

# **Windenergie op zee als onderdeel van de duurzame energiedoelstelling**

**Informatie ten behoeve van een PlanMER Noordzee  
van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat**

**P. Lako**

**L.W.M. Beurskens**

## Verantwoording

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van Royal Haskoning en kan worden gebruikt voor het opstellen van een PlanMER voor het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. De PlanMER is bedoeld voor herziening van de Structuurvisie Noordzee, waarin onder meer wordt onderzocht of er voor een vermogen van 6.000 MW aan offshore wind in 2020 alternatieve oplossingsrichtingen bestaan. De studie is bij ECN geregistreerd onder projectnummer 6.00239.

## Abstract

This study on behalf of Royal Haskoning is meant to provide an overview of the potential of renewable energy in the Netherlands in 2020, in particular on the extent to which new renewable energy options could provide an alternative for the envisioned 6000 MW offshore wind on the Dutch section of the North Sea in 2020 which in general is thought to be required for the original target of 20% renewable energy as a fraction of the primary energy use in 2020. The current projection of renewable energy shows that all renewable options for electricity, heating and cooling, and transport have to be exploited and even up to their maximum practical limits based on current and envisioned renewable energy policies, in order to attain the current target within the European framework of 14% renewable energy as a fraction of the gross final energy use of the Netherlands in 2020. There are a few options that could provide some alternative, notably aquatic biomass, tidal power, and the so-called 'Blue Energy' technology (salinity gradient power). However, these options are still largely in the research and development stage and some have a more limited potential than offshore wind power. None of those options may pose a quantitative or cost-effective alternative to 6000 MW offshore wind in 2020.

# Inhoud

Lijst van tabellen	4
Lijst van figuren	4
Samenvatting	5
1. Inleiding	7
1.1 Nut en noodzaak of rationale van deze studie	7
1.2 Hernieuwbare energie in 2020 volgens de huidige inzichten	7
2. Duurzame energie in 2020	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Elektriciteit	9
2.3 Warmte	11
2.4 Transport	12
3. Duurzame alternatieven voor 6000 MW offshore wind	14
3.1 Inleiding	14
3.2 Aquatische biomassa	14
3.3 Getijdenenergie	17
3.4 Blue Energy	19
3.5 Valmeer	21
4. Conclusies en aanbevelingen	23
Referenties	26
Internet bronnen	28

## Lijst van tabellen

Tabel 2.1	<i>Potentieel hernieuwbare elektriciteitsopwekking in Nederland in 2020</i>	10
Tabel 2.2	<i>Potentieel hernieuwbare warmte/koude opwekking in Nederland in 2020</i>	12
Tabel 2.3	<i>Potentieel hernieuwbare energie in de transportsector in Nederland in 2020</i>	13
Tabel 3.1	<i>Potentieel van zeewierooft in combinatie met offshore wind 2010-2020</i>	15

## Lijst van figuren

Figuur 3.1	<i>Meervoudig ruimtegebruik door combinatie van offshore windparken</i>	15
Figuur 3.2	<i>Zeediptekaart Nederlandse Exclusieve Economische Zone</i>	16
Figuur 3.3	<i>Locatie Brouwersdam met mogelijke getijdencentrale van 50-65 MW</i>	17
Figuur 3.4	<i>Artist impression OceanGen getijdenstroom installatie Strangford Lough, VK</i>	18
Figuur 3.5	<i>Artist impression Rotech Tidal Turbine (RTT) van Lunar Energy, VK</i>	19
Figuur 3.6	<i>Prototype PRO centrale Statkraft bij Tofte, Oslo fjord</i>	20
Figuur 3.7	<i>Artist impression PRO centrale bij de Afsluitdijk</i>	20
Figuur 3.8	<i>Artist impression valmeer voor elektriciteitsopslag op de Noordzee</i>	22

## Samenvatting

De EU heeft als doel om in 2020 met duurzame energie in 20% van het bruto finale energiegebruik te kunnen voorzien, terwijl de doelstelling voor Nederland is om met hernieuwbare energie (wind, biomassa, zon, water, aardwarmte, en dergelijke) in 14% van de bruto finale energievraag in 2020 te voorzien. Voor elektriciteit zijn de voornaamste hernieuwbare bronnen wind op zee, wind op land, en elektriciteit op basis van vaste biomassa, inclusief het biogene afval in afvalverbranding. Voor warmte zijn de belangrijkste hernieuwbare bronnen biomassaverbranding (al dan niet op basis van warmte/kracht), groen gas op basis van (voornamelijk) biomassaver-gassing, warmtepompen en koude/warmte opslag, vergisting van biomassa (al dan niet op basis van warmte/kracht) en diepe aardwarmte. Tot 2020 zijn de belangrijkste hernieuwbare vormen van energie voor het transport biodiesel en bioethanol of andere biobrandstoffen die kunnen worden bijgemengd bij benzine.

Het kabinet Balkenende IV heeft als doelstelling voor 2020 gedefinieerd om in 20% van het primaire energiegebruik te voorzien door middel van duurzame energiebronnen. Het beoogde offshore windvermogen van 6.000 MW vormt een belangrijk onderdeel van de realisatie van deze ambitie. Is een vermogen van 6.000 MW wind op zee inderdaad nodig om de 20 % doelstelling in 2020 te realiseren, of zijn er goede alternatieven denkbaar? Dit is een van de centrale vraagstellingen van de herziening van de Structuurvisie Noordzee. In dit verband heeft Royal Haskoning ECN Beleidsstudies gevraagd om de meest kansrijke duurzame alternatieven ter (gedeeltelijke) vervanging van 6.000 MW wind op zee in 2020 te onderzoeken.

Deze studie onderscheidt drie hernieuwbare energieopties die een vervanging zouden kunnen vormen voor een deel van het voorziene vermogen van 6.000 MW offshore wind in 2020, namelijk aquatische biomassa ofwel zeevieren, getijdenenergie en een optie aangeduid als 'Blue Energy'. Blue Energy is een synoniem voor elektriciteitsopwekking op basis van de zoet-zout gradiënt. Deze hernieuwbare opties hebben twee onderscheidende kenmerken, namelijk dat ze minder ver ontwikkeld zijn dan offshore wind en dat hun potentieel kleiner is dan dat van offshore wind. Daarnaast kunnen deze opties significant duurder zijn dan offshore wind.

Aquatische biomassa ofwel zeevieren hebben een substantieel potentieel in Nederland. Echter, deze optie bevindt zich nog in het stadium van onderzoek en ontwikkeling, met nadruk op onderzoek. Invoering vergt een langjarig onderzoek-, ontwikkeling- en demonstratieprogramma. Het is daarom vrijwel uitgesloten dat zeevieren voor het jaar 2020 een substantiële bijdrage kunnen leveren aan de Nederlandse energievoorziening of aan de voorziening van grondstoffen van de Nederlandse chemische industrie.

Getijdenenergie kan worden benut door middel van een (bestaande) dam - wat vergelijkbaar is met waterkracht - of door middel van getijdinstroom energie. Met de eerstgenoemde mogelijkheid wordt reeds rekening gehouden in het hierboven aangegeven potentieel van hernieuwbare energie in 2020, namelijk als onderdeel van waterkracht. Getijdinstroom energie is in het stadium van onderzoek, ontwikkeling en demonstratie. Er is wereldwijd een tiental concepten ontwikkeld. Getijdinstroom energie heeft in Nederland een beperkt potentieel, vergelijkbaar met getijdenenergie op basis van een bestaande dam. Ook is deze optie duurder dan offshore wind. De optie kan dus kwantitatief en qua kosten geen alternatief zijn voor 6.000 MW offshore wind.

Blue Energy - benutting van de potentiaal van de zoet-zout gradiënt - bevindt zich in een vroeg ontwikkelingsstadium. Er bestaan slechts enkele operationele prototype installaties. Alleen in Noorwegen en Nederland vindt er een significante onderzoeksinspanning plaats. Bij succesvolle RD&D kan 'osmose energie' worden opgeschaald van de huidige kW schaal tot ca. 10 MW in 2020. De technologie komt dus te laat om een alternatief te zijn voor 6.000 MW offshore wind.

Tot slot geeft de studie een summier overzicht van het concept van een valmeer, het Nederlandse equivalent van een pompaccumulatie centrale, een centrale die bedoeld is om een systeem van elektriciteitsopwekking te optimaliseren, niet om hernieuwbare energie op te wekken. De techniek wordt dus voorgesteld om het elektriciteitsopwekkingsysteem efficiënter te laten werken en om grote hoeveelheden wind op land en op zee te integreren. Echter, de technisch-economische haalbaarheid hiervan is nog niet onomstotelijk aangetoond. Ook zijn er alternatieve concepten voor grootschalige elektriciteitsopslag. Nieuwe of sterkere hoogspanningsverbindingen met omliggende landen - Duitsland, België, Noorwegen, op korte termijn ook het Verenigd Koninkrijk en in de toekomst waarschijnlijk ook Denemarken - kunnen op termijn een deel van de problematiek van inpassing van intermitterende elektriciteitsbronnen (wind op land en op zee) opvangen.

Resumerend kan worden gesteld dat het belang van duurzame energie als alternatief voor fossiele brandstof geen theoretisch vraagstuk is, maar dat de noodzaak ervan vast staat. Als belangrijkste redenen worden daarvoor genoemd de klimaatverandering, de slinkende voorraden (makkelijk winbare) fossiele brandstoffen en de afhankelijkheid van landen in instabiele regio's. De discussie rondom de 'beste' vorm van duurzame energie is divers en complex. Elke vorm van alternatieve, duurzame energieopwekking kent zijn voor- en nadelen. Windenergie op land heeft een aantal bekende nadelen, zoals geluidoverlast, horizonvervuiling en slechte inpasbaarheid in het landschap. Voor wind op zee gelden andere nadelen, die soms als minder bezwaarlijk worden gezien als die van wind op land. Deels is dit alles ook een kwestie van voorkeur. Uit voorliggende onderbouwing blijkt dat de doelstelling voor duurzame energieopwekking in 2020 niet zonder een aanzienlijk vermogen van wind op zee kan worden gerealiseerd. Er zijn enkele alternatieve opties voor duurzame energieopwekking die op langere termijn perspectief bieden, maar die nu nog in het stadium van onderzoek en ontwikkeling zijn. Grootschalige toepassing ervan vergt technologische doorontwikkeling en kosteneffectieve optimalisatie. Een alternatief, namelijk 'meer van hetzelfde' wat betreft hernieuwbare energie op land stuit op maatschappelijke en ruimtelijke bezwaren op land. Natuurlijk geldt ook voor de grootschalige toepassing van wind op zee dat technologische innovaties en verhoging van kosteneffectiviteit nodig zijn. Maar om de doelstelling voor duurzame energieopwekking in 2020 te realiseren, zullen krachten moeten worden gebundeld, en zal gelijktijdig moeten worden ingezet op alle beschikbare opties.

