

Technologische verkenning van Wind Amplified Rotor Platforms (WARP)

Auteur: Ronald van Dijk
Studienr.: 1098888
E-mail: r.vandijk@tnw.tudelft.nl

Vak: Techniek en toekomst (WM0908TU)
Docent: Dr.ir. Karel F. Mulder
Technische Universiteit Delft
Faculteit Techniek Bestuur en Management
Sectie Technology Assessment



Inhoudsopgave

Hfdst.	Titel	Pagina
1	Inleiding	3
2	De technische ontwerpen	4
2.1	Conventionele windmolens	4
2.2	Wind Amplified Rotor Platforms	4
3	WARP vergeleken met CW	6
4	Technologische verkenning WARP	9
4.1	Marktintroductie van WARP	9
4.2	Ontwikkeling van de WARP technologie	10
4.3	Alternatieve toepassingen van WARP	12
4.4	Toekomstbeeld WARP	13
5	Conclusie	14
	Bibliografie	15

1 Inleiding

De drijvende kracht achter de hedendaagse olie-economie is het grootschalige verbruik van energie. Verreweg het grootste deel van deze energie is afkomstig van verbranding van fossiele brandstoffen. Zoals bekend zijn deze energiebronnen, bij huidige verbruiken, binnen 50 tot 100 jaar uitgeput. Deze uitputting is vandaag de dag al te merken aan de constant stijgende olieprijzen. Door deze schaarste stijgen de kosten van het levensonderhoud. De ontwikkeling van duurzame energiebronnen is daarom ook een voorwaarde voor een acceptabele levensstandaard in de toekomst. Het reduceren van de uitstoot van het broeikasgas kooldioxide (CO₂) is, in navolging van het Kyoto-protocol, ook een drijvende kracht achter de ontwikkeling van duurzame energiebronnen.

Deze duurzame energiebronnen zijn ruwweg te verdelen in drie groepen: zonne-, wind- en waterkrachtenergie. In elk van deze divisies lopen tal van onderzoeken. Omdat er in de nabije toekomst enorme belangen zijn bij goedkope energie opwekking worden ze uitgevoerd, ondanks de hoge kosten. Dit resulteert in een zeer breed en actief onderzoeksveld. Elk jaar zullen er veel methoden worden ontwikkeld die elektrische energie maken uit duurzame bronnen. Echter van tevoren weten welke methode de meeste energie tegen de laagste kosten, lees winst, gaat opleveren is natuurlijk onmogelijk. Een (technologische) verkenning is de manier om je 'voorkennis' te maximaliseren en het succes van de nieuwe technologie in te schatten.

In dit rapport zal een technologische verkenning worden gedaan in de eerder genoemde deelgroep windenergie. In deze groep is er een standaard manier van energie opwekking uit windkracht. Deze standaard is de zogenaamde enkele horizontale-as windmolen. Deze Conventionele Windmolens (CW) zijn er in verschillende maten maar berusten alleen op het zelfde idee: meestal drie roterende wieken op een hoge basis. Deze windmolens zorgen voor 95% van de opgewekte hoeveelheid windenergie in de wereld.

Naarmate deze windmolens meer worden geplaatst begint het verzet tegen deze 'milieuvriendelijke reuzen' toe te nemen. De molens nemen een grote hoeveelheid ruimte in, zijn lawaaiig en vervuilen met hun verschijning het landschap. Ook zouden een aanzienlijk aantal vogels sterven door botsingen met de wieken. De laatste tijd verschuiven deze windparken dan ook van het land naar locaties op zee. Dit zijn de zogenoemde 'Off-shore' windparken. Echter de nadelen die met deze nieuwe locaties zijn gemoeid zorgen ervoor dat alternatieve methoden meer in trek komen. Zo is er de Wind Amplified Rotor Platforms (WARP) techniek. Deze technologie vond zijn oorsprong in 1996 en word sindsdien verder ontwikkeld door Eneco Texas.

De technologische verkenning zal zich toespitsen op de twee hierboven genoemde technologieën van windenergie opwekking. De ontwerpen en algemene technische aspecten van de twee methoden worden in hoofdstuk 2 besproken. Aan de hand van de, in hoofdstuk 3 behandelde, voor- en nadelen van de CW en WARP zal een toekomst voorspelling worden gedaan. Dit toekomstbeeld wordt geschetst in hoofdstuk 4. Hierin zal een voorspelling van het WARP marktaandeel in de toekomstige windenergiemarkt worden gemaakt.

2 De technische ontwerpen

In sectie 2.1 worden de technische aspecten en het design van de windmolens die tegenwoordig het meest worden geplaatst genoemd. In sectie 2.2 wordt de WARP technologie uitgebreid behandeld.

