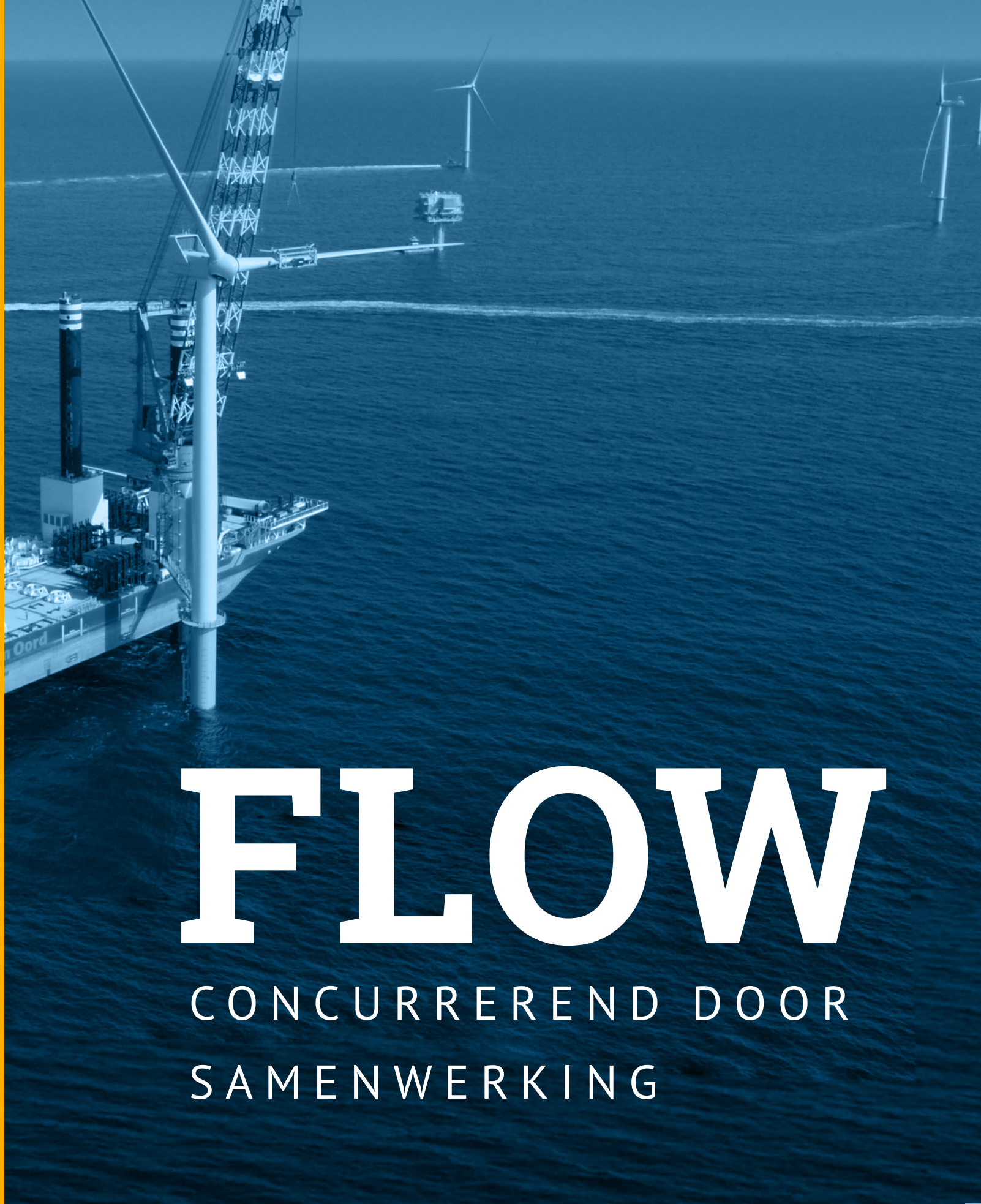
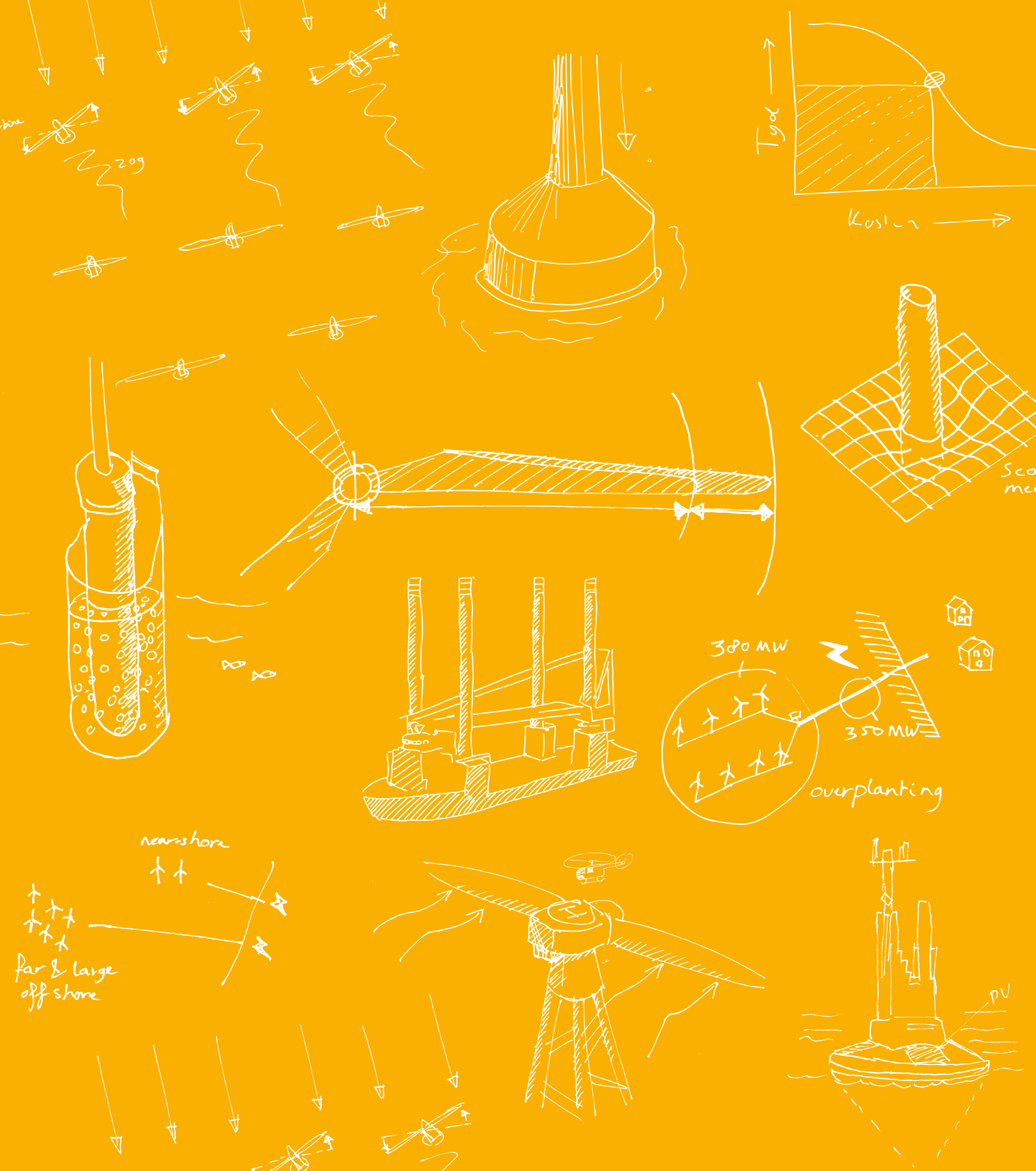


FLOW

CONCURREREND DOOR SAMENWERKING

FLOW het boek


209
380 MW
350 MW
overplanting
nearshore
far & large
off shore
PV

FLOW

CONCURREREND DOOR SAMENWERKING

COVER PHOTO: ENECO

FLOW: de pijler onder Hollandse windenergie op zee

Zo'n zeven jaar geleden wisten de direct betrokkenen eigenlijk al dat energieopwekking uit wind op zee een florissante toekomst was beschoren, zeker op en rond de Noordzee. Maar die gedachte leidde destijds niet meteen tot gecoördineerde actie.

Het is te danken aan een aantal zieners in onderzoek en industrie dat offshore windenergie in Nederland anno 2016 beter dan ooit op de kaart staat. Zij stonden aan de wieg van FLOW: het vijfjarig onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma op het gebied van Far and Large Offshore Wind. Zonder overdrijven kan ik zeggen dat FLOW de Nederlandse industrie, het onderzoek en de energiebedrijven op een niveau heeft gebracht waarop zij internationaal kunnen blijven concurreren. Offshore windenergie zelf is in de huidige marktomstandigheden nog niet concurrerend, maar een duurzame toekomst is dichterbij dan ooit, en Nederland speelt daarin een belangrijke rol.

Dit boek gaat over de resultaten van FLOW, en laat de mensen aan het woord die meegewerkt hebben aan vijf jaar onderzoek en ontwikkeling. Het boek presenteert een breed palet aan innovaties. Zoals: Speciale turbines voor ver op zee die verder werden ontwikkeld en nu worden gedemonstreerd. Aangepaste funderingen en bouwmethodes worden al toegepast. Verbeterde algoritmes halen de uiterste opbrengst uit een windpark. Voor de opgewekte elektriciteit zijn slimme methodes ontwikkeld zodat met dezelfde investering meer elektriciteit wordt getransporteerd. Veiligheidsaspecten zijn beter in beeld gebracht. En nog veel meer.

FLOW is gebouwd op drie pijlers. Ten eerste is een substantiële groei van het aandeel duurzame energie niet goed mogelijk zonder grootschalige windenergie op zee, dus niet alleen vlak onder de kust maar ook midden op zee. Hoe verder op zee, hoe harder de wind, hoe groter de ruimte en hoe minder beperkingen vanwege bezwaren van omwonenden. Daarentegen wordt de bouw en het onderhoud van windturbines ingewikkelder en mag het mariene milieu niet worden verstoord. FLOW werkte aan deze grootschalige uitdagingen en aan het oplossen van die nadelen, bijvoorbeeld met een systeem om geluid bij de bouw voor de mariene fauna te beperken (zie pagina 51)

De tweede pijler is het besef dat wind op zee als energiebron nog een weg te gaan heeft voordat zij op kosten kan concurreren met aardgas of kolen. Rondom de start van FLOW in 2008/2009 stelden de consortiumpartners zichzelf ten doel dat de kosten per kilowattuur binnen ongeveer vijf jaar met 20% moesten dalen, en daarna nog verder. Die 20% was ambitieus maar bleek realistisch, want na vijf jaar zijn de kosten ook daadwerkelijk 20% lager. Daaraan heeft FLOW substantieel bijgedragen (zie pagina 17).

De derde en misschien wel belangrijkste pijler heet samenwerking. Bij de start van FLOW was het alle partijen in de bedrijfskolom duidelijk dat we elkaar nodig hadden om windenergie op zee op een hoger plan te brengen. Maritieme aannemers, onderzoekspartijen, energiebedrijven en turbinebouwers vonden elkaar in FLOW. En—niet onbelangrijk—samen vonden zij ook de overheid, die FLOW voor de helft meefinancierde en die ook de laatste jaren is gaan optreden als ontwikkelpartner voor wind op zee. (zie ook: Het nut van samenwerken, pagina 29)

Windenergie op zee is daarmee de kinderschoenen wel ontgroeid. Er worden al miljarden euro's geïnvesteerd (en dus omgezet), en de industrie heeft vooruitzichten op veel meer. Mooi vond ik om te zien dat het gedeelde perspectief van een sterk groeiende industrie in de bestuurskamers van zowel MKB als van grote bedrijven de voorrang kreeg boven concurrentie—uiteraard met inachtneming van ieders bedrijfsgeheimen. Dat heeft ook de Nederlandse overheid herkend, want die wijst niet alleen steeds op het belang van offshore wind voor Nederland, maar voegt ook de daad bij het woord.

Zonder alle technologische innovatie tekort te doen: misschien is wel de belangrijkste verworvenheid van FLOW dat offshore wind op de agenda staat van zowel bedrijven als de overheid.

Peter Terium
Bestuursvoorzitter RWE

FOTO: MENNO MULDER

FOTO: MENNO MULDER

Inhoudsopgave

Een nieuwe fase voor offshore wind in Nederland	9
Prioriteit nr 1: kostenreductie	17
Het ontstaan van FLOW	23
Het nut van samenwerken	29
Een nieuwe tak in het stroomnet	33
Een vracht wetenschap	37
Bedrijven van een windpark	43
Windpark Luchterduinen	45
Milieu en geluid	51
FLOW-innovaties in het vat	55
Een alternatieve fundering	63
Offshore turbinebouwers in FLOW	67
De risico's onder controle	73
De toekomst van wind op zee (in Nederland) is geweldig	77
Een overzicht van alle FLOW-projecten	80
Partners in FLOW	85

De thema's die worden behandeld kunt u herkennen aan de zijkant van de pagina:

- OFFSHORE WIND/FLOW
- BELEID
- HISTORIE
- TOEKOMST
- KOSTENREDUCTIE
- SAMENWERKING
- WETENSCHAP
- TECHNIEK
- MILIEU EN NATUUR
- FINANCIERING
- INDUSTRIE
- TOEPASSING
- INNOVATIES
- FUNDERINGEN
- ELEKTRICITEITSNET
- METEN
- TURBINES
- O&M
- VEILIGHEID

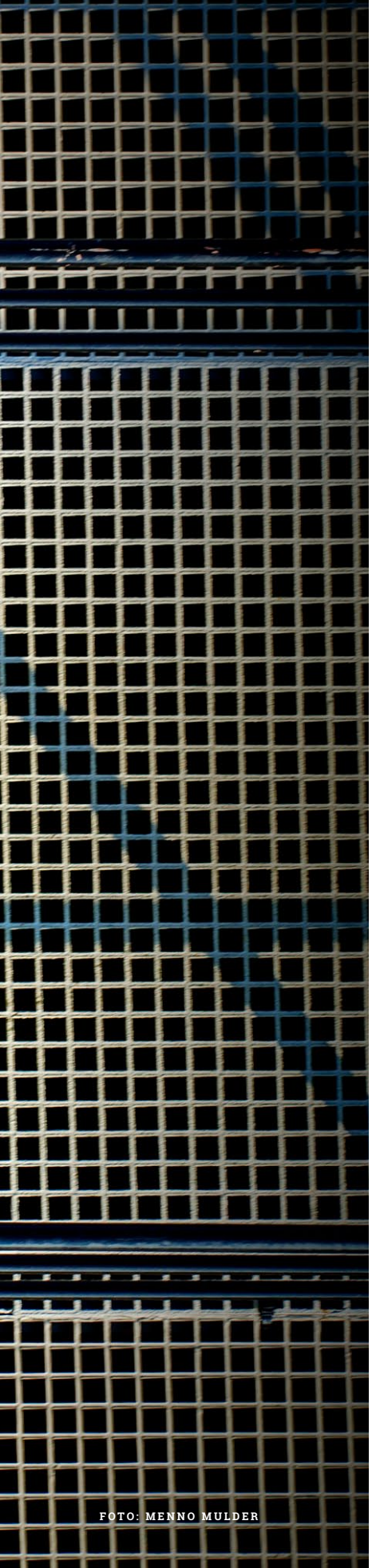


FOTO: MENNO MULDER

Een nieuwe fase voor offshore wind in Nederland

Uit zon en wind zou de wereld in theorie in één uur haar energieverbruik voor het hele jaar kunnen putten. Dat zal in de praktijk nooit gebeuren, maar als we erin slagen om pakweg een-tienduizendste van dat potentieel te benutten dan kan de wereld volledig op schone, duurzame energie draaien, tot in lengte van jaren.

Het aantrekkelijke beeld van een 100% schone energie-voorziening is volgens sommigen nog science fiction maar de sterke opkomst van duurzame energie is niet te ontkennen. De wereld heeft ontdekt dat schone energie nodig is voor een leefbaar klimaat. De wereld heeft ook ontdekt dat schone energie kán. Wind- en zonne-energie worden niet meer gezien als kostenposten om het milieu te sparen maar als de nieuwe pijlers onder het energiesysteem.

Anno 2016 overtreffen de investeringen in duurzame energie wereldwijd al die in fossiele energie. Een belangrijke reden daarvoor is dat investeerders merken dat de relatieve kosten van duurzame energiebronnen dalen waardoor hun verdienmodel steeds beter wordt. Dat tekent een industrie op weg naar wasdom. Dit is ook van toepassing op de winning van windenergie op zee.

"We staan aan de vooravond van een nieuw energietijdperk. Offshore wind zal daarin, zeker in Noordwest Europa, een doorslaggevende rol spelen. Maar eerst moeten we nog aan de slag om zeker te stellen dat wind op zee binnen die nieuwe markt ook grote hoeveelheden energie tegen acceptabele kosten kan leveren in symbiose met alle andere gebruikers van de Noordzee".

ERNST VAN ZUIJLEN, FLOW

Kostendaling

Kosten dalen niet vanzelf, dat vergt veel onderzoek- en ontwikkelingswerk. En tegelijkertijd is het reduceren van de kosten van technologie nooit het gevolg van R&D alleen. Vindingen uit het laboratorium of van de tekentafel moeten voortdurend worden getoetst op praktische bruikbaarheid. Andersom bepaalt de praktijk van het gebruik van technologie vaak in welke richting onderzoekers moeten werken om nog weer 1 of 2% kosten te reduceren. Dat klinkt wellicht mager maar opgeteld zijn dat zeer relevante besparingen. Met andere woorden: voortgaande technologische ontwikkeling is gebaat bij een goede wisselwerking tussen marktpartijen (maakindustrie, dienstverleners, afnemers) en partijen in onderzoek en ontwikkeling. Dat biedt ook de beste garantie voor afstemming op maatschappelijke en economische randvoorwaarden. Een stabiele kostenreductie is bijvoorbeeld direct van invloed op de ontwikkeling van de markt. Anderzijds zijn een stabiele markt en slim beleid voorwaarden voor stabiele investeringen in de sector en beperking van de risico's. En daarmee ook de weg naar goedkopere financiering.

Die wisselwerking is de kern van het FLOW-onderzoeksprogramma naar Far and Large Offshore Wind (grote windturbines in zee, ver van de kust). Wind op zee is voor Nederland een belangrijke duurzame energiebron omdat op zee de wind hard waait, omdat er niemand in de buurt woont en omdat er veel ruimte is. Wind op zee heeft de toekomst, maar moet dat nog wel waarmaken.

Verder op zee

Er staan al Nederlandse windparken op zee, zoals het Prinses Amaliawindpark, Offshore Windpark Egmond aan Zee en Eneco Luchterduinen. Deze staan nog relatief dicht op de kust, in ondiep water. Er zijn ook parken in aanbouw in dieper water (35 tot 40 meter); Gemini Offshore Windpark ten noorden van de Waddeneilanden, kan worden beschouwd als het eerste 'far offshore' windpark van Nederland.

Wil de Nederlandse windenergie zijn riante toekomstperspectief op zee waarmaken dan moeten windparken ook steeds verder uit de kust worden gebouwd. Dat is een technologische en ook economische uitdaging. Verder uit de kust betekent namelijk ook: dieper water, ruigere omstandigheden en lastiger te bereiken. Die drie complicaties betekenen ook hogere kosten, al is de opbrengst vanwege de hardere wind ook hoger. Kostenreductie is dan ook een belangrijke voorwaarde om meer windparken te kunnen aanleggen in de Noordzee en elders. FLOW is een van de eerste programma's die concrete getallen aan de te behalen kostenreductie durft te koppelen.

Van certificeren naar 'bankable'

Voor de offshore windindustrie is de rol van de certificeerder van zeer groot belang. De certificeerder (certificerende instanties zoals DNV-GL, TüV) speelt namelijk een centrale rol in het goedkeuren van de constructies en installatiemethodes van een project. Ernst van Zuijlen: "Zonder zo'n certificatie lenen banken geen geld aan een projectontwikkelaar of slechts tegen veel hogere rente." In financiële termen: het park is niet 'bankable'.