## 1. Inleiding

ECN Beleidsstudies is door Royal Haskoning gevraagd om een overzicht te geven van het potentieel van hernieuwbare energieopwekking in de periode tot 2020, om - in het licht van een onderbouwing van nut en noodzaak van 'wind op zee' - eventuele alternatieven in beeld te brengen voor de beoogde 6.000 MW offshore wind in 2020. Deze studie kan worden gebruikt voor het opstellen van een PlanMER voor het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. De PlanMER is bedoeld voor besluitvorming over een herziening van de Structuurvisie Noordzee (Nationaal Waterplan), waarin de ruimtereservering voor 6.000 MW aan offshore wind in 2020 aan de orde is.

In verband met deze opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat aan Royal Haskoning presenteert ECN Beleidsstudies in deze studie een overzicht van het potentieel van hernieuwbare energie in Nederland tot 2020, en in het bijzonder een overzicht van duurzame opties die een deel van het equivalent van 6.000 MW offshore wind in 2020 zouden kunnen vervangen.

### 1.1 Nut en noodzaak of rationale van deze studie

Het belang van duurzame energieopwekking als alternatief voor fossiele brandstof is geen theoretisch vraagstuk meer; de noodzaak daarvan staat vast. Als belangrijkste redenen worden daarvoor genoemd de klimaatverandering, de slinkende voorraden (gemakkelijk winbare) fossiele brandstoffen en de afhankelijkheid van landen in instabiele regio's. De discussie rondom de 'beste' vorm van duurzame energie is divers en complex. Elke vorm van alternatieve, duurzame energieopwekking kent zijn voor- en nadelen. Windenergie op land heeft een aantal bekende nadelen, zoals geluidoverlast, horizonvervuiling en slechte inpasbaarheid in het landschap. Voor wind op zee gelden andere nadelen, die soms als minder bezwaarlijk worden gezien als die van wind op land. Deels is dit alles ook een kwestie van voorkeur. Uit voorliggende onderbouwing blijkt dat de doelstelling voor duurzame energieopwekking in 2020 niet zonder een aanzienlijk vermogen van wind op zee kan worden gerealiseerd. Er zijn enkele alternatieve opties voor duurzame energieopwekking die op langere termijn perspectief bieden, maar die nu nog in het stadium van onderzoek en ontwikkeling zijn. Grootschalige toepassing ervan vergt technologische doorontwikkeling en kosteneffectieve optimalisatie. Een alternatief, namelijk 'meer van hetzelfde' wat betreft hernieuwbare energie op land stuit op maatschappelijke en ruimtelijke bezwaren op land. Natuurlijk geldt ook voor de grootschalige toepassing van wind op zee dat technologische innovaties en verhoging van kosteneffectiviteit nodig zijn. Maar om de doelstelling voor duurzame energieopwekking in 2020 te realiseren, zullen krachten moeten worden gebundeld, en zal gelijktijdig moeten worden ingezet op alle beschikbare opties.

### 1.2 Hernieuwbare energie in 2020 volgens de huidige inzichten

Het kabinet Balkenende IV heeft voor 2020 als doelstelling geformuleerd om in 20% van het primaire energiegebruik te voorzien met duurzame energie. In 2008 heeft de EU als doelstelling geformuleerd om in 2020 met duurzame energie in 20% van het bruto finale energiegebruik te kunnen voorzien. Als onderdeel van deze EU-wijde doelstelling heeft Nederland als doelstelling om met hernieuwbare energie (wind, biomassa, zon, water, aardwarmte, en dergelijke) in 14% van de finale energievraag in 2020 te voorzien. Recentelijk hebben ECN Beleidsstudies en het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) de effecten van bestaand en voorgenomen beleid op het aandeel hernieuwbaar doorgerekend. De resultaten hiervan worden in Hoofdstuk 2 (Duurzame energie in 2020) uiteengezet. Zoals in dat hoofdstuk valt te lezen, maakt de genoemde 6.000 MW offshore wind een belangrijk onderdeel uit van plannen om met hernieuwbare ener-

gie in een substantieel deel van de energievraag in 2020 te voorzien. Het huidige en voorgenomen beleid resulteert in een aandeel hernieuwbaar van 14,5% van de bruto finale energievraag. Bij elke sector, waarin hernieuwbare energie kan worden ingezet, namelijk elektriciteit, warmte en transportbrandstoffen zal men zijn uiterste best moeten doen om de gestelde doelen in 2020 te bereiken. De beschrijving in Hoofdstuk 2 verduidelijkt dat meer inzet van ‘hetzelfde’, bijvoorbeeld meer wind op land, meer biomassa inzet dan voorzien, meer zonne-energie enz. geen perspectief biedt om een substantieel deel van het vermogen van 6.000 MW offshore wind te vervangen. Bovendien is er in de praktijk nauwelijks ruimte om tegenvallers binnen een sector (hernieuwbare elektriciteit) binnen een andere sector (warmte, transportbrandstoffen) op te vangen. Anders gezegd: binnen elke sector (voorbeeld: hernieuwbare elektriciteit) moeten de kwantitatieve bijdragen die in Hoofdstuk 2 worden gepresenteerd zo veel mogelijk gerealiseerd worden.

Zijn er dan geen andere duurzame energieopties die in de periode tot 2020 kunnen worden ontwikkeld? Er bestaan inderdaad een paar hernieuwbare opties die weinig aandacht hebben gekregen en die misschien enig soelaas kunnen bieden om een deel van het vermogen van 6.000 MW offshore wind in 2020 te vervangen. Vanuit dit perspectief richt de studie zich in eerste instantie op de volgende ‘alternatieve’ hernieuwbare opties:

- Aquatische biomassa (zeewier).
- Getijdenenergie.
- Blue Energy, verwijzend naar energieopwekking op basis van de zoet-zout gradiënt.

Deze hernieuwbare opties zijn nog in het stadium van onderzoek en ontwikkeling (soms demonstratie). Ook gaat de studie kort in op een zogenoemd valmeer concept op de Noordzee, bedoeld voor elektriciteitsopslag. In het buitenland gebruikt men hiervoor de term pompaccumulatie centrale.

De studie is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de huidige ambities van Nederland en de EU wat betreft hernieuwbare energie. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar elektriciteit, warmte, en transport. Telkens wordt aangegeven hoe de beoogde inzet van hernieuwbare energie is gedacht en in hoeverre deze inzet een realistisch maximum voor het jaar 2020 is. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van hernieuwbare alternatieven, die een deel van het offshore wind potentieel in 2020 zouden kunnen vervangen. Hiervoor zijn drie opties geselecteerd die nog niet zoveel aandacht hebben gekregen en die misschien enig soelaas kunnen bieden om een deel van het vermogen van 6.000 MW offshore wind in 2020 te vervangen. Er zijn misschien nog andere opties denkbaar. Tot slot wordt een aantal voorlopige conclusies en aanbevelingen geformuleerd in Hoofdstuk 4.



## 2. Duurzame energie in 2020

### 2.1 Inleiding

De EU heeft als doel om in 2020 met duurzame energie in 20% van het bruto finale energiegebruik van de EU te voorzien. Deze doelstelling is per EU lidstaat gespecificeerd. De oorspronkelijke door het huidige demissionaire kabinet geformuleerde doelstelling voor Nederland betreft een aandeel van duurzame energie van 20% van het primaire energiegebruik in 2020. Daarvoor zou het offshore windvermogen in Nederland moeten toenemen tot 6.000 MW in 2020 (EZ, 2009). Binnen de EU-wijde doelstelling van 20% duurzame energie in 2020 (als percentage van het finale energiegebruik) is voor Nederland een specifieke doelstelling geformuleerd om met duurzame energie in 14% van het bruto finale energiegebruik in 2020 te voorzien. Hiervoor is, zoals hierna zal blijken, nog steeds een offshore windvermogen van de orde van grootte van 6.000 MW rond 2020 nodig.

Als onderdeel van de zogenoemde referentieraming (ECN/PBL, 2010a) hebben ECN Beleidsstudies en het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), op grond van bestaand en voorgenomen beleid, geanalyseerd wat de te verwachten realisatie van duurzame energie in 2020 is. Uit deze analyse volgt dat in 2020 in 14,5% van het finale energieverbruik door middel van duurzame energie kan worden voorzien, dit komt overeen met ongeveer 15,5% volgens de substitutiemethode van vermeden primaire energie. Hierbij passen twee kanttekeningen:

- Voorgenomen beleid hangt ten dele af van de politieke realiteit. Het is niet mogelijk met zekerheid aan te geven in hoeverre voorgenomen beleid daadwerkelijk zal worden geïmplementeerd, onder andere vanuit financiële overwegingen.
- Door de gewijzigde focus in het hernieuwbare energiebeleid - van 20% hernieuwbaar als aandeel in het primaire energiegebruik naar 14% als aandeel in het bruto finale energiegebruik in 2020 - ontstaat er een economisch perspectief om meer hernieuwbare warmte in 2020 te realiseren dan op basis van bestaand en voorgenomen beleid. Het ligt voor de hand dat hernieuwbare elektriciteit dan naar rato minder zal bijdragen in 2020 (ECN/PBL, 2010b). Deze mogelijkheid kon door het voorlopige karakter - geen bestaand of voorgenomen beleid - niet op gelijkwaardige wijze worden meegenomen.