2.1 Conventionele Windmolens

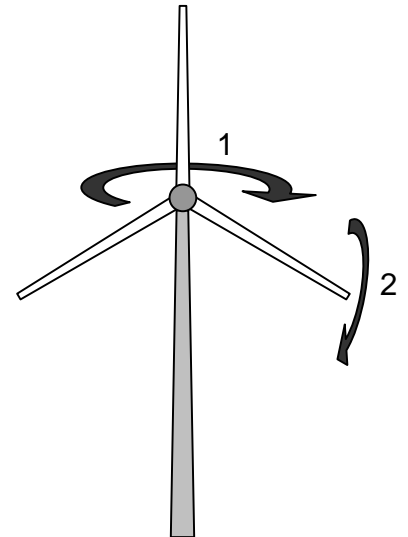
Het ontwerp van de conventionele windmolens (CW) kenmerkt zich door 2,3 of 4 grote wieken. Deze draaien rond een as die hoog boven de grond is geplaatst d.m.v. een basis. De draaiing wordt veroorzaakt door de kracht die de wieken opwekt als de wind langs het vleugelprofiel stroomt. In figuur 2.1 is een schematische voorstelling van dit type windmolen weergegeven. De windmolen kan zich aanpassen aan de windrichting d.m.v. de as te draaien t.o.v. de basis (rotatie 1). Maximale efficiëntie bij elke windsnelheid wordt bij de CW behaald door de spoed van de bladen te veranderen (rotatie 2) en/of de rotatiesnelheid van de wieken aan te passen. Voor dit laatste is een versnellingsbak nodig en deze wordt geplaatst in de kop achter het rotatiepunt. De diameter van de CW varieert tot 120 meter. Hiermee verandert ook het opgewekte vermogen tot 4 MW. Deze windmolens zorgen voor 95% van de opgewekte hoeveelheid windenergie in de wereld. Het grootste deel van de resterende 5% wordt geleverd door windmolens die zijn gebaseerd op een verticale-as ontwerp [1].

Bij extreme weersomstandigheden kan de spoed van de wieken (rotatie 2) zo worden ingesteld dat er minimale rotatiekracht op de wieken staat. Door blokkering van de as is er geen rotatie mogelijk en wordt materiaalschade beperkt. Bij onweer trekken de hoge puntige wieken de bliksem aan. Elke windmolen van deze vorm zal dan ook meerdere malen worden getroffen door de bliksem. Bij inslag wordt de schade beperkt door een metaallaag op de wieken maar ernstige schade is niet te voorkomen.

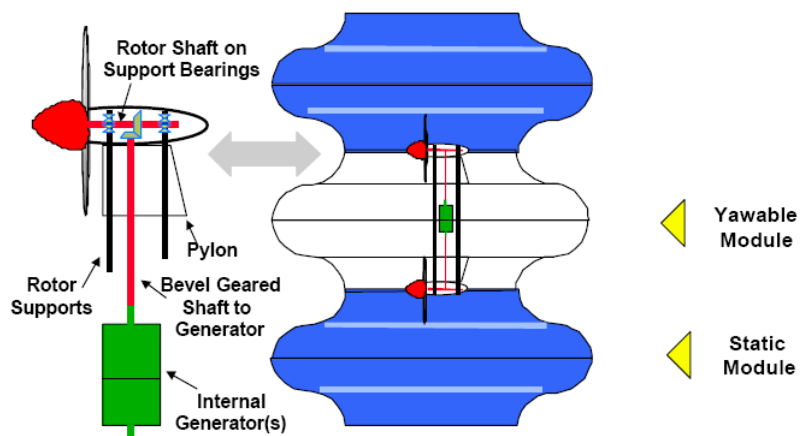
De technologie achter de CW wordt op grote schaal sinds 1940 toegepast en is dus ook ver ontwikkeld en bekend. Overal ter wereld staan deze molens op windrijke locaties zoals langs de kust of grote wateren, in bergpassen en op zee. De laatste zijn de zogenoemde offshore locaties. Deze locaties zijn tegenwoordig zeer in trek door de gunstigere windcondities en ruimtegebrek op het vaste land. Echter zijn er ook tal nadelen aan operen op deze offshore locaties. Deze worden behandeld in hoofdstuk 3.

2.2 Wind Amplified Rotor Platforms (WARP)

Deze technologie is net als die van CW gebaseerd op windkracht die wordt overgebracht op een horizontale as. In tegenstelling tot CW heeft WARP meerde kleine rotors. Figuur 2.2 geeft een schematische voorstelling van het



Figuur 2.1: Schematische voorstelling van een CW.



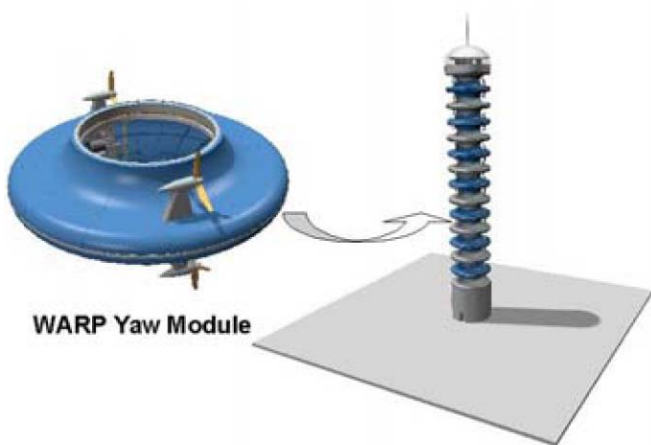
Figuur 2.2: Schematische voorstelling van een WARP module.

WARP design weer. De diameter van de rotors variëren van 1 tot 3 meter. Deze drijven vele kleine interne generatoren aan en wekken zo direct, zonder enig versnellingsmechanisme, elektrische energie op.