"Alle innovaties in FLOW zijn erop gericht dat zij voldoen aan de eisen van een certificeerder," zegt hij. "Natuurlijk weten onderzoekers niet van tevoren of certificeerders akkoord gaan met een nieuw concept. Daarom worden innovaties vaak al in een vroeg stadium getoetst aan hun visie." Dat leidt er vaak toe dat een onderzoekslijn tevreden moet zijn met een voorlopige indicatie dat de innovatie aan het eind van het ontwikkelingstraject waarschijnlijk op een certificatie kan rekenen. "Dat is voor de onderzoekers het signaal om door te gaan en de uiteindelijke innovatie voor certificering in te dienen."

FLOW en 20% kostenreductie

Dit boek gaat over het vijfjarige FLOW R&D programma (Far and Large Offshore Wind) waarin gewerkt wordt aan steeds grotere turbines die steeds verder op zee zullen worden gebouwd, van enkele tientallen tot wel honderden kilometers uit de kust. Eigenlijk is FLOW samen te vatten in twee termen: Kostenreductie en Samenwerking. Die twee termen zijn de paraplu voor de activiteiten van FLOW.

Na de start van FLOW kwamen de industrie en de overheid in een Green Deal overeen dat de kosten van windenergie op zee binnen ongeveer tien jaar met 40% zouden moeten dalen. Dit percentage is opnieuw vastgelegd in het nationale Energieakkoord van 2013, maar nu in combinatie met een markt perspectief, omdat erkend werd dat kostenreductie alleen onder die voorwaarde plaats vindt. Met 40% lagere kosten concurreert wind op zee nog niet op de huidige stroommarkt met fossiele brandstofcentrales, al verandert dat beeld als er rekening gehouden wordt met een hogere prijs voor C02. Bovendien biedt de recente ontwikkeling ook perspectief op nóg lagere kosten en een zeer grote rol in de energietransitie.

Aan het eind van vijf jaar FLOW is windenergie op zee nu ongeveer halverwege een kostenreductie van 40% sinds 2010 en dat is een prestatie waarin FLOW een belangrijk aandeel had. FLOW heeft in de kostenreductie van 20% de beloofde 'significante bijdrage' geleverd. Achter dat eenvoudige getal schuilt een wereld van verbeteringen en modificaties, in ontwerpen, materialen, bouwconstructies en installatiemethodes, heipalen, bekabeling, bedrijf en onderhoud, meetprogramma's en nog veel meer.

Industrie, energiesector en kennisinstellingen

Dit boek gaat over de totstandkoming van FLOW op initiatief van de industrie, over het onderzoek en de resultaten daarvan en over de vooruitzichten die daardoor zijn ontstaan. Maar meer nog dan over technologie gaat dit boek over de samenwerking tussen verschillende partijen uit industrie, energiesector en kennisinstellingen. FLOW mag model staan voor een aanpak die een goede basis levert voor een volwassen industrie met een potentieel groot belang voor de Nederlandse energievoorziening en de Nederlandse economie. Dat leverde uiteindelijk de bijdrage aan de kostenreductie en de beperking van risico's voor financiers en weefde tegelijkertijd de netwerken en de goede onderlinge verbanden tussen nationale en internationale partijen.

Door die bundeling van krachten tussen bedrijven en onderzoekers zijn ontwikkelingen tot stand gekomen die anders waarschijnlijk niet zouden zijn gerealiseerd of slechts later. De versnelling van technologische innovatie, de kostenreductie en de beperking van de risico's voor financiers en veiligheid die de FLOW-initiatiefnemers bij de start voor ogen stonden zijn grotendeels of geheel gerealiseerd.

Vestas
GOW 4H
GOW 6H
90°
90°
90°

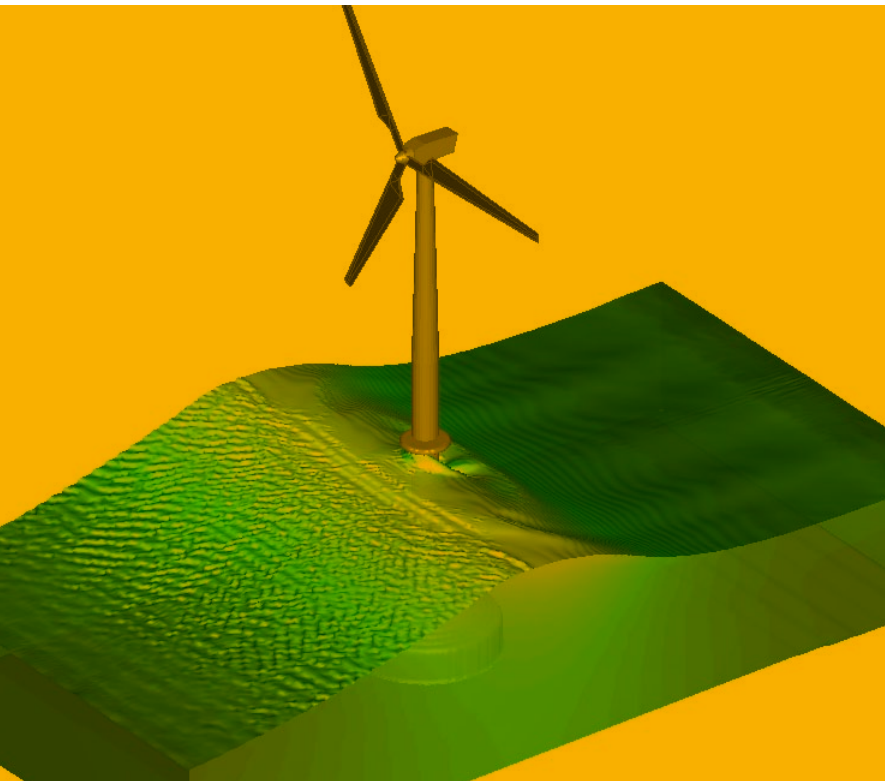
FOTO: EVERT ALBERS

Nog eens 20%

Die bundeling van krachten is de beste garantie dat ook de andere helft van de beloofde 40% kostenreductie in de komende jaren wordt gerealiseerd. De toekomst van windenergie op zee houdt niet op bij de voltooiing van het FLOW-programma. Het Topconsortium voor Kennis en Innovatie Wind op Zee - onderdeel van het Topsectorenbeleid van de Nederlandse overheid - garandeert de voortzetting van het R&D-werk van bedrijven in samenwerking met kennisinstellingen. Daarnaast is de geplande demonstratie site bij Borssele een belangrijke stimulans. Een kostenreductie van 40%, onderweg naar een concurrerende positie van offshore windenergie, vergt een sterke sector met bedrijven, kennisinstellingen en energiebedrijven. En als FLOW iets duidelijk heeft gemaakt dan is het dit: de sector wil blijven investeren in R&D en gaat graag internationaal de concurrentie aan. De sector wil groeien. Maar naast dit eigenbelang komt groei uiteindelijk ook ten goede aan een relevante economische activiteit in Nederland die bijdraagt aan welvaart, banen en een schone energievoorziening.

Onderzoek naar de invloed van golfslag op een nieuw type fundering

BEELD: DELTARES



Reductie van financiële risico's

Opzetten van een nieuwe industrie betekent ook het managen van de financiële risico's. Wind op zee is zeer kapitaalsintensief. Aangezien de hoogste kosten direct bij aanvang worden gemaakt terwijl de inkomsten zijn uitgespreid over zo'n 20 jaar, heeft de financiering een erg grote invloed op de uiteindelijke kosten van een kWh (de Levelised Cost of Energy, LCoE). Investeerders en geldleners (banken) zijn dus beducht voor risico's. Hoewel het niet de eerste prioriteit in het onderzoeksprogramma was, speelde het reduceren van de financiële risico's op veel plaatsen een rol in FLOW.

Ten eerste heeft de samenwerking in FLOW veel bijgedragen aan het onderlinge vertrouwen tussen partners in de hele bedrijfstak, inclusief de investeerders. Eén aspect daarvan, het FLOW-kostenmodel, blijkt, mede dankzij de resulterende transparantie, een belangrijke pijler onder een betere perceptie van de risico's. Meer dan ooit is er een gedeelde visie op hoe investeringen, operationele kosten en opbrengsten met elkaar samenhangen.

Daarnaast zijn er dan nog de verschillende innovaties binnen FLOW die direct invloed hebben op het vertrouwen van investeerders. Sommige van die innovaties zijn al gecertificeerd (zie tekstkader 'Van certificeren naar 'bankable', pagina 11) waar andere innovaties die fase naderen. Ook de verbeterde methodes voor het meten van prestaties en mechanische belastingen, en de verbeterde schattingen van windsnelheden op locatie dragen bij aan verlaging van de risico's.

FOTO: MENNO MULDER

Door deze ontwikkelingen, én door consistenter overheidsbeleid en uiteraard ook door de dalende rentes, is de interesse van de financiële sector in offshore wind in Nederland de laatste jaren drastisch toegenomen. FLOW-projectdirecteur Ernst van Zuijlen: "Het toegenomen investeerdersvertrouwen blijkt duidelijk uit de dalende financieringskosten met een grote impact op de kosten van wind, die nu overigens ook gunstig beïnvloed zijn door de algemene economische situatie met veel goedkoop geld. We moeten wel opletten dat bij stijgende marktrentes dat deel van de huidige winst teniet kan worden gedaan."

Versnelling

In de looptijd van vijf jaar is FLOW voor een groot deel verweven geweest met de totstandkoming van het SER Energieakkoord in 2013. Een versnelling van de ontwikkeling en realisatie van windenergie op de Noordzee is een belangrijk deel van het Energieakkoord. FLOW heeft daaraan direct bijgedragen met toepassing van innovaties in de windparken Eneco Luchterduinen en Gemini Offshore Windpark. Ook werd het FLOW-kostenmodel gebruikt bij het berekenen van effecten van verbeterde regelgeving, zoals rond de rol van TenneT als netbeheerder en bij de toepassing van flexibele vergunningen (de mogelijkheid om te optimaliseren). Bovendien werd de belofte van de FLOW-partners over kostenreducties op langere termijn een basis voor de berekening van de begrensde overheidsbudget-begrotingen voor offshore wind tot en met 2023. Dat zorgde voor stabiliteit in het beleid, die vervolgens ook weer zorgt voor meer zekerheid voor investeerders en innoverende marktpartijen.

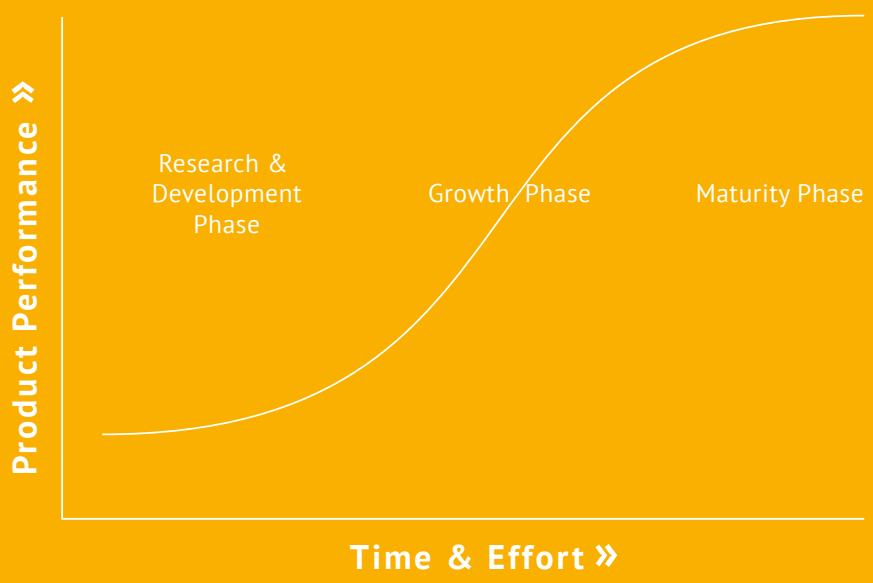
E CONCERN
Vestas

FOTO: MENNO MULDER

Prioriteit nr 1: kostenreductie

Offshore wind is een technologie die nog relatief jong is, met een historie van hooguit twintig jaar. Zoals bij elke jonge technologie kan ook de lange weg van offshore wind, van een prille vinding tot aan een volwassen en bruikbaar product, worden beschreven aan de hand van de S-curve.

De S-Curve



In het eerste deel van de S vindt de pure onderzoek- en ontwikkelingsfase plaats vaak nog in een laboratorium of testruimte. Het gaat daarbij om het oplossen van vooral technische problemen en het ontwikkelen van werkbare proefmodellen. In de fases daarna vindt een relatief steile groei plaats.
De laatste loodjes; de afstemming en vervolmaking naar een volwassen product, klaar om aan de man te worden gebracht, wegen relatief zwaar, waardoor de S-curve weer afvlakt. De S-curve kent vele varianten, afhankelijk van het gemak waarmee een technologie zich ontwikkelt tot een marktrijp product waarvoor partijen willen betalen.

Lagere kosten voor windenergie

Op land kunnen windturbines dankzij voortgaande kostenreductie vaak al concurreren met de stroom uit de klassieke kolen- en aardgascentrales. Stroom uit wind is op de windrijkste plaatsen op land (bijvoorbeeld vlak aan de kust) al een lucratieve business geworden en op vele andere plaatsen hard op weg om dat te worden. Er bestaan dan ook in de hele wereld al bedrijven die bestaan van het verkopen van turbines, van het aanleggen van windparken en van de verkoop van de stroom uit dergelijke windparken.

Offshore windenergietechnologie is een stuk jonger dan wind op land. Wind op zee kan leunen op de ontwikkelingen op land maar staat ook voor een paar extra technologische uitdagingen. Zo waait de wind op zee een stuk harder - gemiddeld tot wel anderhalf keer zo hard als aan de dichtstbijzijnde kust - wat zorgt voor een wel twee keer zo hoge opbrengst als op land. Dat is zeer aantrekkelijk omdat er een zee aan ruimte bestaat om dergelijke turbines te bouwen. Maar tegelijkertijd zijn de omstandigheden buitengaats veel moeilijker dan op land. De harde wind eist veel van de installatie. Bouwen in zee, in soms tientallen meters diep water, vraagt innovatieve bouwmethodes. Het zoute en ruwe zeemilieu vraagt om degelijke installaties die bestendig zijn tegen dergelijke omstandigheden en bij voorkeur ook bijna onderhoudsvrij. Het voortdurende heen en weer varen of vliegen is voor een monteur of operator omslachtig en kostbaar. Om maar een voorbeeld te geven: hoe kom je veilig aan boord van de turbine bij zwaar weer om op tijd het nodige onderhoud aan een turbine te kunnen verrichten?

De ontwikkelingen op de wereldmarkt voor offshore wind gaan nu hard mede door een gestage daling in kosten. Was Nederland vijf jaar geleden nog een van de koplopers met twee offshore windparken, nu zijn de landen om ons heen (en ook elders) vele parken in zee aan het bouwen.

"Offshore windenergie is voor ons een strategische pijler. Daarbij past financiële onafhankelijkheid van subsidies, dus een kostenreductie van 40% is noodzaak."

THEO DE LANGE, VAN OORD

FLOW en de mondiale marktontwikkeling

Bij de start in 2010 stelde het FLOW consortium zich ten doel om een significante bijdrage te leveren aan een kostenreductie van 20%. De totale kosten worden daarbij omgerekend naar elke kilowattuur die het windpark gaat leveren (de zogenoemde 'Levelised Cost of Energy', LCoE). Die kosten beslaan dus alle elementen van een park, van fundering, financiering, salarissen, staal, bedrijf en onderhoud tot en met het afbreken van een park.

Dat is een aanzienlijke opgave, 20% lagere kosten in vijf jaar. Daarbij staat de Nederlandse markt natuurlijk niet alleen maar maakt het onderdeel uit van snelle Europese en mondiale marktontwikkelingen. Het is nodig om offshore windenergie op redelijk korte termijn rendabel te maken. Om deze ontwikkeling te stimuleren subsidieert de Nederlandse overheid offshore windenergie. Tegelijk is in het Nederlandse Energieakkoord in 2013 vastgelegd dat wind op zee tussen 2014 en 2023 per kilowattuur 40% goedkoper moet worden. Zo'n reductie is ook ingecalculeerd in de dalende maximale subsidiebedragen per kilowattuur voor wind op zee in die periode. Daarbij: kostenreductie houdt ook niet op bij 40% want voor een concurrerende positie zonder subsidies moeten de kosten nog verder omlaag.

In het basisjaar voor deze berekeningen, 2010, bestond al een redelijk beeld van de vele innovaties waarmee die kostenreductie tot stand zou moeten komen. Op dat beeld is de belofte van de deelnemers aan FLOW ook gebaseerd. Aanvankelijk was het de intentie om de innovaties en de verwachtingen daarvan te toetsen in een demonstratie-windpark dat tegelijkertijd zou kunnen dienen als 'etalage' van de Nederlandse industrie. Dit windpark, gepland op zo'n 65 kilometer uit de kust, zou dienen als proeftuin voor toepassing van vindingen uit het lab of van de tekentafel en zou tegelijkertijd een behoorlijke hoeveelheid stroom opwekken. Het demonstratiepark zou de beste methode zijn om de werkelijke besparingen in beeld te krijgen en innovaties toe te passen. Maar net na de mondiale economische crisis bleek in 2010 dat een demonstratiepark geen onderdeel van FLOW kon zijn. Daadwerkelijke demonstratie van innovaties kan nu alleen gebeuren in nieuwe commerciële parken, zoals onder meer in het park Eneco Luchterduinen is gerealiseerd en in Borssele gaat gebeuren.

Kostenmodel

FLOW was daarmee aangewezen op een aanpak waarbij de R&D-resultaten konden worden doorgerekend in modellen. Die modellen moesten door het uitblijven van een demopark zwaarder worden uitgevoerd met een grote nadruk op de betrouwbaarheid. FLOW heeft ervoor gekozen om de aannames en resultaten van deze modellen voortdurend te testen en te toetsen aan de werkelijkheid. Zo doorstonden de modellen een zware toets met vergelijkbare modellen in de wereld. Ook bewezen ze hun realiteitswaarde toen de uitkomsten van het model bij bestaande parken binnen nauwe marges overeen bleken te komen met de werkelijke kosten.

Het grote voordeel van modellen voor het maken van kostenberekeningen schuilt in de mogelijkheid om te kunnen differentiëren. Vanwege de kosten zou een demopark maar op één locatie mogelijk zijn terwijl de modellen bijvoorbeeld van toepassing kunnen zijn op parken met een variabele afstand tot de kust. Dat is relevant omdat windparken steeds verder op zee gebouwd zullen gaan worden.

Een ander groot voordeel is dat de modellen een hulpmiddel zijn bij discussies over de richting van het onderzoek en beleid. Het blijkt een waardevol gereedschap om over de mogelijke kostenreductie te discussiëren en daarmee de meest zinvolle onderzoekslijnen vast te stellen.

Het FLOW-kostenmodel is geen voldragen kostenberekeningsmodel of windpark ontwerpmodel zoals de ingenieurs die toepassen bij de aanleg van een windpark. Dat kan ook niet omdat het FLOW-model moet variëren tussen honderden verschillende innovaties; het ontwerp, de werkelijke kosten op de markt en de condities op verschillende locaties op zee. In het model staan wel een paar honderd velden die de kosten inhouden van bijvoorbeeld verschillende soorten gebruikt staal, kwaliteiten van kabels, inspecties, verzekeringen, financiering met eigen geld of met geleend geld en nog vele andere elementen. Ook bevat het model vertrouwelijke gegevens van FLOW-partners. Die vertrouwelijke gegevens zijn dus niet onderling gedeeld, maar wel met de bouwer van het model. Dankzij de samenwerkingsrelatie en het vertrouwen tussen de FLOW-partners is het model dus op werkelijke informatie gebaseerd.

Het FLOW kostenmodel dat inmiddels door het TKI Wind op Zee is geadopteerd en verder uitgebouwd heeft, naast de kwantificering van de ontwikkelde innovaties in het FLOW programma, belangrijke bijdragen geleverd bij o.a. de kwantificering en onderbouwing van voorgestelde beleidsaanpassingen. Nederland heeft met behulp van het kostenmodel een belangrijke bijdrage kunnen leveren binnen de werkgroep van het International Energy Agency IEA die de kosten van wind onderzoekt.

Waar zitten de reducties in?

