

## OFFSHORE WINDENERGIE IN BELGIË EN DE EU: SITUERING, POTENTIEEL EN IMPLEMENTATIE

Geert Palmers, Luc Dewilde, Yves Cabooter

ir. Geert Palmers, ing. Luc De Wilde & ir. Yves Cabooter. 3E, Verenigingsstraat 39, B-1000 Brussel. Tel. +32 2 217 58 68 ; Fax +32 2 219 79 89. E-mail: [Geert.Palmers@3E.be](mailto:Geert.Palmers@3E.be); Web: [www.3E.be](http://www.3E.be)

---

### 1. Europees en Belgisch beleid

De Europese energievoorziening is in stijgende mate afhankelijk van invoer. Momenteel is ca. 50% van onze energievoorziening gebaseerd op import, en dit aandeel wordt verwacht te stijgen naar 70% tegen 2030 [EU00]. Het primaire energiegebruik steeg met 1,9% (1998). Het aandeel van aardgas en hernieuwbare energie stegen met respectievelijk 4,3 en 3,7 % [EU02].

Het Europese energiebeleid richt zich op voorzieningveiligheid, duurzaamheid en economische competitiviteit van de Europese Unie. Hernieuwbare energie kan in dit beleid een centrale rol vervullen. Als inheemse bron met lage tot zeer lage milieu-impact draagt de optie bij tot de duurzaamheid van het Europese energiesysteem. Dankzij de technologische ontwikkelingen in het voorbije decenium is hernieuwbare energie in een groeiend aantal situaties een economisch competitieve optie. Daarnaast draagt een stijgend gebruik van hernieuwbare energie bij tot prijsstabiliteit van energiediensten.

De Europese Commissie publiceerde in 1997 het Witboek 'Energie voor de toekomst : duurzame bronnen van energie'. Hierin werd een doelstelling vooropgesteld om tegen 2010 12% van het bruto binnenlands verbruik van de EU te produceren op basis van hernieuwbare energiebronnen. Momenteel bedraagt de bijdrage ca. 6%. In 2001 werd de eerste Europese richtlijn over hernieuwbare energiebronnen goedgekeurd, gericht op het bevorderen van elektriciteitsproductie op basis van deze bronnen. De richtlijn introduceert een rapporteringsplicht over de evolutie van het aandeel van het verbruik van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen in iedere lidstaat, en een verplichting invoert m.b.t garantie van oorsprong van deze elektriciteit. Verder worden er indicatieve doelstellingen per lidstaat aangegeven, en een globale EU15 doelstelling van 22,1% aandeel van groene stroom in het bruto binnenlands elektriciteitsverbruik. De Europese Commissie kan, indien de natuurlijke evolutie afwijkt van de vooropgestelde doelstellingen, bindende maatregelen voorstellen. België heeft hierbinnen een indicatieve doelstelling van 6% tegen 2010.

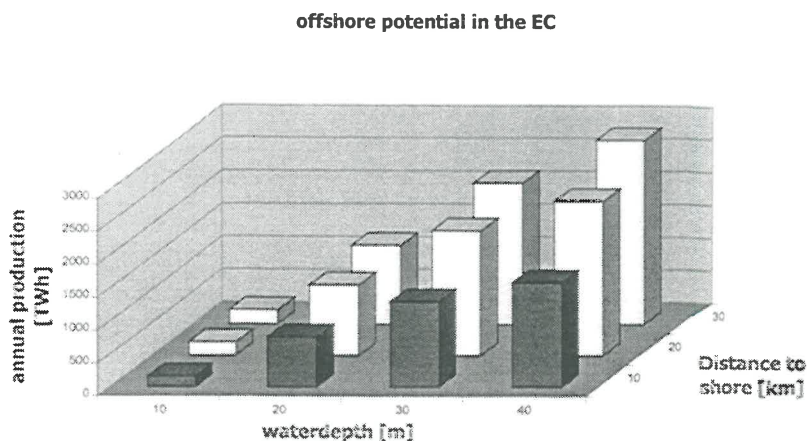
België heeft de Europese doelstellingen voor elektriciteit op basis van hernieuwbare bronnen opgenomen in zijn regionale en federale wetgeving.: België beoogt om 6% van zijn elektriciteitsverbruik te realiseren op basis van hernieuwbare bronnen tegen 2010.

De huidige bijdrage van hernieuwbare bronnen in België is beperkt tot ca. 1% van het elektriciteitsverbruik.