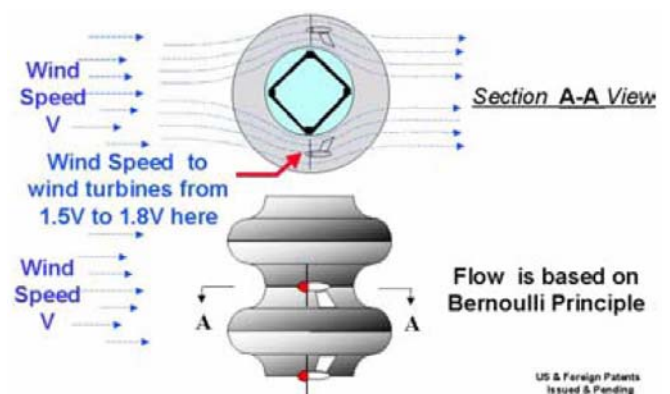
De verschillende modules worden op elkaar gestapeld zodat er een toren wordt gevormd. Zoals te zien in figuur 2.2 en 2.3 is er een alternerende opstapeling van een draaibare module en een statische module. De draaibare module wordt door de kracht op de rotors vanzelf recht op de wind gepositioneerd. De turbines worden gescheiden door aërodynamisch gevormde panelen. De vorm van deze panelen zijn afgeleid van de huidige ideale locaties voor windmolens. Op de punt van een heuvel tussen twee bergen in, deze locaties werken als natuurlijke windtunnels. De speciale vorm van deze behuizing zorgt voor een versnelling van de wind met 50 tot 80%. Dit is af te leiden uit het stromingsprofiel, dit is geïllustreerd in figuur 2.4. Door deze verhoogde windsnelheden neemt het gegenereerde vermogen aanzienlijk toe. De torens kunnen eenvoudig aan bijna elke gewenste capaciteit worden aangepast. Hogere capaciteiten worden bereikt door opstapeling van meer modules. De limiterende factor hierin is de sterkte van de interne toren constructie. Berekeningen gebaseerd op offshore locaties wijzen op een vermogen tot 50MW voor één enkele WARP toren. De grootte van deze units zijn te vergelijken met hedendaagse Tv-antennes of hoge gebouwen.

Vergelijkbaar met de CW is bij te hoge windsnelheden niet meer economisch te operen i.v.m. buitensporige materiaalslijtage. Als er destructieve windsnelheden worden gemeten moeten de turbines worden uitgeschakeld en beschermd. Dit gebeurt door de modules 90° graden t.o.v. de ideale positie te draaien. In deze stand vangen de turbines weinig wind en de panelen kunnen door hun aërodynamische eigenschappen extreme windsnelheden weerstaan. Na zulke noodsituaties kunnen de turbines automatisch weer in werking worden gesteld. De WARP torens kunnen ook op het vaste land geplaatst worden maar de verwachting is er het meest voor offshore locaties wordt gekozen. Installatie op drijvende pontons maakt ook plaatsing in diepere wateren mogelijk, dit in tegenstelling tot CW. Deze en andere verschillen worden in hoofdstuk 3 uitgebreid behandeld.

Deze methode van windenergie opwekking is in vergelijking met CW nog zeer jong en dus minder ontwikkeld. Momenteel worden de mogelijkheden van fabricage onderzocht voor een proefsite. Het is vanzelfsprekend dat de prestaties van deze site essentieel zijn voor de verdere ontwikkeling van de WARP technologie.



Figuur 2.3: De WARP modules worden opgestapeld tot een toren.



Figuur 2.4: De vorm van de behuizing zorgt voor een hogere windsnelheid over de turbines.

3 WARP vergeleken met CW

Om een goede toekomstvoorspelling te doen over het succes van WARP in de windenergie branche moet de technologie met de huidige standaard worden vergeleken. Het is vanzelfsprekend dat het WARP ontwerp grotendeels is gebaseerd op het elimineren van de belangrijkste nadelen van deze standaard.

Vandaag de dag komt er uit de samenleving steeds meer verzet tegen de plaatsing van windmolens. Vooral de plannen voor grootschalige windmolenparken ondervinden aanzienlijke vertragingen door protesten van bewoners of milieu organisaties. De argumenten van de tegenstanders zijn vooral gerelateerd aan landschapsvervuiling en geluidsoverlast. Ook zijn er organisaties die beweren dat de grote wieken zorgen voor een aanzienlijke vogelsterfte door botsingen. Naast wind technische voordelen en ruimteschaarste heeft dit maatschappelijk verzet er voor gezorgd dat er steeds meer windmolenparken in de open zee worden geplaatst. De vergunningenprocedures zijn ook aanzienlijk korter voor deze locaties door verminderde problemen met de ruimtelijke ordening. Deze offshore windmolenparken hebben natuurlijk ook de nodige nadelen. De verhouding onderhoudskosten/productie van CW is al hoger dan gemiddeld als er wordt vergeleken in andere takken van de energieproductie industrie. Door logistieke problemen en bemoeilijkt onderhoud wordt deze verhouding bij offshore locaties alleen maar ongunstiger. Ook de investeringskosten stijgen bij plaatsing in open zee. De kosten gerelateerd aan de fundering nemen sterk toe naarmate het water dieper wordt. Bij de plaatsing van de CW zorgen de logistieke problemen van het werken op zee voor extra kosten. Ook de afhankelijkheid van het weer speelt een grote rol. Deze kosten zorgen voor een aanzienlijke toename van de zogenaamde 'terugverdiëntijd'. Deze tijd is van groot belang bij de keuze van bedrijven en investeerders om tot uitvoering van de plannen over te gaan.

Omdat de kosten en verliezen veroorzaakt door het elektriciteitstransport onafhankelijk zijn van de gebruikte technologie wordt er verderop in dit hoofdstuk op in gegaan. De kosten nemen, logischer wijs, toe met afstand van de kust (haven) naar de offshore locaties maar de stroomproductie neemt toe door de hogere windsnelheden. De gemiddelde windsnelheid is op zee ongeveer 20% hoger dan aan de kust. Optimalisatie van de afstand leert dat de beste locaties zich in de kustwateren bevinden. Doordat deze wateren zich grotendeels binnen het gezichtsveld vanaf de kust bevinden zijn de ergernissen van landschapsvervuiling verkleind maar niet verholpen.