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de uitkomsten van de referentieraming op basis van bestaand en voorgenomen beleid, waarmee zoals in de studie van ECN Beleidsstudies en PBL becijferd is 14,5% hernieuwbare energie in 2020 kan worden behaald. Onderdeel hiervan is het offshore windvermogen van om en nabij 6.000 MW in 2020. De genoemde 14,5% hernieuwbare energie in 2020 (op basis van het bruto finale energiegebruik) impliceert ambitieuze doelstellingen voor alle sectoren. Een verdere verduurzaming tot 20% van het primaire energiegebruik verhoogt het ambitieniveau verder, waarvoor het genoemde vermogen van 6.000 MW offshore wind vereist is. Hierna worden achtereenvolgens de uitkomsten voor de sectoren elektriciteit (Paragraaf 2.2), warmte (Paragraaf 2.3) en transport (Paragraaf 2.4) kort behandeld.

### 2.2 Elektriciteit

In Nederland worden vier hernieuwbare energiebronnen gebruikt voor elektriciteitsopwekking:

- Windenergie (op zee en op land).
- Waterkracht.
- Fotovoltaïsche zonne-energie (PV).
- Biomassaverbranding of -vergisting voor elektriciteit (of warmtekracht, WKK).

Bij de invulling van de Nederlandse doelstelling voor duurzame energie in 2020 speelt duurzame elektriciteit een grote rol. Naar verwachting kan in 37% van de bruto elektriciteitsvraag in 2020 worden voorzien door middel van de hierboven genoemde hernieuwbare elektriciteitsopwekking. Ter vergelijking: in 2009 was het aandeel van hernieuwbare energie in de elektriciteitsopwekking ca. 10%. Een hoog aandeel hernieuwbare energie in de elektriciteitsopwekking in 2020 lijkt vrijwel onontkoombaar, omdat hernieuwbare energie in andere sectoren (warmte en koude, transport) in 2020 minder kan bijdragen. In Hoofdstuk 1 is al aangestipt dat het in de praktijk erop neerkomt dat er amper ruimte is om tegenvallers van een sector (hernieuwbare elektriciteit) binnen een andere sector (warmte- en koudevraag, transport) op te vangen. Dit wordt in de rest van dit hoofdstuk uitgewerkt. Een hoog aandeel hernieuwbare energie in de elektriciteitsopwekking is een voorwaarde om de in de EU voor Nederland overeengekomen doelstelling van 14% hernieuwbare energie in 2020 te realiseren. Tabel 2.1 geeft een projectie van hernieuwbare elektriciteitsopwekking in 2020.

Windenergie wordt opgewekt met windparken op land en op zee. Naar verwachting kan het vermogen van wind op land worden uitgebreid van bijna 2.000 MWe aan het eind van 2008 tot 6.000 MW in 2020. Hiermee kan in 9,8% van de elektriciteitsvraag in 2020 worden voorzien. In de huidige projectie neemt het vermogen van wind op zee toe van 228 MW in 2008 tot 5.178 MW in 2020. Dit betekent dat het volgens de huidige projectie niet of nauwelijks haalbaar is om het vermogen van 6.000 MW wind op zee in 2020 volledig te realiseren; de beoogde 6.000 MW wind kan niet eerder dan in 2021 worden gerealiseerd. Met de genoemde 5.178 MW wind op zee kan in 14% van de elektriciteitsvraag in 2020 worden voorzien en kan een CO<sub>2</sub>-emissiereductie worden gerealiseerd van 11 miljoen ton CO<sub>2</sub>. In 2008 was het waterkrachtvermogen 37 MW. Naar verwachting neemt dit toe tot 203 MW in 2020. Hiermee kan in ca. 0,5% van de elektriciteitsvraag in 2020 worden voorzien. Het vermogen van fotonvoltaïsche energie (PV) neemt naar verwachting toe van 63 MW in 2009 tot 722 MW in 2020, wat bijzonder ambitieus is in het licht van de huidige groei. Hiermee kan in ca. 0,4% van de elektriciteitsvraag in 2020 worden voorzien.

Wat betreft biomassa gaat het om een reeks opties. In 2008 bedroeg de elektriciteitsopwekking met vaste biomassa, inclusief het biogene (niet fossiele) afval van afvalverbrandingsinstallaties, ca. 3.900 GWh. Het vermogen neemt naar verwachting toe van 735 MW in 2008 tot 2.253 MW in 2020. Hiermee kan in 8,8% van de elektriciteitsvraag in 2020 worden voorzien. Het vermogen van biogasinstallaties met gasmotor neemt naar verwachting toe van 94 MW in 2008 tot 639 MW in 2020. Hiermee kan in 3,4% van de elektriciteitsvraag in 2020 worden voorzien. Samen kunnen alle hernieuwbare energiebronnen, zoals hierboven aangegeven, in 37% van de elektriciteitsvraag in 2020 voorzien.

Tabel 2.1 *Beschikbaar geachte hernieuwbare elektriciteitsopwekking in 2020*

Bron	Type	Capaciteit [MW]	Vollasturen [uur/jaar]	Elektriciteits- opwekking [GWh/jaar]	Aandeel in totale elektriciteits- opwekking [%]
Wind	Wind op zee	5.178	3.676	19.036	14,0
	Wind op land	6.000	2.229	13.372	9,8
Water	Waterkracht	203	3.517	714	0,5
Zon	Fotovoltaïsch (PV)	722	790	570	0,4
Biomassa	Mee-/bijstoken in kolen- centrale of biomassaver- branding	2.253	5.315	11.975	8,8
	Vergisting met gasmotor- installatie	639	7.300	4.664	3,4
<b>Totaal</b>		<b>14.994</b>		<b>50.320</b>	<b>37,0</b>

Bron: ECN/PBL, 2010a.

Resumerend kan de bijdrage van elke hernieuwbare energiebron aan de elektriciteitsopwekking in 2020 als volgt worden gewaardeerd:

- Wind op land zou in een periode van 12 jaar moeten worden verdrievoudigd van ongeveer 2.000 MW (eind 2008) tot 6.000 MW in 2020; dit is gelijk aan 10 windparken van 400 MW, terwijl tot nu toe slechts een zo'n groot windpark bij Urk in aanbouw is.
- Wind op zee zou in een periode van 10 jaar met een factor van bijna 24 moeten toenemen van 218 MW tot 5.178 MW (ca. 800 MW minder dan de oorspronkelijk beoogde 6.000 MW) in 2020, een formidabele en met veel inspanning haalbare opgave.
- Waterkracht zou met een factor 5,5 moeten toenemen van 37 MW tot 203 MW in 2020, een grote uitdaging gezien het beperkte potentieel van waterkracht en getijdenenergie. Er bestaat een concreet plan voor de bouw van een waterkrachtcentrale van 11 MW bij Borgharen (Limburg); volgens (Deltares, 2008) is het potentieel van getijdenenergie door middel van een barrière (dam) ca. 3 TWh, maar het project bij de Brouwersdam (50-65 MW, equivalent met 0,15 TWh) is tot nu toe het enige getijdenenergieproject dat kans van slagen heeft.
- Zon PV zou moeten toenemen van 63 MW in 2009 tot 722 MW in 2020 (een groei met een factor 11,5) Om dit mogelijk te maken moet iedere kabinetsperiode een verdubbeling van het onder de SDE bijgeplaatste vermogen worden gerealiseerd, wat bijzonder ambitieus is. Bij vervanging van wind op zee door zon PV voor het behalen van de doelstelling geldt bovendien dat het aantal vollasturen voor wind op zee een factor 4 hoger is dan voor zon PV.
- Het mee- en bijstoken van biomassa in kolencentrales en de inzet van biomassa in aparte biomassagestookte centrales en warmte/kracht installaties op basis van biogas zou moeten toenemen van in totaal 830 MW in 2008 tot ca. 2.900 MW in 2020 (een toename met een factor 3,5), wat zeer ambitieus is in verband met het aanvoeren van voldoende biomassa (grotendeels uit het buitenland voor kolengestookte centrales).
- Tot slot is het te realiseren aandeel van hernieuwbare energiebronnen in de elektriciteitsvraag van 37% in 2020 (50,3 TWh op een vraag van 136 TWh) als zeer ambitieus te beschouwen, waarvoor de bijdrage van wind op zee van 14% onmisbaar is.

## 2.3 Warmte

Er bestaan globaal vier hernieuwbare energiebronnen die kunnen worden gebruikt voor levering van warmte of koude (verwarming of koeling) namelijk:

- Zonne-energie.
- Geothermische energie (diepe aardwarmte).
- Hernieuwbare energie uit warmtepompen en koude/warmte (K/W) opslag.
- Biomassaconversie (al dan niet op basis van warmtekracht, WKK).

Naar verwachting kan hiermee in 8,7% van de finale warmte- en koudevraag in 2020 worden voorzien. Tabel 2.2 geeft een overzicht van hernieuwbare warmte/koude opwekking in 2020. De gebruikte eenheid is kiloton olie-equivalent, afgekort tot ktoe. Een ktoe is gelijk aan 41,87 TJ.

Naar verwachting neemt de warmtelevering op basis van zonneboilers toe van 654 TJ in 2008 tot 950 TJ ofwel 22,7 ktoe in 2020. Hiermee kan in 0,1% van de warmte- en koudevraag worden voorzien. In 2008 was de warmteproductie op basis van diepe aardwarmte verwaarloosbaar. Naar verwachting bedraagt deze 10.840 TJ ofwel 258,9 ktoe in 2020. Hiermee kan in 1,0% van de warmte- en koudevraag worden voorzien. In 2008 werd 4.829 TJ warmte of koude geleverd door warmtepompen of koude/warmte opslag. Naar verwachting neemt dit toe tot 15.780 TJ ofwel 377 ktoe in 2020. Hiermee kan in 1,5% van de warmte- en koudevraag worden voorzien.