## 2. Potentieel windenergie

### 2.1. Potentieel EU

Verschillende studies hebben een inschatting gemaakt van het offshore windpotentieel in Europa. [HAS 95] [HOL 00]. Beide studies in referentie schatten het technisch offshore wind potentieel groter dan het elektriciteitsverbruik van de EU. Afhankelijk van de waterdiepte (maximaal 40 m) en de afstand tot de kust (maximaal 30 km) bedraagt het cumulatief offshore windpotentieel 2800 TWh/a (see Figuur )



Figuur 1: Offshore windpotentieel in de EU

### 2.2. Potentieel België

Het technisch potentieel werd in verschillende bronnen ingeschat sinds 1984. Voor offshore wind variëren de schattingen tussen een jaarproductie van 0 – 4500 GWh/jaar al naargelang de veronderstellingen. De meest recente studies, die de beperkingen van concurrerende economische en ecologische functies in rekening nemen, schatten een jaarproductie van 3000 à 4500 GWh.

Tabel 1. Potentieel wind energie in België

Installed capacity (MW)	Energy production (GWh/yr)			Referentie	Opmerkinge
	On shore	Offshore	Total		
3 000				Dewilde et. Al. 1984	Technische potentieel
	2 700			EWEA 1990	
1 500	3 000			Van Leuven et al. 1990	Economische potentieel 2030
	1400			ESD 1994	Realiseerbaar 2010
	1665	500	2165	De Grootte et al. 1995	Realiseerbaar 2010
100	200			De Ruyck 1996	
2100	1200	4500	5700	ODE 1997	Enkel Vlaams Gewest/datum ?
1500 à 2000	1200 à 2400	3000	4200 à 5400	AMPERE Commissie	2020

### 3. Implementatie Offshore windenergie

#### 3.1. Afweging onshore versus offshore windenergie

De beperkte beschikbare ruimte op land is een drijvende kracht voor de ontwikkeling van offshore windenergie. Andere voordelen zijn :

- Beschikbaarheid van grote open ruimtes
- Grotere windsnelheden
- Lagere turbulentie, waardoor de opbrengst hoger ligt en de vermoeiingsbelasting afneemt en de levensduur stijgt
- Lagere wind-shear, waardoor kleinere torens kunnen gebruikt worden

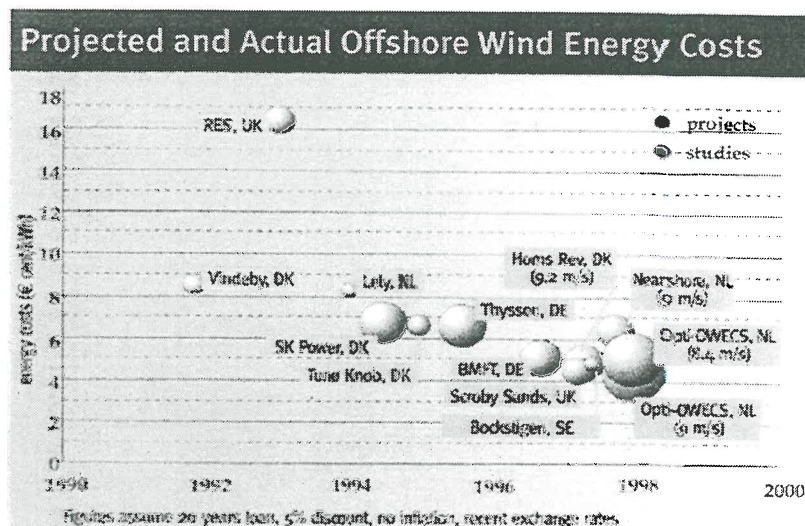
Hiertegenover staat de hogere kapitaalkost als gevolg van :

- Additionele kosten van mariene fundering
- Hogere kosten als gevolg van netkoppeling, en in sommige gevallen de versterking van zwakke netten in kustgebieden
- Duurdere installatie als gevolg van de beperkte en moeilijke toegang tijdens slechte weersomstandigheden
- Beperkte toegang tijdens de operationele periode voor onderhoud, die kan leiden tot lagere turbinebeschikbaarheden en dus tot lagere opbrengsten.

#### 3.2. Economische aspecten

Offshore windenergie vereist initieel hogere investeringskosten dan onshore t.g.v de hogere funderingskosten en de netkoppeling. Bijkomend verhoogd de 'marinisering' van windturbines de kosten van offshore wind. Investeringskosten zijn gereduceerd van tyisch 2200 €/kW voor de eerste Deense offshore windparken naar een kost van 1650 €/kW voor Horns Rev, overeenkomend met een elektriciteitskost van 4,9 ¢cents/kWh. Grotere windturbines zullen de investeringskosten per MW verder doen dalen, tesamen met goedkopere geoptimaliseerde installatie- en onderhoudstechnieken.