Een grote kostenbesparing zou gerealiseerd kunnen worden als de windmolens op pontons geplaatst konden worden. Dan kunnen ze, met minimale weersafhankelijkheid, in droogdokken opgebouwd worden. Het transport naar de offshore locaties van de gebruiksklare molens zou door middel van slepen kunnen gebeuren. Deze methode is in de afgelopen decennia al veel veelvuldig gebruikt bij de plaatsing van booreilanden, tunnelsegmenten en bruggen. De weersafhankelijkheid van dit transport is natuurlijk niet te verwaarlozen. Maar deze is klein vergeleken met weersafhankelijkheid van de huidige plaatsing procedure van offshore CW. Allereerst moet de plaatsing van de fundering nauwkeurig gebeuren. Vooral bij secuur en tijdrovend werk zoals de plaatsing van de kop en wieken op ± 30 meter hoogte zijn dagen lang rustige condities vereist. Aangezien men de offshore locaties zal selecteren op krachtige en bestendige winden zijn rustige

condities hier schaars. Eveneens zijn de investeringskosten bij plaatsing op een ponton onafhankelijk van de waterdiepte. Met als gevolg dat eerder genoemde optimale afstand groter zal zijn. Het is dus mogelijk de drijvende windmolen parken in verder weg gelegen krachtigere windgebieden te plaatsen. Wat de energieproductie te goede komt.

In de ontwerpen van toekomstige offshore windmolen parken wordt ondanks de genoemde voordelen niet gerekend met plaatsing op pontons. Hiervoor is een simpele reden. Door de rotatie van de CW ontstaan zogenaamde momentkrachten. Deze krachten worden bij stabiele fundering via de as en generator omgezet in elektrische energie. Bij een minder stabiele fundering, zoals de eerder genoemde drijvende constructie, gaan de krachten verloren in de bewegingen en resonantie van het ponton. Dit effect is te minimaliseren door verzwaring of plaatsing van meerdere CW per ponton. Beide opties worden echter niet economisch voordelig geacht.

De eerder genoemde WARP technologie (sectie 2.2) is echter wel geschikt voor plaatsing op een ponton. Door het sterk gereduceerde gewicht van de individuele roterende onderdelen zijn de momentkrachten sterk afgenomen. Hierbij komt nog het effect dat de vele verschillende turbines elkaar balanceren. Hierdoor zijn de verliezen door plaatsing op een ponton te verwaarlozen. Verder zijn er nog een aantal essentiële voordelen van WARP t.o.v. de CW. Door de aërodynamische panelen wordt de windsnelheid over de turbines, afhankelijk van de configuratie en de 'stacking aspect ratio', 50 tot 80% hoger (zie figuur 2.4). Door het kwadratische effect van windsnelheid op gegenereerd vermogen zorgt een toename van 65% in windsnelheid voor 4,5 keer meer vermogen en dus meer energieproductie. Het technische ontwerp van WARP is ook minder onderhoudsgevoelig. Hoewel er veel meer rotors in het ontwerp zitten is het aantal onderdelen per vermogen kleiner. Ook de grootte van de essentiële onderdelen is sterk gereduceerd. Dit zorgt ervoor dat een reparatie aan een rotor door twee mannen uitgevoerd kunnen worden in plaats van minimaal tien man en een dure drijvende kraan. Natuurlijk zal de frequentie van zulke reparaties hoger zijn maar dan nog zijn de kosten sterk gereduceerd. Door het ontwerp van de WARP torens is de kans van schade na bliksem inslag miniem. Het hoogste punt van de WARP toren kan namelijk eenvoudig worden voorzien van een bliksem afleidingsysteem. Dit in tegenstelling tot de CW, de uiteinden van deze wieken worden geregeld getroffen door blikseminslag met vaak schade, stillegging en reparatie als gevolg. Het ontwerp laat tevens toe dat het onvermijdbare routineonderhoud vanuit het interne volume van de toren, gecreëerd door de aërodynamische panelen, kan plaatsvinden. Elke turbine is te bereiken via een trap- of liftsysteem dat zich in de toren bevindt.

Dit alles resulteert in een gunstigere onderhoudskosten/productie verhouding dan CW. Maar ook de investeringskosten zullen afnemen. Doordat in de WARP technologie geldt 'scale up by numbers' d.w.z. de gewenste capaciteit kan behaald worden door een toren met een x aantal turbines uit te rusten, door ze op elkaar te stapelen. Bij de CW zijn de wieken enkel gemaakt voor een bepaalde (gemiddelde) capaciteit. Als er behoefte aan een iets grotere molen dan moeten de wieken opnieuw worden vormgegeven. Hierbij komt dat als er veel WARP torens gebouwd worden er nog veel meer (identieke) modules gefabriceerd moeten worden. De geschiedenis leert dat wanneer er massaproductie mogelijk is dit de stukprijs sterk reduceert. Al deze kosten besparingen die gerealiseerd kunnen worden door het WARP design zorgt ervoor dat de prijs per geproduceerde kWh daalt. Door de verschillende grootte en designs van de CW wieken zijn deze

kostbesparingen door massaproductie in mindere maten toepasbaar. Ook de invloed op het milieu is naar verwachting sterk gereduceerd. Denk hierbij aan verminderde vogelsterfte omdat de rotors in een goed zichtbare behuizing zijn verscholen, er worden geen vibraties aan de zeebodem doorgegeven door de CW fundering omdat de WARP unit is geplaatst op een ponton.

