on Offshore Wind Energy in Europe"³ worden de volgende biologische effecten aangeduid als potentieel problematisch voor offshore wind:

- Vogels die tegen windturbines aanvliegen;
- Verstoring van broed- en rustgebieden van vogels;
- Effecten op vissen en vislarven;
- Verstoring van de zeebodem en de fauna gedurende bouw- en exploitatiefase.

De belangrijkste biologische impact van windenergie is de impact op vogels. Voor golfenergie zijn dit waarschijnlijk de vissen, de zeezoogdieren en verontreiniging die kan optreden bij aanvaring met schepen. Tot nog toe zijn slechts enkele casestudies uitgevoerd naar de impact van offshore windenergie op vissen, vogels, zeezoogdieren en flora. De hierin opgedane kennis is nog niet systematisch verwerkt, waardoor er nog veel onzekerheden bestaan met betrekking tot de biologische effecten.

Zeezoogdieren

Van het effect van golfenergie op zeezoogdieren wordt verwacht dat deze relevant is maar niet belemmerend. Een onderzoek naar de lokale populatie van zoogdieren,

zoals zeehonden, walvissen en dolfijnen is daarvoor nodig. Als de centrale gepland is in de nabijheid van kolonies zal de goedkeuring voor een belangrijk gedeelte hiervan afhangen.

Uit een studie naar de effecten van offshore windenergie op zeezoogdieren⁴ komt naar voren dat zeehonden erg mobiel zijn en zich over grote afstanden bewegen. Dit zou betekenen dat verstoring tijdens de bouwfase slechts tijdelijk is, omdat zeehonden zullen terugkeren naar hun leefgebied als de normale condities zijn hersteld.

Twee aspecten die relevant zijn voor offshore windenergie en daarmee waarschijnlijk ook voor golfenergie, zijn de lage geluidfrequentie onder water en het effect van de elektromagnetische velden op walvisachtige en zeehonden. De verwachte effecten hiervan zijn:

- Verlies van habitat als gevolg van verstoring door geluid van golfenergie en geluid van onderhoudsboten en -helikopters. De verstoring tijdens de bouwfase zal tijdelijk zijn. De energiecentrale en de onderhoudsboten en -helikopters zullen echter ook op lange termijn effect hebben. Voor een windpark in Denemarken is ingeschat, gebaseerd op metingen, dat het onderwater geluid hoorbaar zal zijn voor zeezoogdieren op een afstand van minder dan twee kilometer van de centrale⁵.
- Trillingen die het sonarsysteem van zoogdieren kunnen aantasten waardoor de dieren moeilijker voedsel kunnen vinden. Daar staat tegenover dat door een verbod op vissen met netten, in de nabijheid van golfenergiecentrales, het voedselaanbod mogelijk zal toenemen.
- Invloed van laagfrequent geluid en elektromagnetische velden in kabels. Berekeningen van magnetische velden van onderwaterkabels die 1 meter zijn ingegraven in de zeebodem laten echter zien dat het magnetische veld op de zeebodem boven de kabel kleiner is dan het geomagnetische veld. Mits de kabels goed ingegraven zijn, wordt hiervan geen effect verwacht;
- Risico's voor zeezoogdieren als gevolg van in werking zijnde onderdelen van de centrale (verhitting van de bladen van een turbine). Deze risico's zullen heel klein zijn omdat de meeste zeezoogdieren gevaarlijke objecten onder water (zoals scheepsrompen) mijden⁶.

Vissen

Er zijn slechts enkele studies uitgevoerd naar de impact van offshore windenergie op vissen, omdat de meeste windparken in gebieden staan waar geen of weinig vis aanwezig is. Er zijn geen studies bekend naar de effecten van golfenergie op vissen.

Een Zweedse studie naar het eerste offshore windpark in de wereld⁷ (220 kW turbines) laat zien dat er geen negatieve effecten voor vissen zijn. Hoewel de vispopulatie binnen de 400 m contour van de turbine toenam, vingen de vissers minder vis op het moment dat de turbines in werking waren, wat leidt tot een belangenconflict.

De verwachte effecten van golfenergiecentrales op vissen zijn:

- Er kunnen positieve effecten op de visstand verwacht worden, omdat de aanwezigheid van golfenergiecentrales leidt tot een visverbod met netten. Hierdoor kunnen de leefgebieden als broed- en verblijfplaatsen voor verschillende vissoorten verbeteren. Het visverbod zal in sommige gevallen kunnen leiden tot belangenconflicten met de visindustrie;
- Negatieve effecten op de visstand kunnen ontstaan door geluid en trillingen tijdens zowel de bouw- als exploitatiefase, wat mogelijk kan leiden tot verlies van habitat. Onderhoudsboten kunnen ook een negatief effect hebben maar in vergelijking met de 'gewone' impact van vissersboten en andere vaartuigen zal dit effect klein zijn;
- Veranderingen in de sedimentatie en turbulentie van water kan effect hebben op de vissen en vislarven. Dit zal voornamelijk een tijdelijk effect zijn wat optreedt tijdens de bouwfase. Onderzoek naar het aantal vissoorten voor- en na de bouwfase van een Deens offshore windpark laat geen vermindering van de soorten zien⁸. Deze effecten kunnen echter een grote rol spelen in broedgebieden of ondiepe gebieden waar jonge vissen vaak verblijven. Beschermende maatregelen zoals het mijden van broedseizoenen kunnen nodig zijn;
- Het potentiële effect van kabels kan afgeleid worden van het effect dat ontstaat bij de aanleg van aardgaspijpleidingen. De aanleg van pijpleidingen leidt tot een verstoring van de corridor van ongeveer 5 m met als effect dat het zwevend sediment organismen tot op een afstand van 50 m kan beïnvloeden⁹. Dit wordt als een tijdelijk effect gezien omdat het gebied na afronding van de werkzaamheden weer snel zal herstellen. Ter indicatie moet worden bedacht dat een natuurlijke storm een groter effect kan hebben dan deze tijdelijke effecten;
- Elektrische en magnetische velden rondom de kabels kunnen van invloed zijn op de vissen en de visteelt. Hoewel het gebruik van kabels in de zeebodem al decennialang wordt toegepast, zijn hierover geen onderzoeksresultaten gevonden. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het effect op het waterleven waarschijnlijk heel klein zal zijn. De kabels die gebruikt worden voor golfenergiecentrales worden ingegraven om mogelijke schade van ankers of vissersactiviteiten te voorkomen¹⁰.

Zeebodem en fauna

In het algemeen zal de verstoring van de zeebodem en van benthos¹ vooral plaatsvinden tijdens de bouw- en ontmantelingfase, bijvoorbeeld als gevolg van de aanleg van kabels en het afzinken van de centrale. Alle offshore activiteiten zullen de transparantie van water en het sediment op de zeebodem beïnvloeden. Het boren, graven en/of baggeren zal leiden tot meer zwevende deeltjes in het water. Hoewel benthische organismen kwetsbaar zijn, zal de impact klein zijn¹¹.

De verwachte effecten van golfenergie op benthos zijn:

¹ Benthos zijn alle organismen die leven op de zeebodem van zoete en zoute wateren.

- Verlies van habitat en soorten als gevolg van bouwwerkzaamheden. Dit effect zal echter tijdelijk zijn, omdat het alleen plaatsvindt tijdens de bouwfase.
- De aanwezigheid van kabels, onderhoudsboten, elektromagnetische velden en geluid zal leiden tot een geringe vermindering van aantal en soorten organismen op de zeebodem.
- Constructies die op de zeebodem zijn geplaatst kunnen fungeren als natuurlijke riffen en de aantrekking van nieuwe organismen. Het is onduidelijk wat deze wijziging in biotopen voor een effect heeft op de benthos en de voedselketen.
- De afwezigheid van vissers en boten (met uitzondering van onderhoudsboten) zal een positief effect hebben op de benthos.

Hydrografie² en kustprocessen

Golfenergie kan verschillende effecten hebben op de golfstromen. Zo kan bijvoorbeeld een afname van de golfenergie invloed hebben op de kust en de ondiepe getijdenstromingen en daarmee op de aanwezige biotopen¹². Effecten op zeestromingen doen zich alleen voor bij grootschalige projecten waar een aanzienlijk gedeelte van de golfenergie wordt benut. Dit effect is afhankelijk van de grootte en diepgang van de opwekkers en de afstand tot de kust. Vaste systemen zullen daarbij een groter effect hebben dan zwevende of drijvende systemen. Afhankelijk van de techniek kunnen de effecten zowel positief (minder kusterosie) als negatief zijn.

De verwachte effecten zijn:

- Permanente wijzigingen van de sedimentstructuur kunnen optreden als gevolg van een wijziging van de waterstroom achter de opwekker;
- Verandering van de golfstromen langs de kust kan leiden tot een andere samenstelling van de kustlijn.

Gedetailleerde modellering kan inzicht geven in de effecten die afhankelijk zijn van de omvang van het project, de afstand tot de kust, de waterdiepte en de gevoeligheid van de lokale hydrografie.

Vogels

Hoewel de effecten op vogels een belangrijk aandachtsgebied is voor windenergie, is dit minder waarschijnlijk voor golfenergie. Omdat golfenergie-installaties meestal nauwelijks boven het wateroppervlak uitkomen en daar geen bewegende delen hebben, zullen de effecten op vogels daarom klein zijn. Bovendien zijn belangrijke vogelgebieden meestal in ondiepe wateren gelegen met lage golven. Dit zijn gebieden die voor golfenergie minder interessant zijn.

Het voornaamste effect is het weggagen van vogels van hun broed- en rustgebieden als gevolg van fysieke veranderingen van het habitat. Dit effect is afhankelijk van de volgende parameters:

² Hydrografie is de wetenschap die zich bezighoudt met het beschrijven van de waterbodem. Belangrijk zijn de diepte en de samenstelling van het water en de zeebodem, het getij, de golven en de stroming.

- De effecten tijdens de bouwfase zullen waarschijnlijk tijdelijk zijn en beperkt qua omvang. De periode waarin de werkzaamheden plaatsvinden kunnen van belang zijn omdat hoge geluidniveaus broedvogels kunnen verstoren;
- Als er een visverbod geldt in de nabijheid van de installaties, zal het gebied rondom de installaties dienen als voedselgebied voor vogels. De voedselcondities zullen hierdoor verbeteren en er zullen minder vogels weggejaagd worden. Het is daarom van belang dat de techniek zo ontworpen is dat vogels en andere dieren geen fysieke schade kunnen oplopen. Het is ook waarschijnlijk dat vogels de opwekkers gebruiken om uit te rusten;
- Geluid kan vogels in de nabijheid van de installatie weggagen.

2.1.2 Visuele effecten

De visuele effecten van golfenergiecentrales worden onder andere bepaald door:

- De afstand van de installatie tot de kust;
- De hoogte van de installatie boven zeeniveau;
- De weersomstandigheden;
- De hoogte boven zeeniveau van het gezichtspunt.

De verwachte visuele effecten van golfenergiecentrales zijn vanwege hun beperkte hoogte niet te vergelijken met windturbines. Kustgebieden worden echter vaak gezien als belangrijke gebieden voor recreatieve doeleinden wat visuele vervuiling een politiek beladen onderwerp maakt.

Gezien het beperkt aantal golfenergiecentrales dat momenteel operationeel is, is het moeilijk te kwantificeren wat de visuele impact is van deze centrales. Verwacht wordt dat het heel erg locatiegebonden is en alleen een probleem wordt wanneer installaties in grote aantallen geplaatst zullen worden.

De zichtbaarheid wordt mede bepaald door de eisen die gesteld worden aan markeringslichten en schilderingen. Markeringslichten zijn verplicht om te voorkomen dat schepen in aanvaring komen met de installaties. Daarom is het belangrijk de visuele effecten van markeringslichten zo vroeg mogelijk in de planningsfase mee te nemen.