Voor grote projecten is het nog onduidelijk onder welke voorwaarden (due diligence, certificatie, verzekeringen) bankleningen toegestaan worden voor grote offshore windprojecten. Het succesvol realiseren van demonstratieprojecten is hiertoe essentieel.



Figuur 2 : Huidige en geprojecteerde energieproductiekosten voor offshore windenergie

### 3.3. Technologie

De wind turbines die in de eerste demonstratieprojecten windenergie off-shore worden toegepast zijn aangepaste of "gemarineerde" on-shore ontwerpen. Op basis van de markt voor windenergie off-shore die zich momenteel aftekend, is het zeer waarschijnlijk dat geheel nieuwe concepten voor optimale off-shore technologie zullen ontwikkeld worden in de komende 10 à 20 jaar.

#### *Aangepast design*

Verbeterde ontwerpen kunnen erin bestaan het aantal componenten te verminderen of passieve systemen toe te passen. Voorbeelden hiervan zijn ontwerpen zonder tandwielkast, passieve pitch controle, downwind turbines met vrije krui-controle, het gebruik van nieuwe materialen zoals koolstofvezels.

Het valt te verwachten dat voor windturbines die ver in zee staan het concept van afwindse turbine met 2 wieken met hoge tipsnelheidsverhoudingen aan een heropleving zullen toe zijn. Off-shore concepten zullen vernieuwende installatieconcepten bevatten evenals elektrische conversie-en transport-innovaties, corrosiebescherming en integratie van ontwerpvoorwaarden als golfslag-en windbelasting.

Pitch-gestuurde turbines met variabele snelheid zullen het marktsegment van de grote machines domineren.

#### *Nieuwe generator concepten*

Het rotatiesnelheidssysteem houdt verband met het concept van het elektrotechnisch systeem van de turbine. In vroegere traditionele ontwerpen werd meestal een rotor met constante snelheid gekoppeld aan een asynchrone of inductiegenerator toegepast. Dit ontwerp is eenvoudig en robuust en het wordt vaak gebruikt in combinatie met een stall geregelde rotor. In de vakliteratuur wordt veelal naar dit concept verwezen als het 'het typisch Deense concept'.

Om het geluid te beperken en ook de opbrengst bij lagere windsnelheden (<7m/s) te verhogen wordt vaak een systeem met tweevoudige snelheid toegepast. Dit wordt hoofdzakelijk bekomen door gebruik van een generator met poolaanpassing (1000-1500 rpm).



De voorbije 10 jaren hebben een aantal ontwikkelingen op dit vlak plaatsgevonden:

- Semi-variabele snelheid met gebruik van een dubbel gevoede inductiegenerator. Dit laat 25% variatie in de snelheid toe. De stator van de generator is direct met het net gekoppeld. De gewonden rotor is aan het net gekoppeld door middel van een vermogensomvormer.
- Het direct aangedreven synchrone generator systeem: de rotor is hierbij direct verbonden met een multipool generator met laag toerental en er is geen reductiekast nodig wat het mechanisch gedeelte sterk vereenvoudigt.
- Directe aandrijving van een generator op hoogspanning: er wordt gebruik gemaakt van een rotor met variable snelheid en met permanente magneten. De uitgang op een spanning van 20kV wordt via diodes omgevormd tot gelijkstroom. De turbines worden in groepen geconnecteerd en het gegenereerde vermogen zal zonder nood aan een transformator naar het net worden gebracht.

#### *Grotere machines*

Deze ontwikkeling naar grotere machines is natuurlijk ook bepaald door kostenaspecten:

- Golfslag is de belangrijkste factor die de vereiste sterkte en gewicht van off-shore funderingen voor windturbines bepaalt. Bijgevolg is het veel rendabeler van grote windturbines in te zetten omdat de omvang en de kosten van de funderingen niet proportioneel met de grootte van de windturbine toenemen.
- Netkoppeling is een andere belangrijke kostfactor. Het is duidelijk veel goedkoper om minder turbines aan het net te koppelen voor een gegeven totaal wind park vermogen.
- Grotere machines laten toe kosten te besparen op gebied van onderhoud omdat er minder eenheden zullen moeten worden bezocht per boot.