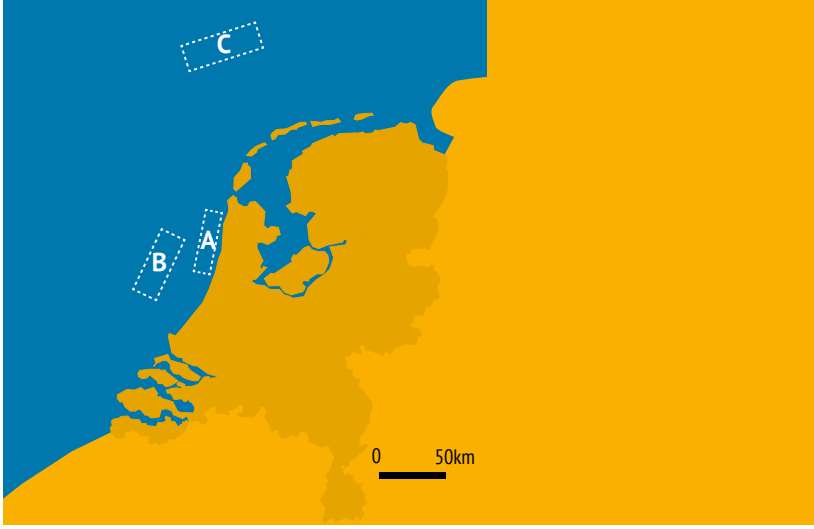
Met het FLOW-kostenmodel zijn schattingen gemaakt van de verwachte bijdragen aan kostenreductie door FLOW, per individuele ontwikkeling en voor (virtuele) windparken als geheel. Die kosten zijn berekend vanuit het perspectief van de projectontwikkelaar: hoe hoog moet de elektriciteitsprijs van een park gemiddeld zijn om uit de kosten te komen? In vakterm heten die kosten de Levelised Cost of Energy (LCoE).

De besparingen van alle individuele ontwikkelingen uit FLOW kunnen niet zomaar bij elkaar worden opgeteld, want ze zijn niet allemaal onafhankelijk van elkaar. Als bijvoorbeeld een rotor al wordt verbeterd, maakt dat een besparing door een verbeterd controlesysteem voor het bedrijven van een windpark iets minder effectief. Ook kan je bij voorbeeld niet tegelijk een nieuw type monopaal en een Gravity Based fundering toepassen.

Drie types windparken

De combinatie van innovaties en hun besparing hangen ook af van de omgeving van het windpark. Om de kostenbesparingen te schatten is gerekend aan drie types windparken van net onder de kust (near-shore, zoals type A in bovenstaand kaartje), via offshore (B) tot far offshore, op forse afstand van de kust (C).

Om een realistische schatting te maken zijn alleen die FLOW-innovaties meegenomen die voldoende ontwikkeld waren om (voor de eerste keer) in de praktijk toegepast te worden. Het referentiejaar voor de kostenreducties is 2010, het jaar dat FLOW van start ging. Bij elkaar opgeteld, en gecorrigeerd voor eventuele dubbeltelling



Voorbeeldlocatiies van de drie verschillende types virtuele windparken die zijn gebruikt voor de schattingen van de kostenreducties

en onderlinge invloed, hebben die innovaties bijgedragen aan een kostenbesparing voor wind op zee van zo'n 20% tussen 2010 en 2015. Overigens gaat dit model er voorzichtigheidshalve van uit dat in 2010 en 2015 op de near shore locatie nog gewerkt wordt met 3 MW-turbines. Grotere exemplaren kunnen wellicht op weerstand stuiten.

Er is daarnaast in de komende 5 tot 10 jaar nog een potentieel van nog eens 10% reductie door de FLOW-innovaties die nog niet ver genoeg ontwikkeld waren om al toegepast te worden in een operationele omgeving.

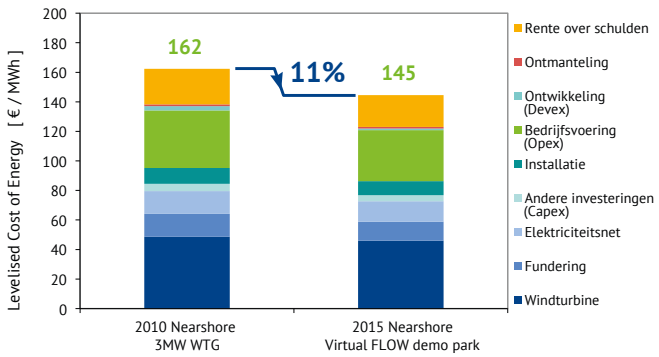
Bij deze schattingen past wel enige relativering. Zo is een kostenmodel een nabootsing van de realiteit, en niet meer dan dat. In het model zitten diverse vereenvoudigingen en aannames. Ook heeft de manier van financieren een groot effect op de Levelised Cost of Energy. Zo leidt een iets lagere rente op geleend geld al snel tot procenten lagere kosten voor wind op zee.

Toch verdienen de schattingen het vertrouwen. Er is zorgvuldig gerekend, en bovendien zijn de gedetailleerde uitkomsten geverifieerd door de FLOW-partners. Die hebben de schattingen uit het kostenmodel gestaafd met hun eigen praktijkervaring.

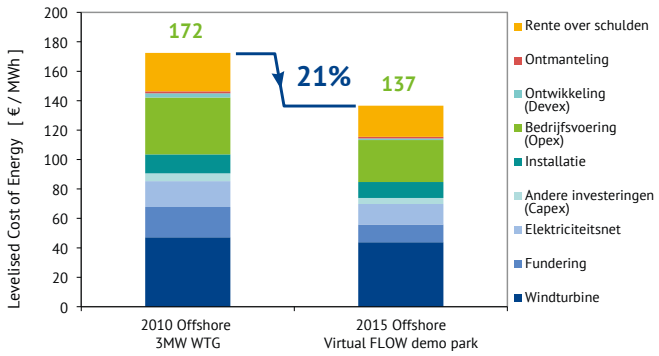
Virtueel windpark	Op de kaart	Waterdiepte in meter	Kilometer uit de kust	Besparing door grotere turbines	Totale kostenbesparing in FLOW virtueel windpark	Perspectief van andere FLOW-innovaties
Nearshore	A	15	10	-*	11%	
Offshore	B	25	25	8%	21%	10% extra
Far-offshore	C	35	85	9%	19 - 21%	10% extra

* Dit model gaat er voorzichtigheidshalve van uit dat in 2010 en 2015 op de near shore locatie nog gewerkt wordt met 3 MW-turbines.

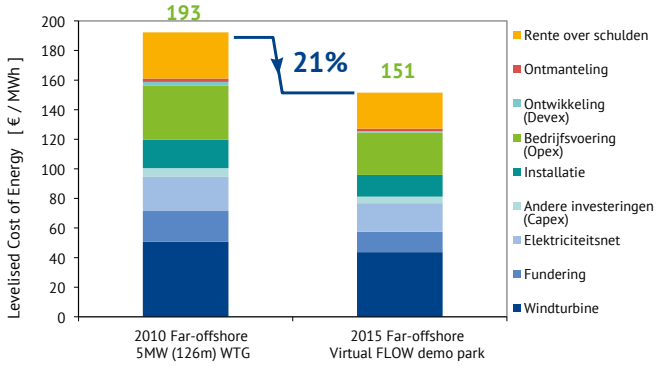
A- Nearshore



B - Offshore



C - Far-Offshore



Natuurlijk staan de gerealiseerde kostenreducties niet op zichzelf. De offshore-windsector is internationaal en ontwikkelt zich snel. Beleidsontwikkelingen, de internationale trend van steeds grotere turbines, de marktgroei (meer concurrentie) en ontwikkelingen in de financiering hebben duidelijk groot effect op het totale energiesysteem. Het zou niet realistisch zijn om de FLOW-resultaten los te zien van deze externe factoren. FLOW-resultaten zijn beïnvloed door deze factoren, en omgekeerd heeft FLOW ook invloed gehad op deze factoren.

Een deel van de kostenreductie is toe te wijzen aan het groeiende formaat van de turbines, die daardoor meer produceren tegen een lagere prijs per kilowattuur. Ook FLOW-partners 2-B Energy en XEMC Darwind hebben bijgedragen aan deze marktontwikkeling.

In deze diagrammen - één voor elk type virtueel windpark - is terug te vinden waaruit de kostenbesparingen in bovenstaande tabel zijn opgebouwd. De winst, gerekend naar kosten per kilowattuur, zit in veel verschillende aspecten. De kostenreductie die veroorzaakt wordt door steeds grotere turbines met steeds grotere opbrengst, weegt het zwaarst mee, tot wel 10%.

De meeste andere innovaties leveren elk in de grootteorde van 1 of 2% besparing op met als uitschieters bijvoorbeeld een alternatieve fundering (4%) of tools voor de optimale bedrijfsvoering of ontwerp van een windpark (6%). Nogmaals, die individuele besparingen mogen niet zomaar bij elkaar worden opgeteld.

FOTO: MENNO MULDER

Het ontstaan van FLOW

Het onderzoek aan windenergie in Nederland staat internationaal al sinds de jaren zeventig hoog aangeschreven. Ook hebben de Nederlandse offshore-aannemers een sterke positie in windenergie op zee, die ze hebben gebouwd op hun positie in de offshore winning van olie en gas. Maar die goede uitgangsposities hebben niet geleid tot een belangrijke positie van windenergie in de Nederlandse energievoorziening en de industrie.

Verstevigen van de positie van offshore windenergie in de Nederlandse economie was een van de uitgangspunten bij het ontstaan van het R&D-programma van FLOW. Voorganger DOWEC bijvoorbeeld betekende veel voor de basale kennis over windturbines en het werken op zee, maar toch verdween de windturbinetechnologie uit Nederland, bijvoorbeeld met de overname van NedWind door NEG Micon in Denemarken. "In het volgende onderzoeksprogramma 'We@Sea' lag een sterke nadruk op onderzoek, ecologie en monitoring," kijkt FLOW-directeur Ernst van Zuijlen terug op de ontstaansgeschiedenis. "Offshore windenergie was nog een onvolwassen sector. Het was daarom voor ons duidelijk dat een volgend programma in dienst moest staan van industriële ontwikkeling, dus meer gericht op de technologie en op het werken op zee."

Het was duidelijk dat een volgend programma in dienst moest staan van industriële ontwikkeling, gericht op de technologie en op het werken op zee.

"FLOW had vooral de BV Nederland in het vizier, en daarvoor moesten allereerst de kosten van offshore wind omlaag. Bij de start van FLOW fungeerde RWE als aanjager, omdat dat bedrijf het groene Essent wilde overnemen, inclusief haar groene imago. Ook TU Delft en ECN speelden een belangrijke rol bij het vormgeven van het programma: het moest 'vraaggestuurd onderzoek' worden. We nodigden daarom ook de maritieme aannemers uit (Van Oord en Ballast Nedam), turbinebouwers (2-B Energy en Darwind), en daarnaast ook TenneT en scheepsbouwer IHC."

"Toen FLOW begon was een deel van de sector wel overtuigd van de mogelijkheden. Het tij was niet echt gunstig voor offshore wind, al konden we profiteren van de veelgeprezen programma-ondersteuning. Samenwerking, prachtige projecten en de transparante benadering van het kostenmodel hebben de beloftes uit die tijd volledig waargemaakt."

ERNST VAN ZUIJLEN, FLOW

Meerwaarde

Voor het bouwen van een evenwichtig R&D-consortium zijn dit allemaal logische partijen. Maar noch de partijen zelf, noch de subsidiegever waren automatisch overtuigd van hun meerwaarde, of van de waarde van FLOW voor de partijen. Het was bijvoorbeeld ook de tijd van de Bouwfraude, die de hele aannemerij (dus ook de maritieme) in een kwaad daglicht stelde. Een ander voorbeeld: TenneT had wel verregaande gedachten over een eigen rol in een stroomnet op de Noordzee, maar was nog niet direct overtuigd van het nut van FLOW. Ook al omdat TenneTs eventuele rol niet vast lag.

"Een unieke combinatie van concurrenten en partners."

Maar naarmate de uitwerking van FLOW vorderde traden de twee maritieme aannemers toch toe, en ook TenneT. Daarmee was de hele keten vertegenwoordigd: van toolontwikkelaars en aannemers, tot netbeheerder, windturbinebouwers en projectontwikkelaars, inclusief de investeerders en de kennisinstellingen. Van Zuijlen: "Dat is een unieke combinatie van concurrenten en partners." Ook werd budget gereserveerd voor nieuwe toetreders die elementen konden toevoegen die nog niet waren vertegenwoordigd.

Van Business naar R&D plan

FLOW begon in 2008 met het opstellen van een business plan, onder de vlag van het toenmalige Innovatieplatform, met premier Balkenende als beschermheer. Er waren plannen voor een demonstratiepark Leeghwater voor het testen van nieuwe vindingen. Belangrijk element in die tijd was de planning van een meetmast bij het geplande windpark 'Tromp Binnen' voor de kust van IJmuiden.

In 2008 en 2009 kreeg het consortium vorm. De bedrijven zegden elk een startbijdrage in de aanloopkosten toe en hun 50% aandeel in de financiering van FLOW voor de komende vijf jaar. De doelstelling voor een bijdrage aan een forse kostenreductie van 20% werd geformuleerd. En in september 2009 was daar de aanbieding van het businessplan FLOW op installatieschip Ampelmann op de RDM scheepswerf, aan toenmalig minister van Economische Zaken Maria van der Hoeven. Bijna was alles in kannen en kruiken en ruim 20 miljoen aan toezegging van de industrie was binnen. Nog een kwestie van maanden en ook de contrafinanciering van de overheid van nog eens ruim 20 miljoen zou binnen zijn ...

...en toen viel begin 2010 het kabinet Balkenende IV over de kwestie-Uruzgan. Er kwam een nieuwe minister van Economische Zaken, Maxime Verhagen, die zich eerst nog moest buigen over het voorstel. Conform de ideeën van de nieuwe minister over innovatiebeleid - dat later zou uitmonden in het topsectorenbeleid - werd het voorstel omgebouwd tot een R&D-voorstel. Intussen investeerde het FLOW-consortium verder op eigen kosten, onder andere in het testen van de procedure voor goedkeuren van voorstellen voor projecten en het afhechten van een procedure over patenten en intellectueel eigendom (IP). Ook werden de mogelijkheden voor een demonstratiepark voor fase II alvast verkend.

In 2010 effectueerde minister Verhagen de toezegging van zijn voorgangster en stelde € 23,5 miljoen beschikbaar uit EOS-gelden (Energieonderzoek Strategie, destijds nog gefinancierd uit aardgasinkomsten) als contrafinanciering van de € 23,5 miljoen van de consortiumpartners. Tegelijk kwam er budget beschikbaar voor de turbinebouwers en voor de bouw van de meetmast.

FOTO: MENNO MULDER

FOTO: MENNO MULDER

Wijzigingen

Met deze politieke steun was de koers voor het onderzoek naar offshore windenergie voor vijf jaar uitgezet. Waarmee niet is gezegd dat FLOW in vijf jaar geen wijzigingen moest ondergaan. Te noemen valt bijvoorbeeld de deelname van TenneT die pas maanden na de start van FLOW kon worden bevestigd en pas na drie jaar écht gestalte kreeg toen de rol van TenneT in offshore wind duidelijk werd; de deelname door turbinefabrikanten, die zelf nog geen commerciële turbines hadden staan; het wegvallen van het demonstratie park. Het besluit dat de bouw van Eneco Luchterduinen van start kon gaan en in opdracht van Eneco (deels) door Van Oord zou plaatsvinden maakte het daarentegen weer mogelijk dat een aantal innovaties alsnog gedemonstreerd kon worden. In de loop van FLOW werd ook nog het offshore-winddeel van Ballast Nedam door Van Oord overgenomen, en later traden ook aannemersbedrijf BAM en kennisinstellingen WMC en Deltares toe als associated partners.

> *"Wij lieten de kwaliteit beoordelen door drie consortiumpartners. Dat past niet automatisch in de systematiek van RVO. Dat was wel even wennen."*

En intussen moest FLOW zijn eigen positie bevechten in het Nederlandse systeem voor innovatiesubsidies die in de meeste gevallen door RVO.nl (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland) worden bestierd. "Dat ging niet zomaar, want wij hadden ons eigen governance-systeem opgetuigd voor het beoordelen van de onderzoeksvoorstellen," zegt Ernst van Zuijlen. "Wij lieten de kwaliteit beoordelen door drie consortiumpartners. Dat past niet automatisch in de systematiek van RVO. Dat was wel even wennen."

Inspiratiebron

Tegelijk was FLOW een condensatiekern voor activiteiten die parallel zijn opgezet in het kader van het topsectorenbeleid voor innovatie van de Nederlandse economie. In 2012 werd de topsector Energie opgezet onder leiding van oud-Shell-topman Jeroen van der Veer. Aanvankelijk werden in die topsector vijf (plus twee aanpalende) Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) opgezet, waarvan Wind op Zee er één werd. De structuur werd weliswaar anders dan in het lopende FLOW-programma maar ook het TKI Wind op Zee betekende een nieuw impuls voor offshore wind. Van Zuijlen, die ook hiervan directeur werd: "Het TKI Wind op Zee richt zich meer op experimentele ontwikkeling, wel gericht op industriële toepassing, maar minder gecoördineerd dan we binnen FLOW doen. FLOW heeft ook als groot voordeel dat de CEO's van de deelnemende partners zich gecommitteerd hebben aan het hele programma."

> *"FLOW heeft als grote voordeel dat we kunnen plannen voor een langere termijn met vaste partners en met veel samenhang"*

"Binnen het TKI Wind op Zee werken we van project tot project in steeds wisselende partnerships. FLOW heeft als grote voordeel dat we konden plannen voor een langere termijn met vaste partners en met veel samenhang langs de vijf programmalijnen. Overigens was ook FLOW geen gesloten consortium, nieuwe partijen konden toetreden en hebben dat ook gedaan, zoals BAM, WMC en Deltares. Samen vormen FLOW en TKI Wind op Zee een tweetrapsraket met als gemeenschappelijk doel de rol van offshore windenergie in de Nederlandse economie te vergroten, de kosten en risico's te reduceren en de uitrol van wind op zee te versnellen. Zo ontstaan samenwerkingsverbanden met veel gezag en zo ontstaat een sector waar innovatie veel activiteit kan genereren."

FOTO: MENNO MULDER

Het nut van samenwerken

Innovatie van een technologie die relevant kan worden voor de Nederlandse economie vergt een innige samenwerking tussen kennisinstituten en bedrijven.

In dit hoofdstuk komen representanten van drie categorieën deelnemers aan het woord over de samenwerking binnen FLOW.

Samenwerking door de bril van een onderzoekinstituut

"De grootste winst van FLOW was misschien wel dat het programma werd getrokken door de industrie," kijkt Peter Eecen, R&D-manager Windenergie bij ECN, terug. "De Nederlandse offshore industrie had internationaal al een historisch sterke positie in offshore installaties, constructie en logistiek. Het merendeel van de offshore windprojecten in NW-Europa heeft grote Nederlandse betrokkenheid, niet alleen in bouwen, ook in ontwerpen. Maar die positie houd je niet zomaar. Daar zijn verder onderzoek en ontwikkeling voor nodig. Tegelijkertijd moet de industrie natuurlijk de hoogste prioriteit geven aan het uitvoeren van hun commerciële projecten."

> *"Het commitment van de bedrijven heeft er uiteindelijk voor gezorgd dat FLOW heeft geleverd waar het voor stond: innovaties en kostenreducties."*

"Je zou kunnen zeggen dat de kennis bij instellingen zoals ECN en Technische Universiteit Delft aan de wieg van het FLOW-programma stond. Deze onderzoeksgroepen waren al goed vertegenwoordigd in de onderzoekprogramma's die aan FLOW voorafgingen. Maar het grote commitment van de bedrijven heeft er uiteindelijk voor gezorgd dat FLOW heeft geleverd waar het voor stond: innovaties en kostenreducties."

Voor kennisinstellingen is een programma als FLOW heel belangrijk om effectief onderzoek te kunnen doen. "Normaal moeten we project voor project aanbieden in tenders om ons onderzoek in samenwerking met de industrie gefinancierd te krijgen," aldus Eecen. "Soms win je een tender, de andere keer verlies je, dus je weet nooit zeker hoe je de continuïteit in het onderzoek bewaart. Zo'n groot samenwerkingsverband met een goed gebalanceerd onderzoeksprogramma geeft ons vooral de gelegenheid om ons onderzoek te plannen voor een termijn van enkele jaren. FLOW geeft continuïteit en de betrokkenheid van de industrie zorgt voor de synergie."