Er zijn echter ook nadelen die gelden voor alle methoden van offshore windenergie winning. Door de afgelegen locaties en grootschaligheid van de (geplande) offshore windenergie parken zijn er factoren die de uiteindelijke gewonnen en gebruikte energie limiteren. De geproduceerde energie zal van de offshore locatie via een kabel naar het vasteland worden getransporteerd. Hoe verder de locatie van het vaste land is verwijderd hoe groter de energieverliezen door transport. Er zijn onderzoeken en experimenten met supergeleidingkabels. Deze elimineren de transportverliezen maar creëren koelingskosten en de investeringskosten zullen hierdoor aanzienlijk stijgen. Ook is aanpassing van het elektriciteitsnetwerk een vereiste. Daar waar een elektriciteitscentrale meestal centraal in een dichtbevolkt gebied of bij een stad wordt gebouwd, is de 'aanlandingsplaats' van de op zee gewonnen energie aan de kust. Het elektriciteitsnet zal daar meestal niet zijn berekend op het transporteren van de grote hoeveelheden gewonnen energie, zeker in perioden met hogere windsnelheden. Een offshore windenergie park brengt dus ook op het vaste land grote investeringen met zich mee. In tabel 3.1 zijn de voor- en nadelen weergegeven van de besproken technologieën.

Tabel 3.1: Vergelijkingstabel van de WARP en de CW technologie.

	WARP	CW
Onshore kennis en ervaring	-	++
Offshore kennis en ervaring	-	+
Onderhoud	+	-
Opschalen naar gewenst vermogen	+	-
Reparaties aan essentiële onderdelen	+	-
Plaatsing op ponton	+	-
Botsingen met vogels	+	-
Weersafhankelijkheid bij offshore plaatsing	+ / -	-
Prijsverlaging door massaproductie	++	+ / -
Efficiënt energietransport	-	-

4 Toekomstverkenning WARP

In dit hoofdstuk wordt een verkenning in de windenergiemarkt met betrekking tot de WARP technologie gedaan. Allereerst worden de aspecten besproken die van invloed zijn op de marktintroductie. Vervolgens wordt de ontwikkeling van WARP technologie zelf behandeld die plaats zal vinden na de introductie. Als men de WARP windenergie combineert met allerlei productiemethoden ontstaan tal van nieuwe toepassingen. Deze worden kort besproken in de verkenning. Afsluitend wordt er een toekomstvoorspelling gedaan van het toekomstige marktaandeel van WARP in de windenergiemarkt.

Zoals genoemd in de inleiding van dit rapport is er naast de horizontale-as windmolen (CW) ook een verticale-as variant. Dit type produceert zoals al eerder genoemd 5% van de totale windenergieproductie. Dit percentage is het afgelopen decennia enigszins gestegen maar tegenwoordig gestabiliseerd. Dit is te verklaren door de vergelijkbare prestaties van dit type in vergelijking met de CW. Dit type windmolen is in deze verkenning buiten beschouwing gelaten omdat nieuwe technologieën zich moeten bewijzen tegenover de huidige standaard.

4.1 Marktintroductie van WARP

De WARP technologie zit momenteel nog in de experimentele fase. De resultaten van diversen experimenten worden gebruikt om de prestaties en haalbaarheid van grootschalige windenergie parken gebaseerd op de WARP technologie te berekenen. Ondertussen worden studies gedaan naar de haalbaarheid van een fabriek waarin bijna alle onderdelen worden geproduceerd in India of China. Vandaag de dag wordt de WARP methode nog niet op commerciële schaal toegepast.

Het succes van een nieuw product hangt allereerst af van de aanwezigheid van een grote afzetmarkt. Door de stijgende vraag naar energie en de eveneens stijgende olieprijs is er een grote interesse in duurzame energiewinning. Wereldwijd zijn er veel plannen voor grote offshore windmolen parken. Voornamelijk de ondiepere wateren rondom Engeland worden uitgebreid onderzocht voor grootschalige windenergie winning. Ook in andere Europese landen is de interesse voor duurzame energiebronnen groot, dit is mede door de afspraken die zijn gemaakt in het Kyoto-protocol. Langs de Deense, Duitse, Britse, Ierse, Nederlandse, Belgische en Franse kustlijn liggen vele tientallen locaties waarop projectontwikkelaars windparken willen bouwen. De European Wind Energy Association (EWEA) voorspelt dat in 2020 in de Europese kustwateren een vermogen van 70 Giga Watt wordt opgewekt [2]. Dit is gelijk aan vijf maal de capaciteit van de energiecentrales in Nederland. Ondanks de Amerikaanse verwerping van het eerder genoemde Kyoto-protocol is er ook in dit werelddeel interesse voor duurzame energiebronnen. Plannen voor offshore windmolenparken aan de oostkust van de VS zijn in volle gang. De staat Californie wil het aandeel van duurzame energiebronnen binnen 15 jaar van 1% naar 5% brengen. Gezien deze wereldwijde interesse voor windenergie gecombineerd met de voordelen van de WARP methode t.o.v. de CW is er een potentiële grote afzetmarkt.

Er zijn echter een aantal redenen voor de energiemaatschappijen om ondanks de veel belovende resultaten toch te kiezen voor grootschalige plaatsing van CW. Mogelijk omdat het bedrijf al jaren lang heeft geïnvesteerd in de ontwikkeling van CW en/of ze zijn contractueel gebonden aan de producenten van CW. Een ander punt is de beschikbaarheid van ondiepe wateren. De economische voordelen van de WARP technologie nemen toe naarmate het water dieper wordt. Aangezien er wereldwijd nog voldoende ondiepe wateren beschikbaar zijn zal dit voordeel niet doorslaggevend zijn in het voordeel van de WARP methode. Deze redenen zijn echter niet de grootste barrière voor grootschalige afname van de WARP technologie.