Verder opschalen van de wind turbines behoort nog tot de mogelijkheden hoewel de logistieke aspecten van zulke grote eenheden op land al behoorlijk moeilijk zijn geworden. Schachtdiameters zullen bij voorkeur niet groter zijn dan 4.2 tot 4.4 meter indien zij in normale secties per vrachtwagen of trein dienen te worden getransporteerd. Zowel fabrikanten als klanten verkiezen machines die reeds grondig op land zijn getest vooraleer ze op zee te gaan installeren.

#### *Netkoppeling*

De technische implementatie van offshore windpark netkoppeling zal worden beheerd door de parameters geïnstalleerd vermogen en afstand tot de kust. Bij kleine off-shore windparken zeer dicht bij de kust kan de netkoppeling gerealiseerd worden door middel van één of meerdere middenspanningslijnen. Het balanceren van het reactief vermogen en de spanningsstabiliteit kan bij deze toepassingen moeilijkheden opleveren.

Toekomstige offshore windparken zullen een geïnstalleerd vermogen hebben van 1000 MW of meer en bevinden zich veel verder van de kust. Deze parken dienen aan het transmissienet gekoppeld worden via hoogspanning of extra hoge spanningslijnen met offshore onderstations op aparte platformen.

Voor lange afstanden en/of voor grote vermogens worden AC-connecties echter gepenaliseerd door relatief hoge verliezen. De koppeling tussen het off-shore windpark en het net op het vasteland kan gerealiseerd worden door een zogenaamde DC-link (Direct Current) die wel AC/DC (offshore) en DC/AC (onshore) vermogensomvormers

vereist. De turbines onderling worden verbonden met een middenspanningsnet waarbij elke turbine is uitgerust met een step-up transformator tussen het interne laagspanningssysteem (<1kV) van de windturbine en het middenspanningsdeel op spanningen tot 36kV. Deze transformator en de aanverwante middenspanningsschakelapparatuur zal worden geïnstalleerd binnenin de toren of de gondel van de windturbine.

Alhoewel momenteel nog niet beschikbaar op de markt, lijkt het opportuun om bij grotere windturbines de uitgangsspanning en de nominale spanning van de generator op middenspanning te brengen. Verder lijkt het onwaarschijnlijk dat hoogspanning zal worden gebruikt voor interconnectie van windturbines om wille van de hogere specifieke techniciteit en de verbonden kosten.

Een alternatief voor een middenspanningsnet om het windpark te verbinden, is een DC net. Hierdoor worden synchronisatieproblemen tussen windturbines vermeden wat het mogelijk maakt turbines met variabele snelheid onderling te verbinden. Tot vandaag zijn dergelijke systemen nog niet toegepast en is de technologie om dergelijke interconnecties te maken nog niet beschikbaar.

### 3.4. Impact van offshore windenergie

De realisatie van offshore windenergieprojecten in de Belgisch territoriale zee levert een betekenisvolle bijdrage tot de doelstellingen van het Europees en Belgische energiebeleid, op het vlak van emissiereducties en 'inheemse' energieproductie.

#### *Vermeden CO<sub>2</sub> emissies*

Een gemiddeld park van 100 MW geïnstalleerd vermogen vermijdt een CO<sub>2</sub> emissie van minstens 110 kton CO<sub>2</sub>/jaar (Belgische energiemix), hetgeen overeenkomt met de absorptie van 22 000 ha bos, t.t.z. vergelijkbaar met 5 keer de jaarlijkse absorptie van het zoniënwoud.