Omdat de visuele impact door iedereen anders ervaren wordt, zal er altijd publieke weerstand zijn, zeker voor projecten dicht bij de kust. Zelfs onzichtbare offshore projecten kunnen rekenen op publieke weerstand wanneer ze zichtbaar zijn vanaf schepen en veerboten. Een open en zorgvuldig planproces met gedetailleerde visualisaties en intensieve dialogen met de burgers kan resulteren in een lagere publieke weerstand.

In het geval van windenergie laat een Zweeds onderzoek zien dat visualisaties kunnen leiden tot acceptatieproblemen, omdat tekeningen niet de werkelijke visuele impact laten zien van windturbines in het landschap¹³. Ook laten ze niet hun functionele

bijdrage zien. Mensen zien de windturbines niet als een bron van duurzame energie maar als een nieuw element in het landschap dat de belevingswaarde aantast. Van de andere kant zijn visualisaties van waarde om sociale acceptatie te krijgen voor hoe geplande ontwikkelingen er uit zullen zien. Als mensen in staat zijn de rationaliteit achter dergelijke visualisaties te begrijpen, kunnen ze een positieve bijdrage leveren aan een dialoog. In deze context is het belangrijk te begrijpen dat een illustratie zowel de voordelen van golfenergie kan onderdrukken als visuele effecten kan camoufleren. Dus moeten visualisaties altijd vergezeld gaan van een gedetailleerde uitleg. Bovendien worden golfenergiecentrales niet alleen ervaren omdat ze zichtbaar zijn maar mogelijk ook omdat ze hoorbaar zijn. Het gebruik van virtual reality kan nuttig zijn in dit geval.

De algemene conclusie is dat visuele impact van energiecentrales erg gevoelig ligt in de publieke beleving en deze gevoeligheid zou ook van toepassing kunnen zijn op golfenergieprojecten, zeker bij projecten aan of in de nabijheid van de kust. De visuele impact van golfenergiecentrales lijkt voor wat betreft de effecten op de economie niet voor een aanzienlijke belemmering te zorgen maar kan wel voor specifieke locaties een belemmering vormen, in het bijzonder wanneer het gaat om grootschalige toekomstige golfenergiecentrales. De ervaring met offshore windprojecten laat duidelijk zien dat er een sterke publieke zorg is voor dit onderwerp, ook als het gaat om offshore windparken die vanaf de kust met het blote oog nauwelijks te zien zijn.

2.1.3 Geluid

Geluid van golfenergiecentrales ontstaat door de beweging van mechanische delen en de overdracht van kracht in het conversiesysteem. Ook kan geluid ontstaan door controleapparatuur. De mate waarin geluidseffecten optreden is afhankelijk van:

- Het geluidsniveau en de aard van het geluid;
- De afstand van de centrale tot de potentieel gevoelige ontvangers;
- De windrichting en het achtergrondgeluidsniveau.

Voor golfenergie wordt verwacht dat het geluidsniveau over het algemeen evenredig zal toenemen met het achtergrondgeluidsniveau dat veroorzaakt wordt door het breken van de golven. Hoe dan ook zal geluid een belangrijk effect zijn, in het bijzonder van walapparaten.

Verwacht wordt dat geluid door bewegende delen de volgende effecten heeft:

- Het afschrikken van vogels;
- Het verlies van habitat van waterzoogdieren;
- Afname van publieke acceptatie als het geluid van golfenergie hoorbaar is voor mensen aan de wal.

Windenergie heeft de reputatie dat het veel geluid maakt. Daar komt bij dat geluid gemakkelijker wordt gedragen over zee dan over land. Dit beïnvloedt de publieke opinie over windenergie. De reputatie is enigszins onrechtvaardig omdat de huidige windturbines veel minder geluid maken. Deze reputatie wordt gevormd door

ervaringen met windenergie in het verleden. De les die geleerd moet worden voor golfenergie is dat met geluidseffecten zorgvuldig moet worden omgegaan voor prototypes, omdat de publieke opinie ten aanzien van geluidseffecten niet gemakkelijk verandert zodra nieuwe technieken met lagere geluidsemisseries beschikbaar komen.

Tijdens de bouw wordt verwacht dat geluid als gevolg van de werkzaamheden (vaartuigen, explosieven, etc.) vogels en waterzoogdieren zal afschrikken maar omdat de effecten van tijdelijke aard zijn, zullen de invloeden slechts tijdelijk zijn. Hoe dan ook zullen kwetsbare perioden vermeden moeten worden als de centrale in de buurt van waardevolle natuurgebieden geplaatst wordt.

Gedurende de bouw kan onderwater geluid een nadelig effect hebben op waterzoogdieren, vissen en bentos (organismen die leven op de bodem van zoete en zoute wateren). Hoewel het effect tijdelijk is, zullen bepaalde periodes gemeden moeten worden, bijvoorbeeld wanneer de vissen larven werpen. Werkzaamheden in deze periode kunnen leiden tot hoge vissterfte.

Tijdens de exploitatie kan geluid in het water op twee manieren overgedragen worden:

- Het geluid bereikt het water vanuit de lucht;
- Het geluid wordt in het water overgedragen als structureel geluid.

De geluidsfrequentie en het geluidsniveau onder water wordt in zekere mate bepaald door de constructie van de centrale. Onderwatergeluid van golfenergie zal het achtergrondgeluid (omgevingsgeluid van bijvoorbeeld schepen) moeten overschrijden om enige invloed te hebben op de waterfauna. Geluidsfrequenties en golven variëren per technologie. Geluidsmetingen van golfenergie zijn op dit moment echter nog niet openbaar. Een impactstudie, die uitgevoerd wordt nadat de centrale is geplaatst, zal inzicht geven of de centrale het waterleven zal beïnvloeden.

2.1.4 Effecten als gevolg van incidenten

De milieueffecten als gevolg van incidenten moeten serieus genomen worden omdat bijvoorbeeld een aanvaring met een olietanker in het ergste geval kan leiden tot ernstige schade met betrekking tot de flora en fauna, de waterkwaliteit, kustlijn, etc. Ook moet opgemerkt worden dat in sommige gevallen golfenergiecentrales kunnen voorkomen dat er incidenten plaatsvinden. Dit is het geval als de offshore installaties in wateren staan waar het risico op vastlopen van schepen hoog is door de aanwezigheid van rifbanken. Goed gemarkeerde golfenergiecentrales zullen in dat geval schepen waarschuwen tegen dit risico. Onderzoek naar het risico van aanvaring is vrij moeilijk omdat het ontwikkelen van betrouwbare risicomodellen door gebrek aan ervaring ontbreken.

Effecten door incidenten kunnen in theorie optreden door een botsing tussen een schip (bijvoorbeeld een onderhoudsvaartuig) of een laagvliegend vliegtuig (bijvoorbeeld een

onderhoudshelikopter) en de installatie of een substation. Ook kunnen effecten optreden bij schade aan een onderzeese kabel veroorzaakt door verankering, een zinkend schip, door sleepnetten die gebruikt worden door de visserij of tijdens de bouw. De effecten bij zulke incidenten kunnen leiden tot milieuverontreiniging door stoffen die ofwel afkomstig zijn van de offshore installatie ofwel van het schip of de helikopter. De daadwerkelijke effecten zijn afhankelijk van veel parameters, zoals het type schip of helikopter, de botsingshoek, de snelheid van het botsende voorwerp, het type golfenergiecentrale, de weersomstandigheden en de aard van de verontreinigende stof. Als grote schepen, zoals olietankers in aanvaring komen met een golfenergiecentrale, zal in de meeste gevallen alleen de golfenergiecentrale beschadigd zijn. Met andere woorden, een aanvaring met een schip hoeft niet altijd te leiden tot het weglekken van grote hoeveelheden schadelijke stoffen.

Hoewel het risico op aanvaring relatief laag is en een aanvaring niet noodzakelijk hoeft te leiden tot milieuschade, kunnen de effecten als gevolg van incidenten zeer ernstig zijn. De meest waarschijnlijke schadelijke stof in deze situaties is olie.

- De kans op een olie lekkage uit de energiecentrale is klein omdat deze centrales slechts kleine hoeveelheden of zelfs geen olie bevatten.
- De kans op een diesellekkage bij een substation is ook klein omdat de hoeveelheid aanwezige diesel beperkt is en diesel langzaam verdampt. Om het risico van lekkage te minimaliseren moeten substations uitgevoerd worden met een dubbele wand.
- Schade aan onderzeese kabels kan leiden tot het weglekken van minerale olie dat in sommige type kabels zorgt voor de isolatie van de kabel. Hoewel het hier om kleine hoeveelheden gaat en het risico op zulke incidenten klein is, worden mitigerende maatregelen zoals het beschermen van de kabels (bijvoorbeeld door het ingraven ervan) en een verbod op visserij in de nabijheid van de centrale en de kabels aanbevolen. Daarnaast kan de druk binnenin de kabel continue gemonitord worden om in geval van lekkage direct maatregelen te kunnen nemen;
- Het meest kritische milieueffect met betrekking tot olie is de olie afkomstig van schepen na een aanvaring. Dieselolie van vissersboten en onderhoudsvaartuigen is niet zo ernstig als olie afkomstig van grote schepen, omdat dieselolie gemakkelijker verdampt in vergelijking met olie van olietankers. Deze effecten vragen om de ontwikkeling van speciale procedures voor noodgevallen met een korte reactietijd.

2.1.5 Effecten als gevolg van ontmanteling

Het aspect van ontmanteling is een potentieel groot probleem voor offshore ontwikkelingen. Nationale en internationale regelgeving vereisen gehele verwijdering van offshore installaties die geïnstalleerd zijn na 1999 en het einde van hun technische levensduur bereiken. Gedeeltelijke verwijdering is niet toegestaan. De verwijdering van offshore installaties leidt niet alleen tot hogere kosten maar ook tot verstoring van het waterleven. Ontmantelingwerkzaamheden dienen daarom

consequent niet in kwetsbare seizoenen plaats te vinden om zo de invloed op het milieu als gevolg van geluid, trillingen en verstoring van het sediment te minimaliseren. De effecten zullen echter tijdelijk zijn omdat het milieu zich naar verloop van tijd zal herstellen.

2.2 Mitigerende maatregelen

Effecten op zeezoogdieren kunnen beperkt worden door bij de planning van projecten beschermde gebieden voor zeezoogdieren te mijden, de duur en de hoeveelheid geluid tijdens de bouw- en exploitatiefase zoveel mogelijk te verminderen en onderwaterkabels zorgvuldig in te graven.

Effecten op vissen kunnen beperkt worden door werkzaamheden tijdens het broedseizoen zoveel mogelijk te mijden en onderwater kabels zorgvuldig in te graven.

Effecten op vogels kunnen beperkt worden door werkzaamheden buiten het broedseizoen plaats te laten vinden.

Effecten op zeezoogdieren, vissen en vogels kunnen zoveel mogelijk beperkt worden door de installaties zodanig te ontwerpen dat dieren geen fysieke schade kunnen oplopen.

Visuele effecten kunnen beperkt worden door de volgende richtlijnen in acht te nemen.

- Het planproces moet open zijn en zorgvuldig plaatsvinden en als de locatie zichtbaar is vanaf het land moeten de effecten voor de omgeving en de economie (toerisme) van het kustgebied onderzocht worden;
- De ontwikkeling van de centrale, het aantal en de omvang van de installaties moeten grondig en transparant geanalyseerd en bediscussieerd worden voordat keuzes gemaakt worden;
- Lokale betrokkenheid in een vroeg stadium van het planproces is essentieel en participatiemogelijkheden van burgers en bedrijven zullen in het voordeel werken zodra een technologie zich bewezen heeft;
- De visuele effecten van markeringslichten dienen in een zo vroeg mogelijk stadium in de planningsfase meegenomen te worden.

Met geluidhinder moet zorgvuldig worden omgegaan voor prototypes, omdat de publieke opinie ten aanzien van geluidseffecten niet gemakkelijk verandert zodra nieuwe technieken die minder trillingen produceren, beschikbaar komen. Aantonen dat geluid van golfenergiecentrales niet relevant is, is belangrijk voor de toekomst van golfenergie. Hoe dan ook zullen kwetsbare perioden vermeden moeten worden als de centrale in de buurt van waardevolle natuurgebieden geplaatst wordt.