In de industriële sector is erg behoudend en nemen veilige beslissingen als er grote investeren mee gemoeid zijn. De theoretische voordelen van WARP kunnen wetenschappelijk zeer goed worden onderbouwd. Maar de ervaring leert dat er altijd zogenaamde 'kinderziekten' de kop zullen opsteken. Aan de winsten die voorspeld worden door de onderzoekers zitten dan ook waarschijnlijkheden die ongunstiger zijn dan bij de CW technologie. Er moet dus een keuze worden gemaakt tussen minder winst met meer zekerheid en meer winst met minder zekerheid. Bij grote investeringen zal gekozen worden voor de eerste optie. Bij kleinere projecten zal meer voor de tweede optie worden gekozen. Als deze projecten een succes blijken te zijn, wordt de zekerheid van de tweede optie verhoogd en zullen hoogst waarschijnlijk grotere projecten volgen. Dus de WARP technologie zal zich moeten bewijzen net zo als de CW technologie zich jaren geleden heeft bewezen.

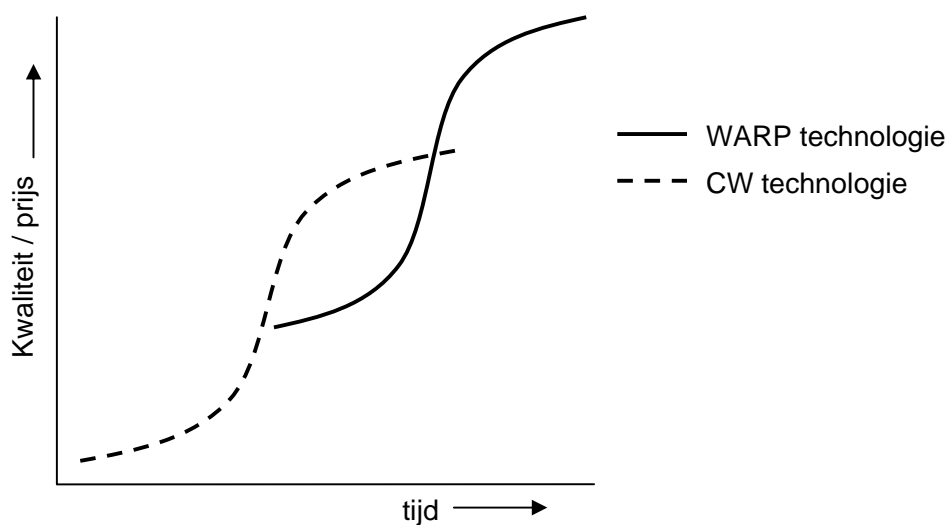
Het leveren van de eerste bewijzen is een taak van de bedenker/eigenaar van WARP. De eigenaar van de WARP technologie is de Amerikaanse energiemaatschappij Eneco Texas. Omdat het al in handen is van een energiebedrijf zal dit de introductie van WARP vergemakkelijken. De verwachting is dan ook dat de verkoop van de WARP methode een grote impuls zal krijgen pas als Eneco heeft bewezen dat een WARP windmolen park een goede investering is. Momenteel zijn er allerlei onderhandelingen tussen Eneco en andere bedrijven voor de productie van de eerste (kleine) WARP torens.

4.2 Ontwikkeling van de WARP technologie

Na de introductie van de CW in 1940 is de ontwikkeling ervan de laatste decennia sterk toegenomen maar lijkt nu langzaam een top bereikt te hebben. Er zullen altijd nog verbeteringen mogelijk zijn. Neem bijvoorbeeld de dure en onderhoudsgevoelige versnellingsbak hierin gaat door wrijving een hoop energie verloren en is de bron van de gehekelde geluidsoverlast. In de nabije toekomst zullen hoogst waarschijnlijk efficiëntere versnellingsbakken met gereduceerde geluidsproductie worden ontworpen. Maar het is niet te verwachten dat door deze verbeteringen de opbrengsten aanzienlijk zullen toenemen.

De verwachting is dat de WARP technologie zich enigszins parallel hieraan maar toch (uiteindelijk) op een hoger niveau ontwikkelt. Vóór maar vooral ná de commerciële introductie zal de technologie zich nog sterk ontwikkelen. Dergelijke ontwikkelingen zijn gebruikelijk bij technologische toepassingen. Schematisch zijn ze voor te stellen als een S-curve. Als de introductie een succes blijkt te zijn en WARP heeft bewezen een goede investering te zijn zal de ontwikkeling versnellen. Hierdoor nemen de belangen sterk toe

en neemt het onderzoek en het budget toe. Dit resulteert in een exponentiële groei van kennis. Na een bepaalde tijd, die kan variëren van 1 tot 50 jaar, zijn de belangrijkste knelpunten verholpen en de ontwikkeling begint af te vlakken. Doordat de technologie zich blijft verbeteren en aanpassen aan de huidige markt, zal er tegen die tijd een volgende technologie betere vooruitzichten hebben. Na een periode van verdere ontwikkeling zal deze technologie dan ook een hogere kwaliteit / prijs verhouding hebben. Dit zal het einde van de WARP technologie inluiden. In figuur 4.1 zijn deze trends geïllustreerd met de schematische S-curves van de ontwikkeling van de WARP en CW technologie.