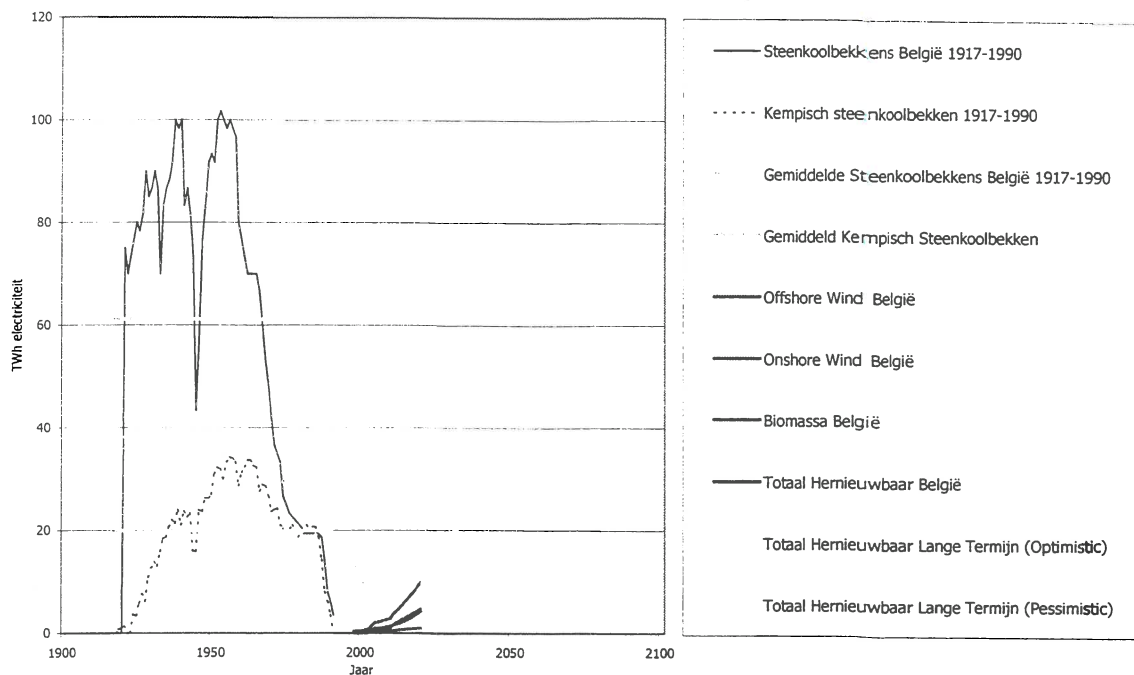
#### *Socio-economische impact*

Wind heeft een belangrijke socio-economische impact. De windindustrie genereert ca. 4,5 job/MW aan directe werkgelegenheid.

#### *Energieproductie*

Een typisch 100 MW windpark produceert ca. 330 GWh/jaar, equivalent aan het jaarverbruik van 100 000 Belgische gezinnen.

Figuur 3 geeft een vergelijking tussen de verwachte bijdrage van alle hernieuwbare bronnen, inclusief offshore windenergie, met een equivalente elektriciteitsproductie op basis van de ontgonnen steenkool (enige significante 'inheemse' energiebron in België naast hernieuwbare bronnen) in de periode 1917 – 1990 (gebaseerd op een rendement van een steenkoolcentrale van 40%). Hieruit blijkt dat het potentieel aan elektriciteitsproductie van offshore windenergie in de Belgisch territoriale wateren in grootte-orde vergelijkbaar is met deze van een grote steenkoolmijn (25% van het Kempische bekken), maar dan onuitputbaar en met zeer lage emissies.



Figuur 3 : Vergelijking met de equivalente elektriciteitsopwekking op basis van de steenkoolproductie 1917 – 1990 met de potentiële bijdrage van hernieuwbare bronnen tot elektriciteitsproductie na 2000.

#### Visuele impact

De eerste generatie offshore windparken zal in een zone gebouwd worden die nog zichtbaar is vanuit de kust. Figuur geeft een impressie van een offshore windpark van 100 MW op 6km van de Belgische kust. Hoewel een visuele impact inherent een subjectief gegeven is, bieden windturbines het voordeel dat het na een zijn economisch levensduur eenvoudig kunnen verwijderd worden als er betere beschikbare technologie zou zijn. De volgende generatie offshore windparken, gebaseerd op windturbines met een eenheidsvermogen van 3 à 5 MW kunnen gerealiseerd worden buiten het gezichtsveld vanuit de kust.



Figuur 4. Visuele impressie van een 100 MW offshore windpark op 6 km afstand van de Belgische kust

#### Referenties

- [GRU 94] Grubb M., Meyer N., "Renewable energy sources for Fuels and Electricity" Island Press, Washington DC, 1994
- [TRO 89] Troen I, Petersen E., "The European Wind Atlas" Riso National Laboratory, Roskilde (DK), 1989
- [VWI 93] Van Wijk A.J.M., Coelingh J.P., "Wind potential in OECD countries" University of Utrecht, 1993
- [HAS 95] Germanische Lloyd, Garrad Hassan, "Study of Offshore Wind Energy in the EC" Joule I project, Verlag natürliche energie, Brekendorf 1995
- [HOL 00] Holger Soker, Rehfeldt Knud "Offshore wind energy in the North Sea" a study by DEWI, October 2000
- [TUD 01] Consortium 'Concerted Action on Offshore Wind Energy in Europe' "Offshore wind energy : ready to power a sustainable Europe" Delft University Wind Energy Research Institute 2001- European Commission
- [WIN 99] "Windforce 10 , A blue print to achieve 10% of windpower penetration" Published by EWEA, Greenpeace