Eecen: "Deze aanpak geeft ons een voorsprong in offshore wind op andere landen, die nu ook vergelijkbare programma's aan het ontwikkelen zijn. Maar we moeten ons ook richten op de langere termijn. We kunnen nu niet verslappen, we zullen gas moeten blijven geven om een kostenreductie te realiseren van 40% in 2020, en ook daarna moeten we blijven innoveren. Dat is goed voor Nederland en voor het klimaat. Die langere termijnvisie zijn we nu aan het ontwikkelen, in samenwerking met andere onderzoeksgroepen in Nederland. FLOW vormt het bewijs dat het werkt en is een goede basis."

Samenwerking door de bril van een bedrijf

Deelname van offshore aannemer Van Oord aan het FLOW onderzoeksprogramma was bij aanvang aantrekkelijk maar zeker niet vanzelfsprekend. Theo de Lange, Commercieel Manager Offshore Wind bij Van Oord: "Iedereen heeft bij een programma als FLOW zijn eigen doelstellingen en zijn eigen prioriteiten. Zie dat maar eens in overeenstemming te krijgen. Voor ons speelde ook nog eens mee dat een concurrent van ons, Ballast Nedam, ook mee zou doen. Maar het overtuigende argument van dat moment was toch wel dat offshore windenergie rond 2009 nog niet goed op de kaart stond. Dus we moesten de handen wel ineen slaan."

"Offshore windenergie was wel al een strategische pijler voor Van Oord. Maar afhankelijkheid van subsidies geeft veel onzekerheid. Wat gebeurt er met onze business als de subsidies ineens worden geschrapt? Financiële onafhankelijkheid van subsidies is voor ons een groot goed en die 40% kostenreductie is noodzaak."

"Wij deden en doen zelf natuurlijk ook aan innovaties. Dat gaat vaak binnen projecten, met kleine stapjes, incrementeel. Door combineren van onze kennis met die van universiteiten, kennisinstellingen en energiebedrijven kunnen we grotere stappen zetten. Binnen een maritiem aannemersbedrijf als Van Oord is dat best ingewikkeld te organiseren, want we hebben geen mensen vrijgemaakt voor R&D. Maar we zouden er ook wat voor terugkrijgen, dus stapten we erin. Belangrijk daarbij was dat we over vertrouwelijke gegevens goede afspraken konden maken."

"Twee jaar geleden, bij een presentatie van de tussenuitkomsten van FLOW in Rotterdam, kreeg ik echt de bevestiging: dit kan wel eens heel goed uitpakken voor ons! Dat is niet vanzelfsprekend, want veel projecten binnen FLOW zijn nog te ver weg voor ons of minder relevant. Vóór FLOW lag de focus van het offshore onderzoek in Nederland ook erg op de turbines en dat is voor ons als bouwer niet zo relevant. Het perspectief is echt veranderd, bij sommige projecten zijn we ook achter het stuur beland."

"De kunst is om de concurrentie steeds een stapje vooruit te blijven en FLOW helpt daarbij."

"FLOW verstevigt onze positie, al is dat lastig te kwantificeren. Een voorsprong door een vinding in FLOW, zoals de bouw van turbines zonder tussenstuk, is snel gekopieerd. De kunst is om de concurrentie steeds een stapje vooruit te blijven en FLOW helpt daarbij. Maar we zijn er nog niet. Er schuilt nog winst in betere turbines, in betere financieringsconstructies, maar vooral in de bouw van windparken, met steeds grotere turbines. Daar mag nog wel meer de nadruk op komen bij opvolgende programma's. Het zou daarbij best een aardig idee zijn als onderzoekers eens een paar maanden stage bij ons komen lopen, om nóg meer gevoel te krijgen voor de praktische problemen."

FOTO: MENNO MULDER

FOTO: MENNO MULDER

"Bijzonder is de samenwerking op bestuurlijk niveau. Partijen die wel op hetzelfde terrein werkten maar voorheen nooit met elkaar spraken, werken nu samen. Dat heeft wind op zee in Nederland op de publieke agenda gezet."

PETER TERIUM, RWE AG

Het nut bezien vanuit een energiebedrijf

RWE was een van de drijvende krachten achter het ontstaan van FLOW, omdat het internationale energiebedrijf, vlak na toetreding op de Nederlandse markt, het groene karakter van het overgenomen Essent graag wilde behouden. Offshore wind is daarvoor een breekijzer. Het voorzitterschap van internationaal RWE CEO Peter Terium van het FLOW-bestuur is daarvan nog steeds het tastbare bewijs. "Maar toen we in offshore wind in Nederland stapten, lagen de ontwikkelingen hier in feite stil," zegt Laut van Seventer manager offshore-windontwikkeling Benelux bij RWE. "Na Amalia en OWEZ had offshore wind in 2011 te maken met een absoluut dieptepunt. Tegelijk was het evident dat Nederland offshore wind nodig heeft om de doelstellingen voor duurzame energie te halen. Er is namelijk geen alternatief. Dus deden wij ook mee."

"Voor ons als energiebedrijf is FLOW op twee manieren interessant. Enerzijds: we doen zelf geen fundamenteel onderzoek maar het is wel goed om daaraan te zijn aangehaakt. In onze dagelijkse business lopen we misschien wel met oogkleppen op die ons beletten om verder vooruit te kijken naar de doorbraken voor de langere termijn. Anderzijds zijn voor RWE vooral de heel praktische zaken interessant, ook al omdat die worden bekeken vanuit verschillende perspectieven, bijvoorbeeld die van een aannemer als Van Oord, TenneT of van een energiebedrijf. Binnen de commerciële omgeving werken we ook wel samen met partners. Maar in FLOW zijn de grenzen tussen de partners ineens stippellijntjes geworden."

"Het sterke van FLOW is dat er commitment is van de partners tot op CEO-niveau. Dat maakt veel mogelijk. De programmatische aanpak vanuit een consortium zorgt voor continuïteit, meer dan bij het inschrijven op jaarlijkse tenders waarbij je project-voor-project moet aanbieden. Dat is ook gebruikelijk binnen het huidige topsectorenbeleid. In FLOW zit weliswaar een select aantal partijen, maar de manier waarop we samenwerken maakt de slagingskans van voorstellen groter en de transactiekosten lager. En dat is van groot belang."

Over de manier van programmatisch werken binnen FLOW zegt Van Seventer: "De projectleider is essentieel voor het succes van een samenwerkingsproject. Die moet begrijpen dat de belangen van een academicus anders zijn dan die van een energiebedrijf. Wij hebben bijvoorbeeld een enorme drive voor het snel boeken van resultaat. Waar een 80% oplossing soms genoeg is voor ons wil de wetenschap ook die andere 20%. Die verschillen moet je overbruggen als je voor continuïteit wil zorgen."

"Een opvolger van FLOW is meer dan ooit belangrijk, want na de Klimaattop van Parijs, eind vorig jaar, mag je een aardverschuiving verwachten."

"Je kunt misschien niet meteen zeggen dat de BV Nederland er slechter voor had gestaan als FLOW er niet was geweest. Maar als internationale deelnemer aan dit programma kan ik zien dat de ruim €40 miljoen grote investering de Nederlandse industrie uitermate goed heeft gepositioneerd. Een opvolger van FLOW is meer dan ooit belangrijk, want na de Klimaattop van Parijs, eind vorig jaar, mag je een aardverschuiving verwachten. Offshore wind is een topprioriteit voor de BV Nederland. In de competitie die nu op de Noordzee ontstaat bij de aanbesteding in Nederland, Duitsland, Verenigd Koninkrijk en Denemarken gaat het er toch om dat je net iets slimmer bent dan de concurrent. En daar heeft FLOW bij geholpen."

FOTO: TENNET

Een nieuwe tak in het stroomnet

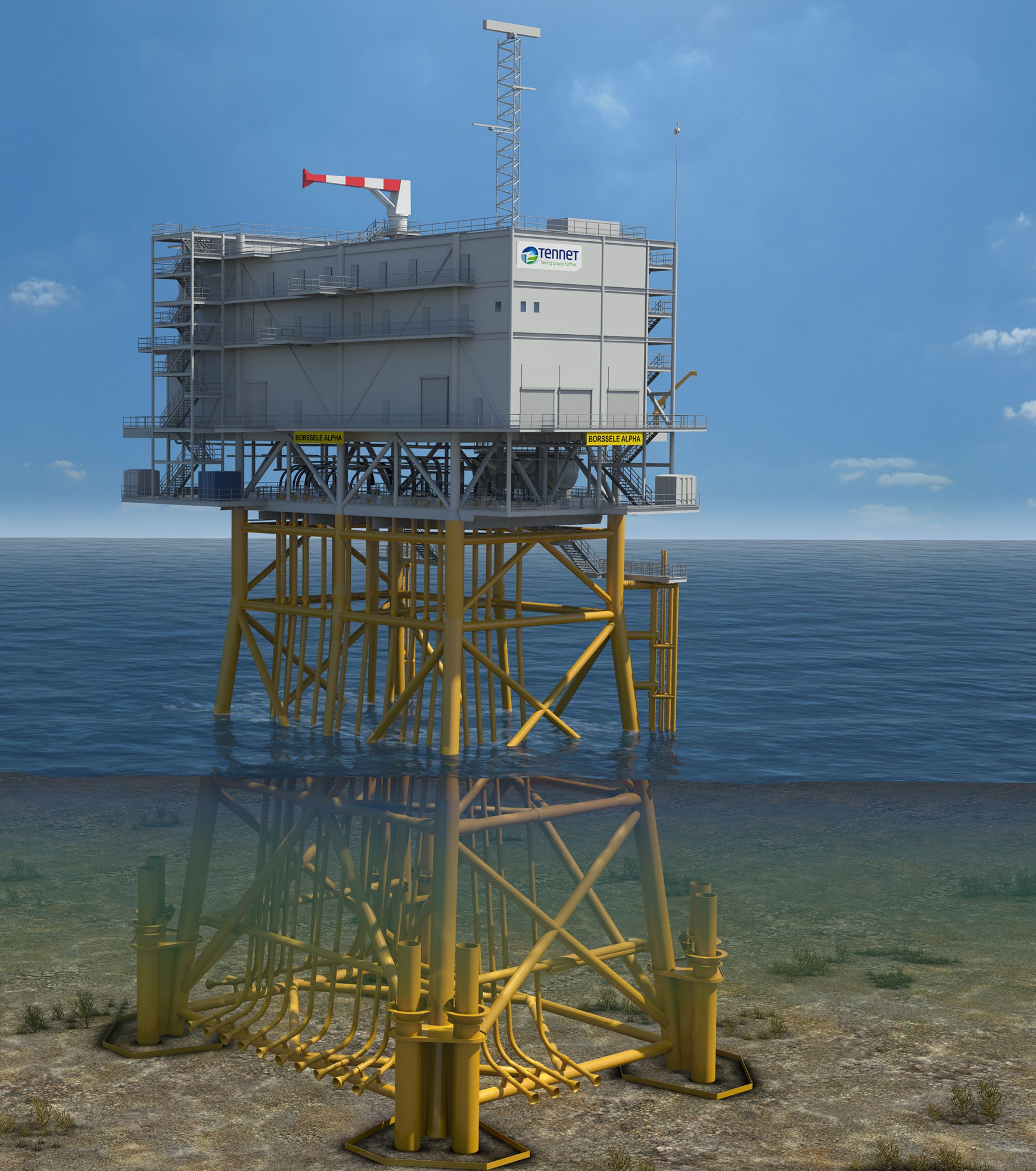
Met de omvang van offshore windenergie die nu is voorzien voor de komende decennia is het een behoorlijke uitdaging om de elektriciteit bij de gebruikers aan land te krijgen. Het Energieakkoord voorziet 3.450 megawatt extra in 2023, oftewel 700 turbines van 5 megawatt, oftewel zes jaar lang bijna tien nieuwe turbines per maand. Inpassing van al die offshore windturbines in het stroomnet is vooral de taak van TenneT, het bedrijf dat het hoogspanningsnet beheert.

In de tijd dat FLOW startte was TenneT al wel actief op zee, maar dan vooral op het Duitse continentale plat. TenneT was daarom een logische partner in een Nederlands R&D-consortium. Toch moest TenneT voor de deelname aan FLOW nog wel wat hobbels nemen. "Het nut voor ons was niet meteen duidelijk," zegt Mart van der Meijden, innovatiemanager van TenneT en sinds 2011 hoogleraar grootschalige duurzame elektriciteitssystemen aan de TU Delft.

"De kabel wordt gedurende het jaar beter benut, in ruil voor het inleveren van een beetje opbrengst als de parken toevallig allemaal op hun piekvermogen draaien."

"Het overtuigende argument was uiteindelijk een idee van FLOW voor 'dynamic power management'. Vanuit het consortium kwam het idee dat je best meer windvermogen mag aansluiten dan waarvoor een kabel geschikt is. Tijdens een bezoek aan het Koninklijk Paleis waar Van Zuijlen en TenneT-directeur Mel Kroon elkaar ontmoetten, werd het concept bevestigd. Daarvoor wilden we wel wetenschappelijke bewijslast, en die kregen we. Het bespaart kosten: de kabel wordt gedurende het jaar beter benut, in ruil voor het inleveren van een beetje opbrengst als de parken toevallig allemaal op hun piekvermogen draaien."

Dat heeft al geleid tot het plan om de twee windparken voor Borssele, beide 380 MW, uit te rusten met een kabel en onderstation van 350 MW. "Dat plan wordt ondersteund door de exploitanten en ook door de subsidiegever." Dat is van groot belang, omdat voor beide partijen de situatie ten opzichte van de orthodoxe aanpak nieuw is.


TenneT
taking power further
BORSSELE ALPHA
BORSSELE ALPHA

"Wij zijn al 10 jaar de belangrijkste speler op de Noordzee. Dat stelt hoge eisen aan de innovaties in onze netwerken, en de thuismarkt is van groot belang om ons voor te bereiden op die veel grotere Europese markt."

LEX HARTMAN, TENNET

Eyeopener

"Vijf jaar FLOW zijn voor ons een eyeopener geweest, een bevestiging dat gezamenlijk optrekken loont. In vroeger tijden werd dit soort onderzoek openbaar aanbesteed en er was nauwelijks coördinatie. Het werd een vehikel om de kennis die we al hadden over near-shore - dichtbij de kust - ook te mobiliseren voor verder op zee. In het aanleggen van offshore infrastructuur heeft Nederland natuurlijk een naam op te houden. Het in stand houden van die reputatie is van groot belang want Europa wil veel offshore windparken gaan bouwen. Onderzoek alleen is dan niet voldoende, en bouwen alleen ook niet, maar gecoördineerde planvorming wel."

"In het FLOW-consortium is het makkelijk schakelen"

"In het FLOW-consortium is het makkelijk schakelen, kunnen we snel onderzoeksvoorstellen schrijven en het onderzoek ook starten. Het is goed dat EZ hier het voortouw heeft genomen om iedereen de gelegenheid te geven ook internationaal iets voor te blijven stellen. Het is natuurlijk aan de industrie om dat verder uit te rollen. Wij willen met TenneT over tien jaar een van de belangrijkste spelers op de Noordzee zijn. Dat stelt hoge eisen aan betrouwbaarheid, kosteneffectiviteit en samenhang met het net op land en de energiemarkt."

Afstemming

"Veel potentiële winst voor lagere kosten zit nog in de afstemming: op de juiste plaats bouwen, niet te veel of te weinig, in de goede volgorde en goed op elkaar afgestemd.

"Continuïteit na FLOW is voor ons van groot belang."

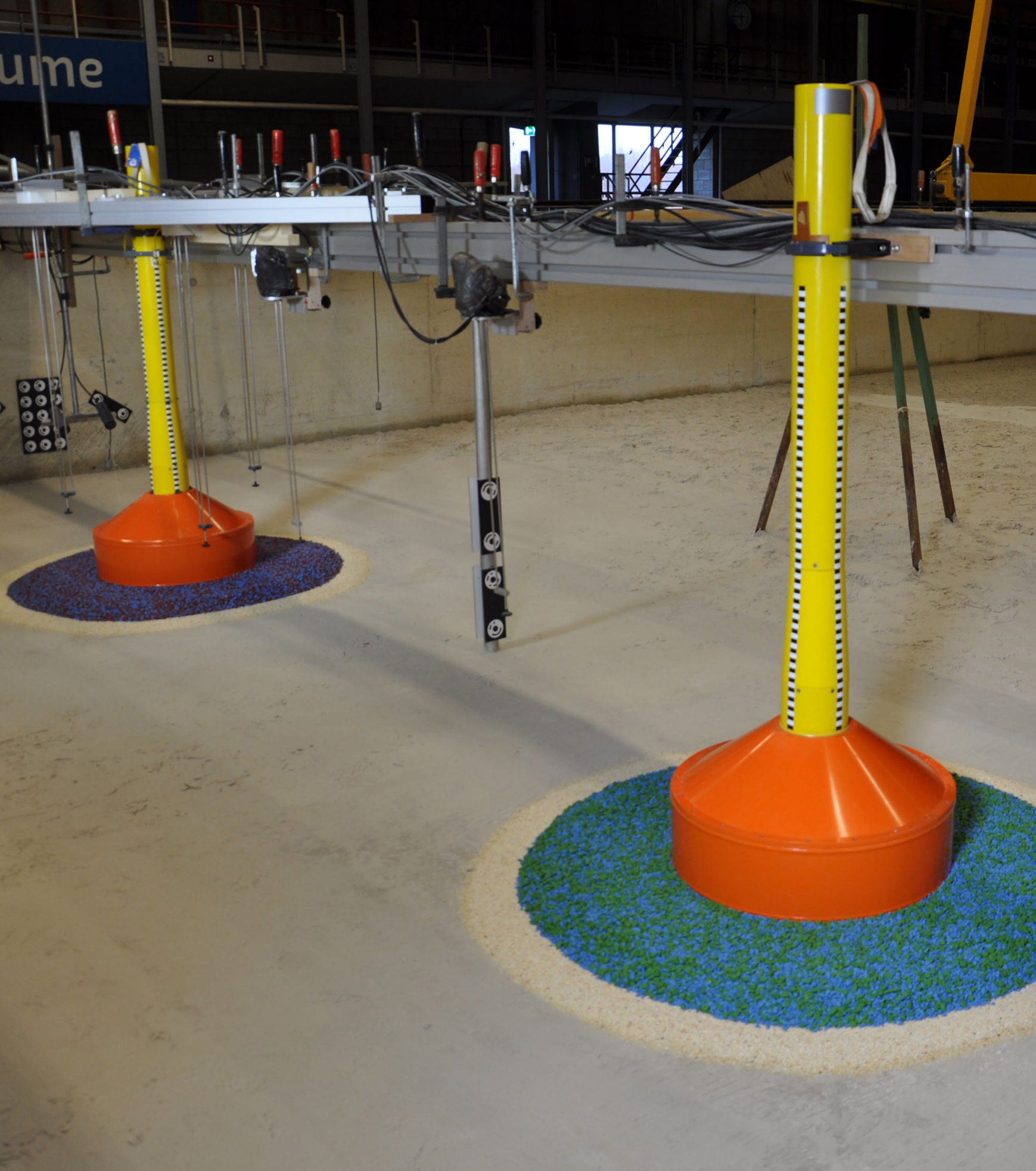
In het programmaonderdeel 'Smart Regulations', waaraan we samen met de TU Delft hebben gewerkt, zit nog veel meer dan er nu in vijf jaar is uitgekomen. Dus is continuïteit na FLOW voor ons van groot belang. Dat geldt voor het Nederlandse R&D-werk. Daarnaast is het Nederlandse R&D-werk belangrijk om een goede positie te houden bij Europese projecten."

Thuismarkt

De Europese projecten geven een goed beeld over de internationale inspanningen op dit vlak. Tegelijkertijd zet een nationaal programma als FLOW de Nederlandse partners op het juiste spoor van een sterke nationale sector, voorbereid voor de thuismarkt en verder. Mart van der Meijden: "De thuismarkt is van groot belang om te oefenen voor die veel grotere EU-markt. Dáár moeten we ons geld verdienen. Profiteren van onze goede status in onderzoek heeft in het verleden te lang geduurd. Binnen FLOW hebben we bewezen snel te kunnen acteren. Hoe snel zijn we niet geweest met het in korte tijd ontwikkelen van nieuwe concepten voor offshore turbines, waarvan één met een vakwerkconstructie? Maar op die turbines moeten we ons niet te veel focussen. Liever op de infrastructuur, daar liggen vooral onze sterktes" vindt Mart van der Meijden.