In 2008 werd 15.032 TJ warmte geleverd op basis van biomassaverbranding, inclusief duurzame warmte van afvalverbrandingsinstallaties, op basis van het biogene afval. Naar verwachting neemt de levering van warmte of koude op basis van verbranding van biomassa (c.q. afval) toe tot 27.240 TJ ofwel 650,5 ktoe in 2020. Hiermee kan in 2,6% van de warmte- en koudevraag in 2020 worden voorzien. Daarnaast neemt de warmtelevering op basis van vergistinginstallaties

naar verwachting toe van 2.209 TJ in 2008 tot 12.070 TJ ofwel 288,3 ktoe in 2020. Hiermee kan in 1,2% van de warmte- en koudevraag worden voorzien. Tot slot kan biomassa door middel van vergassing worden omgezet in biogas dat kan worden opgewerkt tot aardgaskwaliteit: SNG (Substitute Natural Gas). Het potentieel hiervan in 2020 wordt geschat op 24.360 TJ ofwel 581,8 ktoe. Hiermee kan in 2,3% van de warmte- en koudevraag worden voorzien.

Tabel 2.2 *Realiseerbaar geachte hernieuwbare warmte/koude opwekking in 2020*

Bron	Type	Warmte/koude opwekking [ktoe/jaar]	Aandeel in totale warmte- en koudevraag [%]
Zon		22,7	0,1
Diepe aardwarmte		258,9	1,0
Warmtepompen en K/W opslag		377	1,5
Biomassaconversie	Verbranding	650,5	2,6
	Vergisting	288,3	1,2
	Vergassing (SNG <sup>a</sup> )	581,8	2,3
Totaal warmte/koude opwekking		2.179	8,7

a SNG = Substitute Natural Gas, dat wil zeggen biogas van aardgaskwaliteit.

Bron: ECN/PBL, 2010a.

Hiervoor is opgemerkt dat de gewijzigde focus in het hernieuwbare energiebeleid - van 20% hernieuwbaar als aandeel in het primaire energiegebruik naar 14% als aandeel in het bruto finale energiegebruik in 2020 – een economisch perspectief biedt om meer hernieuwbare warmte in 2020 te realiseren dan op basis van bestaand en voorgenomen beleid. Omdat het in dit hoofdstuk uitsluitend gaat om bestaand en voorgenomen beleid, kan deze mogelijkheid niet op vergelijkbare wijze worden meegenomen. Voor het potentieel van aanvullend beleid wat betreft hernieuwbare warmte wordt verwezen naar (ECN/PBL, 2010b).

Resumerend kan de bijdrage aan de warmte- en koudevraag als volgt worden gewaardeerd:

- Zonne-energie (collectoren) zou met 50% toenemen, wat een ambitieus maar realistisch doel lijkt.
- Diepe aardwarmte zou moeten toenemen tot ca. 10.840 TJ in 2020, wat ambitieus is omdat er nu nog maar enkele grote aardwarmteprojecten op stapel staan.
- Warmtepompen en K/W opslag tezamen zouden met een factor 3,3 moeten toenemen tot ca. 15.780 TJ in 2020, wat ambitieus maar waarschijnlijk haalbaar is.
- De bijdrage van biomassa op basis van verbranding en vergisting zou moeten toenemen met een factor 2,6 tot ca. 39.310 TJ, wat ambitieus maar waarschijnlijk haalbaar is.
- De bijdrage van SNG uit biomassa zou in 2020 24.360 TJ zijn, wat zeer ambitieus is.
- De totale bijdrage van hernieuwbare energie voor koude en warmte, namelijk 8,7% van warmte- en koudevraag in 2020, kan als heel ambitieus worden beschouwd.

## 2.4 Transport

Er bestaan globaal vier bronnen van hernieuwbare energie voor de transportsector, namelijk:

- Bioethanol, bio-ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether), of bio-MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether).
- Biodiesel.
- Hernieuwbare elektriciteit.
- Hernieuwbare waterstof.

Naar verwachting kan hiermee in 10,3% van de energievraag van de transportsector in 2020 worden voorzien. Tabel 2.3 geeft een overzicht van hernieuwbare energie in de transportsector in 2020. De gebruikte eenheid is kiloton olie-equivalent, afgekort tot ktoe (1 ktoe = 41,87 TJ).

In 2008 bedroeg de productie van bioethanol in Nederland het equivalent van ca. 190 TJ. Naar verwachting neemt de productie van bioethanol, bio-ETBE en bio-MTBE toe tot 11.810 TJ ofwel 282,1 ktoe in 2020. Hiermee kan in 3,2% van de transportvraag worden voorzien. In 2008 bedroeg de productie van biodiesel in Nederland het equivalent van ca. 3.000 TJ. Naar verwachting neemt dit toe tot 23.110 TJ ofwel 552 ktoe in 2020. Hiermee kan in 6,2% van de transportvraag worden voorzien. Tot slot wordt aangenomen dat het equivalent van 2.980 TJ ofwel 71,1 ktoe hernieuwbare elektriciteit wordt gebruikt voor elektrische voertuigen in 2020.

Tabel 2.3 *Potentieel hernieuwbare energie in de transportsector in Nederland in 2020*

Bron	Hernieuwbare energielevering [ktoe/jaar]	Aandeel in transportvraag <sup>a</sup> [%]
Bioethanol / bio-ETBE <sup>a</sup> / bio-MTBE <sup>b</sup>	282,1	
Biodiesel	552,0	
Hernieuwbare elektriciteit <sup>c</sup>	71,1	
Hernieuwbare waterstof <sup>d</sup>		
Totaal hernieuwbare energie transport	905,1	10,3

a Inclusief dubbeltelling voor tweede generatie biobrandstoffen.

b ETBE = Ethyl Tertiary Butyl Ether, een op biobrandstof (ethanol) gebaseerd additief voor benzine.

c MTBE = Methyl Tertiary Butyl Ether, een op biobrandstof (methanol) gebaseerd additief voor benzine.

d Hernieuwbare elektriciteit kan worden gebruikt voor 'plug-in hybrides' en elektrische voertuigen.

e Hernieuwbare waterstof - bijvoorbeeld op basis van biomassa of via elektrolyse op basis van hernieuwbare elektriciteit - kan worden gebruikt voor waterstofvoertuigen (met brandstofceltechnologie).

Bron: ECN/PBL, 2010a.

De bijdrage van hernieuwbare energie aan de transportvraag kan als volgt worden gewaardeerd:

- Bioethanol en andere biobrandstoffen (additieven) voor toevoeging aan benzine moet toenemen tot ca. 11.800 TJ in 2020, wat als heel ambitieus kan worden beschouwd.
- Biodiesel zou sterk moeten groeien tot ca. 23.100 TJ in 2020, wat heel ambitieus is.
- Hernieuwbare elektriciteit voor 'plug-in hybrides' en elektrische voertuigen zou sterk moeten groeien tot ca. 3.000 TJ in 2020, wat als heel ambitieus kan worden beschouwd.
- De totale bijdrage van hernieuwbare energie van 10,3% aan de transportvraag in 2020 kan als heel ambitieus worden beschouwd.

## 3. Duurzame alternatieven voor 6000 MW offshore wind

### 3.1 Inleiding

In Hoofdstuk 2 is in detail aangegeven wat het resultaat op het gebied van hernieuwbare energie in 2020 zou kunnen zijn op basis van bestaand en voorgenomen beleid, conform (ECN/PBL, 2010). Deze studie laat zien dat het onder die omstandigheden mogelijk is om met hernieuwbare energie in 14,5% van het bruto finale energieverbruik in 2020 te voorzien. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op energieopties die zouden kunnen worden benut om een deel van het vermogen van 6.000 MW offshore wind in 2020 te vervangen. Immers, in Hoofdstuk 2 is uitgewerkt hoe de ‘standaard’ oplossing voor hernieuwbare energie in 2020 er zou moeten uitzien, er is aangegeven dat vervanging van een aanzienlijk deel van de 6.000 MW wind op zee door andere ‘conventionele’ hernieuwbare elektriciteitsopties zeer onwaarschijnlijk is. Bovendien is daarbij aangetekend dat de doelstellingen voor elke hernieuwbare optie binnen de sectoren elektriciteit, warmte en koude en transport als ambitieus of zeer ambitieus moeten worden beschouwd. Er is dus amper ruimte om een tegenvaller van een sector, bijvoorbeeld (hernieuwbare) elektriciteitsopwekking, binnen een andere sector (warmte- en koudevraag, transport) op te vangen. Iedere sector zal dus als het ware ‘zijn eigen hernieuwbare broek moeten ophouden’.

Met deze wetenschap uit Hoofdstuk 2 kan nog worden gedacht aan de volgende duurzame opties die nog weinig aandacht hebben gekregen:

- Aquatische biomassa (zeewier) (Paragraaf 3.2).
- Getijdenenergie (Paragraaf 3.3).
- Blue Energy, energieopwekking uit de zoet-zout gradiënt (Paragraaf 3.4).

Ook wordt kort ingegaan op een zogenoemd valmeer op de Noordzee, voor elektriciteitsopslag (Paragraaf 3.5). In het buitenland gebruikt men hiervoor de term pompaccumulatie centrale. Zoals de in het buitenland gehanteerde term ‘pompaccumulatie centrale’ al aangeeft, is een zogenoemd valmeer op de Noordzee geen mogelijk alternatief voor 6.000 MW wind op zee, maar is het een optie om elektriciteitsvraag en -aanbod gemakkelijker op elkaar af te stemmen, zodat basislast centrales (kolencentrales, kerncentrales) ‘s nachts volledig in bedrijf kunnen worden gehouden (hiermee wordt water uit het valmeer gepompt) en zodat overdag minder duur piek- en middenlast vermogen op basis van aardgas in bedrijf hoeft te zijn (overdag wordt elektriciteit opgewekt door het valmeer weer vol te laten lopen). Ook kan een dergelijk valmeer (of een pompaccumulatie centrale in het algemeen) worden gebruikt om schommelingen in het aanbod van hernieuwbare elektriciteit van vooral wind op land en op zee op te vangen.

### 3.2 Aquatische biomassa

Met aquatische biomassa worden zeewieren ofwel ‘macro algae’ aangeduid, die voorkomen of kunnen worden geteeld op de Noordzee. Wereldwijd wordt ca. 10 miljoen ton zeewier geoogst voor verschillende doeleinden. De productie groeit met 2 à 3% per jaar. Een groot deel komt voor rekening van een 40-tal bruine, rode en groene zeewiersoorten, via teelt op kustgebonden locaties (90%) en oogst van natuurlijke populaties uit zee (10%) (Reith et al, 2006).