Effecten als gevolg van incidenten kunnen beperkt worden door het duidelijk markeren van de golfenergiecentrale, het beschermen van de kabels (bijvoorbeeld door het

ingraven ervan), een verbod op visserij in de nabijheid van de centrale en het ontwikkelen van procedures voor noodgevallen. Daarnaast kan de druk binnen in de kabel continue gemonitord worden om in geval van lekkage direct maatregelen te kunnen nemen.

Ontmantelingwerkzaamheden dienen consequent niet in kwetsbare seizoenen plaats te vinden om zo de invloed op het milieu als gevolg van geluid, trillingen en verstoring van het sediment te minimaliseren.

2.3 Conclusies en aanbevelingen

Om een beeld te krijgen van de omgevingseffecten van golfenergie, is veelal uitgegaan van effecten die bekend zijn van offshore windenergie. Er is gekeken naar de volgende effecten: biologische-, visuele- en geluideffecten en trillingen, effecten als gevolg van incidenten, effecten als gevolg van ontmanteling en emissies.

Visuele effecten en geluid zorgen waarschijnlijk voor de grootste potentiële omgevingseffecten. Andere potentiële effecten zijn over het algemeen technisch op te lossen. Of deze conclusies gelden voor alle typen van golfenergie is moeilijk te zeggen. Het aantal beschikbare operationele installaties van golfenergie is te klein om op dit moment een goede beoordeling hiervan te geven. Hiervoor is meer onderzoek nodig.

Met geluidhinder moet zorgvuldig worden omgegaan voor prototypes, omdat de publieke opinie ten aanzien van geluidseffecten niet gemakkelijk verandert zodra nieuwe technieken met lagere geluidsemissies beschikbaar worden. Aantonen dat geluid van golfenergiecentrales niet relevant is, is belangrijk voor de toekomst van golfenergie.

De belangrijkste biologische impact van golfenergie is waarschijnlijk de impact op vissen, zeezoogdieren en verontreiniging die kan optreden bij aanvaring met schepen.

3 Getijstroom energie

Getijden worden veroorzaakt door de gravitatiekrachten tussen de maan, de zon en de aarde. De combinatie van deze aantrekkingskrachten en de rotatie van de aarde zorgt voor een voorspelbare afwisseling tussen hoog en laag water. Om de 12 uur en 25 minuten herhaalt het patroon zich, waardoor er zich in een etmaal twee keer hoog en twee keer laag water voordoet. Het verschil in hoogte varieert van 0,5 m op de meeste locaties tot 10 m op specifieke locaties nabij continentale landmassa's. De beweging van het water veroorzaakt getijdenstromingen met snelheden tot wel 5 m/s in kustzones en in stroomgaten tussen eilanden. Energiewinning uit getijden kan op twee fundamenteel verschillende manieren¹⁴:

- 1 Door het getijdenverschil te benutten in afsluitbare bassins zoals estuaria waar een groot verschil optreedt tussen eb en vloed.
- 2 Door lokale getijdenstromingen te benutten op een manier analoog aan windturbines. Voorbeelden hiervan zijn de C-energy (die overigens ook golf energie kan benutten) en de Seagen in Noord Ierland.

3.1 Effecten

De omgevingseffecten van getijstroom energie kunnen onderverdeeld worden in effecten op globale schaal, effecten op regionale schaal en effecten op lokale schaal¹⁵. De belangrijkste effecten zijn:

- Verstoring macro getijstroom energiebalans (globaal);
- Verandering in getijdenhoogte, -snelheid en -tijd (regionaal);
- Ontwerp- en bouwfase (lokaal);
- Scheepvaart en beroeps- en sportvisserij (lokaal);
- Verstoring leefgebied vissen en waterzoogdieren (lokaal);
- Waterverontreiniging (lokaal).

3.1.1 Verstoring macro getijstroom energiebalans

Bij de elektriciteitopwekking met behulp van getijstroom energie wordt een heel kleine fractie van de energie in de oceanen gebruikt door het samenspel van gravitatie tussen de aarde en de maan. Zonder een poging te doen om deze hoeveelheid energie uit te drukken in termen van de totale hoeveelheid energie in de oceanen, is het evident dat de installatie van een kleine, in termen van getijstroom energie, energievoorziening een te verwaarlozen effect zal hebben op de macro-getijstroom energiebalans¹⁶.

Een ander bijkomend aspect van getijstroom energie is dat het min of meer zelf regulerend is. Het werkt contraproductief als in een bepaald gebied te veel turbines worden geplaatst. Overexploitatie leidt tot suboptimale opbrengsten, vergelijkbaar met het plaatsen van te veel windturbines dicht bij elkaar die daardoor elkaars wind

afvangen. Een significante reductie van de waterverplaatsing zal de energie opbrengst doen afnemen en zal daardoor commercieel onrendabel worden

3.1.2 Verandering in getijdenhoogte, -snelheid en -tijd

De regionale effecten hebben betrekking op de kustgebieden en de wadden. Om te beoordelen welke veranderingen het gevolg zijn van een getijstroom energiecentrale, zullen schattingen gemaakt moeten worden van de veranderingen in getijdensnelheid, getijdenhoogte en getijdentijd. De verwachting is dat grootschalige energiecentrales invloed hebben op de getijdenhoogte en de getijdentijd. Deze centrales kunnen het eb- en vloedregime beïnvloeden, waardoor de omvang van platen en schorren kleiner wordt en zodoende het voedselaanbod voor vooral vogels afneemt. Benedenstreams van de energiecentrale zal een afname van de getijdensnelheid kunnen optreden. Grootschalige energiecentrales kunnen hierdoor effect hebben op de fysische processen zoals sedimentvorming en -afzetting. Kleinschalige toepassingen hebben deze negatieve effecten niet. Getijde zorgt van nature en continu voor verandering. De verandering door kleinschalige centrales zal naar verwachting binnen de range van normale variatie vallen, daarom worden hiervan geen nadelige effecten verwacht.

3.1.3 Ontwerp- en bouwfase

Bij de directe effecten van getijstroom energie kan onderscheid gemaakt worden in de effecten in de ontwerp- en productiefase en de effecten in de exploitatiefase. Het kennen van de effecten van de getijstroom energiecentrale in de exploitatiefase kan nuttig zijn voor de ontwerp- en productiefase om zo negatieve effecten eruit te halen. Een goed gedefinieerd en uitgebreide monitoring van de milieueffecten van zelfs de meest bescheiden initiële installatie zou potentieel aanzienlijke milieuvoordelen kunnen opleveren. In het bijzonder zal aandacht moeten worden besteed aan onderstaande effecten.

Locatiekeuze

Bij elke industriële ontwikkeling dient de vraag, wat de beste locatie zal zijn, goed afgewogen te worden. In een natuurlijke omgeving zullen de natuurlijke waarden de beperkende factor zijn. Binnen het grotere gebied waar getijdenstromingen voldoende aanwezig zijn om er gebruik van te kunnen maken, kan echter een locatie gezocht worden die optimaal rekening houdt met deze waarden en belangen. Voorbeelden van andere waarden en belangen zijn:

- Scheepvaartverkeer en beroeps- en sportvisserij;
- Opschalingmogelijkheden centrale;
- Biologische waarden.

Ontwerpkeuze

Twee belangrijke keuzes die gemaakt moeten worden met betrekking tot de omgeving van de turbine en de hoogte van de turbine in de waterkolom, waarop de turbine de omgevingseffecten positief kan beïnvloeden, zijn:

- 3 Met betrekking tot de omgeving van de turbine: maatregelen die voorkomen dat vissen en waterzoogdieren in aanraking komen met de turbinebladen. Hierbij kan gedacht worden aan schermen of andere gedragsmaatregelen die ervoor zorgen dat vissen en waterzoogdieren de centrale ongehavend kunnen passeren.
- 4 Met betrekking tot de positie in de waterkolom: een voorziening die ervoor zorgt dat de installatie zich voldoende onder het wateroppervlakte bevindt zover dat het buiten bereik van zelfs grote schepen valt.

Bouwfase

Voor alle voorzieningen is het vereist dat ze verankerd zijn om de turbines op hun plaats te houden en de transmissiekabels vast te houden.

Het verankeren van de turbines zorgt voor een tijdelijk effect als gevolg van het opgraven, het gebruik van explosieven en verstoring van de sedimentstructuur. Soorten die het meeste gevaar lopen zijn die soorten die zich het minst snel kunnen verplaatsen, dit geldt voor de meeste benthische flora en fauna. Vissen in de buurt van de explosieven zone zijn kwetsbaar voor de gevolgen van de schokgolven die door de explosieven ontstaan. Het is noodzakelijk deze effecten te beoordelen en indien mogelijk gebieden te selecteren waar deze effecten kunnen worden vermeden en procedures vast te stellen waarbij de negatieve effecten van deze activiteiten kunnen worden geminimaliseerd. Met een zorgvuldige planning en uitvoering van de werkzaamheden zijn deze effecten slechts van tijdelijke aard.

Olie- en brandstofopslag en gebruik van aken in getijdenzones zullen goed beheerd moeten worden. Standaardtoepassingen die al elders ontwikkeld en in gebruik zijn kunnen ook hier toegepast worden.

3.1.4 Scheepvaart en beroeps- en sportvisserij

De aanwezigheid van getijstroom energiecentrales in smalle en intensief gebruikte vaarwegen kan effect hebben op het waterverkeer, zoals vrachtschepen, cruiseschepen, recreatievaart en vissersboten. Dit effect wordt geminimaliseerd als de gehele centrale zover onder water wordt geplaatst dat het niet in aanraking komt met de grootste schepen die de vaarweg gebruiken. Voor gebieden met centrales, waarvan onderdelen boven het wateroppervlak uitkomen, zal een algeheel toegangsverbod moeten gelden. Een installatie die zich geheel onder water bevindt heeft de voorkeur, zeker als rekening wordt gehouden met de kwetsbaarheid van vaartuigen tijdens storm. Zowel beroeps- als sportvisserij zal onmogelijk zijn in het gebied van de getijstroom energiecentrale. Deze factoren dienen meegewogen te worden bij de selectie van de technologie en het ontwerp van de centrale.

3.1.5 Verstoring leefgebied vissen en waterzoogdieren (lokaal)

Een van de belangrijkste effecten van getijstroom energiecentrales is het effect op vissen en waterzoogdieren. Omdat getijstroom energie een relatief nieuwe technologie is met nog maar weinig toepassingen in de wereld, is er nog weinig ervaring opgedaan

met het beoordelen van deze effecten. Zo is nog onzeker of vissen, die in het algemeen zoeken naar de voordeligste stromingen, de bladen van de turbines zien, erop reageren en ze mijden.

De turbinebladen draaien relatief langzaam in vergelijking tot waterkrachtcentrales en windturbines, waardoor de schade aan de waterorganismen waarschijnlijk beperkt zal zijn. De snelheid is minimaal 7 m/s, wat overeenkomt met een aantal omwentelingen per minuut. De exacte snelheid is afhankelijk van de aanwezige stroming, de bladcurve en de bladgrootte.

Van belang voor de specifieke locatie is om te weten of het een migratieroute of verblijfplaats voor bepaalde vissoorten is. Er is geen hoogte in de waterkolom waaraan vissen de voorkeur geven en die vermeden kunnen worden als locatie voor de getijdstroom energiecentrale om aanvaringen te voorkomen.

Getijdencentrales, die kunnen worden uitgerust met een scherm om vissen en zeezoogdieren te hinderen de centrales in te zwemmen, genieten de voorkeur. Ook kunnen andere gedragsmaatregelen uitgetoet worden om vissen en zeezoogdieren weg te houden van de centrales, zoals een elektrisch schokje of verlichting.