3D-visualisatie van offshore transformatorplatform

BEELD: TENNET


ume

Een vracht wetenschap

De deelname van de academische gemeenschap aan het FLOW-programma is prominent geweest. Naast ECN, Deltares en WMC heeft met name de Technische Universiteit Delft een fors aandeel gehad. Met meer dan één voordeel.

Gijs van Kuik, wetenschappelijk directeur van DUWIND, het TU Delft Windenergie Instituut: "Ons doel met de deelname aan FLOW is drieledig. De eerste is heel pragmatisch: het verschaft ons middelen om onderzoek te doen. Daarbij is het de kunst om ons onderzoek te tunen met dat van FLOW zodat dat het allemaal bij elkaar past. De tweede meerwaarde van FLOW voor ons is de deelname van bedrijven, die met specifieke vragen komen.

"Onze academische opgave is ook: de kans lopen op een onverwachte ontdekking"

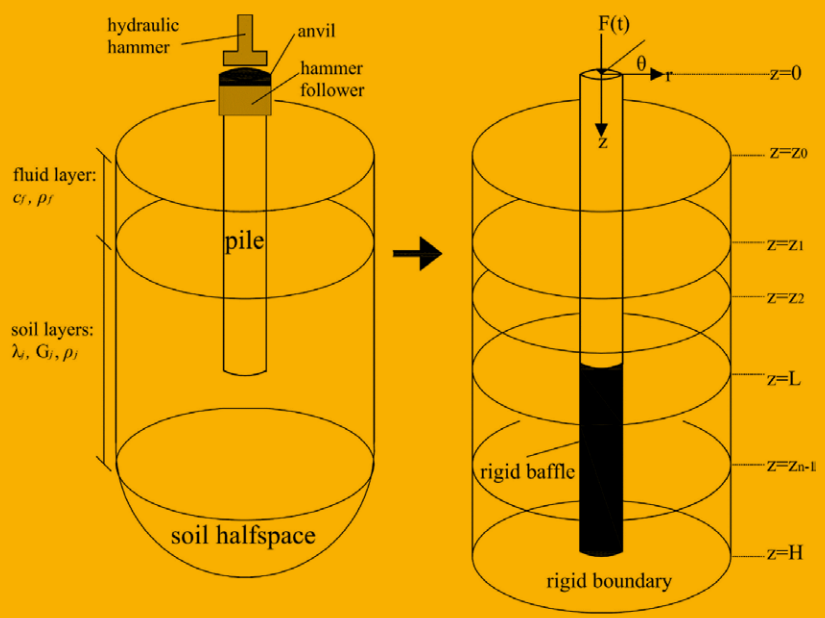
En ten derde moet het onderzoek ook promoties opleveren. Daar ging wel discussie aan vooraf. Met engineering en kostenreductie is natuurlijk niks mis maar onze academische opgave is ook: de kans lopen op een onverwachte ontdekking. Dat is een aspect dat niet overal even goed wordt gewaardeerd maar die in onze bijdrage aan de innovaties essentieel is. Die meerwaarde van ons komt toch wel in verschillende onderzoeken naar voren."

Testopstelling van funderingen bij Deltares

FOTO: DELTARES

“Voor de langere termijn is het opbouwen en onderhouden van kennis over offshore windenergie bij universiteiten noodzaak.”

GIJS VAN KUIK, TU DELFT



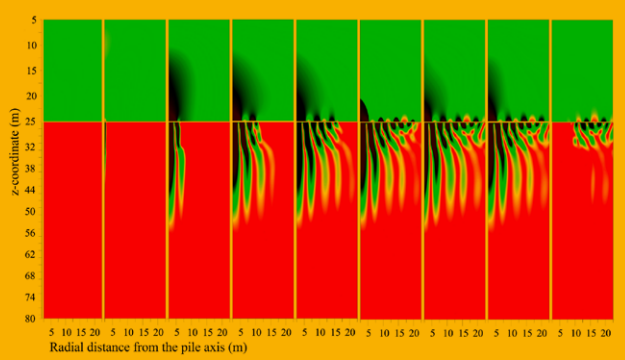


Figure 6. Pressures in the fluid ($z \leq 25$; top part of the figure) and velocity norm in the soil ($z >$ bottom part of the figure) for several moments in time after the hammer impact. From left to righ time moments are given in seconds: t = 0.01; 0.07; 0.10; 0.15; 0.20; 0.25; 0.30; 0.50; 0.60.

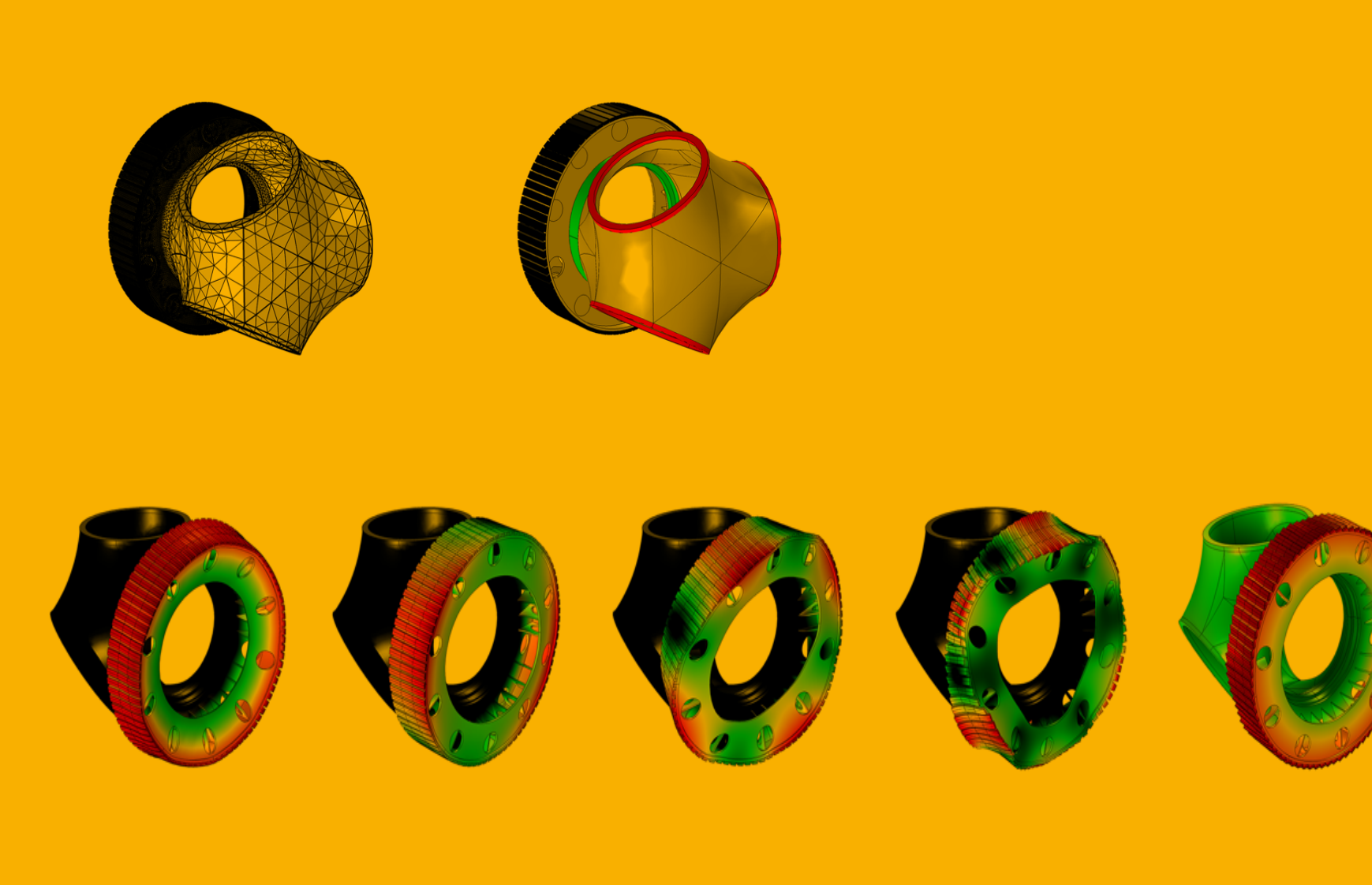
Computer simulaties en metingen uit wetenschappelijk onderzoek binnen FLOW

BRONNEN: WMC, TU DELFT, VAN OORD

Promotieonderzoeken

Om met het laatste aspect te beginnen: FLOW heeft geleid tot het starten van 14 promoties op een grote verscheidenheid van onderwerpen. Van Kuik: “Bij een promotie gaat het vooral om vergaren van nieuwe kennis en daarop is geen garantie. Terwijl de industriële partners juist wel redelijke zekerheid willen dat hun investeringen ook wat opleveren. Promotieonderzoeken leveren ook resultaat, maar een promotie kan ook anders lopen, zoals ook in FLOW is gebleken. In andere programma’s had ik daarmee niet altijd goede ervaringen, maar binnen FLOW hebben we daarover goede afspraken kunnen maken.”

De samenwerking met bedrijven heeft de TU Delft veel gebracht, aldus Van Kuik. “Wil je in offshore wind wat betekenen, dan is samenwerking met bedrijven een creatieve randvoorwaarde. Wij hebben het bedrijfsleven leren kennen en de bedrijven ons. Soms ging dat met directe consultancy-adviezen maar ook met ontwikkelingen die indirect nuttig kunnen zijn voor bedrijven. We hebben met XEMC Darwind samengewerkt op hun direct-drive concept en met 2-B Energy op controller systemen. Tegelijkertijd hebben we onze academische onafhankelijkheid kunnen bewaren. Problemen met intellectueel eigendom hebben we ook niet gehad. Voor zover van toepassing, hebben we daar binnen FLOW steeds goede formele regelingen voor getroffen. Ook konden we wetenschappelijke publicaties schrijven, maar dan uiteraard zonder de vertrouwelijke gegevens van bedrijven.”



Goede positie

"We hebben een lange historie van offshore R&D-programma's met DOWEC, We@Sea, ons eigen DUWIND, FLOW en de TKI Wind op Zee. Ik zie dat per programma de samenwerking beter wordt. Dat heeft ertoe bijgedragen dat Nederland in offshore windenergie op een paar terreinen een goede internationale positie heeft, bijvoorbeeld in de aerodynamica, support structures en in offshore installatie. Die goede positie zie ik terug in samenwerking met buitenlandse partners, bijvoorbeeld met Denemarken en in Noord-Duitsland en in het Europese Horizon 2020-programma."

"Als Nederland de plannen in het Energieakkoord uitvoert dan ontstaat er een thuismarkt, dan zijn er havens nodig en is er reuring op de markt"

"Wij zijn misschien niet de partij om de markt voor de BV Nederland open te breken, maar ik zie goede perspectieven. Als Nederland de plannen in het Energieakkoord uitvoert dan ontstaat er een thuismarkt, dan zijn er havens nodig en is er reuring op de markt. Wij voegen daar het onze aan toe, met technisch, economisch en maatschappelijk onderzoek. Het is een goed teken dat minister Kamp met spoed een onderdeel gerepareerd heeft van een niet-goedgekeurde wet. Dat onderdeel legde de rol van TenneT in het net vast, en dat is voor de verdere groei van offshore wind belangrijk. Zo lopen we geen vertraging op."

FOTO: MENNO MULDER

Bedrijven van een windpark

In het controleren, bedrijven en onderhouden van offshore windparken zit veel potentiële winst. Het gaat daarbij enerzijds om het optimaliseren van de opbrengsten, waarbij elke procent meer opbrengst direct meetelt op de balans, en anderzijds om het reduceren van de kosten voor bedrijf en onderhoud (O&M). In FLOW zijn flink wat projecten op deze onderwerpen gericht. Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) was nauw betrokken bij veel van dit onderzoek.

Eén van de specialiteiten van ECN is de kennis over de effecten van 'zog' oftewel de luwte met relatief lage windsnelheid die ontstaat achter een object in de wind zoals een windturbine. Een turbine creëert logischerwijs een zog omdat er energie uit de wind wordt omgezet in elektriciteit. De turbines daarachter zullen daar direct last van hebben, omdat ze daardoor minder krachtige wind met meer turbulentie tot hun beschikking hebben. "In onze computermodellen hebben we daarmee leren spelen en kunnen we ontwerpen van windparken optimaliseren," zegt Peter Eecen, R&D Manager Windenergie bij ECN. "In eerste instantie betreft dit onderzoek het modelleren van de wind door een windpark en hoe de turbines daarop reageren. Na het modelleren moeten de uitkomsten van die modellen ook in de praktijk getoetst worden door experimenten in offshore windparken."

Zog-inductie

Een eerste verbetering die ECN ontwikkelde en later testte met onder andere RWE en 2-B Energy, was gebaseerd op het inductie-effect. Door de eerste turbine in de rij wat minder te laten produceren is het zog-effect achter die eerste turbine lager. Dan blijft er relatief meer windsnelheid over voor de volgende turbines die 'benedenwinds' staan. Eecen: "De eerste produceert minder, de tweede in de rij wat meer en dat heft elkaar op. De winst zit vooral in nummers 3, 4 en 5 die meer gaan produceren. De procenten winst lijken geen enorme getallen, maar omdat offshore windparken zeer veel stroom produceren heeft het grote impact."

"Eén geïntegreerd ontwerp, met alle facetten van offshore wind daarin, verbindt automatisch alle partijen. Voor een optimaal resultaat dienen we samen te werken, tools te ontwikkelen en die in de praktijk te toetsen."

BEN HENDRIKS, WMC

Het concept, al bedacht door ECN vóór FLOW, is in de afgelopen jaren verder verfijnd en gevalideerd. "Modellen moeten heel erg goed zijn doorontwikkeld om die ene procent winst te kunnen laten zien. We konden zogmodellen die we al hadden verder verfijnen en hebben het effect vervolgens ook teruggezien in ons 'schaalpark' in de Wieringermeer, waar we de verificatie deden met tien kleine turbines van 10 kilowatt. Het zog-effect werd later ook bevestigd in offshore parken."

Het inductie-effect kan nu worden ingebouwd in de automatische controller-programma's van de windpark-operator. "Je moet dus individuele windturbines anders gaan aansturen (of regelen), als integraal onderdeel van een park van tientallen turbines." Dat betekent ook overleg met de turbinebouwers, die deze regelingen met de turbine moeten meeleveren. "Wij leveren het algoritme, zij zorgen voor het inbouwen van de regeling in hun hardware."

Actieve sturing

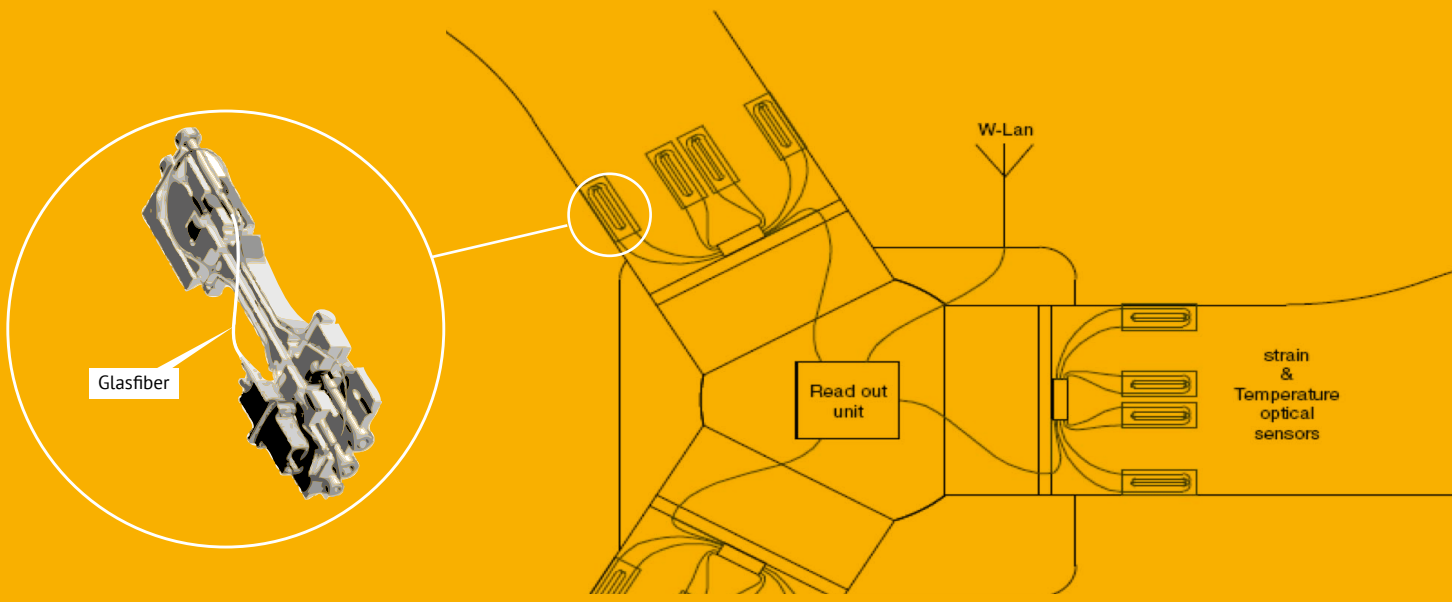
Een andere interessante mogelijkheid om het effect van het zog op de opbrengst te verkleinen is het gedeeltelijk uit de wind draaien van de eerste rij turbines: actieve zog-sturing. Als de turbines bijvoorbeeld 20 tot 30 graden scheef staan ten opzichte van de windrichting wordt hun opbrengst wel lager maar worden de zog-effecten op de windturbines erachter minder groot.

"In het slim regelen van een park zit nog wel winst, dat kan zomaar enkele procenten zijn."

"In het slim regelen van een park zit nog wel winst, dat kan zomaar enkele procenten zijn. Het zijn relatief goedkope methodes. Maar er gaat veel inspanning zitten in het toetsen aan de praktijk, in het aantonen dat zo'n regeling werkt. Dat kost tijd en geld maar is een noodzakelijke stap op weg naar toepassing op grote schaal."

Winst in onderhoud

In dezelfde categorie van modelmatige optimalisatie van bedrijf en onderhoud van een windpark valt de door ECN binnen FLOW ontwikkelde 'O&M Cost Estimator'. Dit is een computerprogramma dat de kosten voor bedrijf en onderhoud schat gevoed met gegevens van de leverancier van de windturbines en het park. Op basis van deze schatting kan de operator van het park het onderhoud optimaliseren. Als bijvoorbeeld in het zesde bedrijfsjaar plotseling vier versnellingsbakken van generatoren kapot gaan, kan de operator een overwogen besluit nemen over het repareren van die vier bakken, dan wel groot onderhoud in het gehele park te overwegen. "Het kan zijn dat juist die vier defecte turbines steeds hebben blootgestaan aan relatief hoge belastingen; dan ligt reparatie meer voor de hand. Als ze op willekeurige plaatsen staan, kan het juist zijn dat er meer versnellingsbakken problemen gaan ondervinden."



De glasfiber FOBM Sensor, plus behuizing, wordt in z'n geheel aan de constructie verbonden. Het geheel is zo ontworpen dat de sensor eenvoudig kan worden vervangen.

Belasting en vermoeiing

Voor een optimale afstemming van het benodigde onderhoud op de staat van het windpark en de turbines is een goed beeld van de mechanische belastingen en eventuele vermoeiingsverschijnselen onontbeerlijk. 'Meten' is hier 'weten'. Traditioneel worden dergelijke vermoeiingsmetingen gedaan met zogenoemde 'rekstrookjes'. Dat zijn koperen strookjes die minuscule buigingen in de paal of de bladen registreren en omzetten in een elektrisch signaal. Rekstrookjes meten zo de mechanische belastingen en het aantal belastingswisselingen op een windturbine, die op hun beurt weer bepalend zijn voor eventueel onderhoud aan het windpark. Wanneer de belastingen hoger zijn dan aangenomen is er grotere kans op schade en dus de noodzaak voor onderhoud of vervanging. Ook hier kan door betere kennis aanzienlijk worden bespaard op de kosten.

Binnen het FLOW-programma is ook gewerkt aan twee fundamentele innovaties. Ten eerste ontwikkelde ECN het zogenoemde 'Fleet Leaders' concept. Daarbij worden slechts op enkele representatieve turbines rekstrookjes geplakt om de belastingen te monitoren in plaats van op allemaal. Het 'Fleet Leaders' concept geeft de operators kennis van de belastingen op de andere turbines. Het is uitgebreid beproefd en geverifieerd met gegevens van het RWE-windpark Rhyl Flats in het Verenigd Koninkrijk.