Grootschalige teelt van zeewieren kan plaatsvinden aan lijnsystemen of andere structuren die drijven en/of onder het wateroppervlak zijn verankerd. Lijnsystemen worden het meest toegepast. In de Nederlandse Exclusieve Economische Zone (NEEZ) van de Noordzee zullen de komende decennia volgens plan diverse offshore windparken worden gerealiseerd. De ondersteuningsconstructies van de windturbines kunnen worden gebruikt als verankering van systemen voor grootschalige zeewierenkweek. Deze combinatie met offshore wind kent een aantal syner-

getische aspecten die de economische rentabiliteit van beide activiteiten ondersteunt, zoals gezamenlijk beheer en onderhoud. Daarnaast is combinatie mogelijk met andere vormen van aquacultuur zoals teelt van vis, mosselen, oesters e.d. (Figuur 3.1).

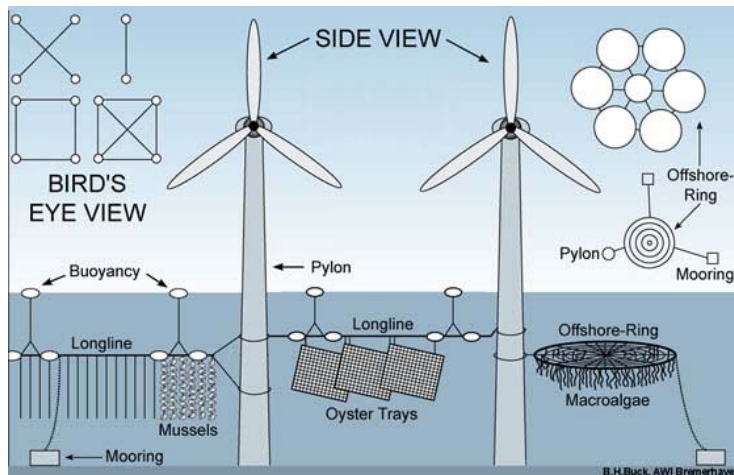
Tabel 3.1 geeft een indicatie van de hoeveelheid zeewier die zou kunnen worden geoogst op basis van de doelstelling van 6.000 MW offshore wind in 2020, vergeleken bij het huidige offshore windvermogen van 228 MW. De tabel laat zien dat de teelt van zeewier op hetzelfde areaal van de offshore windparken een multiplier effect heeft van ongeveer 0,8, wat betekent dat ongeveer 80% extra energiepotentieel is te ontsluiten op basis van het kweken van zeewier.

Tabel 3.1 *Potentieel van zeewieroogst in combinatie met offshore wind 2010-2020*

	Windvermogen	Opbrengst	Areaal	Biomassa productie <sup>a</sup>	Energiepotentieel biomassa
	[MW]	[PJe]	[km <sup>2</sup> ]	[kt droge stof]	[PJ]
2010	228	3,0	38	190	2,4
2014	928	12,3	155	775	9,7
2020	6.000	79,4	1.000	5.000	63,0

a Met nutriëntentoevoer en/of teelt in gelaagde systemen, zodat de opbrengst 50 tds/ha zou kunnen zijn.

Bron: Reith et al, 2006.

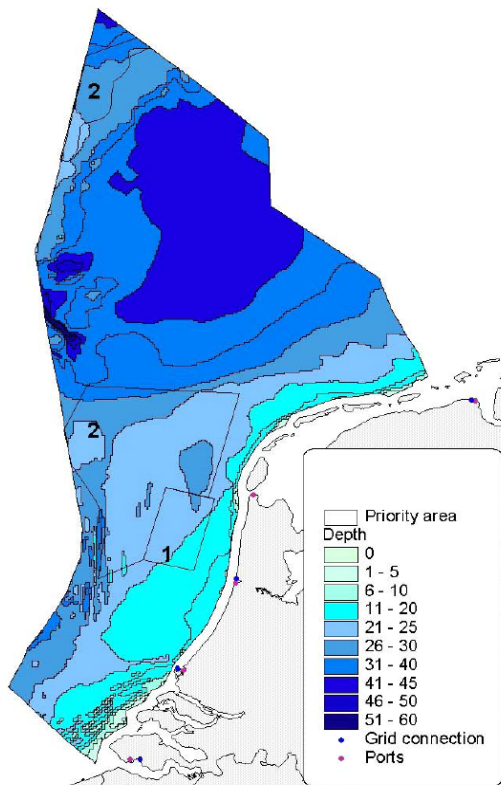


Figuur 3.1 *Meervoudig ruimtegebruik door combinatie van offshore windparken*

Bron: Reith et al, 2006.

Zeewieren kunnen een hoge productiviteit bereiken door de hoge groeisnelheid en de snelle opname van nutriënten en CO<sub>2</sub> uit het waterige milieu. Voor de Noordzee biedt teelt van groene en bruine of rode zeeiersoorten in een gelaagd teeltsysteem een aantrekkelijk perspectief, omdat het invallende zonlicht optimaal wordt benut door verschillen in absorptiekenmerk. Mogelijke combinaties zijn mosselenkweek of viskweek. Zonder nutriëntentoevoer zal de productiviteit ca. 20 ton droge stof/ha.jaar (2.000 ton/km<sup>2</sup>) bedragen, en met nutriëntentoevoer en/of teelt in gelaagde systemen ca. 50 ton droge stof/ha.jaar (5.000 ton/km<sup>2</sup>) (zie Tabel 3.1).

Afhankelijk van de soort zeewier, kan de minimale diepte voor kweek 5 meter of minder bedragen. Figuur 3.2 laat de diepte van de Nederlandse Exclusieve Economische Zone (NEEZ) van de Noordzee zien. Buiten de 12-mijls zone is diepte geen belemmering voor zeewierteelt.



Figuur 3.2 Zeedieptekaart Nederlandse Exclusieve Economische Zone

Noot: Voorkeursgebieden 1 en 2 voor offshore wind zijn achterhaald.

Bron: RWS

De ontwikkeling van zeewierteelt voor productie van hoogwaardige bio-chemicaliën, biobrandstoffen en dergelijke houdt verband met die van algen of ‘micro algae’ in Nederland, Europa en de rest van de wereld. Beide opties bevinden zich in het stadium van onderzoek en ontwikkeling, met het accent op onderzoek (Benemann, 2008). Volgens Benemann (2008) is er geen reden om aan te nemen dat teelt van algen in zuidelijke staten van de Verenigde Staten en andere zonnrijke gebieden op afzienbare termijn een grote vlucht gaat nemen. Voor algen (‘micro algae’) zijn factoren zoals (onder andere) klimaat, vlak land, water en een lokale bron van CO<sub>2</sub> van cruciaal belang. Factoren die de ontwikkeling van ‘micro-algae’ op afzienbare termijn kunnen limiteren kunnen ook belemmeringen opleveren voor ontwikkeling van ‘macro algae’.

Een belangrijke factor is de beschikbaarheid van technologie voor conversie van aquatische biomassa in bijvoorbeeld biobrandstoffen. Thans is er geen technologie op commerciële basis beschikbaar. Het zou tot 2020 kunnen duren voordat een conversietechnologie commercieel kan worden toegepast. *Om de genoemde redenen is het vrijwel uitgesloten dat zeewierren voor het jaar 2020 een substantiële bijdrage kunnen leveren aan de Nederlandse energievoorziening of aan de voorziening van grondstoffen van de Nederlandse chemische industrie.*

Wat betreft onderzoek, ontwikkeling en demonstratie van zeewierteelt worden in (SEI, 2009) onder andere de volgende aanbevelingen gedaan:

- De exploitatie van de natuurlijke voorraad van zeewier zal waarschijnlijk worden beperkt door milieuoverwegingen. Uiteindelijk zal het kweken van zeewier het lange termijn potentieel binnen bereik kunnen brengen.
- Bij het kweken van zeewier zullen concurrentie om ruimte met andere zeegebonden activiteiten, beschermde gebieden en andere aangewezen gebieden in acht moeten worden genomen.
- De belangrijke bijdrage van zeewier aan het in standhouden van de mariene biodiversiteit dient te worden erkend. Voor gemechaniseerde oogst zouden lange termijn proeven zijn ver-



eist, evenals zorgvuldige monitoring van zeewier variëteiten, het ecosysteem en mogelijke milieugevolgen.

Op basis van een lange termijn onderzoek-, ontwikkeling- en demonstratieprogramma zou zee-wiarteelt vanaf 2020 een opmars kunnen maken in de Nederlandse energievoorziening of in de voorziening van grondstoffen van de Nederlandse chemische industrie.

### 3.3 Getijdenenergie

Getijdenenergie maakt onderdeel uit van een groep technologieën die worden samengevat met de term ‘ocean energy’. Hiertoe behoren:

- Getijdenenergie op basis van een dam (zwaartekracht).
- Windgedreven golfenergie (oceanen).
- Getijdenstroomenergie (‘marine currents’).
- Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC).

Golfenergie is geen economische propositie voor Nederland, omdat deze techniek alleen economisch haalbaar is in regio’s die zijn blootgesteld aan de lange golven die op de oceaan voorkomen. Ook Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) is niet relevant voor Nederland in verband met het kleine temperatuurverschil tussen diep water en oppervlaktewater.

Hier staat dus centraal getijdenenergie. De eerste van de twee toepassingsvormen is op basis van een dam (zwaartekracht). Bij de Brouwersdam die de Grevelingen afsluit zou 50-65 MW kunnen worden opgewekt. De bouw van een getijdencentrale in de Brouwersdam zou kunnen passen in het beleid om getijdenwerking te laten terugkeren in de Grevelingen (Figuur 3.3). De kosten van een spuisluis annex getijdencentrale zouden € 450 miljoen bedragen (TW, 2009). Echter, het in Tabel 2.1 geschatte potentieel van waterkracht in Nederland van ruim 200 MW houdt al rekening met de bouw van een getijdencentrale in de Brouwersdam.