Een proefinstallatie kan het probleem waarschijnlijk niet oplossen maar biedt wel een kans om te beoordelen wat de effecten zijn, vooral die met betrekking tot vis en zeezoogdieren.

3.1.6 Waterverontreiniging

Bij getijdencentrales komen geen emissies vrij. Waterverontreiniging blijft daardoor beperkt tot lekkages met smeermiddelen en verf of coating die worden gebruikt voor oppervlaktebehandeling om excessieve groei van waterorganismen te voorkomen. Sommige van deze stoffen zijn zeer toxisch. Deze stoffen dienen dan ook zorgvuldig geselecteerd te worden.

3.2 Mitigerende maatregelen

De effecten van getijdencentrales op de omgeving kunnen beperkt worden door:

- Een proefinstallatie te plaatsen om te beoordelen wat de effecten zijn op met name vissen en zeezoogdieren;
- Maatregelen te nemen die voorkomen dat vissen en waterzoogdieren in aanraking komen met de turbinebladen. Getijdencentrales, die kunnen worden uitgerust met een scherm om vissen en zeezoogdieren te hinderen de centrales in te zwemmen, genieten de voorkeur. Ook kunnen andere gedragsmaatregelen uitgetoet worden om vissen en zeezoogdieren weg te houden van de centrales, zoals een elektrisch schokje of verlichting.

- Bij de uitvoering van de werkzaamheden zoveel mogelijk rekening te houden met het seizoen, bijvoorbeeld vanwege de migratie van zalm. Van juni tot september dient het werken onder water zoveel mogelijk voorkomen te worden;
- Installaties zover onder de wateroppervlakte te plaatsen dat ze buiten het bereik van schepen vallen of een geheel toegangsverbod voor schepen in te stellen;
- Bij oppervlaktebehandeling ter voorkoming van excessieve groei van waterorganismen bij voorkeur biologische stoffen te gebruiken.

3.3 Conclusies en aanbevelingen

De omgevingseffecten van getijstroom energie kunnen onderverdeeld worden in effecten op globale schaal, effecten op regionale schaal en effecten op lokale schaal. De omgevingseffecten van getijstroom energie spelen vooral op lokale schaal. Het gaat hierbij vooral om effecten die optreden tijdens de ontwerp- en bouwfase, effecten op scheepvaart en beroeps- en sportvisserij, effecten op vissen en waterzoogdieren en waterverontreiniging.

De verwachting is dat grootschalige energiecentrales invloed hebben op de getijdenhoogte en de getijdentijd. Deze centrales kunnen het eb- en vloedregime beïnvloeden, waardoor de omvang van platen en schorren kleiner wordt en zodoende het voedselaanbod voor met name vogels afneemt.

Bij de energiecentrale zal een afname van de watersnelheid optreden. Grootschalige energiecentrales kunnen hierdoor effect hebben op de fysische processen zoals sedimentvorming en -afzetting.

Een van de belangrijkste effecten van getijstroom energiecentrales zijn vissterfte als gevolg van de turbinebladen en habitatverstoring van waterzoogdieren

4 Osmose Energie

Het opwekken van energie met behulp van osmose is een vorm van duurzame energie die gebaseerd is op het verschil in zoutconcentratie van (zout) zeewater en (zoet) rivierwater.

Het concentratieverschil tussen zoet- en zoutwater kan op twee manieren gebruikt worden: door PRO (Pressure Retarded Osmosis) en door RED (Reverse ElectroDialysis):

- Door het plaatsen van een semipermeabel membraan tussen een reservoir met zoet en zoutwater zal een netto stroom van water naar de zoutwaterkant op gang komen. Om een evenwicht in het reservoir te bereiken zal de druk aan de zoutwaterkant toenemen. Door de druk op ongeveer de helft van de maximale druk te handhaven en zoet en zout water constant aan te voeren kan aan de zoutwaterkant met de druktoename een turbine aangedreven worden. Dit proces wordt Pressure Retarded Osmosis genoemd (PRO).
- Bij Reverse Electro Dialysis (RED) stromen juist de ionen door het membraan in plaats van het water zoals bij PRO. Door anion en kation doorlatende membranen aan weerszijde van een zoutwaterstroom te plaatsten ontstaat een spanningsverschil tussen de twee zoetwaterstromen. Positieve en negatieve ionen diffunderen door de membranen met als drijvende kracht het concentratieverschil tussen zoet en zout water. Door stapeling van deze membranen kan voldoende spanning worden verkregen en werkt het systeem als een accu. Er is geen andere energiebron nodig dan zoet en zout water.

4.1 Effecten

De te verwachten effecten van osmose energie zijn:

- Waterverontreiniging vanwege schadelijke reststromen (bij gebruik van chemicaliën tegen (bio)fouling);
- Landschappelijk inpassing;
- Bodembeschadiging;
- Afsluiting voor aquatisch milieu en scheepvaart;
- Verandering van zoet- en zoutwaterconcentraties.

4.1.1 Waterverontreiniging

Zowel bij PRO als bij RED vormen de membranen de kern van de installatie.

Om vervuiling en verstopping van de membraanmodule tegen te gaan zal zowel het zoete als het zoute water voorgezuiverd moeten worden voor het de module ingaat.

Vanwege het enorme membraanoppervlak dat noodzakelijk is voor significante energie-opwekking, worden de membranen dicht op elkaar geplaatst in stacks. Dit maakt de membranen extra gevoelig voor vervuiling¹⁷.

Bij PRO gaat een groot deel van het water door het membraan heen waardoor er nauwelijks stroming langs de membranen aanwezig is, hetgeen weinig natuurlijke spoeling veroorzaakt. Voorafgaand zal extra zuivering van het water (zowel zout als zoet) plaats moeten vinden. Ten behoeve van zuivering van membranen voor PRO kunnen verschillende stappen ondernomen worden waar verschillende theorieën over zijn. Voor een goede voorzuivering zou coagulatie³ + sedimentatie en snelfiltratie nodig zijn. Echter bij coagulatie + sedimentatie zijn grote hoeveelheden chemicaliën nodig en zouden de membranen met een frequentie van één maal per week gereinigd moeten worden. Dit is niet acceptabel en zal geen doorgang vinden¹⁸. Statkraft geeft aan dat een behandeling analoog aan een gewone waterzuiveringsinstallatie kan volstaan¹⁹.

Op het gebied van RED wordt over het algemeen gesproken over voorzuivering met behulp van microzeven. Hierbij worden vloeistof en vaste stoffen van elkaar te scheiden door middel van een fijnmazig gaas. Dit gedaan door middel van een trommel waar water in wordt gepompt en gezuiverd water uitstroomt. De deeltjes blijven in de trommel achter. Ook bij de trommel kunnen echter problemen ontstaan door verstopping door biologisch materiaal, waardoor de trommel gezuiverd zal moeten worden²⁰.

4.1.2 Landschappelijke inpassing

Voor een zo efficiënt mogelijke werking van osmose energie moet de zoutconcentratie bij voorkeur zo hoog mogelijk zijn. Hierdoor zal het bij voorkeur met een lange pijp vanuit een diepe getijdengeul gehaald moeten worden. Naast de inlaatpijp zal ook de installatie met de membranenmodules in het landschap geplaatst moeten worden. Dit kan zowel onder water als boven water. In het geval van het plaatsen van een centrale bij de Afsluitdijk, is voor een installatie van 10 MW een ruimte van 210 m bij 16 m bij 3,5 m nodig in het geval van PRO. Voor RED zou dit een ruimte zijn van 176 m bij 18 m bij 2,7 m (of andere afmetingen met hetzelfde volume).

4.1.3 Bodembeschadiging

De installatie van leidingen en modules zal de flora en fauna in de omgeving in bepaalde mate aantasten. Het zoute water wordt op ongeveer 600 meter afstand uit de Waddenzee gehaald. Deze pijpleiding zal een doorsnede hebben van tussen de 3,8 en 4,5 meter.

Het aanleggen van leidingen in zee is echter niets nieuws voor Nederland. Bekend is dat de aanleg van pijpleidingen tot een verstoring leidt van de corridor van ongeveer 5

³ het destabiliseren van kleine geladen deeltjes door middel van het toevoegen van een chemische stof

meter. Bijkomend kan zwevend sediment organismen tot op een afstand van 50 meter beïnvloeden⁹. Dit is een tijdelijk effect. Hierna zal de natuur zich weer snel herstellen.

4.1.4 Afsluiting voor aquatisch milieu en scheepvaart

Het is niet mogelijk voor vissen en andere onderwater organismen om de membranen te passeren. Bij bestaande sluizen verandert de situatie echter niet. De waterwegen waren al afgesloten door de sluis en de barrière zal nu vervangen worden door een membraan in plaats van de sluis.

Bij aanleg van een nieuwe afsluiting van waterwegen zal hier wel rekening mee gehouden moeten worden. Het is mogelijk om een vispassage aan te leggen zoals in het voorstel voor de spuisluis in de Afsluitdijk. Deze biedt de mogelijkheid voor vissen om tegen de stroom in en met de stroom mee het IJsselmeer in te zwemmen²¹.

4.1.5 Verandering van zoet- en zoutwaterconcentraties

Het 'afval' product van osmose energie is brak water. Dit zal geloosd worden in de Waddenzee. Dit product zou zonder installatie van een centrale ook op dat punt ontstaan aangezien daar de rivier in de zee uitmondt. Hierdoor kan verwacht worden dat dit geen negatieve gevolgen zal hebben voor het ecosysteem van de Waddenzee²². Het brakke zeewater zal zich snel mengen met het zoute zeewater. Na een aantal getijden verspreidt dit water zich over de hele westelijke Waddenzee om zo via de geulen tussen de eilanden de Noordzee in te mengen²³.

4.1.6 Verandering van nutriëntenhuishouding

Opgeloste nutriënten, zoals ammonium, nitraat en orthofosfaat, worden door het membraan in het geval van PRO tegengehouden. Hierdoor blijven de nutriënten aan de IJsselmeerzijde over. Deze hogere nutriëntenconcentratie kan vervolgens leiden tot overmatige algengroei.

Aan de andere zijde van de centrale wordt water geloosd met een lagere nutriëntenconcentratie dan 'gewoonlijk'. Dit leidt tot een verandering van algensamenstelling en een verminderde productie van bijvoorbeeld mosselen. Het verwachte effect van een brakke stroom met een lagere nutriëntenconcentratie is minimaal²². Mogelijk zou met simulaties bepaald kunnen worden hoe de brakke stroom zich in het zoute water verspreidt en wat de concentratie hiervan is op de locaties waar momenteel mosselpercelen zijn.

In het geval van RED stromen de nutriënten gewoon langs het membraan en is dit omgevingseffect niet van toepassing.

4.2 Mitigerende maatregelen

4.2.1 Waterverontreiniging

De oorzaak van waterverontreiniging is het reinigen van de membranen met chemicaliën. Voordat het water geloosd wordt zal het gezuiverd moeten worden naar 'de standaard van Rijkswaterstaat'. Er bestaat dus voldoende regelgeving om dit niet te laten mengen met de Waddenzee of het IJsselmeer. Echter het proces van voorzuiveren, reinigen en scheiden kost additionele energie. Dit wordt het liefst voorkomen.

Er zal voor zowel PRO als RED naar een innovatieve en milieuvriendelijke manier gezocht moeten worden om de reiniging toe te passen. De mate van vervuiling is ook sterk afhankelijk van het membraanmodule ontwerp. Hier kan ook naar een verbetering gezocht worden waardoor de gevoeligheid van de membraanmodules verlaagd wordt. Verwacht wordt dat dit een overkomelijke uitdaging zal zijn.

4.2.2 Landschappelijke inpassing

Er kan per gebied gekeken worden wat de landschappelijke waarde is van het gebied en in hoeverre het gebied uniek is. Op basis daarvan kan bepaald worden in hoeverre leidingen en installaties dan wel bovengronds of ondergronds geplaatst kunnen worden. Plaatsing boven de grond is makkelijker betreffende onderhoud en lager in kosten. Een plaatsing ondergronds tast echter het landschap en de unieke waarde daarvan niet aan (afgezonderd van mogelijke verstoringen bij de aanleg).