Daarnaast is een alternatief bedacht voor de klassieke rekstrookjes waarmee belastingen in de constructie kunnen worden gemeten. Deze hebben de eigenschap dat ze na enkele maanden kunnen verlopen en moeten daarom vaak worden gecontroleerd. Hun levensduur is beperkt.

Het alternatief bestaat uit een glasfiber buisje (zie illustratie) dat zo is ontworpen dat door middel van laserlicht kan worden gemeten hoeveel het buisje wordt uitgerekt, ingedrukt en of verbogen. Deze optische 'rekstrookjes' zijn veel duurzamer en hoeven veel minder vaak te worden vervangen.

ELOHVS

Windpark Luchterduinen

Het FLOW-onderzoeksprogramma omvatte aanvankelijk een demonstratiepark waar de nieuwe vindingen ter plekke zouden kunnen worden gedemonstreerd. In 2010 was de tijd nog niet rijp voor zo'n ambitieus park waarin de Nederlandse industrie haar verworvenheden kon demonstreren. Daarmee was FLOW aangewezen op veel creativiteit om de onderzoeksresultaten te valideren en te bewijzen aan de buitenwereld. Dat gebeurde soms in het lab, soms in computermodellen maar ook in offshore windparken.

Naast het Britse offshore windpark Blyth, het Nederlandse Gemini Offshore Windpark boven de kust van Schiermonnikoog (beide nog in aanleg) en de meetmast in 'Tromp Binnen', bood vooral de aanleg van het offshore windpark Eneco Luchterduinen, door energiebedrijf Eneco, nieuwe mogelijkheden. Het park, in 2014 en 2015 aangelegd op 23 kilometer voor de kust van Noordwijk/ Zandvoort, herbergt enkele demonstratieprojecten die direct uit FLOW afkomstig zijn.

"De synergie met de partners is de sleutel tot succes gebleken om meer innovaties toe te passen dan strikt noodzakelijk. Juist daarin zat voor ons de winst"

Als onderdeel van de gegunde concessie was projectontwikkelaar Eneco gehouden aan het demonstreren van innovaties, maar dat werden er uiteindelijk meer dan strikt noodzakelijk was voor het krijgen van subsidie. Vier FLOW-projecten vonden met succes hun weg in Eneco Luchterduinen. "Eneco Luchterduinen is het enige park dat in de periode van FLOW is aangelegd," licht Leon van der Meijden, projectmanager van Eneco, toe. "De synergie met de partners is de sleutel tot succes gebleken om meer innovaties toe te passen dan strikt noodzakelijk. Juist daarin zat voor ons de winst."

Daarmee lijken deze innovaties klaar voor de markt. Maar of de betreffende innovaties inderdaad ook op grote schaal op de markt zullen worden toegepast is van veel meer factoren afhankelijk dan alleen onderzoek en ontwikkeling. Innovaties moeten eerst hun technologische en economische waarde bewijzen en worden pas door de markt opgepikt als dat de ontwikkelaars voordeel oplevert. Daarbij zullen de nieuwtjes moeten concurreren met alternatieven. Maar dat is niet anders dan bij andere technologieën.

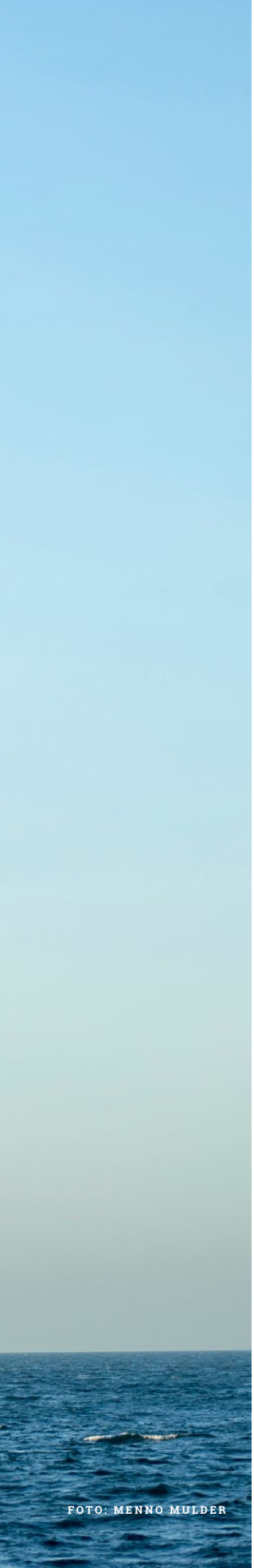


FOTO: MENNO MULDER

Heien op de flens

In (ondiepe) zee wordt een windturbine traditioneel als volgt gebouwd: vanaf een hefschip wordt de zogenaamde stalen 'monopaal', van zo'n 60 meter, minimaal 20 meter in de zeebodem geheid. Op die monopaal wordt een stalen tussenstuk gemonteerd, ter lengte van zo'n 17 meter, met behulp van een cement-gelijmde ('grout') verbinding. Op dat tussenstuk wordt uiteindelijk, met een zogenaamde flens met bouten en moeren, de turbinemast bevestigd. Het tussenstuk is zó gemaakt dat de turbinemast bijna perfect (binnen een kwart graad) verticaal staat en de turbine zijn werk kan gaan doen.

De gedachte om het tussenstuk (en de cementlijmverbinding) achterwege te laten is logisch maar gecompliceerd en heeft binnen FLOW geleid tot behoorlijk wat onderzoek. Bij ontbreken van het transitiestuk moet de monopaal bijvoorbeeld al voorzien zijn van een flens, een ring met gaten waarop de turbine met bouten en moeren wordt bevestigd. Dat betekent: direct heien op de flens met het risico dat die wordt beschadigd. "In feite gaat het hier om de uitdaging een nieuwe industriële standaard te ontwikkelen," zegt Leon van der Meijden. "Het eindresultaat moet namelijk hetzelfde zijn: een bijna perfect verticale turbine."

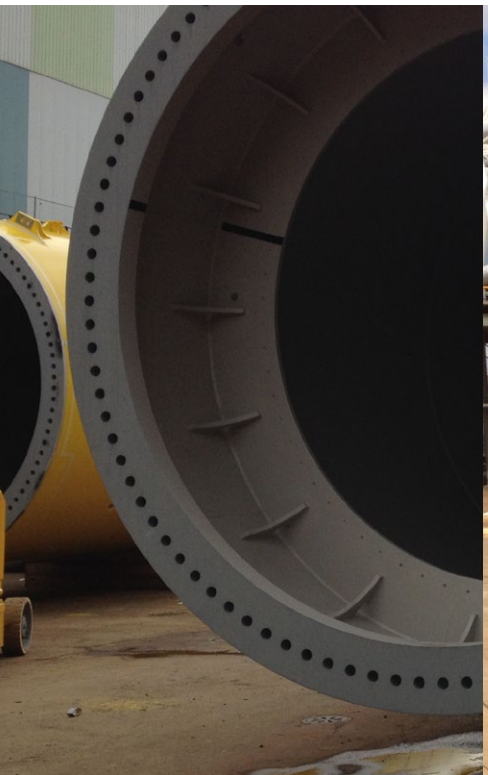
Hamer

Bij het heien op de flens zat het geheim van de smid uiteindelijk in het ontwikkelen van een speciaal gevormde flens zodat de hamer geen schade aan de flens veroorzaakt. Leon van der Meijden: "Daarnaast moesten we ook een oplossing vinden voor het vastmaken van de zogenoemde 'uithouders' en de trap. Die uithouders en trap zijn nodig om de turbine voor monteurs toegankelijk te maken. Dat 'secundaire staal' konden we voorheen aan land op het transitiestuk monteren maar dat moest nu later - offshore - worden aangebracht op de monopaal. En dit pakte in Eneco Luchterduinen positief uit. Het leverde geen noemenswaardige problemen op en bespaart ons ook nog eens staal en daarmee kosten."

Het heien op de flens is anno 2016 al regelmatig toegepast. Weliswaar wordt in bijvoorbeeld het Gemini Offshore Windpark wel met een transitiestuk gewerkt maar deze wordt met een geboute verbinding op de monopaal bevestigd. Ook zijn er nog andere alternatieven, zoals de 'slip joint', zonder flensverbinding. "Dit zijn de relevante innovaties die we nodig hebben voor het goedkoper winnen van offshore windenergie."

Een flens waarop direct kan worden geheid en rechts een monopaal met geïntegreerd transitiestuk

FOTO'S: ENECO



"Het is mooi om te zien dat de innovaties die we in Eneco Luchterduinen hebben toegepast op weg zijn om uit te groeien tot de industriële standaard"

RUBEN DIJKSTRA, ENECO

Vrijhangende kabels

In een offshore turbine lopen de kabels vanaf de generator in de gondel traditioneel door de turbine naar beneden en dan vanaf het tussenstuk tussen monopaal en turbine via een externe J-buis naar de zeebodem. Een alternatief FLOW-concept is het vrij laten hangen van de kabels vanaf het tussenstuk binnen in de monopaal. "De uitwerking van dat idee begint bij een beter begrip van de krachten op de kabel en op de bescherming van de kabel," aldus Leon van der Meijden van Eneco. "Veel van onze aannames over vrijhangende kabels waren vooral theoretisch en moesten we nog valideren. Dat valideren hebben we nu in Eneco Luchterduinen in vier turbines met succes gedaan. Op alle 43 turbines zijn nu de vrijhangende kabels toegepast.

"De grote uitdaging is dat de kabels een vrije loop hebben door zo'n twintig meter lucht en nog eens twintig meter water. De ophanging is van belang om schade te voorkomen en verder mogen de kabels ook niet gaan meetrillen (resoneren) met bewegingen van de mast. Dat levert namelijk meer vermoeiing op en meer risico op kabelbreuk. "De kabels worden nu op ongeveer 1,5 meter boven het zeebed door een gat naar binnen gevoerd en hangen daar vrij naar het interne platform. Dat bespaart ongeveer 1% op de stroomkosten. Ook dit is nog geen standaard maar wordt nu al wel regelmatig toegepast."

Bodembescherming

De golf- en getijdebewegingen van de zee rondom de monopaal kunnen ervoor zorgen dat er grond wegspoelt en dat er rondom de paal een erosiekuil ontstaat. "Om de diepte van die kuil (de zogenaamde ontgrondingsdiepte) te bepalen worden er normen toegepast die op dit moment onafhankelijk zijn van de locatie, de paaldiameter en de zeebodem. Bovendien verschillen die normen ook nog behoorlijk per certificeerder," zegt Tim Raaijmakers van onderzoeksinstituut Deltares.

"Om te voorkomen dat de turbine door ontgronding instabiel zou worden, liggen twee oplossingen voor de hand: "Allereerst kan de paal worden verlengd zodat die dieper de grond in gaat om de ontgronding te kunnen opvangen. Vanwege de conservatieve inschatting van de ontgrondingsdiepte worden dan de extra staalkosten te hoog en daarom wordt er meestal voor de tweede oplossing gekozen: het installeren van een bodembescherming rondom de paal. Traditioneel bestaat zo'n bodembescherming uit meerdere lagen stenen.

Wij hebben uitgebreid schaalonderzoek gedaan in waterbassins om de ontgrondingsdiepte nauwkeuriger te kunnen bepalen. In onze modellen kwamen we tot de conclusie dat de ontgrondingsdiepte kan variëren tussen nul en 2,2 maal de paaldiameter en sterk afhankelijk is van de plaatselijke hydrodynamische omstandigheden, waterdiepte, de zeebodem en de paaldiameter." Dat kan nogal wat kosten schelen, maar op modellen vaart de certificeerder meestal niet. Dus moesten de berekeningen van Deltares ook nog gevalideerd worden in realistische omstandigheden. Dat is gebeurd in het Eneco Luchterduinen windpark, waar de palen van twee turbines zijn geïnstalleerd zonder bodembescherming. "Op die palen hebben we veldmetingen kunnen doen. Dat is nog niet zo eenvoudig. Met alle betrokken partijen hebben we zorgvuldig een meetsysteem ontworpen dat een jaar lang metingen aan ontgronding heeft gedaan, met elk kwartier 12 metingen per monopaal."

"Op basis van het voorgaande schaalmodelonderzoek hadden we verwacht dat de ontgrondingskuilen continue van vorm en diepte zouden veranderen, afhankelijk van de wisselende stroomsnelheden en golfcondities. Tijdens springtij neemt de diepte verder toe, terwijl de kuilen tijdens stormen weer gedeeltelijk opvullen. Omdat we in Luchterduinen over de vier seizoenen konden meten, konden we al deze processen in het veld terug zien."

"To protect or not to protect, that's the question," zegt Raaijmakers. "Voor het antwoord op die vraag hebben we nu beter gereedschap. Wij zijn nu in staat om een stuk nauwkeuriger aan te geven wanneer je bodembescherming nodig hebt en wanneer niet. Maar we hebben niet alleen naar onbeschermde palen gekeken. Ook de bodembeschermingen hebben we verder geoptimaliseerd. In veel van de gevallen is het storten van stenen immers nog steeds raadzaam en goedkoper. Binnen FLOW hebben we bijvoorbeeld significante besparingen gerealiseerd voor de bodembeschermingen van de monopalen in GEMINI en de palen in Luchterduinen, die wel beschermd werden. We schatten dat met de ontwikkelde gereedschappen een besparing van 0,5-1,5% van de stroomkosten kan worden bereikt, afhankelijk van de locatie van het windpark."

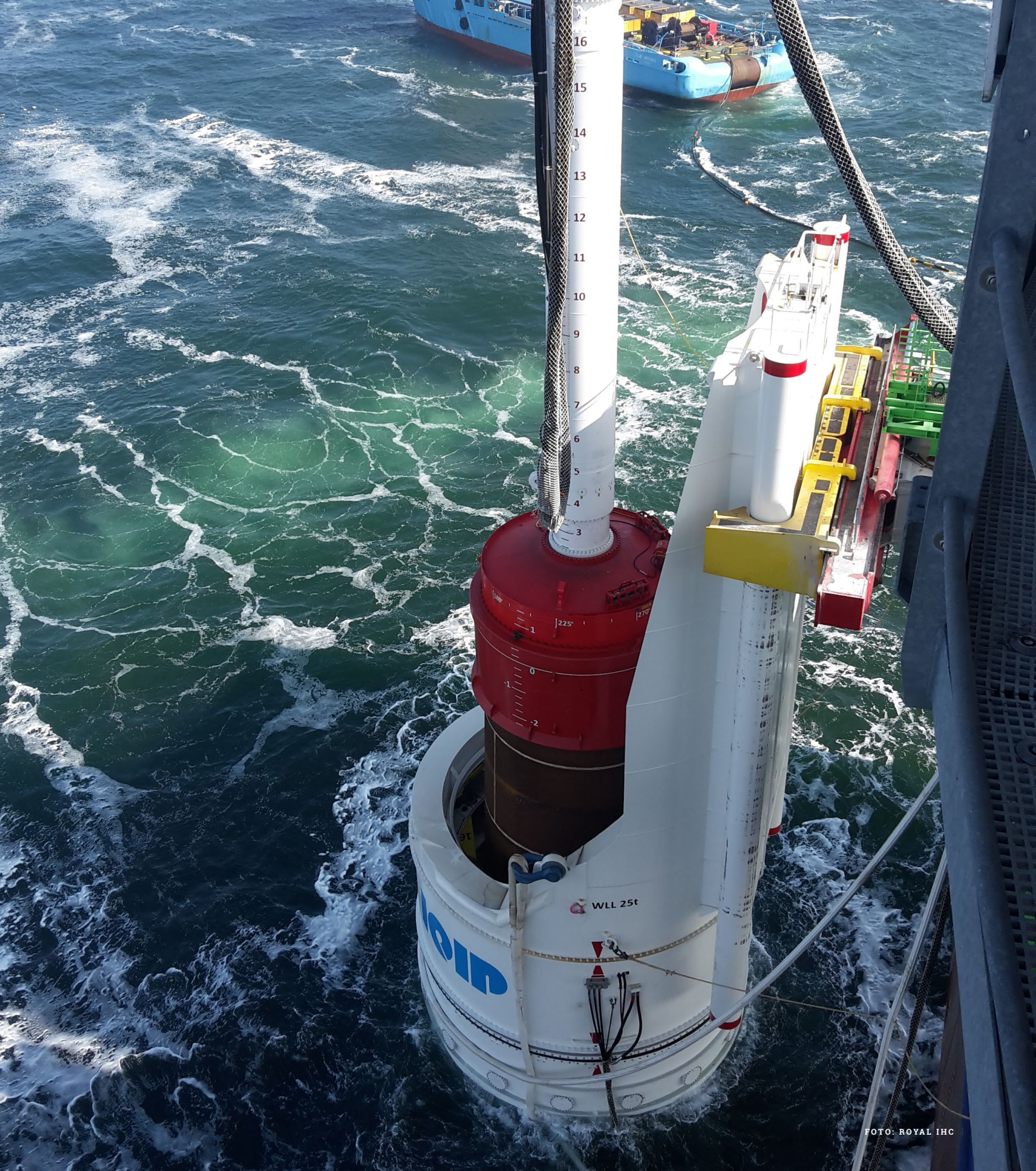


FOTO: ROYAL IHC

Milieu en geluid

De natuurlijke habitat op zee mag niet verstoord worden door de installatie van offshore windparken. Met name bruinvissen zijn erg gevoelig voor geluid. Daarom gelden er strenge eisen die gesteld worden aan de hoeveelheid geluid tijdens de installatie. Op het Nederlandse deel van de Noordzee zijn er regels voor het installeren onder water: er geldt een limiet tussen 160 en 172 dB, afhankelijk van het seizoen en het aantal palen. In Duitsland geldt een maximale limiet van 160 dB.

Deze voorwaarden hebben gevolgen voor de kosten van de bouw van windparken op zee want elke maand uitstel van installatie kost een project veel geld. Dit was de aanleiding voor een zoektocht naar de meest economische oplossing voor het beperken van geluidsoverlast. IHC IQIP, onderdeel van Royal IHC, startte in 2007 met onderzoek dat later ondersteund is door het FLOW-programma. Royal IHC, vanaf het allereerste begin betrokken bij de installatie van offshore windparken, heeft zich onder andere met dit 'Noise Mitigation System' (NMS) een belangrijke positie verworven. Die positieverbetering mag model staan voor de invloed van FLOW op de Nederlandse industriële activiteiten.

Twee stappen

Royal IHC startte het geluidsonderzoek met een schaaltest in een tank. "FLOW heeft een bijdrage geleverd aan de ontwikkeling van een 'full scale' test," zegt Richard Agema, productmanager 'Heavy lift' bij IHC. "Het geluid wordt in twee stappen bestreden. Ten eerste trekken we direct rondom de monopaal een 'luchtbellenscherm' op dat voor invloeden van stroming en golven wordt beschermd door een stalen mantel. Deze mantel bestaat uit twee schermen waartussen zich een spleet met lucht bevindt. Deze twee stappen samen zorgen voor een zeer effectieve geluidsdemping in een groot frequentiebereik."

"Heien met behulp van het huidige systeem biedt de contractor het voordeel van snellere, nauwkeurige, flexibelere en veiligere installatie, die bovendien voldoet aan de geluidsnorm."

IHC IQIP heeft dit systeem doorontwikkeld tot een installatiegereedschap waarbij geluidsmitigatie zelfs als neveneffect beschouwd mag worden. "Heien met behulp van het huidige systeem biedt de contractor het voordeel van snellere, nauwkeurige, flexibelere en veiligere installatie, die bovendien voldoet aan de geluidsnorm," zegt Agema.

Dit concept is in 2011 getest in samenwerking met de FLOW-partners RWE en Van Oord bij het installeren van de meetmast voor IJmuiden, 65 kilometer uit de kust. Al in 2012 werd het eerste commerciële offshore wind park met het Noise Mitigation System (NMS–6900) uitgerust. Inmiddels zijn ook de parken Riffgrund, Butendiek, Amrumbank, Godewind 1, Godewind 2 en Nordsee One met NMS geïnstalleerd waarbij moest worden voldaan aan de zeer strenge Duitse geluidsnormen.