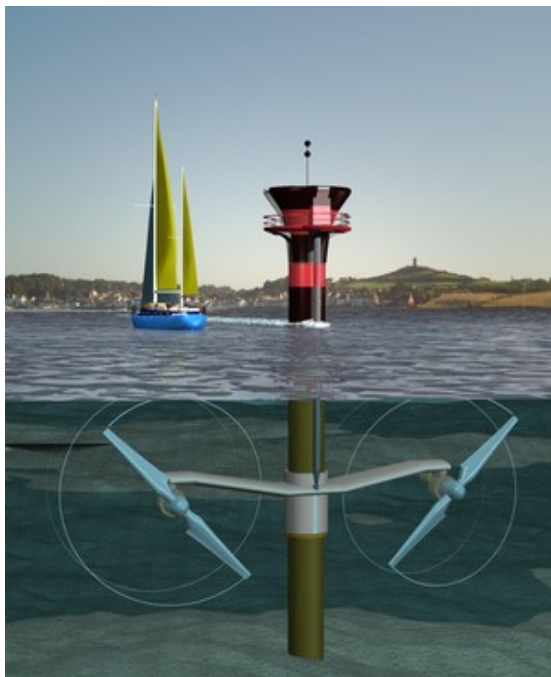


Figuur 3.3 *Locatie Brouwersdam met mogelijke getijdencentrale van 50-65 MW*

Bron: Internetbron 1 (RWS).

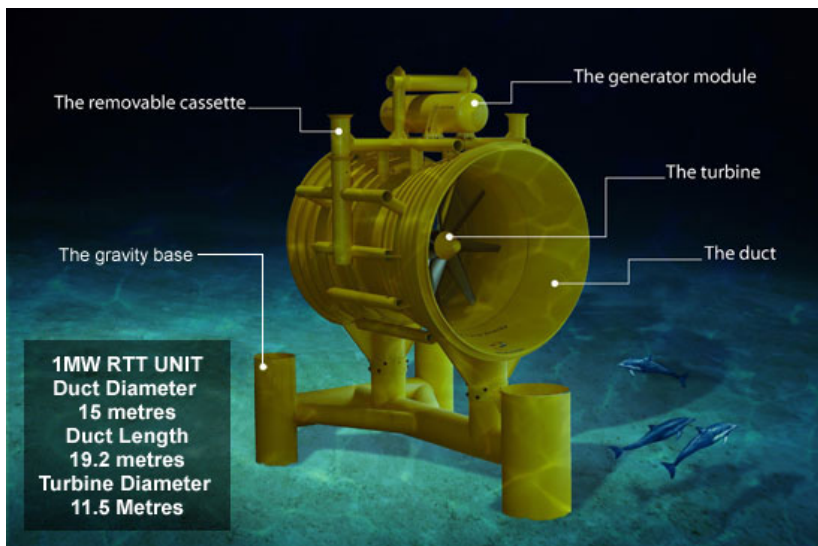
De focus is daarom op getijdenstroomenergie. Er zijn/worden diverse projecten gerealiseerd:

- In 2003 installeerde Hammerfest Strøm een 300 kW getijdenstroom prototype aan de Noorse kust bij Hammerfest. In 2007 tekende Hammerfest Strøm een contract met Scottish Power om de technologie verder te ontwikkelen (Internetbronnen 2-3).
- In 2006 begon Verdant Power (VS/Canada) met het Roosevelt Island Tidal Energy (RITE) project in de East River in New York. Een prototype fase (35 kW) wordt gevolgd door een demonstratiefase met opschaling tot MW schaal (Internetbron 4).
- In 2008 installeerde OpenHydro (Ierland) in Engeland een prototype getijdenstroom installatie van 250 kW (Internetbron 5). Ook demonstreerde Tocardo (Nederland) in 2008 een 45 kW een prototype met twee rotorbladen (Internetbron 6). Marine Current Turbines (Engeland) installeerde in 2008 een prototype met twee rotoren en een vermogen van 1,2 MW bij Strangford Lough (Figuur 3.4). Daarna volgen zeven turbines van 1,5 MW bij de Skerries, bij het eiland Anglesey (Internetbronnen 7-8).
- In 2009 begon Fri-El Green Power met het testen van een 500 kW pilot installatie in de straat van Messina tussen Sicilië en het vaste land van Italië (Internetbron 9). Lunar Energy Co. begon in 2009 in Engeland met testen van de op de zeebodem verankerde Rotech Tidal Turbine (RTT) van 1 MW (Figuur 3.5). Lunar Energy zal 300 turbines leveren aan het Zuid Koreaanse Korean Midland Power Co (KOMIPO) voor installatie aan de kust van Zuid Korea in 2015. Ook is de levering van een unit aan het testveld van EMEC in Engeland voorzien (Internetbron 10).



Figuur 3.4 *Artist impression OceanGen getijdenstroom installatie Strangford Lough, VK*

Bron: Internetbronnen 7-8.



Figuur 3.5 Artist impression Rotech Tidal Turbine (RTT) van Lunar Energy, VK  
Bron: Internetbron 10.

Het potentieel van getijdenstroom energie is in Nederland maximaal 170-340 MW (Deltares, 2008). Het potentieel varieert per locatie, zoals het Marsdiep bij Texel. De kosten van projecten lopen sterk uiteen. Als de kosten een belangrijk criterium vormen, kan het potentieel 80 MW zijn in plaats van 170-340 MW. Ook dan blijven de kosten van de getijdenstroom energie significant hoger dan die van offshore wind. *Om deze redenen kan getijdenstroom energie in kwantitatieve zin en qua (toekomstige) kosten geen alternatief zijn voor 6.000 MW offshore wind.*

### 3.4 Blue Energy

Uit het potentiaalverschil tussen zoet en zout water kan energie (elektriciteit) worden opgewekt. Er zijn twee varianten van ‘osmose energie’ die in een uiteenlopend onderzoek- en ontwikkelingsstadium (R&D) zijn:

- Pressure-Retarded Osmosis, afgekort PRO, ontwikkeld door het Noorse Statkraft.
- Reverse Electro Dialysis, afgekort R.E.D., ontwikkeld door het Nederlandse REDstack.

Volgens Statkraft is het wereldwijde potentieel van ‘osmose energie’ 1.600 tot 1.700 TWh, wat gelijk is aan het Chinese elektriciteitsverbruik in 2002. Hiervan zou 180 TWh kunnen worden gerealiseerd in Europa (Skilhagen, 2009).

Pressure-Retarded Osmosis (PRO) lijkt iets verder in het traject van onderzoek, ontwikkeling en demonstratie (RD&D) dan Reverse Electro Dialysis (R.E.D.). De kosten van PRO bestaan uit diverse componenten: infrastructuur, membranen, elektriciteitsopwekking, etc. PRO is in het demonstratiestadium. In Nederland zal er soms een keuze zijn tussen opwekken van elektriciteit of het (gedeeltelijk) benutten van de mechanische energie om water op te pompen, bijvoorbeeld bij het spuien van water uit IJsselmeer bij de Afsluitdijk. Het grootste deel van het potentieel zal echter, ook in het geval van PRO, benut worden voor elektriciteitsopwekking. In november 2009 opende Statkraft in Tofte aan het Oslo fjord een prototype installatie gebaseerd op PRO van 2-4 kW. Het prototype (Figuur 3.6) heeft twee doelen (Skråmestø et al, 2009):

- Bevestiging dat de installatie op betrouwbare wijze continu stroom kan opwekken.
- Testen van parallel ontwikkelde technologie die het rendement sterk kan opvoeren.



Figuur 3.6 *Prototype PRO centrale Statkraft bij Tofte, Oslo fjord*

Bron: Internetbron 11.

Figuur 3.7 geeft een visualisatie van een mogelijke PRO centrale bij de Afsluitdijk. Hoe groter de zoet-zout gradiënt is, des te efficiënter zal een PRO centrale werken. Tegelijkertijd is het van belang dat het zeewater en het zoete water zo schoon mogelijk zijn. Statkraft organiseert een onderzoeksprogramma op het gebied van ‘ocean energy’ (waaronder PRO) met drie voornamelijk onderzoeksinstellingen in de regio, namelijk Norwegian University of Science and Technology, Uppsala University en DTU, de Deense technische universiteit (Internetbron 12).



Figuur 3.7 *Artist impression PRO centrale bij de Afsluitdijk*

Bron: Skilhagen et al, 2006.

REDstack, een spin-off van Wetsus (Leeuwarden), richt zich op het ontwikkelen, opschalen en vermarkten van de R.E.D. technologie (Post et al, 2007; Długolecki et al, 2009). Het potentieel in Nederland wordt geschat op 650-3.000 MW (Internetbronnen 13-14). Hiermee zou in 6-10% van de Nederlandse elektriciteitsvraag in 2010 kunnen worden voorzien. Het potentieel bij de Afsluitdijk, met een spuiroom van minimaal 200 m<sup>3</sup>/s, is ca. 200 MW. Statkraft en Wetsus

verwachten dat ‘osmose energie’ technologie op lange termijn concurrerend kan worden. Dat vergt een langdurig onderzoek-, ontwikkeling- en demonstratieprogramma. *Bij succesvolle RD&D kan ‘osmose energie’ zijn opgeschaald van de huidige kW schaal tot ca. 10 MW in 2020. Deze technologie komt echter te laat om een alternatief te zijn voor 6.000 MW offshore wind.*

### 3.5 Valmeer

Het concept van een valmeer onderscheidt zich van de hiervoor besproken technologieën doordat het niet om een duurzame energietechniek gaat, maar om een energieopslagsysteem. Het valmeer is een Nederlandse variant van wat in het buitenland een pompaccumulatie centrale wordt genoemd. Bij een pompaccumulatie centrale beschikt men over twee kleine reservoirs, de ene tot honderden meters hoger gelegen dan de andere. In de nacht wordt water van het lage naar het hoge reservoir gepompt. Overdag wordt vervolgens elektriciteit opgewekt door water van het hoge in het lage reservoir te laten stromen. Hiervoor worden turbines gebruikt die tevens als pomp kunnen fungeren. Het cycluserendement van een pompaccumulatie centrale is ca. 80%.