4.2.3 Bodembeschadiging

De installatie van leidingen en modules zal de flora en fauna in de omgeving in bepaalde mate aantasten. Dit is echter van tijdelijke aard aangezien het slechts tijdens de installatieperiode geldt. Dit is een eindige periode waarna de flora en fauna zich weer kan herstellen. Dat neemt echter niet weg dat bij de locatiekeuze ook rekening gehouden moet worden met het minimaliseren van de impact op flora en fauna. Bij de keuze van de installatieperiode zal rekening gehouden moeten worden met broedseizoenen van aanwezige fauna. Minimale verstoring heeft hierbij de voorkeur.

4.2.4 Afsluiting voor aquatisch milieu en scheepvaart

Bij bestaande sluisen treedt weinig verandering op voor het aquatisch milieu en scheepvaart. Waterwegen zijn hier al afgesloten door de sluis en de barrière zal nu vervangen worden door een membraan in plaats van de sluis.

Bij aanleg van een nieuwe afsluiting van waterweging is het mogelijk om een vispassage, U-vormige bak waarbij een bodemklep, aan te leggen waardoor het aquatisch milieu minimaal gehinderd wordt.

4.2.5 Verandering van zoet en zoutwaterconcentraties

De verwachting is dat de verandering van zoet- en zoutwater concentraties minimaal is, er verandert niets aan het debiet. Indien pijpen worden aangelegd voor de afvoer van het brakke water kunnen lokale veranderingen optreden. Aanbevolen wordt om de stromen met computermodellen te simuleren waardoor uitsluitel gegeven kan worden over het te verwachten effect.

4.2.6 Verandering van nutriëntenhuishouding

De gevolgen voor het respectievelijk verhogen of verlagen van de nutriëntenconcentratie in IJsselmeer- en aan Waddenzeezijde kan inzichtelijk gemaakt worden met behulp van een water- en stoffenbalans²². De gevolgen hiervan op de onderwater flora en fauna kan bepaald worden met behulp van eutrofiëringmodellen. In het geval van RED stromen de nutriënten gewoon langs het membraan en is dit omgevingseffect niet van toepassing.

4.3 Conclusies en aanbevelingen

De te verwachten effecten van osmose energie zijn:

- verstoring van de natuurlijke stroming in estuaria door gecontroleerde menging van zoet en zout water;
- landschappelijk inpassing (lange inlaatpijp en het grote bouwwerk van de centrale);
- bodembeschadiging (van tijdelijke aard i.v.m. aanleggen inlaatpijp);
- afsluiting van aquatisch milieus en voor scheepvaart en
- vervuiling als gevolg van voorzuivering en eventueel van reiniging van membranen (het 'afval' product van osmose energie is brak water).

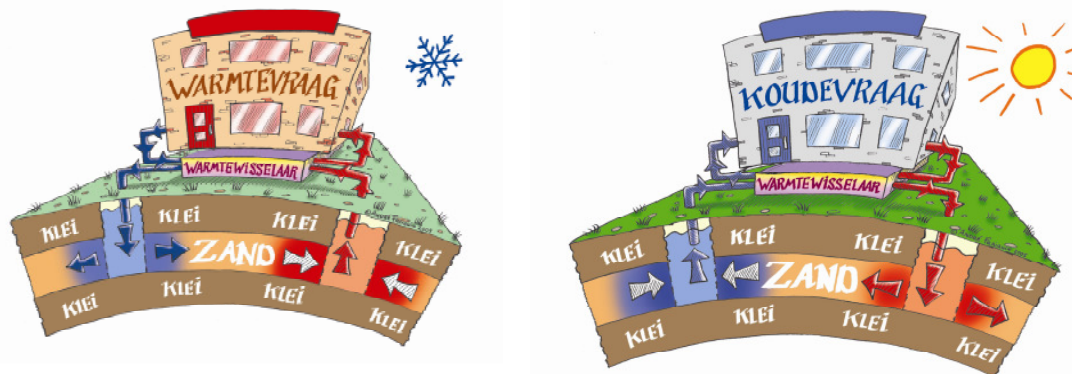
Het kunstmatig veranderen van de zoet-zout water overgang zal nader onderzocht moeten worden met behulp van simulatiemodellen. Hiermee kan de verspreiding van het brakke water bepaald worden en de invloed van een verhoging of verlaging van de nutriëntenhuishoudingen in het zoete en zoute water.

Opgeloste nutriënten, zoals ammonium, nitraat en orthofosfaat, worden door het membraan in het geval van PRO tegengehouden. Dit kan leiden tot overmatige algengroei aan de inputzijde. Het verwachte effect van de brakke uitstroom met een lagere nutriëntenconcentratie aan de outputzijde is minimaal. In het geval van RED stromen de nutriënten gewoon langs het membraan heen en is het omgevingseffect 'vervuiling' minder van toepassing.

5 Warmte Koude Opslag

Een warmte- en koudeopslag (WKO) systeem is technisch relatief eenvoudig. In een WKO-systeem wordt warmte en koude opgeslagen in het grondwater en gebruikt voor verwarming (in de winter) en koeling (in de zomer), zie Figuur 1. Het grondwater bevindt zich in zandlagen (aquifers) op een diepte tot ca. 150 meter en heeft normaliter een constante temperatuur van ongeveer 11 °C.

In de winter, wanneer er behoefte is aan verwarming, wordt de lage temperatuur energie onttrokken aan het grondwater. Het afgekoelde grondwater wordt vervolgens weer in de grond geïnjecteerd. Om deze energie voor ruimteverwarming en tapwater te gebruiken maakt men gebruik van een warmtepomp. Een warmtepomp 'pompt' energie van een lagere temperatuur naar de gewenste temperatuur. De warmtepomp is wel omschreven als " een koelkast waarvan het koelvak buitenshuis staat". Hiervoor is slechts een klein deel elektrische energie nodig. Hoe kleiner de temperatuurstijging, hoe minder elektrische energie nodig is. Daarom worden warmtepompsystemen altijd uitgevoerd in combinatie met lage temperatuur verwarming zoals vloerverwarming.



Figuur 1 : Werking van een WKO systeem met open bron in de winter (links) en de zomer (rechts)

In de zomer, wanneer er juist behoefte is aan koeling, wordt het proces omgekeerd en wordt het overschot aan warmte gekoeld met koud water uit de koude bron (rechter helft van Figuur 1). Voor deze koeling is in principe geen elektrische energie meer nodig, waardoor het een zeer duurzame vorm van koelen is.

5.1 Effecten

In het benoemen van de effecten op natuur, milieu en overige relevante gebruiksfuncties van de omgeving wordt onderscheid gemaakt tussen het open WKO systeem (aquifer) en de regeneratievoorziening op basis van oppervlaktewater. Het zijn namelijk twee systemen die in principe los van elkaar gezien kunnen worden en

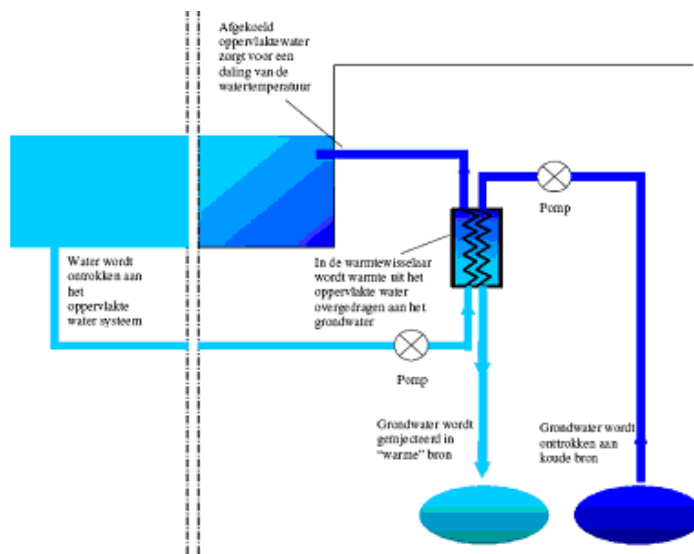
zeer verschillende effecten hebben. De te verwachten effecten van warmte koude opslag zijn:

Warmte koude opslag (WKO) met open bronnen (aquifers)

- Doorboring van slecht doorlatende bodemlagen;
- Verplaatsing en menging van grondwater (en mogelijk verontreinigingen) binnen een aquifer;
- Beïnvloeding van de hydrologie (grondwaterstromingen) binnen een aquifer;
- (beperkte) Verandering van de temperatuur in het grondwater;
- Levering van duurzame warmte en duurzame koude aan woningen en gebouwen;

Regeneratie met oppervlaktewater

- Verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater;
- Minder algengroei door circulatie van het water;
- Schade aan het leven in het water, doordat het water door de pomp wordt gestuwd;
- Risico op beïnvloeding van het paargedrag van vissen, wanneer de temperatuur van het water in de zomer plaatselijk wordt afgekoeld.



Figuur 2 Principeschema combinatie WKO met oppervlaktewater

5.2 Effecten bij warmte koude opslag met open bronnen

Een WKO systeem met open bronnen mag geen negatieve invloed hebben op de bestaande (natuurlijke) situatie in de ondergrond. De grondwaterkwaliteit mag niet worden veranderd, maar ook mogen andere aanwezige grondwaterfuncties niet nadelig worden beïnvloed. Om dit te waarborgen dient voor een WKO systeem met open bronnen een vergunning in het kader van de Grondwaterwet te worden aangevraagd. Bij de vergunningaanvraag dient uitvoerig te worden aangetoond dat

aan bovengenoemde voorwaarden wordt voldaan. Dit wordt aangetoond in de vorm van een effectenstudie. De eerste twee effecten die hieronder nader zijn beschreven, worden in de vergunningprocedure ondervangen.

5.2.1 Verplaatsing/verspreiding van verontreinigingen in een aquifer

Wanneer verontreinigingen in het grondwater aanwezig zijn, bestaat er een kans dat deze verplaatst worden door het heen en weer pompen van het grondwater. Verplaatsing van verontreinigingen door de WKO is niet toegestaan. In de vergunningaanvraag moet worden aangetoond dat een nieuw WKO systeem bestaande verontreinigingen niet beïnvloedt.

5.2.2 Beïnvloeding van bestaande functies in het grondwater

Door het infiltreren en onttrekken van grondwater met een WKO systeem wordt de grondwaterstroming beïnvloed. Dit kan een nadelig effect hebben op andere grondwateronttrekkingen of WKO systemen in de nabije omgeving. In de vergunningaanvraag moet worden aangetoond dat een nieuw WKO systeem bestaande onttrekkingen niet nadelig beïnvloedt.

5.2.3 Menging van grondwater binnen een aquifer

Met een WKO systeem wordt grondwater van de ene plek naar de andere plek in dezelfde aquifer verplaatst. Voordat een WKO systeem wordt gerealiseerd moet goed in kaart worden gebracht of hiermee geen grondwater van verschillende kwaliteit wordt gemengd. Dit kan chemische reacties (bijvoorbeeld redox-reacties⁴) veroorzaken, waardoor de totale kwaliteit (samenstelling) van het grondwater permanent verandert. Bovendien veroorzaakt dit putverstoppingen, waardoor het WKO systeem onbruikbaar kan worden.

5.2.4 Lekkage van grondwater tussen aquifers

De ondergrond van Nederland is in hoofdlijnen opgebouwd uit aquifers (grondwaterhoudende zandlagen) en kleiige, slecht doorlatende lagen. Deze slecht doorlatende lagen scheiden het grondwater in de verschillende aquifers. Het is verboden om grondwater uit verschillende aquifers te mengen. Door menging verandert de kwaliteit van het grondwater immers permanent.