Het IHC IQIP noise mitigation systeem aan boord van een installatie vaartuig

FOTO: ROYAL IHC

"Het R&D werk dat we hebben kunnen uitvoeren heeft onze positie in de offshore windmarkt in Europa verder versterkt."

STEFAN LETTINK, ROYAL IHC

Bruinvissen

FOTO: TOM FOWLER, FLICKR

FOTO: FUGRO OCEANOR

FLOW-innovaties in het vat

Naast de toepassingen in Luchterduinen en Blyth zijn er uit FLOW enkele andere innovaties voortgekomen die nog één of twee stappen zijn verwijderd van de markt. Dit hoofdstuk beschrijft een paar van die innovaties.

Windmetingen met Lidars

Voor de financiering van een windpark eisen de banken een inschatting van de opbrengsten van de turbines. Die inschatting moet van hoge kwaliteit zijn voordat de certificeerders de metingen en de inschattingen van de opbrengst goedkeuren en de banken dit accepteren.

Vanwege die hoge eisen plaatsen projectontwikkelaars tot dusverre steeds meetmasten op de locatie van het windpark als de beschikbare gegevens onvoldoende zijn en houden ze meetcampagnes van minimaal één jaar. Samen met andere meteorologische gegevens leveren die metingen het vertrouwen aan certificeerder en bank dat de opbrengsten voldoende zullen zijn.

Maar een dergelijke campagne met een meetmast is kostbaar, tussen de € 3 en 7 miljoen. Ook hier bestaat een alternatief, namelijk meten met een zogenoemde 'floating Lidar' vanaf een boei op de plaats van het beoogde windpark. Zo'n Lidar meet de windsnelheden met behulp van een lasersysteem (zie tekstkader op pagina 56). De floating Lidar is een stuk goedkoper, maar werd tot nu toe nog niet geaccepteerd door de certificeerder. De meetgegevens van een floating Lidar zijn nog altijd niet 'bankable', maar FLOW heeft een ontwikkeling in gang gezet om de floating Lidar geaccepteerd te krijgen.

> *"Uit negen maanden meten bleek dat de floating Lidar in vergelijking met de meetmast voldoende nauwkeurig is voor windmetingen voor offshore windparken"*

Omdat RWE bij de start van FLOW de meetmast bouwde ten behoeve van het 'Tromp Binnen' windpark, op zo'n 65 kilometer van de kust voor IJmuiden, kon de floating Lidar daarnaast liggen en konden metingen worden vergeleken en gevalideerd. Het park 'Tromp Binnen' ging uiteindelijk niet door omdat de concessie werd ingetrokken, maar de meetmast bleef staan.

"Uit negen maanden meten bleek dat de floating Lidar in vergelijking met de meetmast voldoende nauwkeurig is voor windmetingen voor offshore windparken," zegt Leon van der Meijden van Eneco. "Met meer boeien op verschillende locaties wordt die nauwkeurigheid nog groter en daarmee ook het vertrouwen van de certificeerder en de banken."

Correctie

Een van de problemen die bij de lasermetingen moesten worden opgelost is dat de floating Lidar gecorrigeerd moest worden voor de bewegingen van de boei. Die ligt bijvoorbeeld aan een anker, dat de boei scheeftrekt als de ketting strak komt te staan. Leon van der Meijden: "Ook daarvoor hebben we een oplossing gevonden, in een alternatieve manier van verankeren, zonder extra risico's op losslaan."

Een boei met een Lidar kost omstreeks een miljoen euro. Het alternatief voor de meetmast wordt door de certificeerders nog niet goedgekeurd, maar de validatie van de floating Lidar aan de hand van de metingen in FLOW brengt die certificering wel dichterbij. "Dat zou direct al een besparing van een paar miljoen op een meetmast betekenen. Dat is misschien niet veel vergeleken bij de kosten voor een offshore park, maar juist vóór de investeringsbeslissing, in de voorbereidende fase waarin je aan banken en certificeerder moet laten zien wat het park waard is en er nog geen daadwerkelijk project is, tikt dat zwaar aan."

"Dankzij FLOW hebben we grote stappen kunnen zetten, waarbij onze kennis lopende het FLOW-programma al kon worden toegepast in projecten in Nederland, Duitsland, Groot-Brittannië en België."

TIM RAAIJMAKERS, DELTARES

Kabel leggen

Het vergt vele kilometers kabel om windparken op een transformator aan te sluiten en vervolgens de stroom aan land te brengen. De kabel, soms tot wel 30 cm in diameter, wordt in de regel op grote spoelen vanaf een schip afgezonken op de zeebodem en vervolgens toegedekt ofwel ingegraven (in zand) of toegedekt met stenen (op erosiegevoelige locaties).

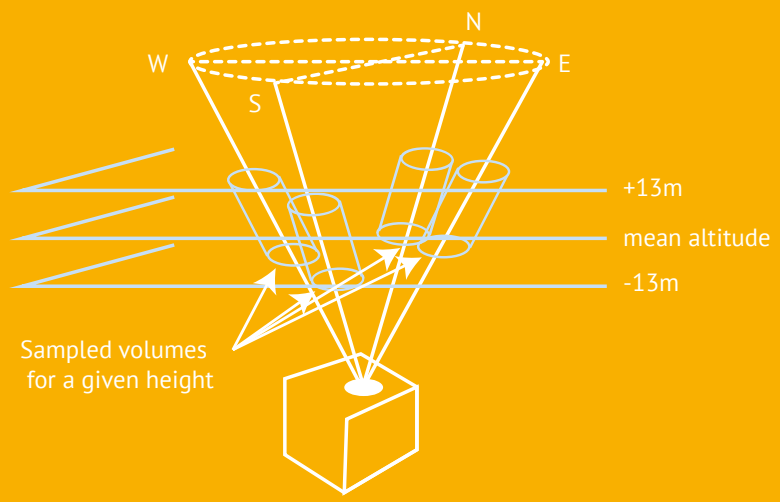
De partners in FLOW hebben flink wat conceptueel denkwerk en onderzoek gestopt in het goedkoper leggen van de kabels. Een team van FLOW-partners bestaande uit Royal IHC, Deltares, TU Delft, Van Oord en Eneco werkte aan verschillende nieuwe concepten onder dit paraplu-project. Een van de uitkomsten is dat er op de installatiekosten voor het leggen van de kabels tot meer dan een kwart bespaard kan worden.

Binnen dit consortium concentreerde IHC zich op het efficiënt en gecontroleerd afzinken van de kabels op een daartoe speciaal uitgerust schip, met een minimaal risico op kabelbreuk.

"Aanbrengen van die koppelstukken hoeft nu niet meer offshore te gebeuren en dat scheelt veel tijd."

Richard Agema van IHC: "Mede als gevolg van een FLOW-ontwikkeling is er een innovatief concept bedacht met acht spoelen, elk met zo'n 1000 tot 2000 meter kabel. Die kabel is op land al voorzien van de juiste bescherming, de juiste koppelstukken en eventuele andere onderdelen. Aanbrengen van die koppelstukken hoeft nu niet meer offshore te gebeuren en dat scheelt veel tijd."

"En als de kabel dan eenmaal op diepte in de zeebodem ligt," zegt Tim Raaijmakers van Deltares, "dan wil je uiteraard dat dat zo blijft. Op de zeebodem komen echter allerlei bewegende bodemvormen voor, zoals zandgolven. Als zo'n zandgolf over een kabel trekt, kan deze zomaar na een aantal jaar bloot komen te liggen, met alle risico's vandien." Deltares heeft hiervoor een meet- en modelleersysteem ontwikkelt dat continue de ingraafdiepte van de kabel doorgeeft. Dit systeem is gebaseerd op DTS (Distributed Temperature Sensing), waarbij met een glasvezelkabel continue de temperatuur van de kabel wordt gemeten."



Meten per Lidar

Lidars (Light Detection and Ranging) worden al sinds de jaren zeventig gebruikt voor meteorologische metingen, en ook helikopters gebruiken (lichtere) Lidar-versies voor het meten van afstanden en snelheden bij het landen. Voor windmetingen op land wordt het apparaat al veel gebruikt.

Het apparaat zendt laserpulsen de lucht in en meet de terugkaatsing op deeltjes in de lucht. Omdat die deeltjes bewegen, vindt er bij terugkaatsen een zogenoemde Dopplerverschuiving plaats in de reflecties ten opzichte van de originele lichtpulsen. Uit die verschuiving kan de LIDAR de windsnelheid meten, in principe op elke hoogte.

Het Meteo Dashboard geeft duidelijkheid of het weer goed genoeg blijft om uit te varen voor onderhoud

FOTO: MENNO MULDER

Betere weersvoorspelling: Meteo Dashboard

Bij de aanleg of het onderhoud van een windpark is het voor de planners van monteurs en andere technici van essentieel belang om te weten hoe de weersomstandigheden buitengaats zullen zijn. De reis per boot kan al bepalend zijn voor het welzijn van de opvarenden voordat ze überhaupt aan het werk gaan (denk aan zeeziekte), maar met name de risico's bij de overstap van boot naar turbine zijn erg weersafhankelijk. Kennis van weer en golven is dus essentieel voor de verantwoordelijke operator om gegronde beslissingen te kunnen nemen over al dan niet uitvaren voor de uitvoering van werkzaamheden.

> *"Dat stoplicht per turbine laat in één oogopslag zien of het tijdvenster waarbinnen reparaties of onderhoud kunnen worden uitgevoerd voldoende ruim is.*

In de regel maakt de operator gebruik van abonnementen op diverse diensten die informatie over meteorologische omstandigheden en golfhoogte leveren. "Maar de modellen die deze gegevens leveren zijn nogal grof, waardoor de voorspellingen niet altijd even nauwkeurig zijn. Windsnelheden, golfhoogtes en stroomsnelheden kunnen nogal variëren binnen een windpark. Onderhoudscrews varen daarom nog wel eens voor niets uit," zegt Tim Raaijmakers van Deltares. "Wij hebben nu een stoplicht-dashboard ontwikkeld dat op basis van alle relevante meteogegevens in één oogopslag laat zien of het tijdvenster waarbinnen reparaties of onderhoud per turbine kunnen worden uitgevoerd voldoende ruim is. Bijvoorbeeld, als bij een turbine de golfslag gedurende zes uur onder de anderhalve meter blijft, dan weten we nu dat de boot met monteurs in dat tijdsbestek wel uit kan varen om het onderhoud te plegen."

Toegepast

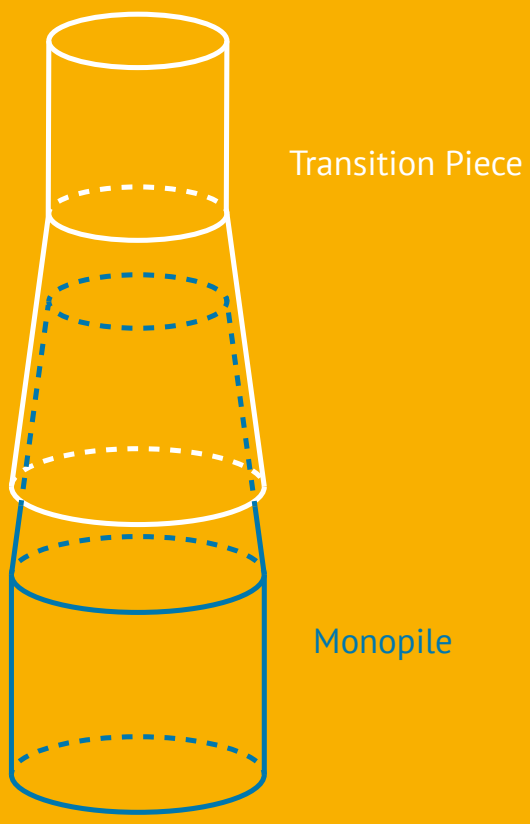
Inmiddels is het meteo dashboard met succes toegepast bij drie windparken: de nauwkeurigheid is inderdaad groter en het dashboard is goed werkbaar. "Als je de werkzaamheden beter kunt plannen werkt dat direct door in de kosten voor het onderhoud. Beter rekening houden met weersomstandigheden heeft uiteraard ook positieve consequenties voor de veiligheid en het welbevinden van het personeel. Maar er is meer. Op een langere termijn kan je met dit model beter de belastingen schatten die gedurende jaren op de turbine en de bladen doorwerken. Als je dit meteo dashboard al vanaf de installatie gebruikt, kan je vrij nauwkeurig schatten wanneer onderdelen vervangen moeten worden. Nu heb je daarvoor vrij ingewikkelde metingen nodig met rekstrookjes - die de belasting maar gedurende enkele maanden kunnen meten. Rekstrookjes zijn dan vooral nog nodig ter validering. Als ze uitvallen, dan blijft het meteo dashboard de belastingscondities gewoon opslaan."

Het Meteo dashboard is ontwikkeld door Deltares en is zo ontworpen dat het zichzelf verbetert aan de hand van de metingen. "Het model is open source. Wij zien dit systeem dan ook vooral om samen met de industrie geïntegreerde data te verzamelen om tot betere beslissingen te kunnen komen. Zo kunnen eenvoudig windparkmetingen worden toegevoegd en vergeleken met de modelvoorspellingen."

Van Oord
COFELY FABRICOM
IEMANTS
Gemini
SMST
NEXUS
ROTTERDAM

Een kabel wordt gelegd bij het Gemini windpark

FOTO: VAN OORD



Vermoeiingstesten met de slipjoint constructie onder hydraulische belasting.

BRON: WMC

"We hebben vermoeiingstesten gedaan met twee miljoen keer een hydraulische belasting, de verbinding verbroken en weer gemaakt."

WMC, een bedrijf in Wieringerwerf dat in 2003 voortkwam uit het Delftse Stevin Lab, ontwikkelde de slip joint samen met Van Oord en de TU Delft. Het gaat ook hier om het bewijzen van het concept, zodat het gecertificeerd kan worden en de turbines die op die manier zijn gefundeerd door banken gefinancierd en door verzekeraars verzekerd kunnen worden. De Winkel: "We hebben het concept eerst in 1-op-10 schaalmodellen getest in ons lab in Wieringerwerf. Dat testen betekent: meten van de belastingen, hoe worden krachten overgebracht, hoe groot moet het contactoppervlak zijn, treedt er slijtage op? We hebben vermoeiingstesten gedaan met twee miljoen keer een hydraulische belasting, de verbinding verbroken en weer gemaakt."

Slipjoint

Veel kostenreductie van een offshore windturbine valt te halen uit een efficiëntere installatie. Er is binnen FLOW vooral gewerkt aan alternatieven voor de orthodoxe offshore windturbine bestaand uit een monopaal, een gelijmde ('gegroute') verbinding met een transitiestuk en vervolgens de turbinepaal die wordt vastgezet op een flens. In Luchterduinen kon het transitiestuk al achterwege blijven (zie hoofdstuk Heien op de flens, pagina 44). De 'slip-joint' (ofwel een 'glijverbinding') gaat zelfs nog een stap verder. Daarbij wordt de conische turbinepaal simpelweg verzonken om het toelopende eindstuk van de monopaal die in de grond is geheid. Geen flens nodig, geen grout, want de turbine zet zichzelf vast.

"Een slipjoint spaart tijd, materiaal en mankracht."

"Een slipjoint spaart tijd, materiaal en mankracht," zegt Gerben de Winkel van WMC. "De grout, een cementachtige substantie, hoeft niet dagenlang te drogen, er is minder staal nodig en ook minder mensen in boten. Ik geef toe, het concept is niet nieuw, want op het strand van Scheveningen heeft jarenlang een Windmaster-turbine met een slipjoint gestaan. Maar op zee nog niet."

Een belangrijke vraag die bij de slipjoint is gesteld: hoe scheef mag een paal komen te staan? Normaal mag een turbine niet meer dan een halve graad uit het lood staan waarbij je met een transitiestuk veel kan corrigeren. Maar is dat ook mogelijk met een slipjoint? Dat betekent namelijk dat de monopaal direct verticaal, recht de grond in moet. De Winkel: "Die halve graad blijkt wel heel erg aan de veilige kant en de toleranties zijn eigenlijk wel groter."

"Op termijn zal de slipjoint ook offshore worden toegepast."

De offshore windturbine met slipjoint staat nog nergens, maar gaat er komen, weet De Winkel. "Bij een certificeerder hebben we onze meetgegevens gedeponeerd en een zogenaamde 'designbrief' voor certificering gestuurd. Op grond van hun eerste uitspraken verwachten we dat de certificering van de slipjoint binnen een jaar volgt. Voor verder onderzoek hebben we met Van Oord al voorstellen ingediend bij TKI Wind op Zee, dus op termijn zal de slipjoint ook offshore worden toegepast. Dat bespaart ons mogelijk 1% op de elektriciteitskosten."

BEELD: BAM INFRA PROJECTEN BV

Een alternatieve fundering

Een grote kostenpost bij offshore windturbines is, zoals eerder gesteld, de fundering. FLOW onderzocht alternatieven met potentie voor forse besparingen op kosten. Één daarvan is de zogenaamde Concrete Gravity Based Foundation, een fundering die in zijn geheel op land kan worden gebouwd met relatief eenvoudige methodes voor vervoer en afzinken. Met name op grotere diepten (van meer dan 45 meter) of op harde ondergrond kan deze methode veel besparen, tot wel bijna 5% op de elektriciteitskosten (LCoE).

Tijdrovend

De klassieke manier van bouwen van een windturbine in zee begint bij een stalen fundering, vaak één holle paal, die minimaal twintig meter in de bodem is geheid. Deze methode brengt nogal wat uitdagingen met zich mee en dat begint al bij het vervoer en het aanbrengen ter plaatse.
Zware kranen moeten de monopalen, die liggend op een schip worden vervoerd, kantelen en precies verticaal (maximaal een halve graad uit het lood) in de grond heien.

Dat is tijdrovend en dus kostbaar, maar brengt ook nog een ander nadeel met zich mee: de methode vergt per turbine nogal een deel van de milieuruimte die voor bouwen op zee geldt. Die milieuruimte is wettelijk gelimiteerd om de dieren in de buurt van de bouwplaatsen te beschermen tegen te veel geluidsoverlast. Ook met de toekomstige wet- en regelgeving wordt de geluidsemissie strikt gereguleerd. Omdat het aanbrengen van een fundering veel tijd kost, is het niet eenvoudig om een park van enkele tientallen turbines in één jaar te voltooien. Met alle kosten van dien, want een verlengde bouwtijd kost nu eenmaal geld.

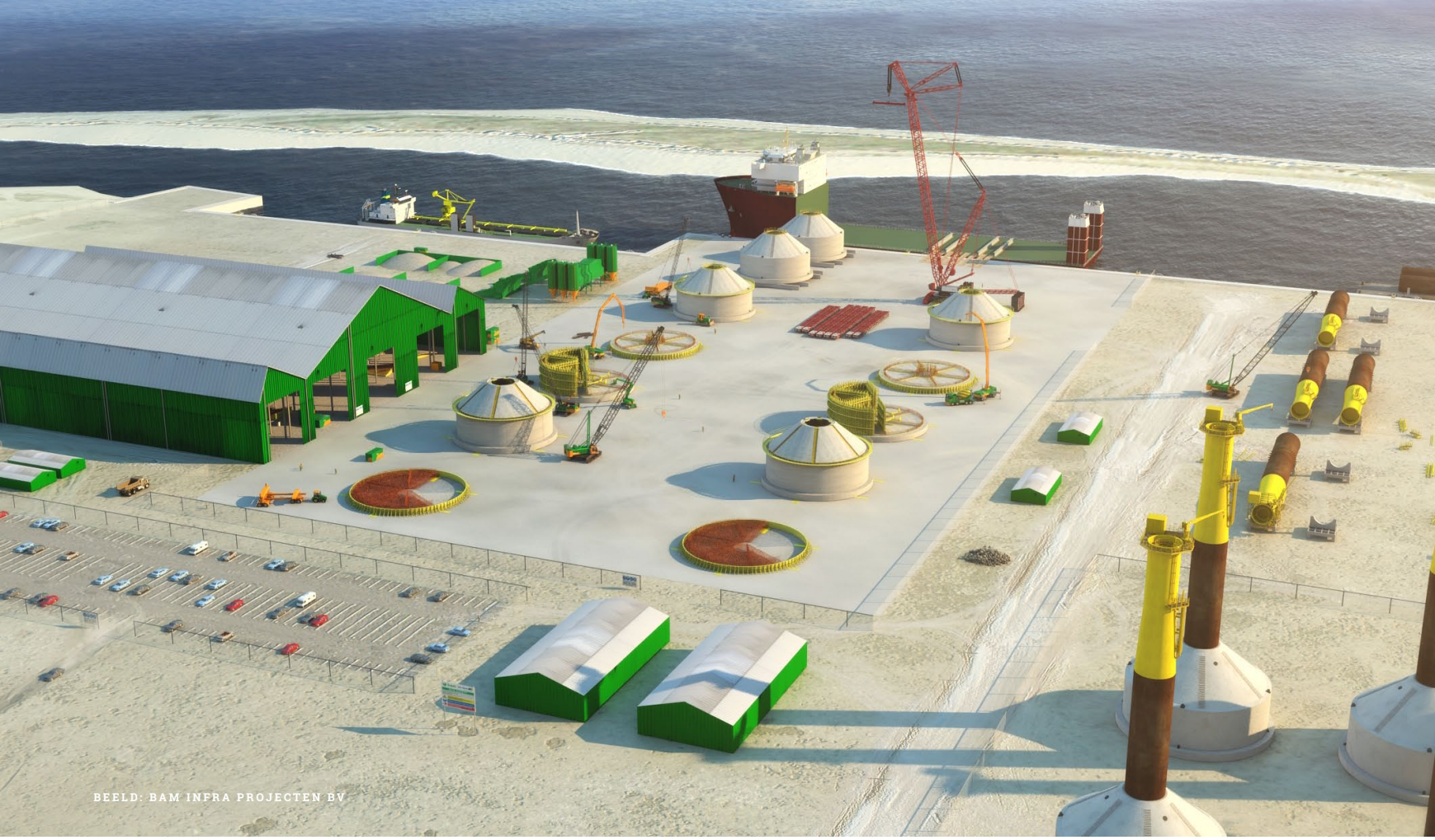
"In de detailed engineering van onze demonstratie in het windpark van Blyth passen we al elementen toe die voortkomen uit deze gecoördineerde aanpak."