In de loop der jaren zijn er vele studies uitgevoerd naar de technisch-economische haalbaarheid van een valmeer of een ander type elektriciteitsopslagsysteem in Nederland. In 2008 is in opdracht van SenterNovem een studie uitgevoerd naar een aantal elektriciteitsopslagsystemen (SenterNovem, 2008). Eerder hebben KEMA en Raadgevend ingenieursbureau Lievense een gedetailleerd technisch-economisch onderzoek uitgevoerd naar het valmeer concept (KEMA, 2007). Zonder in detail in te gaan op deze en andere studies naar elektriciteitsopslag (in Nederland), kan worden gesteld dat een elektriciteitsopslagsysteem een aantal functies heeft:

- Betere benutting van basislast centrales, zoals kolengestookte centrales en kerncentrales, in de nacht door middel van opslag van een surplus aan elektriciteit.
- Verminderde inzet van relatief duur piek- en middenlast vermogen op basis van aardgas overdag door opwekken van elektriciteit met het opslagsysteem (aangenomen dat de opwekkosten van basislast centrales inclusief de kosten van energieopslag lager zijn dan die van gasgestookte piek- en middenlast centrales).
- Betere benutting van intermitterende duurzame bronnen van elektriciteit, zoals wind op land en op zee, aangenomen dat het vermogen hiervan zo groot is dat energieopslag economisch interessant is.

Figuur 3.8 geeft een artist impression van een valmeer, zoals voorgesteld door KEMA en Raadgevend ingenieursbureau Lievense (Internetbron 15). Het geschetste valmeer zou een oppervlak beslaan van 40 km<sup>2</sup> en een capaciteit hebben van 1.500 MW.



Figuur 3.8 *Artist impression valmeer voor elektriciteitsopslag op de Noordzee*  
 Bron: Internetbron 15.

In het licht van de reservering van ruimte voor 6.000 MW offshore wind op de Noordzee kan het valmeer concept als relevant worden bestempeld. Echter, de technisch-economische haalbaarheid hiervan is nog niet onomstotelijk aangetoond. Ook zijn er alternatieve concepten voor grootschalige elektriciteitsopslag. *Nieuwe of sterkere hoogspanningsverbindingen met omliggende landen - Duitsland, België, Noorwegen, op korte termijn ook het Verenigd Koninkrijk en in de toekomst Denemarken en een tweede kabel naar Noorwegen - kunnen op termijn een deel van de problematiek van inpassing van intermitterende elektriciteitsbronnen (wind op land en op zee) opvangen.*

## 4. Conclusies en aanbevelingen

Royal Haskoning heeft ECN Beleidsstudies gevraagd om een overzicht te geven van het potentieel van hernieuwbare energieopwekking in de periode tot 2020, om - in het licht van een onderbouwing van nut en noodzaak van 'wind op zee' - eventuele alternatieven in beeld te brengen voor de beoogde 6.000 MW offshore wind in 2020. Deze studie kan worden gebruikt voor het opstellen van een PlanMER voor het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. De PlanMER is bedoeld voor besluitvorming over een herziening van de Structuurvisie Noordzee (Nationaal Waterplan), waarin de ruimtereservering voor 6.000 MW aan offshore wind in 2020 aan de orde is.

Het belang van duurzame energieopwekking als alternatief voor fossiele brandstof is geen theoretisch vraagstuk meer; de noodzaak daarvan staat vast. Als belangrijkste redenen worden daarvoor genoemd de klimaatverandering, de slinkende voorraden (gemakkelijk winbare) fossiele brandstoffen en de afhankelijkheid van landen in instabiele regio's. De discussie rondom de 'beste' vorm van duurzame energie is divers en complex. Elke vorm van alternatieve, duurzame energieopwekking kent zijn voor- en nadelen. Windenergie op land heeft een aantal bekende nadelen, zoals geluidoverlast, horizonvervuiling en slechte inpasbaarheid in het landschap. Voor wind op zee gelden andere nadelen, die soms als minder bezwaarlijk worden gezien als die van wind op land. Deels is dit alles ook een kwestie van voorkeur. Uit voorliggende onderbouwing blijkt dat de doelstelling voor duurzame energieopwekking in 2020 niet zonder een aanzienlijk vermogen van wind op zee kan worden gerealiseerd. Er zijn enkele alternatieve opties voor duurzame energieopwekking die op langere termijn perspectief bieden, maar die nu nog in het stadium van onderzoek en ontwikkeling zijn. Grootschalige toepassing ervan vergt technologische doorontwikkeling en kosteneffectieve optimalisatie. Een alternatief, namelijk 'meer van hetzelfde' wat betreft hernieuwbare energie op land stuit op maatschappelijke en ruimtelijke bezwaren op land. Natuurlijk geldt ook voor de grootschalige toepassing van wind op zee dat technologische innovaties en verhoging van kosteneffectiviteit nodig zijn. Maar om de doelstelling voor duurzame energieopwekking in 2020 te realiseren, zullen krachten moeten worden gebundeld, en zal gelijktijdig moeten worden ingezet op alle beschikbare opties.

Oorspronkelijk had Nederland als doelstelling om met duurzame energie in 20% van het primaire energiegebruik in 2020 te voorzien. Daarvoor zou het offshore windvermogen moeten toenemen tot 6.000 MW in 2020. Nederland heeft in Europees verband als doelstelling om met hernieuwbare energie (wind, biomassa, zon, water, aardwarmte, en dergelijke) in 14% van de bruto finale energievraag in 2020 te voorzien. Dit is de in de EU voor Nederland bepaalde doelstelling voor hernieuwbare energie in 2020. In de zogenoemde referentieraming hebben ECN Beleidsstudies en het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) geanalyseerd wat het resultaat is van bestaand en voorgenomen beleid, zodat de beleidsmakers kunnen beoordelen in hoeverre de combinatie van bestaand en voorgenomen beleid tot de gestelde doelen leidt. Deze doelen betreffen zowel CO<sub>2</sub> emissiereductie als duurzame energie. Het is natuurlijk van groot belang dat bestaand en voorgenomen beleid tot de gestelde doelen leiden, bijvoorbeeld 14% duurzame energie in 2020 als percentage van het finale energiegebruik. Om in 2020 met hernieuwbare energie in 14% van de bruto finale energievraag te voorzien, zal naar verwachting ca. 37% van de bruto elektriciteitsvraag in dat jaar moeten zijn gebaseerd op hernieuwbare energie, omdat het aandeel van hernieuwbare energie in andere sectoren - warmte en koude, transport - bij het gemiddelde (14%) zal achterblijven. Daarom is onderzocht in hoeverre de genoemde 37% hernieuwbare elektriciteitsopwekking in 2020 het maximaal haalbare is en of er nog ruimte is om een tegenvaller in een sector (electriciteitsopwekking) op te vangen door 'meer van hetzelfde' in een andere (warmte en koude, transport).

De geprojecteerde bijdrage van hernieuwbare energiebronnen aan de elektriciteitsopwekking in 2020 die nodig is om de 14% doelstelling te halen wordt als volgt gewaardeerd:

- Wind op land zou in een periode van 12 jaar moeten worden verdrievoudigd van ongeveer 2.000 MW (eind 2008) tot 6.000 MW in 2020, overeenkomend met 9 windparken van 450 MW, terwijl tot nu toe slechts een enkel windpark van deze omvang bij Urk in aanbouw is.
- Wind op zee zou in een periode van 10 jaar met een factor van bijna 24 moeten toenemen van 218 MW tot 5.178 MW (ca. 800 MW minder dan de oorspronkelijk beoogde 6.000 MW) in 2020, een formidabele en met veel inspanning haalbare opgave.
- Waterkracht zou met een factor 5,5 moeten toenemen van 37 MW tot 203 MW in 2020, een grote uitdaging gezien het beperkte potentieel van waterkracht en getijdenenergie.
- Zon PV zou moeten toenemen van 63 MW in 2009 tot 722 MW in 2020 (een groei met een factor 11,5), wat bijzonder ambitieus is in het licht van de huidige groei.
- Het mee- en bijstoken van biomassa in kolencentrales en de inzet van biomassa in aparte biomassagestookte centrales en warmte/kracht installaties op basis van biogas zou moeten toenemen van in totaal 830 MW in 2008 tot ca. 2.900 MW in 2020 (een toename met een factor 3,5), wat zeer ambitieus is in verband met het aanvoeren van voldoende biomassa (grotendeels uit het buitenland voor kolengestookte centrales).

Tot slot is het te realiseren aandeel van hernieuwbare energiebronnen in de bruto elektriciteitsvraag van 37% in 2020 (50,3 TWh op een vraag van 136 TWh) als zeer ambitieus te beschouwen, waarvoor de bijdrage van wind op zee van 14% onmisbaar is.

Op vergelijkbare wijze wordt geconcludeerd dat de bijdragen van hernieuwbare bronnen voor koude en warmte (totaal 8,7%) en voor de transportsector (10,3%) in 2020 het maximaal haalbare zijn op basis van bestaand en voorgenomen beleid. Dit betekent dat er praktisch geen ruimte is om tegenvallers in een sector (electriciteitsopwekking) op te vangen met een extra inspanning in een andere sector. Het is praktisch onmogelijk om significant meer duurzame warmte, koude of biobrandstoffen te produceren dan nu voorzien in 2020. De enige kanttekening die hierbij wordt geplaatst is dat de ruimte om het aandeel van hernieuwbare warmte in 2020 te vergroten ten opzichte van bestaand en voorgenomen beleid wel door ECN en PBL is verkend, maar dat dit potentieel niet op gelijkwaardige wijze kon worden meegenomen.

De conclusie is dus dat de bijdrage van wind op zee - of deze 5.178 of 6.000 MW in 2020 is een kwestie van 'fine tuning' - aan de elektriciteitsopwekking in 2020 een voorwaarde is om de 14% doelstelling die in de EU voor Nederland is overeengekomen in 2020 te halen.

Verder wordt ingegaan op een aantal andere hernieuwbare opties die nog in het stadium van onderzoek en ontwikkeling (soms demonstratie) zijn, maar die misschien soelaas zouden bieden om een deel van het voorziene vermogen van 6.000 MW wind op zee te vervangen. Deze drie opties zijn aquatische biomassa ofwel zeewieren, getijdenenergie en een optie aangeduid als 'Blue Energy'. Blue Energy is een synoniem voor elektriciteitsopwekking op basis van de zoet-zout gradiënt. Deze hernieuwbare opties hebben twee onderscheidende kenmerken, namelijk dat ze minder ver ontwikkeld zijn dan offshore wind en dat hun potentieel kleiner is dan dat van offshore wind. Daarnaast kunnen deze opties significant duurder zijn dan offshore wind.