Figuur 4.1: Schematische voorstelling van de ontwikkeling van twee windenergie technologieën.

In 1975 kostte de productie van 1 kWh windenergie 0,30 \$. Anno 2005 is de kostprijs 0,05 \$/kWh. De berekende kostprijs voor windenergie geproduceerd met de WARP technologie is voor onshore locaties 0,01-0,02 \$/kWh en voor offshore locaties 0,02-0,03 \$/kWh. Deze waarden zijn berekend aan de hand van een WARP windenergie parken van grootte die vergelijkbaar is met hedendaagse windmolen parken. Deze kosten van windenergie onderschrijven de trends in de kwaliteit/prijs verhouding uit figuur 4.1.

4.3 Alternatieve toepassingen van WARP

Door de mobiele en makkelijke plaatsing op een ponton zijn er naast energieopwekking voor elektriciteitsconsumptie nog tal van andere toepassingen te bedenken voor de WARP technologie. De meesbelovende toepassingen worden hieronder kort behandeld. De haalbaarheid van deze toepassingen is niet onderzocht, ze zijn ter indicatie van de mogelijkheden van de WARP technologie.

Mobiele windenergie parken

De mondiale windstromen variëren van maand tot maand. De jaarlijkse cycli bestaan meestal uit een halfjaar constante hardere windstromen gevolgd door een half jaar minder constante en lagere windsnelheden. Door de plaatsing van WARP torens op pontons is er een mogelijkheid de pontons van tijd tot tijd naar andere gebieden te transporteren. Verhoogde energieproductie door hogere windsnelheden in dat gebied kan een reden hiervoor zijn. Maar het kan ook zijn dat de pontons worden geplaatst op een locatie waar tijdelijk een extra hoeveelheid energieproductie nodig is. Hierbij wordt gedacht aan evenementen maar ook rampgebieden na natuurrampen of oorlog.

Drinkwaterproductie uit zeewater

Het ontzouten van zeewater is vandaag de dag maar zeker in de nabije toekomst essentieel om de gehele wereld bevolking van drinkwater te voorzien. Er zijn momenteel een aantal verschillende methoden om zeewater te ontzouten, echter elk proces is zeer energie behoevend. Er is een mogelijkheid om offshore aangepaste WARP pontons te plaatsen die ter plaatse zeewater ontzouten. Het geproduceerde drinkwater wordt tijdelijk opgeslagen in de pontons en verzameld door een schip.

Waterstofproductie uit zeewater

Volgens deskundigen wordt de huidige olie-economie in de toekomst vervangen door een waterstof-economie. Ook in deze toekomstige economie is er een toepassing bedenikbaar voor de WARP technologie. Vergelijkbaar met de drinkwaterproductie hierboven, kan met de opgewekte energie ter plaatse waterstof en zuurstof uit zeewater worden geproduceerd en opgeslagen worden in de aangepaste pontons.

Brandstofcel combinatie

Deze optie is gerelateerd aan de vorige toepassing. Elke locatie, on- of offshore, heeft te maken met variabele windsnelheden. Ook energieverbruik van bedrijven en particulieren kenmerkt zich door pieken en dalen. Naarmate windenergie een groter deel van de energieproductie verzorgt wordt het efficiënt opvangen van deze pieken en dalen problematisch. Conventionele energieproductie kan binnen een redelijke tijd reageren op wisselend energieverbruik. Bij directe windenergie is dit natuurlijk onmogelijk. Er is echter wel een toepassing die, met redelijke efficiëntie, kan reageren op de schommelende vraag naar energie. In perioden waar de energieproductie hoger is dan de vraag wordt vergelijkbaar met de vorige toepassing waterstof geproduceerd. Deze reserves worden aangesproken in perioden waar de vraag de productie overstijgt. Door middel van brandstofcellen wordt de waterstof omgezet in elektrische energie. Deze cyclus heeft een totale efficiëntie die wordt geschat op 40%. Als de waterstof door middel van een gasturbine wordt omgezet in elektrische energie dan is de totale efficiëntie 25-30%.

Ondanks de hogere investeringskosten die een brandstofcel kent ten opzichte van een gasturbine is deze volgens berekeningen van Eneco economischer.

Zonne- & windenergie

Het oppervlak van de WARP torens is gemakkelijk aan te passen om de plaatsing van zonnecellen mogelijk te maken. Tegenwoordig bestaan de kosten van zonnecellen voor de helft uit de kosten voor de ondersteunende structuur. Dus de plaatsing van zonnecellen is aantrekkelijker op geschikte oppervlakken die sowieso worden geplaatst. Met deze optie wordt de stroomproductie vooral in de zonnigere dagen (meestal met minder wind) vergroot.

De besproken toepassingen staan niet op zich zelf. Door verbeteringen van bijvoorbeeld brandstofcellen of ontzouting installaties worden deze toepassingen aantrekkelijker. Door bovenstaande ideeën te combineren kunnen nog betere toepassingen ontstaan.