Wanneer een WKO bron wordt geslagen moeten vaak slecht doorlatende lagen worden doorboord. Het is van groot belang dat de door de boringen ontstane gaten weer goed worden afgedicht, omdat anders lekkage van grondwater tussen de aquifers ontstaat. Om deze lekkage te voorkomen zijn er duidelijke richtlijnen in het ontwerp en realisatie van WKO systemen opgesteld door de NVOE (Nederlandse Vereniging voor Ondergrondse Energieopslag).

⁴ Dit is de menging van ijzerhoudend en zuurstofrijk grondwater. Dit reageert tot roestvlokken.

5.2.5 Verandering van de temperatuur in het grondwater

Een WKO systeem bestaat uit koude en warme grondwater 'bellen'. Hierin wijkt de temperatuur enkele graden af van de natuurlijke grondwatertemperatuur. Omdat het verschil zo klein is, heeft dit geen effect op de biologie en/of chemie in de ondergrond.

5.3 Effecten bij regeneratie d.m.v. oppervlaktewater

De effecten van regeneratie met oppervlaktewater zijn uiteraard sterk afhankelijk van de omvang (oppervlak en diepte) van het oppervlaktewater in relatie tot de hoeveelheid warmte die hieraan wordt onttrokken.

Voor de grote nieuwbouwwijk De Draai in Heerhugowaard, waar de komende jaren ca. 3.000 woningen zullen verrijzen, is de technische en financiële haalbaarheid van dit concept onderzocht. Onderstaande effecten zijn gebaseerd op de uitgebreide studie naar de technische haalbaarheid van dit concept die is uitgevoerd voor De Draai. Hier zal naar schatting 85.000 GJ warmte worden onttrokken aan het oppervlaktewater voor regeneratie van de WKO bronnen. Het betreft hier dan ook een grootschalige regeneratievoorziening.

5.3.1 Verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater

Het onttrekken van warmte aan het oppervlaktewater systeem leidt tot een lagere temperatuur van het oppervlaktewater in de zomer. Voor De Draai wordt uitgegaan van een temperatuurdaling van gemiddeld ca. 1,6 °C. Hierdoor neemt zowel de fysische zuurstofstroom als de netto biologische zuurstofproductie in het oppervlaktewater toe.

Fysische aëratie is de opname van zuurstof via het wateroppervlak. Deze uitwisseling wordt gedreven door het verschil in het verzadigingszuurstofgehalte enerzijds en het actuele zuurstof gehalte anderzijds. Bij een lagere temperatuur ligt het verzadiging zuurstofgehalte hoger en zal er dus meer zuurstof worden opgenomen via het wateroppervlak. Dit positieve effect kan eventueel nog verder versterkt worden door bij de pomp te beluchten.

Deze toename van het zuurstofgehalte zal een positief effect hebben op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Hierdoor zullen de levensomstandigheden van vooral vissen verbeteren.

5.3.2 Schade aan het leven in het water

Een punt waar aandacht aan besteed moet worden in een definitief ontwerp voor dit concept is de milieuvriendelijkheid van de pomp. De waterpomp die het water langs de warmtewisselaar leidt, verplaatst ook allerlei levende organismen door deze pomp. Er moet dus worden gekozen voor een pomp met minimale schade voor vislarven en dergelijke.

Daarnaast kunnen mosselen en algen zich afzetten in de pomp, ook in dit geval zal een pomp gekozen moeten worden die tegen deze invloeden bestand is en waarvoor de mate van onderhoud beperkt is.

5.3.3 Beïnvloeding van het paargedrag

Een ander aandachtspunt is het seizoen waarin warmte onttrokken wordt aan het oppervlaktewatersysteem. Hoewel er positieve effecten zijn in de zomer en herfst, is het effect in het voorjaar minder positief. Aangezien een lagere watertemperatuur in het voorjaar het paargedrag en ontkiemingsmoment van primaire plantensoorten kan vertragen. In een strenge winter heeft onttrekken ook negatieve gevolgen op de ecologie. Aanbevolen wordt dus warmte te onttrekken in de zomer en eventueel de herfst, maar niet in de andere jaargetijden.

5.4 Mitigerende maatregelen

De combinatie van WKO met regeneratie via oppervlaktewater is nog niet (op grote schaal) toegepast. Het zou echter in principe overal waar voldoende oppervlaktewater beschikbaar is mogelijk moeten zijn.

Het duurzame energieconcept WKO met open bronnen wordt al op vele plaatsen in Nederland toegepast. Het vormt een waardevol concept doordat hiermee niet alleen duurzame warmte, maar ook duurzame koeling geleverd kan worden. Hierdoor levert het naast een goede energieprestatie, ook een comfortabel binnenklimaat op.

Het risico op negatieve effecten door verplaatsing of verspreiding van grondwaterverontreinigingen of het beïnvloeden van bestaande grondwatersystemen wordt beperkt door de strenge eisen die aan nieuwe WKO systemen worden gesteld in de vergunningprocedure. Wanneer niet aan de randvoorwaarden wordt voldaan, wordt geen vergunning afgegeven en kan het nieuwe WKO systeem dus niet worden gerealiseerd.

Belangrijk voordeel van regeneratie via het oppervlaktewater is dat geen in het oog springende installaties voor regeneratie (droge of natte koeltorens) in het bouwproject hoeven worden ingepast. Bovendien heeft een (beperkte) temperatuurdaling positieve effecten op de kwaliteit van het oppervlaktewater.

5.5 Conclusies en aanbevelingen

Er wordt onderscheid gemaakt tussen het WKO systeem dat gebruik maakt van een aquifer en een systeem dat gebruik maakt van oppervlaktewater. Deze twee systemen kunnen los van elkaar gezien worden en hebben zeer verschillende effecten.

Te verwachten effecten van WKO in een aquifer zijn:

- doorboring van slecht doorlatende bodemlagen;

- verplaatsing en menging van grondwater (en mogelijk verontreinigingen) binnen een aquifer;
- beïnvloeding van de hydrologie (grondwaterstromingen) binnen een aquifer;
- (beperkte) verandering van de temperatuur in het grondwater.

Te verwachten effecten van regeneratievoorziening op basis van oppervlaktewater zijn:

- verstoring van het aquatische leven door het verplaatsen van water (pompen) en veranderingen van de temperatuur van het oppervlaktewater;
- minder algengroei door circulatie van het water (positief effect).

Het duurzame energieconcept waarbij WKO in een aquifer plaatsvindt wordt al op vele plaatsen in Nederland toegepast. Het risico op negatieve effecten door verplaatsing of verspreiding van grondwaterverontreinigingen of het beïnvloeden van bestaande grondwatersystemen wordt beperkt door de strenge eisen die worden gesteld in de vergunningprocedure.

De combinatie van WKO met regeneratie via oppervlaktewater is nog niet (op grote schaal) toegepast, maar overall inpasbaar waar voldoende oppervlaktewater beschikbaar is. Beschadiging van organismen door circulatiepompen kan worden voorkomen door niet het oppervlaktewater zelf rond te pompen, maar kunststof slangen door het oppervlaktewater te leiden en hier het water doorheen te pompen.

6 Aquatische Biomassa

Met aquatische biomassa worden in dit rapport algen en fotosynthetiserende cyanobacteriën bedoeld (strikt genomen behoren alle in het water levende algen, planten, vissen, zoodieren, amfibieën, schelpdieren, micro-organismen etc. tot aquatische biomassa). Algen hebben recentelijk veel aandacht als nieuwe biomassa-bron voor de productie van hernieuwbare energie ontvangen. De belangrijkste redenen hiervoor zijn dat algen:

- een hoge biomassa-opbrengst per eenheid van licht en gebied kunnen hebben;
- een (zeer) hoog olie of een zetmeelgehalte kunnen hebben;
- de kweek vereist geen landbouwgrond;
- zoet water is niet essentieel;
- afvalwater en mest kunnen als nutriëntenbron dienen;
- verbrandingsgassen kunnen als CO₂ = koolstofbron dienen;
- de zee kan ingezet worden als biomassa productie ruimte.

Het eerste onderscheid dat gemaakt moet worden is tussen macroalgen (of zeewier) en microalgen. Er bestaan vele verschillende soorten microalgen, met sterk verschillende samenstellingen. Ze leven als losse cellen of kolonies zonder enige specialisatie. Hoewel dit de kweek gemakkelijker en beter controleerbaar maakt, is het oogsten door het kleine formaat (enkele micrometers) ingewikkelder. Macroalgen zijn wat minder veelzijdig, en minder soorten zijn geschikt voor massale kweek, maar kunnen direct in zee gekweekt worden, terwijl microalgen door dispersie verloren zouden gaan.

Dit betekent dat de kweeksystemen voor microalgen compleet anders zijn dan die voor macroalgen, en ook andere karakteristieken verschillen. Beide soorten worden in dit hoofdstuk behandeld. Indien dit van toepassing is, wordt het verschil tussen micro- en macroalgen aangegeven.

6.1 Effecten

De milieueffecten van aquatische biomassa zijn vaak tweezijdig: er zijn enkele belangrijke milieuvoordelen, maar ook enkele nadelen die zoveel mogelijk vermeden moeten worden.

Algen gebruiken CO₂ als koolstof bron, en helpen dus dit broeikasgas voor een periode vast te leggen. De hoeveelheid varieert, 1 ton algen biomassa legt typisch 1,8 ton CO₂ vast. Vele algen zouden direct kunnen groeien op verbrandingsgas van bijvoorbeeld een energie centrale. De groei wordt zelfs gestimuleerd door de hogere CO₂ concentratie. CO₂ toevoer op open zee is onpraktisch.

Algen hebben ook nutriënten nodig, maar in plaats van kunstmest kan ook afvalwater of mest als bron dienen. Het is zelfs mogelijk om een deel van de algen biomassa in te zetten als organische bemesting, waardoor kunstmest verbruik wordt vermeden^{24, 25}. Door de kweek van algen in geëutrofeerd (zee of zoet) water kan dit milieuprobleem verlicht worden. Door algenkweek te combineren met viskweek, kan de nutriënten uitstoot van viskweek verminderd worden. Als op zee bemesting wordt toegepast, zal een deel van de nutriënten weglekken naar de omgeving, en ook afspoeling en afsterving van zeewier kan onnatuurlijke lokale nutriënten concentraties tot gevolg hebben.

Qua ruimtegebruik hoeft algenkweek niet in competitie te gaan met landbouw, zoals vele andere bio-energie bronnen. In Nederland kan bijvoorbeeld verzilte grond ingezet worden. Wereldwijd wordt de hoeveelheid onderontwikkeld land in droge gebieden, met toegang tot zeewater, op 130 miljoen hectare geschat²⁶. Maar ook woestijnachtige gebieden met zilt grondwater komen in aanmerking. Naast land kan ook zeeoppervlak ingezet worden. In Nederland heeft ECN hier in 2005 onderzoek naar gedaan en plannen voor een praktijkproef in Zeeland zijn in een vergevorderd stadium. Zowel op land als op zee is productie op grote schaal vereist voor economische haalbaarheid (orde van 1.000 ha²⁷). In Nederland is deze schaalgrootte zeer lastig door het intensieve ruimtegebruik op land en op zee²⁸. Ook kan deze schaalgrootte een significante ecologische impact hebben. Om kweek op kleinere schaal rendabel te maken, is coproductie van een duurder product nodig. Plaagvorming van algen buiten het kweekstelsel zal ook voorkomen moeten worden. Op zee genereert een zeewier kweekstelsel een kraamkamer voor jonge vis, dit kan bijvoorbeeld de kabeljauwstand helpen.

De milieueffecten van energie uit algen, zowel positief als negatief, treden hoofdzakelijk tijdens de algenkweek op. Algenkweek wordt op verschillende plaatsen in Nederland commercieel toegepast, maar niet voor energieproductie. Er zijn wereldwijd nog geen voorbeelden van commerciële productie van bio-energie uit algen. In Nederland bestaat al een grote onderzoekscapaciteit, met verschillende universiteiten, hogescholen, instituten en bedrijven die betrokken zijn onderzoek naar energie uit algen.