Aquatische biomassa ofwel teelt van zeewieren bevindt zich in het stadium van onderzoek en ontwikkeling, met nadruk op onderzoek. Hoewel het potentieel hiervan op de Noordzee substantieel is, vergt de invoering ervan nog een langjarig onderzoek-, ontwikkeling- en demonstratieprogramma. Het is daarom vrijwel uitgesloten dat zeewieren voor het jaar 2020 een substantiële bijdrage kunnen leveren aan de Nederlandse energievoorziening of aan de voorziening van grondstoffen van de Nederlandse chemische industrie.

Getijdenenergie kan worden benut door middel van een (bestaande) dam - wat vergelijkbaar is met waterkracht - of door middel van getijdenstroom energie. De eerstgenoemde mogelijkheid is al verdisconteerd in het hierboven aangegeven potentieel van hernieuwbare energie in 2020,



namelijk als onderdeel van waterkracht. Getijdstroom energie is in het stadium van onderzoek, ontwikkeling en demonstratie. Er is wereldwijd een tiental concepten ontwikkeld. Deze optie heeft in Nederland een beperkt potentieel, vergelijkbaar met getijdenenergie op basis van een bestaande dam. Ook is deze optie duurder dan offshore wind. Getijdenstroom energie kan dus in kwantitatieve zin en qua kosten geen alternatief bieden voor 6.000 MW offshore wind.

Blue Energy - benutting van de potentiaal van de zoet-zout gradiënt - bevindt zich in een vroeg ontwikkelingsstadium. Er bestaan slechts enkele operationele prototype installaties. Alleen in Noorwegen en Nederland vindt er een significante onderzoeksinspanning plaats. Bij succesvolle RD&D kan 'osmose energie' worden opgeschaald van de huidige kW schaal tot ca. 10 MW in 2020. De technologie komt dus te laat om een alternatief te zijn voor 6.000 MW offshore wind.

Tot slot geeft de studie een summier overzicht van het concept van een valmeer, het Nederlandse equivalent van een pompaccumulatie centrale. Deze techniek wordt voorgesteld om het elektriciteitsopwekkingsysteem efficiënter te laten werken en om grote hoeveelheden wind op land en op zee te integreren. Echter, de technisch-economische haalbaarheid hiervan is nog niet onomstotelijk aangetoond. Ook zijn er alternatieve concepten voor grootschalige elektriciteitsopslag. Nieuwe of sterkere hoogspanningsverbindingen met omliggende landen - Duitsland, België, Noorwegen, op korte termijn ook het Verenigd Koninkrijk en in de toekomst waarschijnlijk ook Denemarken - kunnen op termijn een deel van de problematiek van inpassing van intermitterende elektriciteitsbronnen (wind op land en op zee) opvangen.

## Referenties

- Benemann, J.R. (2008): *Opportunities challenges in algae biofuels production*. Algae World 2008. [http://www.algaealliance.com/PDF.cfm/AlgaeBiofuels\\_Benemann.pdf](http://www.algaealliance.com/PDF.cfm/AlgaeBiofuels_Benemann.pdf)
- Deltares (2008): *Water als bron van duurzame energie - Inspiratieatlas van mogelijkheden*. Deltares, Utrecht/Delft, augustus 2008, pp 21-22. <http://www.energieuitwater.nl/mediatheek>
- Długolecki (2009): *Practical potential of reverse electrodialysis as process for sustainable energy generation*. Environmental Science & Technology / Vol. 43, № 17, 2009, pp 6888-6894. <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es9009635?cookieSet=1>
- ECN/PBL (2010a): *Referentieraming energie en emissies 2010-2020*. ECN/Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), april 2010, ECN-E--10-004. KEMA (2007): *Energie-eiland, haalbaarheidsstudie fase 1 - Management samenvatting*. KEMA/Raadgevend ingenieursbureau Lievense, Arnhem, 2 juli 2007. <http://www.we-at-sea.org/docs/Energie-eilandMgtSamenvattingFinal%203jul2007.pdf>
- ECN/PBL (2010b): *Aanvullende beleidsopties Schoon en Zuinig*. ECN/Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), april 2010, ECN-E--10-015.
- EZ (2009): *Brief van de Minister van Economische Zaken*. Ministerie Economische Zaken (EZ), 17 april 2009, 31239 Stimulering Duurzame Energieproductie, Nr. 53.
- Post, J. et al (2007): *Salinity-gradient power: Evaluation of pressure-retarded osmosis and reverse electrodialysis*. Journal of Membrane Science 288 (2007), 218-230. [http://www.energyscience.uu.nl/files/ect/SpecialTopics/SalinePower/ws\\_post2007.pdf](http://www.energyscience.uu.nl/files/ect/SpecialTopics/SalinePower/ws_post2007.pdf)
- Reith, J.H. et al (2006): *Platform Groene Grondstoffen - Werkgroep 1: Duurzame Productie en Ontwikkeling van Biomassa Deelpad Aquatische Biomassa*. ECN, Tauw B.V. en Wageningen UR, Petten/Wageningen, juli 2006.
- Reith, J.H. et al (2005): *BIO-OFFSHORE - Grootschalige teelt van zeevieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee*. ECN, PRI (Plant Research International) Wageningen Universiteit en Research centrum (WUR) en Nederlands Instituut voor Visserijonderzoek / RIVO, Petten/Wageningen, ECN-C--05-008, Augustus 2005.
- SEI (2009): *A Review of the Potential of Marine Algae as a Source of Biofuel in Ireland*. Sustainable Energy Ireland (SEI), Dublin, Ireland, February 2009. <http://www.seambiotic.com/uploads/algae%20report%2004%202009.pdf>
- SenterNovem (2008): *Onderzoek naar de toegevoegde waarde van grootschalige elektriciteitsopslag in Nederland*. SenterNovem, Utrecht, februari 2008. [http://www.senternovem.nl/mmfiles/Onderzoek%20naar%20de%20toegevoegde%20waarde%20van%20grootschalige%20elektriciteitsopslag%20in%20Nederland\\_tcm24-256111.pdf](http://www.senternovem.nl/mmfiles/Onderzoek%20naar%20de%20toegevoegde%20waarde%20van%20grootschalige%20elektriciteitsopslag%20in%20Nederland_tcm24-256111.pdf)
- Skilhagen, S.E. (2009): *Osmotic power - A new renewable energy source*. Statkraft, December 2009. [http://www.statkraft.com/Images/Osmotic%20Power%20presentationIDS%20XI%20december%202009\\_tcm9-7043.pdf](http://www.statkraft.com/Images/Osmotic%20Power%20presentationIDS%20XI%20december%202009_tcm9-7043.pdf)
- 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. <http://192.107.92.31/test/owemes/35.pdf>
- Skråmestø, Ø. et al (2009): *Power Production based on Osmotic Pressure*. Waterpower XVI, July 2009. [http://www.statkraft.de/images/Waterpower\\_XVI\\_-\\_Power\\_production\\_based\\_on\\_osmotic\\_pressure\\_tcm21-4795.pdf](http://www.statkraft.de/images/Waterpower_XVI_-_Power_production_based_on_osmotic_pressure_tcm21-4795.pdf)

TW (2009): *Getijdencentrale in Brouwersdam serieuze optie*. Technisch Weekblad, 31 januari 2009. <http://www.technischweekblad.nl/getijdencentrale-in-brouwersdam-serieuze-optie.79217.lynkx>

## Internet bronnen

1. [Http://www.kustfoto.nl/kustfoto-05/goeree/html/0273-brouwersdam-doorlaatsluis.htm](http://www.kustfoto.nl/kustfoto-05/goeree/html/0273-brouwersdam-doorlaatsluis.htm)
2. [Http://www.statoilhydro.com/en/TechnologyInnovation/NewEnergyAndRenewables/Pages/Tidalpower.aspx](http://www.statoilhydro.com/en/TechnologyInnovation/NewEnergyAndRenewables/Pages/Tidalpower.aspx)
3. [Http://www.norway.org.uk/business/news/hammerfest.htm](http://www.norway.org.uk/business/news/hammerfest.htm)
4. [Http://verdantpower.com/](http://verdantpower.com/)
5. [Http://www.openhydro.com/](http://www.openhydro.com/)
6. [Http://www.tocardo.com/](http://www.tocardo.com/)
7. [Http://www.seageneration.co.uk/](http://www.seageneration.co.uk/)
8. [Http://www.seageneration.co.uk/downloads/EIS%20Non%20Technical%20Summary.pdf](http://www.seageneration.co.uk/downloads/EIS%20Non%20Technical%20Summary.pdf)
9. [Http://www.fri-el.it/seapower/en/project\\_specifications.php](http://www.fri-el.it/seapower/en/project_specifications.php)
10. [Http://www.lunarenergy.co.uk/newsDetail.php?id=14](http://www.lunarenergy.co.uk/newsDetail.php?id=14)
11. [Http://www.statkraft.com/Images/Osmotic%2009%20ENG\\_tcm9-4591.pdf](http://www.statkraft.com/Images/Osmotic%2009%20ENG_tcm9-4591.pdf)
12. [Http://www.statkraft.com/about-statkraft/innovation/research-and-development/the-ocean-energy-research-programme.aspx](http://www.statkraft.com/about-statkraft/innovation/research-and-development/the-ocean-energy-research-programme.aspx)
13. [Http://www.redstack.nl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3&Itemid=4](http://www.redstack.nl/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=4)
14. [Http://www.snm.nl/page.php?pageID=43&itemID=3224&editieID=3217](http://www.snm.nl/page.php?pageID=43&itemID=3224&editieID=3217)
15. [Http://www.lievens.com/nl/pers/Dossiers/Energie+Eiland/Energieopslag+waterbouwkundig+visitekaartje/](http://www.lievens.com/nl/pers/Dossiers/Energie+Eiland/Energieopslag+waterbouwkundig+visitekaartje/)