4.4 Toekomstbeeld WARP

In de nabije toekomst is de commerciële introductie van de WARP technologie te verwachten. Na deze introductie zal de technologie zich verder ontwikkelen. Maar echte grootschalige projecten gebaseerd op de WARP technologie zullen nog op zich laten wachten. Het is logisch dat er goede argumenten nodig zijn om de huidige toonaangevende technologie te passeren. Deze huidige standaard, de CW, is dus moeilijk te verdringen maar de offshore windenergie winning is een redelijk nieuw gebied waarin frequent nieuwe uitvindingen worden gedaan. In een dergelijk technologisch ontwikkelingsmilieu is het doorbreken van gewoontes makkelijker. De eerste grote WARP successen zullen hoogstwaarschijnlijk dan ook worden behaald op offshore locaties. De alternatieve toepassingen gebaseerd op de WARP technologie zoals de productie van schoon drinkwater uit zeewater, duurzame energie op aanvraag door middel van een brandstofcel enz. voorzien de WARP technologie van een enorme potentiële afzetmarkt. Gezien deze potentie en de vele voordelen die deze technologie heeft, ten opzichte van de CW technologie, bij operen op offshore locaties is er een goede kans dat de WARP technologie binnen 20 - 30 jaar de nieuwe offshore standaard wordt. Dit betekent dus een marktaandeel in de offshore windenergie winning van boven de 50%. Vanuit deze leidende positie is het aannemelijk dat de veel oudere maar stabielere onshore standaard ook wordt overgenomen. Met als gevolg dat de WARP technologie wordt geïntroduceerd op het vaste land. Bij afgelegen locaties met hoge windsnelheden zoals bergpassen en heuveltoppen is de gemakkelijke plaatsing weer in het voordeel van WARP. Maar zoals het lot van elke technologie zal deze na een bepaalde periode maximaal zijn ontwikkeld en worden gepasseerd door een nieuwere en betere technologie. Dit zal niet te voorkomen zijn maar met goed onderzoek en investeringen is de periode wel te maximaliseren.

5 Conclusie

De conventionele windmolen (CW) is de huidige standaard bij de energieopwekking uit windkracht. 95% van de hedendaags geproduceerde windenergie komt van dit type windmolen. Sinds de introductie van dit concept in 1940 is de CW technologie verder ontwikkeld tot de hedendaagse standaard. Door de gunstigere windcondities op open zee en technische mogelijkheden groeide de interesse in offshore windmolen parken. Er zijn wereldwijd een aantal van deze offshore parken gebouwd. Er zijn echter een aantal praktische nadelen aan windenergie winning op open zee. Deze zorgden er voor dat de kosten voor plaatsing en onderhoud aanzienlijk stegen ten opzichte van de conventionele onshore operatie, die op zich ook niet gering zijn.

Dit opent de deuren voor nieuwe technologieën die betere opbrengsten hebben naar onderhoud- en investeringskosten. De technologie van Wind Amplified Rotor Platforms (WARP) elimineert vele nadelen die CW ondervinden bij offshore operatie. Zo is het mogelijk om een WARP unit te plaatsen op een ponton dit in tegenstelling tot de CW. Door deze plaatsingsmethode is de WARP toren in ondiepe en diepe wateren te plaatsen en te transporteren en dure funderingen zijn overbodig. Zoals genoemd reduceert WARP de onderhoudskosten. De WARP technologie gebruikt minder onderdelen per vermogen, essentiële onderdelen van de turbines zijn te bereiken en te vervangen vanuit de interne structuur van de WARP toren. Door het vergemakkelijkt onderhoud zijn de onderhoudskosten lager en de tijd dat de turbines daadwerkelijk energie produceren is aanzienlijk hoger. Dit alles resulteert in een berekende prijs van 0,01-0,02 \$/kWh voor onshore locaties en 0,02-0,03 \$/kWh voor offshore locaties. De huidige kostprijs van windenergie geproduceerd met CW is 0,05 \$/kWh.

Elk gewenst vermogen kan worden bereikt door een bepaald aantal WARP modules op elkaar te plaatsen. Massaproductie van deze modules is goed toepasbaar omdat elke module identiek is en grotendeels bestaat uit simpele onderdelen. De prijs van de WARP modules zal hierdoor verder dalen met goedkopere duurzame energie als resultaat.

Door de vele extra mogelijkheden die de WARP technologie heeft buiten elektriciteit produceren is er een grote potentiële afzetmarkt. Ook zijn er oplossingen om de windenergie afgifte te stabiliseren door energieopslag, in de vorm van waterstof, in perioden met veel wind. Deze reserves worden aangesproken in perioden waar de vraag de productie overschrijdt.

De genoemde voordelen en trends zijn echter theoretisch, in de praktijk moet de WARP technologie zich nog bewijzen. Dat zal gebeuren in kleinschalige windmolen parken. Deze zullen waarschijnlijk worden gebouwd door Eneco Texas, de eigenaar van de WARP technologie. Als deze een succes blijken te zijn zal de grootte van de projecten steeds verder toenemen. Desondanks de mogelijke successen zal in de toekomst de CW technologie wereldwijd nog veel worden toegepast in nieuwe projecten. Dit omdat deze technologie bekend en vertrouwd is. Bij grote investeringen worden de risico's tot een minimum beperkt. De winstverwachtingen met WARP kunnen dan wel hogere zijn maar de onzekerheden bij die winsten zijn eveneens hoger. Naarmate deze onzekerheden worden weggenomen zullen er grotere WARP projecten worden gerealiseerd. De verwachting, aan de hand van deze technologische verkenning, is dat in 20-30 jaar de WARP technologie een marktaandeel heeft boven de 50%.

Bibliografie

De numerieke feiten en illustraties in dit verslag zijn afkomstig van de WARP-internetsite <http://www.warp-eneco.com>, tenzij anders vermeld. De verwijzingen van deze uitzonderingen zijn hieronder gegeven:

- 1 Internetbron:
<http://www.eia.doe.gov/kids/energyfacts/sources/renewable/wind.html>
- 2 Shell Venster sept./okt. 2005, Shell Nederland B.V., pag. 6.