6.1.1 Macroalgen kweek op zee: ruimte

Het totale areaal beschikbaar voor biomassa kweek op zee is enorm. Figuur 3 laat de gebieden op de wereld zien met een hoge natuurlijke biomassa productie. Als alleen kustgebieden beschouwd worden, tot 25 km uit de kust, is er een areaal van 370 miljoen ha beschikbaar²⁸. Een ander voorbeeld is algen kweek in windparken, het wereldwijde areaal voor windparken is 550 ha²⁹.

Veel van de ruimte op zee heeft bestaande functies, dit geldt zeker voor Nederland. Gedacht moet worden aan functies als natuurgebied, recreatie, zeevaart routes, visserij, militair oefenterrein en offshore infrastructuur.

winnen. Nutriënten kunnen de limiterende groei factor zijn. Bemesting is mogelijk, maar niet alle nutriënten zullen door de macroalgen opgenomen worden. Bemesting wordt dus bij voorkeur vermeden (ook om financiële redenen), of ten minste in lagere mate dan wordt afgevoerd via het geproduceerde zeewier. Zelfs in dat scenario kunnen de verhoogde nutriënten concentraties direct na het bemesten negatieve gevolgen hebben, zoals algenbloei. In dit kader is het interessant om specifiek het nutriënt fosfaat te noemen. Dit wordt vooral geproduceerd in mijnen, en is dus in feite een fossiele grondstof, waarvoor uitputting dreigt. Na inzet als (kunst)mest zal een deel via het oppervlaktewater de zee bereiken. Via zeewierkweek kan dit terug gewonnen worden.

6.1.3 Macroalgen kweek op zee: Ecologische effecten

Door gebrek aan praktijkonderzoek zijn mogelijke effecten van zeewierteeltsystemen op de migratie van zeezoogdieren zoals bruinvissen nog onduidelijk. Het mag niet mogelijk zijn dat zeezoogdieren in de kweekconstructie verstrikt kunnen raken. Daarnaast moeten voor zeer grootschalige systemen ook de mogelijke effecten worden onderzocht op golfpatronen en kustvorming, lokale klimaateffecten en de effecten op visserij en recreatie. Zeewierenteelt kan mogelijk bijdragen aan versterking van de biodiversiteit. De zeewieren en de kweekconstructies zullen een aanhechtingsplaats bieden voor andere sessiele organismen. Daarnaast kunnen de zeewieren voedsel en beschutting bieden voor diersoorten zoals vissen. Door het uitzetten van pootvis in het teeltsysteem kan een “broedkamer” worden gerealiseerd voor jonge vis zodat het systeem een bijdrage levert aan herstel van de visstanden in de Noordzee³⁰.

6.1.4 Microalgen kweek op land: ruimte

Een groot voordeel van algenkweek is dat land met een lage economische waarde ingezet kan worden. Zo wordt competitie met landbouw vermeden, terwijl veel laagwaardige locaties als woestijnen een hoge lichtinstraling ontvangen. Een lage economische waarde wil allerm minst zeggen dat het areaal ook een lage ecologische waarde heeft. Zeker grote schaal systemen kunnen significante effecten op de ecologie hebben. In Nederland is ruimte met een lage economische waarde overigens schaars.

6.1.5 Microalgen kweek op land: Broeikasgassen

De meeste broeikasgas effecten benoemd in 6.1.1 gelden ook voor microalgen. Systemen op land hebben als extra voordeel dat verbrandingsgassen ingezet kunnen worden voor algenkweek. Behalve 1,8 ton CO₂ opname door iedere ton algen, kunnen algen ook de schadelijke gassen NO_x en SO₂ verwijderen³¹.

6.1.6 Microalgen kweek op land: Nutriënten

Het gebruik van kunstmest is in veel gevallen de gemakkelijkste oplossing, maar niet de goedkoopste, noch de duurzaamste. Alternatieve bronnen zijn mest, afvalwater, industrieel nutriëntrijk afval en gerecyclede nutriënten. Deze bronnen kunnen toch zware metalen, medicijnresten en andere vervuilingen bevatten, en daarnaast ook micro-organismen die een negatief effect op algengroei kunnen hebben. Het is belangrijk dat wanneer nutriënten niet (compleet) gerecycled worden, deze geen milieuschade aanrichten. Zoals in alle industrieën, moet voldoende aandacht worden besteedt aan de verwerking van afvalstromen.

6.1.7 Microalgen kweek op land: Waterverbruik

Het feit dat veel algen gekweekt kunnen worden in zout water is één van de belangrijkste voordelen. In het geval van open systemen zal verdamping optreden, wat met zoet water aangevuld moet worden, om ophoping van zouten en afvalstoffen te voorkomen. Ook een deel van het kweekmedium regelmatig vervangen met water met een lagere zoutconcentratie is een optie³². In gesloten systemen kan water niet eindeloos gerecycled worden, vanwege ophoping van afvalstoffen. Afvalwater van zoutwater kweeksystemen kan niet op het riool geloosd worden.

6.2 Conclusies en aanbevelingen

De milieueffecten van energie uit algen (microalgen), kunnen negatief zijn maar ook zeker positief. Algen gebruiken CO₂ als koolstof bron, en helpen dus dit broeikasgas periodiek vast te leggen. Vele algen kunnen direct groeien op verbrandingsgas van bijvoorbeeld een energiecentrale, de groei wordt zelfs gestimuleerd door de hogere CO₂ concentratie. Algen hebben ook nutriënten nodig, maar in plaats van kunstmest kan ook afvalwater of mest als bron dienen, of nutriënten kunnen worden gerecycled. Combinatie met waterzuivering kan derhalve synergie voordelen bieden.

Ook zeewier (macroalgen) neemt CO₂ op. Overdag wordt zuurstof geproduceerd. Een hogere zuurstof concentratie helpt de microbiologische uitstoot van de broeikasgassen methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) verminderen. In het donker daarentegen, nemen zeewier en alle andere aerobe organismen zuurstof op, wat de uitstoot van genoemde broeikasgassen kan stimuleren en in extreme gevallen een negatieve impact op vissen hebben. Door de opname van stikstof door zeewier kan de natuurlijke uitstoot van N₂O verminderen. Afgebroken en afgestorven biomassa kan deels microbiologisch omgezet worden in methaan. Het netto broeikasgaseffect is nog onduidelijk.

Zeewier neemt ook nutriënten op uit het water. Het nutriënt fosfaat wordt vooral gewonnen in mijnen, en is dus in feite een fossiele grondstof, waarvoor uitputting dreigt. Na inzet als (kunst)mest zal een deel via het oppervlaktewater de zee bereiken. Een deel kan via zeewierkweek terug gewonnen worden waarmee zeewierkweek een positief effect op de nutriënthuishouding kan hebben. Door gebrek

aan praktijkonderzoek zijn mogelijke effecten van zeewierteeltsystemen op de migratie van zeezoogdieren zoals bruinvissen nog onduidelijk. Zeewierteelt kan mogelijk bijdragen aan versterking van de biodiversiteit. De zeewieren en de kweekconstructies zullen een aanhechtingsplaats bieden voor andere sessiele organismen. Daarnaast kunnen de zeewieren voedsel en beschutting bieden voor diersoorten zoals vissen. Door het uitzetten van pootvis in het teeltsysteem kan potentieel een “broedkamer” worden gerealiseerd voor jonge vis zodat het systeem een bijdrage levert aan herstel van de visstanden in de Noordzee.

Algenconcepten hebben uiteenlopende positieve milieueffecten, vaak uniek voor dit organisme. Ook bestaan er mogelijke nadelige milieueffecten als gevolg van kunstmest gebruik en verstoring van ecosystemen, maar geen enkele van deze effecten lijkt onoverkoombaar. Kweeksystemen op zee dienen verder te worden ontwikkeld, en ook de milieueffecten zijn risicovoller en minder goed bekend.

Kansen voor positieve milieueffecten algenteelt en zeewierenkweek:

- Periodieke vastlegging CO₂;
- Zuivering van afvalwaterstromen;
- Terugwinning uitgespoelde nitraten en fosfaten;
- Functie als kraamkamer voor vis.

7 Kleinschalige (gestuwde) waterkracht

In Nederland staan vier “grotere” waterkracht centrales: In bij Hagestijn in de Lek (1,8 MW uit 1958), Maurik in de Nederrijn (10MW uit 1988), bij Linne in de Maas (11,5 MW, 1989) en bij Lith in de Maas (14 MW, 1990).

De centrale in het Midden-Limburgse dorp Linne staat sinds 1989 naast een stuw in de Maas. De Maas heeft hier een verval van zo’n 4 meter. Om het Maaswater met extra veel kracht de centrale in te leiden, zijn aan elke kant van de centrale twee damwanden geplaatst. Deze wanden fungeren als een trechter voor het instromende water. In de rivier is een vistrap aangelegd om stroomopwaarts zwemmende vissen het hoogteverschil te laten overbruggen. De centrale bij Linne heeft een maximaal vermogen van 11,5 megawatt (MW) en levert jaarlijks circa 35 GWh elektriciteit.

7.1 Effecten

De te verachten effecten van kleinschalige toepassingen van waterkracht zijn:

- Ecologische schade door vissterfte;
- Barrière voor scheepvaart en recreatievaart;
- Schade voor beroeps- en sportvisserij.

7.1.1 Vissterfte³³

Van trekvissen is bekend dat zij zich over een grote afstand van de rivier naar de zee en weer terug verplaatsen, om zich voort te planten en op te groeien. Ook rivierstandvissen, die normaal gezien binnen een bepaald gebied blijven, verplaatsen zich over kleinere of grotere afstanden om hun overlevingskansen te vergroten. In de Maas komen 26 beschermde soorten voor. Voor deze vissen vormen waterkrachtcentrales bij stroomafwaartse migratie een barrière. De turbines van de centrales liggen namelijk in de hoofdstroom, waardoor zij zonder visgeleiding in de turbine terecht komen. Vissen die door de turbine inlaat zwemmen kunnen:

- gewond raken of dodelijk getroffen worden door de schoepen van de turbine;
- beschadigingen oplopen aan hun zwemblaas door het drukverschil over de turbine, hieraan kunnen ze later alsnog sterven;
- breken of verwondingen oplopen als gevolg van de hoge turbulentie;
- sterven door gasbelvorming als gevolg van zuurstofoververzadiging.

De mate waarin visschade optreedt is afhankelijk van:

- vissoort (gedrag, kwetsbaarheid);
- lengte van de vis (leeftijd);
- type, rotatiesnelheid en diameter van de turbine;
- lokale omstandigheden (aanstroming).

Uit onderzoeken naar visschade bij trekvissen blijkt dat ongeveer een vijfde van de trekvissen de passage van een waterkrachtcentrale niet overleeft. Tot nu toe is er nog geen onderzoek gedaan naar de visschade van rivierstandvissen bij waterkrachtcentrales, omdat altijd werd aangenomen dat rivierstandvissen geen grote afstanden afleggen. Er is ook weinig bekend over uitgestelde sterfte door inwendig letsel.

Bij trek over langere afstanden, moet rekening gehouden worden met het cumulatieve effect van meerdere waterkrachtcentrales. Als een vis per waterkrachtcentrale een overlevingspercentage van 80% heeft, heeft hij na het passeren van vijf waterkrachtcentrales nog maar een overlevingskans van 33%.

7.1.2 Barrière voor scheepvaart en recreatievaart

Door het aanleggen van stuwen en dammen voor kleinschalige waterkracht zou de situatie zich voor kunnen doen dat de doorgang voor commerciële scheepvaart en recreatievaart geheel geblokkeerd wordt. Hierdoor zal de scheepvaart vanwege het nemen van alternatieve routes financiële schade oplopen en zal het desbetreffende gebied niet meer aantrekkelijk zijn voor de recreatievaart.

7.1.3 Schade voor beroeps- en sportvisserij

De schade voor beroeps- en sportvisserij hangt nauw samen met het eerst genoemde effect: vissterfte. In het geval van grootschalige vissterfte zullen beroepsvissers schade oplopen door het niet kunnen benutten van de aanwezige vis en zal het gebied haar aantrekkelijkheid verliezen voor de sportvisserij.

7.2 Mitigerende maatregelen

7.2.1 Vissterfte³⁴

De vissterfte bij waterkrachtcentrales kan teruggebracht worden door:

- Visgeleidingssystemen;
- Ecologisch turbinebeheer.

Visgeleidingssysteem

Een visgeleidingssysteem moet voorkomen dat de vissen die stroomafwaarts zwemmen in aanraking komen met de turbine van een waterkrachtcentrale. Er zijn twee soorten visgeleidingssystemen:

- de mechanische systemen
- de gedragssystemen

Mechanische systemen zijn fysieke barrière, voorbeelden zijn de vistrap en de hevelvispassage. Bij een vistrap kan de vis een dijk, stuw of sluis passeren, doordat een deel van het water via een omleiding loopt, waarin het hoogteverschil is opgedeeld in kleine stapjes die wel passeerbaar zijn voor vissen. De passeerbaarheid

van de vistrap is afhankelijk van de hoogte van de traptreden en het zwemvermogen van vissoorten. Bij een hevelvispassage wordt het water met behulp van pompen over de dijk heen gepompt, waardoor ook vissen kunnen passeren (zie Figuur 4).

Bij gedragssystemen wordt geprobeerd om het natuurlijke gedrag van de vissen te beïnvloeden door prikkels van buitenaf, zoals licht, geluid, hydromechanische prikkels en elektriciteit. Gedragssystemen werken minder goed dan mechanische visgeleiding, omdat de werking soortenspecifiek is. Omdat gedragssystemen een stuk goedkoper zijn dan mechanische barrières, wordt er toch veel aandacht aan dit systeem besteed.



Figuur 4 Hevelvispassage op een stuw in de Hertogswetering in het Brabantse Berghem

Aan de hand van (buitenlands) onderzoek is redelijk in te schatten wat de vis schade bij de verschillende visgeleidingssystemen zal zijn. Omdat de werking van een visgeleidingssysteem afhankelijk is van vele omgevingsfactoren zal monitoring nodig zijn. Met behulp van de monitoring kan gecontroleerd worden of het systeem aan de gestelde voorwaarden, bijvoorbeeld de maximaal aanvaardbare vissterfte, voldoet. Ook zal er aandacht besteedt moeten worden aan de onbeweeglijke levensstadia van vissen, de vizeitjes en vislarven. Om de rivier weer leefbaar te maken voor vissen en andere organismen kunnen nevengeulen gegraven worden die direct in verbinding staan met de rivier, of die gevoed worden door grondwater en alleen met hoog water gevoed worden door de rivier. Er lopen al een aantal projecten dat, onder andere met het aanleggen van nevengeulen, de rivier zijn natuurlijke karakter proberen terug te geven. In deze nevengeulen kunnen de verschillende waterorganismen (waaronder de vogels, vissen en amfibieën) een plek vinden om te schuilen, rusten, eten of zich voort te planten.

Ecologisch turbinebeheer

Een andere manier om de vissterfte te beperken is het gebruik van ecologisch turbinebeheer. Hierbij worden de turbines van een waterkrachtcentrale tijdens de massale trek van bijvoorbeeld de paling tijdelijk stopgezet, indien monitoring aangeeft dat de trek een bepaald niveau (binnenkort) bereikt. De effectiviteit is sterk afhankelijk van de nauwkeurigheid van de monitoring en de ervaringsdeskundigheid. Niet alle vis van een soort trekt namelijk op hetzelfde moment op dezelfde plaatsen in

de rivier. Ook bestaat een grote kans op storingen van de centrales bij toepassing van deze methodes.

7.2.2 Barrière voor scheepvaart en recreatie

In Nederland worden alleen bestaande dammen en civiele infrastructuur gebruikt waardoor het aantal obstakels voor scheepvaart en recreatie niet toeneemt.

7.2.3 Schade voor beroeps- en sportvisserij

De mitigerende maatregelen die bij het effect vissterfte genoemd worden zullen als gevolg hebben dat de schade voor de beroeps- en sportvisserij beperkt blijft tot een minimum.

7.3 Conclusies en aanbevelingen

De te verwachten effecten van kleinschalige toepassingen van waterkracht zijn:

- Ecologische schade door vissterfte;
- Barrière voor scheepvaart en recreatievaart.

Waterkrachtcentrales vormen een gevaarlijke barrière. De turbines van de centrales liggen namelijk in de hoofdstroom, die vissen instinctief gebruiken. Daarom komen zij zonder visgeleiding in de turbine terecht. Bij trekvissen, maar ook bij rivierstandvissen die grotere afstanden in de rivier afleggen, moet rekening gehouden worden met het cumulatieve effect van meerdere waterkrachtcentrales in de loop van een rivier. Als een vis per waterkrachtcentrale een overlevingspercentage van 80% heeft, heeft deze na het passeren van vijf waterkrachtcentrales nog maar een overlevingskans van 33%.

Door het aanleggen van stuwen en dammen voor kleinschalige waterkracht zou de situatie zich voor kunnen doen dat de doorgang voor commerciële scheepvaart en recreatievaart geheel geblokkeerd wordt. De schade voor beroeps- en sportvisserij hangt nauw samen met het eerst genoemde effect: vissterfte.

De vissterfte bij waterkrachtcentrales kan teruggebracht worden door:

- Visgeleidingssystemen;
- Ecologisch turbinebeheer (wat leidt tot suboptimale energieopwekking).

Een visgeleidingssysteem moet de vissen die met de stroom mee naar beneden zwemmen naar een bypass of vistrap leiden en voorkomen dat de vissen in aanraking komen met de turbine van een waterkrachtcentrale. Sinds 2002 zijn visgeleidingssystemen verplicht bij waterkrachtcentrales in Nederland. Bij ecologisch turbinebeheer worden de turbines van een waterkrachtcentrale tijdens de massale trek van bijvoorbeeld de paling tijdelijk stopgezet.

8 Referenties

- ¹ IEA 2006
- ² European Thematic Network on Wave Energy, Environmental Impact, NNE5-1999-00438, WP 3.3, Final Report, January 2003
- ³ Soerensen, H.C. et al.: Offshore Wind – Ready to Power a Sustainable Europe. EU Concerted Action on Offshore Wind Energy in Europe, Delft 2001
- ⁴ SEAS Rødsand Offshore Wind Farm, Environmental Impact Assessment, EIA Summary Report, 2000
- ⁵ Niklasson, G, “Bockstigen-Valar 2.5 MW Offshore Wind Farm”, in. Offshore Wind Energy in Mediterranean and Other European Seas, OWEMES 97, Sardinia, 10-11 April 1997
- ⁶ Thorpe, T. W., Social & Environmental Implications of Marine Renewables. AEA Technology Report, 2001
- ⁷ Larsson, A-K, Trials of the construction of the offshore windpowerpark in Nogersund, 2000
- ⁸ Schleisner, L. and Nielsen, P, Environmental External Effects from Wind Power Based on the EU ExternE Methodology, European Wind Energy Conference and Exhibition, Dublin, 6-9 October 1997
- ⁹ European Commission, DGXII, Science, Research and Development, JOULE, Externalities of Energy, ‘ExternE’ Project, Volume 4. Oil and Gas. (EUR 16523 EN). Part II. The Natural Gas Fuel Cycle”, 1995
- ¹⁰ Thorpe, T. W., Social & Environmental Implications of Marine Renewables. AEA Technology Report, 2001
- ¹¹ Thorpe, T. W., Social & Environmental Implications of Marine Renewables. AEA Technology Report, 2001
- ¹² Thorpe, T. W., Economic Aspects of Wave Energy. A report produced for the DGXII of the European Commission. Draft version November 2001
- ¹³ Hammarlund, K., Wind Power in View: Energy Landscapes in a Crowded World, University Press, U.S.A., 2002
- ¹⁴ Ecofys, Energiewinning uit getijdstroom energie in de Oosterschelde, E 45074.1, 2004
- ¹⁵ Triton Consultants Ltd., Green Energy Study for British Columbia, Phase 2: Mainland, Tidal Current Energy, Vancouver, 24 oktober 2004
- ¹⁶ Triton Consultants Ltd., Green Energy Study for British Columbia, Phase 2: Mainland, Tidal Current Energy, Vancouver, 24 oktober 2004
- ¹⁷ Ecofys, Energie uit zout en zoet water met osmose, 17 oktober 2007 in opdracht van het Energie-Nul programma van Rijkswaterstaat
- ¹⁸ Ecofys, Energie uit zout en zoet water met osmose, 17 oktober 2007 in opdracht van het Energie-Nul programma van Rijkswaterstaat

- ¹⁹ Skilhagen S. E. 2006. Osmotic power - Power production based on the osmotic pressure difference between fresh water and sea water Owemes 2006, 20-22 April. Citavecchia, Italy. Beschikbaar via <http://192.107.92.31/test/owemes/35.pdf>
- ²⁰ TU Delft, Alternatieve aangroeibestrijding bij transport van Biesbosch-water, oktober 1995
- ²¹ Land + Water, Rijkswaterstaat schetst voorontwerp spuisluis Afsluitdijk, nr 5. mei 2004
- ²² Deltares; Interview met Luca van Duren
- ²³ Land + Water, Nieuwe spuisluis Afsluitdijk spaart Waddenzee en voert voldoende af (2), nr 6/7 juni 2004
- ²⁴ Mulbry, W., Kondrad, S. and Buyer, J. (2008). "Treatment of dairy and swine manure effluents using freshwater algae: fatty acid content and composition of algal biomass at different manure loading rates." *Journal of Applied Phycology* 20(6): 1079-1085
- ²⁵ Yun, Y. S., Lee, S. B., Park, J. M., Lee, C. I. and Yang, J. W. (1997). "Carbon dioxide fixation by algal cultivation using wastewater nutrients." *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 69(4): 451-455
- ²⁶ Glenn, E. P., Brown, J. J. and O'Leary, J. W. (1998). "Irrigating crops with seawater." *Scientific American* 279(2): 76-81
- ²⁷ Wijffels, R. H. (2008). "Potential of sponges and microalgae for marine biotechnology." *Trends Biotechnol.* 26(1): 26-31
- ²⁸ Florentinus, A., Hamelinck, C., Lint, S. d. and Iersel, S. v. (2008). *Worldwide Potential Of Aquatic Biomass*. Utrecht, Ecofys
- ²⁹ Hoogwijk, M. (2004). *On the global and regional potential of renewable energy sources*. Faculteit Scheikunde. Utrecht, Universiteit Utrecht. PhD Thesis
- ³⁰ Grondstoffen, P. G. (2007). *Groenboek energietransitie*. Sittard, Platform Groene Grondstoffen
- ³¹ Daniello, O. (2005). "A fuel based on algae oil" *Biofutur*(255): 33-36
- ³² Neenan, B., Feinberg, D., Hill, A., McIntosh, R. and Terry, K. (1986). *Fuels from microalgae: Technology status, potential, and research requirements*: Size: Pages: 171
Waterinnovatieprogramma Rijkswaterstaat (WINN), 2007
Stichting Reinwater, Position Paper Visgeleidingssystemen bij waterkrachtcentrales, januari 2004
Stichting Reinwater, Vissen op reis, over de problemen van migrerende vissen
Waterinnovatieprogramma Rijkswaterstaat (WINN), 2007
Stichting Reinwater, Position Paper Visgeleidingssystemen bij waterkrachtcentrales, januari 2004
Stichting Reinwater, Vissen op reis, over de problemen van migrerende vissen
- ³³ Gebaseerd op http://www.vissenkunjenietmissen.nl/docs/PP_Waterkrcentr.pdf
- ³⁴ Gebaseerd op www.reinwater.nl/docs/BR_Vissen_op_reis.pdf+5223+RW+Ptocht+brochure+A5&cd=

1&hl=nl&ct=clnk&gl=nl en

http://www.vissenkunjenietmissen.nl/docs/PP_Waterkrcentr.pdf