SANDER OVERBEEKE, BAM

Speerpunt

Het zoeken naar een alternatieve of verbeterde fundering is één van de speerpunten in FLOW, ook al vanwege de goede markt-positie van de Nederlandse offshore industrie op dit vlak. Sander Overbeeke van BAM: "Wij zijn vier jaar geleden samen met Van Oord begonnen met het uitwerken van het concept van de Gravity Based Foundation met het oog op het Gemini Offshore Windpark boven Schiermonnikoog. Binnen FLOW hebben we dit concept door-ontwikkeld en inmiddels hebben we ook besloten tot een demo met een windturbine van 8 megawatt in het Blyth windpark voor de Engelse kust. Die plaats is bij uitstek geschikt omdat de ondergrond te hard is om in te heien. Deze turbine zal in 2018 operationeel zijn."

De Gravity Based Foundation, met een gepatenteerde verbinding, is een betonnen bak die op land kan worden voor-geproduceerd en vervolgens drijvend naar de offshore locatie wordt gesleept. Dat scheelt ingewikkeld werken op een schip en is dus ook minder afhankelijk van de weersomstandigheden of milieuruimte. In de bak, afhankelijk van de diameter van de windturbinepaal tot zo'n dertig meter in doorsnee en twintig meter hoog, zit een conische metalen schacht waarin de monopaal is vastgezet. Op de bestemde locatie wordt de bak vervolgens met water gevuld en afgezonken op de bodem, die voor dat doeleinde tevoren vlak is gemaakt. De paal is dan klaar voor bevestigen van de turbinemast.


BEELD: BAM INFRA PROJECTEN BV

“En intussen beraden we ons op de volgende stap; met drijvende funderingen.”

Er valt veel te winnen met de Gravity Based Foundation. De voorproductie op land en het drijvende vervoer (of op een speciaal schip) besparen veel tijd en geld. De Gravity Based Foundation gebruikt nogal wat beton maar bespaart flink op staal. Een traditioneel transitiestuk en heien (tot wel tientallen meters onder de grond) zijn niet nodig. Ook in onderhoud is er winst omdat beton minder gevoelig is voor vermoeiingsbelastingen dan staal.

De samenwerkende partijen Van Oord, BAM, Deltares (voor de golfbelasting, de respons van de ondergrond en de erosiebescherming rondom de fundering) en anderen bereiden nu de demo in Blyth voor. Overbeeke: “De Gravity Based Foundation is concurrerend, zeker in dieper water, maar moet nu nog uitgerold worden naar de markt. Van de certificeerder krijgen we positieve signalen, we moeten nu toe naar een standaard, maar moeten daarbij wel concurreren met andere opties, zoals de driepoot of vierpoot-turbines. In Nederland zijn de mogelijkheden nog beperkt. Vooral in Frankrijk liggen mogelijkheden. En intussen beraden we ons op de volgende stap; met drijvende funderingen.”

FOTO: XEMC DARWIND

Offshore turbinebouwers in FLOW

In het verleden waren onderzoekprogramma's voor windenergie in Nederland sterk gericht op turbines. Dat heeft de turbinebouw in Nederland echter nog niet aan de top van de mondiale industrie gebracht. Het accent van FLOW ligt nu meer op de kansen voor de offshore industrie maar ook de jonge offshore-turbinebouwers trekken profijt. Nieuwe ontwerpers geloven dat er best ruimte is voor innovatieve concepten met perspectief op lagere elektriciteitskosten, omdat de reguliere offshore windturbine nu vooral een voortzetting is van de turbines die op land worden gebruikt. Speciaal ontwikkelde offshore turbines zijn mogelijk beter aangepast op de eisen buitengaats.
Twee Nederlandse ontwerpers komen aan het woord.

BEELD: 2-B ENERGY

"Als klein bedrijf moeten wij het hebben van verder ontwikkelen. Gesubsidieerde R&D is daarin van groot belang, al zouden we graag zien dat Nederland meer risico's wil lopen voor de maakindustrie."

HERBERT PEELS, 2-B ENERGY

2-B Energy

2-B Energy is, net als concurrent XEMC Darwind, een turbinebouwer die zich in de sector nog moet bewijzen en vooral nog aan het ontwikkelen is. "Wij zijn dus best afhankelijk van financiering van R&D," zegt Maarten Keja, manager projectmanagement van 2-B Energy. "FLOW bood ons de gelegenheid om met de rest van de industrie samen op te trekken en dan niet noodzakelijk meteen in een commerciële sfeer. Die bundeling van krachten werkt goed bij het aanvragen van subsidies maar zeker ook in de lobby richting overheid. Ik denk dat offshore wind er bij de overheid zonder FLOW niet zo goed had opgestaan. We zijn gesprekpartner, via het programmabureau, en tenslotte zijn de beloftes van FLOW over kostenreductie ook in het Energieakkoord opgenomen."

Eigen concept

2-B Energy heeft een heel eigen offshore concept. Het gaat hier om een tweebladige turbine, gebouwd op een toren met een open structuur op drie poten, met de rotor benedenwinds - dus niet 'in de wind' zoals de meeste (moderne) windturbines. Dat heeft als voordeel dat de rotor automatisch in de wind draait ('kruien'), maar het wekt ook extra torsiekrachten op. Die krachten van zo'n 'downwind' turbine worden gemakkelijker opgevangen door een vakwerkconstructie dan door een monopaal. Mede om deze reden heeft 2-B Energy gekozen voor een vakwerkconstructie.

Keja: "De grondleggers van het bedrijf, Herbert Peels en Michael Jacobsen, hebben beiden brede ervaring in de turbinebouw en hebben dit concept bedacht op basis van hun ervaringen. Er zit al winst bij het installeren en bedrijven van zo'n turbine en daarnaast zijn er nog wel wat nevenvoordelen. Bij de installatie kan een tweebladig rotor bijvoorbeeld makkelijker vervoerd worden en in één keer op de gondel worden gehesen. Ook kan een helikopter voor onder andere de aanvoer van onderhoudspersoneel makkelijk landen op de gondel, omdat de wieken horizontaal kunnen worden gesteld."

2-B Energy turbine

BEELD: 2-B ENERGY

Nog niet volwassen

"Offshore windenergie is een jonge industrie, niet heel pril, maar ook nog niet volwassen," zegt Keja. "Bij het ontwikkelen van ons concept konden we binnen FLOW goed samenwerken met bedrijven als Van Oord. Maar het is wel een handicap dat in FLOW bijvoorbeeld geen Nederlandse toeleveranciers voor generatoren, controllers of bladen zitten, want die zijn er niet. Een demonstratiepark had misschien het accent meer op de maak-industrie kunnen leggen. Voor de installatie konden we goed terecht bij FLOW. Voor meer conceptuele zaken rondom onze turbine zijn we nu vooral aangewezen op samenwerken met de TU Delft en op programma's in het buitenland, zoals Schotland, Duitsland en Denemarken."

"Die test-runs leveren dat bewijs."

2-B Energy heeft sinds vorig jaar een demonstratieturbine in Nederland, in de Eemshaven bij Delfzijl. Daarin zijn ook al enkele tastbare FLOW-resultaten verwerkt. "Belangrijkste toepassing is de vergrote rotordiameter naar 140 in plaats van 130 meter. Dat geeft hogere opbrengsten bij een lager toerental. Maar deze aanpassing vraagt ook om aanpassingen elders in het systeem, tegen hogere kosten. Het is best lastig om daarin het optimum te vinden, dat is vooral een iteratieproces, en er zitten technische grenzen aan. We zitten nu tegen het moment aan dat we met test-runs een hoge beschikbaarheid draaien. Dat is voor ons zeer belangrijk, want als turbinebouwer moeten wij ons bewijzen, richting banken, richting grote partners en projectontwikkelaars. Die test-runs leveren dat bewijs."

Bij een vervolg van FLOW zou Maarten Keja graag meer accent willen zien op het promoten van een eigen industrie, dus ook van de maakindustrie. "Ik begrijp best dat de minister redelijke zekerheid wil hebben dat de subsidies goed worden besteed. Dat is ook de kracht van FLOW: dat er een pakket R&D ligt dat gericht is op kostenreductie. Maar als ik de minister was, zou ik vooral subsidies besteden aan innovaties die anders niet zouden plaatsvinden. Dat betekent: meer risico lopen. De helft van de subsidies is dan misschien verspild, maar die andere helft komt precies goed terecht. Turbinebouwers zijn juist degenen die het geld nodig hebben voor nieuwe concepten."

FOTO: MENNO MULDER

"XEMC bouwt op dit moment een offshore windpark in China met onze nieuwe 5 MW offshore windturbine. Mede dankzij FLOW hebben we deze kennis in Nederland kunnen ontwikkelen en bouwen we tegelijk een track record op."

MARCO PLANTEMA, XEMC DARWIND

XEMC Darwind

Voor XEMC Darwind, start-up windturbine-ontwikkelaar en eigendom van het Chinese XEMC, is de samenwerking binnen FLOW van essentieel belang geweest voor de ontwikkeling van het eigen concept. Vóór FLOW waren er wel al twee prototypes gebouwd van de driebladige turbine met directe overbrenging (dus zonder versnellingsbak).

"We werkten al wel samen met de TU Delft, ECN en WMC, maar FLOW heeft ons bredere mogelijkheden gebracht."

Nu staat er een turbine van 5 megawatt zowel op het ECN Windturbine Testveld in Wieringerwerf als in China, met enkele essentiële verbeteringen. "Dat hadden we zonder FLOW waarschijnlijk niet gered," zegt Kees Versteegh, Chief Technical Officer van XEMC Darwind.

"Wij zijn weliswaar een offshore-onderdeel van een grote Chinese turbinebouwer, maar zelf nog een klein bedrijf zonder orderportefeuille, met nog geen twintig man in dienst. Dus ook het budget voor R&D is beperkt. Terwijl we het als beginnende turbinebouwer juist wel van ontwikkeling moeten hebben. We werkten al wel samen met de TU Delft, ECN en WMC, maar FLOW heeft ons bredere mogelijkheden gebracht. Voor ons, en dus ook voor onze Chinese eigenaar, verschafte deze samenwerking ons ook toegang tot veel Europese kennis op ons gebied."

Samenwerking turbinebouwers en onderzoek

2-B Energy en XEMC Darwind hebben in het FLOW-programma nauw samengewerkt met de onderzoeksgroepen bij ECN, TU Delft en WMC. Samen keken ze vooral naar het implementeren van de laatste kennis op het gebied van turbineregelingen (ACT - Advanced control Design Tool) en het integraal ontwerpen van turbines (FOCUS). De winst hiervan zit vooral in een beter geïntegreerd ontwerpproces. Dat geïntegreerde ontwerp heeft voordelen boven het apart ontwerpen van de verschillende hoofdcomponenten van de turbine, want het bepaalt de belastingen in de constructie vanaf de zeebodem tot en met de rotorbladen in z'n geheel en houdt rekening met de regeling die voor de turbine is ontworpen.

Nieuwe kennis uit een aantal promotieonderzoeken aan de TU Delft (op het gebied van windturbinetechnologie) ondersteunt deze aanpak voor integraal ontwerpen.

Langere bladen

Net als bij de 2-B Energy turbine is de verlenging van de bladen een van de meest in het oog springende verbeteringen aan de nieuwe offshore XEMC Darwind-turbine. De rotordiameter is vergroot van 128 naar 140 meter. Die verlenging had geen effect op het maximumvermogen van 5 megawatt, maar wel op de opbrengsten.

"Het belangrijkste is dat de turbine bij lagere windsnelheden juist meer wind vangt"

"Zo'n grotere diameter betekent wel dat we de turbine bij hoge windsnelheden iets eerder moeten terugregelen, wat scheelt in de belasting en de vermoeiing van de bladen. Maar het belangrijkste is dat de turbine bij lagere windsnelheden juist meer wind vangt. De capaciteitsfactor stijgt dan met zo'n tien procentpunten, en dat betekent fors meer opbrengst tegen relatief lagere kosten. Voor ons was dit de grote klapper!"

De vergrote rotordiameter vergde ook op andere plekken aanpassingen in de turbine, zoals in de generator. Versteegh: "Als je die groter en zwaarder wil maken loop je tegen fysieke grenzen aan. Ook moesten we elementen in de structuur lichter maken en een betere koeling aanbrengen. En tenslotte moesten we ook de controller waarmee we de turbine regelen aanpassen. Dit is in nauwe samenwerking met ECN gebeurd. Zij hebben binnen FLOW de regeltool ACT ontwikkeld, die voor de optimalisatie van de regeling is gebruikt (zie tekstkader 'Samenwerking turbinebouwers en onderzoek'). We hebben nu ook een nieuwe stopstrategie ontwikkeld bij hoge windsnelheden. Daarnaast gaat het om aanpassingen zoals een verbeterde regeling voor het kruien in de wind en software voor het optimaal verstellen van de bladen. Overal kleine winst, maar in de verlenging van de bladen grote winst."

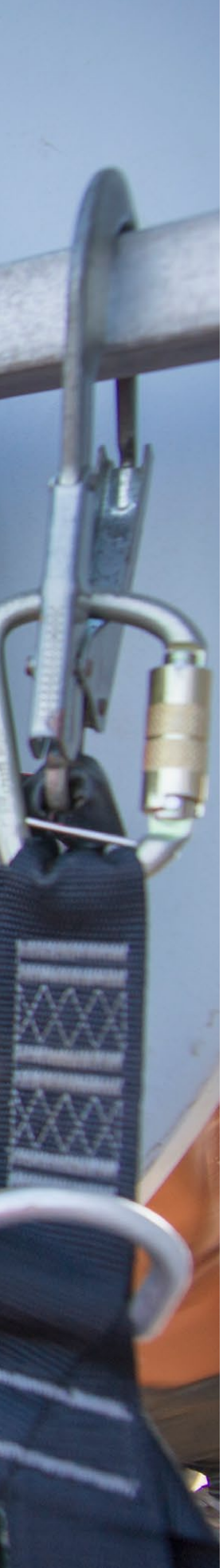
Vertrouwelijkheid

In een consortium waarin ook een concurrerende turbinebouwer (2-B Energy) zit moesten er wel goede afspraken gemaakt worden over de vertrouwelijkheid van de onderzoeksresultaten. "Maar in de praktijk bleek dat eigenlijk niet zo ingewikkeld. Met onze onderzoekspartners TU Delft, ECN en WMC was die vertrouwelijkheid al voldoende gewaarborgd. Binnen FLOW hadden we gewoon afgesproken dat we elkaars rapporten niet te zien kregen. Over sommige van onze rapportages zijn uiteindelijk ook wetenschappelijke publicaties verschenen. Daar staan dan de specifieke kentallen niet in, maar wel de methode. Geen enkel probleem."

"In de praktijk bleek vertrouwelijkheid eigenlijk niet zo ingewikkeld."

In een volgende fase wil XEMC Darwind de offshore turbine opschalen naar 6 tot 10 megawatt. Versteegh: "Dan staan we ook voor enkele fundamentele keuzes die we willen maken om onszelf een plaats te veroveren op de Europese markt. Dat is lastig genoeg, want die markt is behoorlijk geconsolideerd. We hebben nu ook een demonstratiemodel in de Chinese wateren staan, dus we bewijzen ons bestaansrecht. Maar tegelijk is de Chinese markt voor ons zo mogelijk nog lastiger."

FOTO: MENNO MULDER



De risico's onder controle

Naast de bijdragen aan kostenreductie, versnelling van de ontwikkeling en lagere financieringsrisico's, heeft FLOW ook de risico's en veiligheid voor alle betrokkenen hoog in het vaandel. Met de verwachte groeispurt in de offshore-windindustrie in de komende jaren neemt vanzelf ook de kans op incidenten toe.

Het beheersen van risico's en het voorkomen van incidenten binnen de gehele levens-cyclus van een windpark op zee - van bouw tot en met ontmanteling - zijn daarom een belangrijk punt van aandacht. De vertrouwde omgeving van FLOW bleek zeer geschikt om ervaringen te delen en uit te wisselen. Door veiligheid te promoveren tot een integraal onderdeel van het ontwerp, de bouw en de ontmanteling is veiligheid op een nog hoger plan gebracht.

"Veiligheid en gezondheid beginnen bij het ontwerp en eindigen pas na de ontmanteling."

"Vroeger ontwikkelden we eerst en ontdekten we gaandeweg", zegt Cor van Emmerik, manager kwaliteitscontrole bij IHC. "Nu doen we eerst vooronderzoek en ontwikkelen daarna. Veiligheid en gezondheid beginnen bij het ontwerp en eindigen pas na de ontmanteling."

FOTO: MENNO MULDER

Enkele stakeholders in veiligheid en gezondheid

WindEurope (voorheen de European Wind Energy Association, EWEA) richt zich actief op het harmoniseren binnen de Europese windindustrie, met het doel risico's zoveel mogelijk te beperken. EWEA doet aanbevelingen over Best Practices, stimuleert trainingsstandaarden en reviewt ook wet- en regelgeving door EU-lidstaten.

Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), is onderdeel van het Ministerie van Economische Zaken, in 2006 aangewezen om toe te zien bij de bouw en exploitatie van windparken op zee. SodM zal haar windtak in 2016 uitbreiden.

De **Nederlandse Wind Energie Associatie (NWEA),** lid van WindEurope, is vertegenwoordigd in het bestuur van de organisatie en is actief in haar werkgroepen. De NWEA Commissie Veiligheid en Opleiding (CVO) volgt de ontwikkelingen op het gebied van veiligheid, geëvalueerd door de turbineleveranciers en is actief voorstander van het delen van incidentstatistieken.

De **werkgeversvereniging WENb** richt zich op het aanvullen van de ARBO Catalogus Windenergiebedrijven. Na het afronden van het onderdeel opereren en onderhoud in 2012, richt de organisatie zich op dit moment op het onderdeel constructie. Waarschijnlijk zal NWEA deze activiteiten per 1 januari 2017 overnemen.

Hoge prioriteit

In de offshore windindustrie komen de meeste incidenten voor tijdens constructie, installatie, opereren en onderhoud. De aandacht voor veiligheid en gezondheid begint bij het centraal rapporteren van incidenten. Dit wordt bijvoorbeeld al jaren in de olie-en-gasindustrie gedaan en is dan ook een aanbeveling voor offshore wind. Openheid bevordert het delen van relevante informatie en maakt het mogelijk om toekomstige soortgelijke incidenten te voorkomen.

Standaardisering binnen de offshore windindustrie is een waardevolle ontwikkeling. In de typisch internationale offshore windindustrie worden normen en standaarden meer en meer afgestemd, zowel nationaal als internationaal. 'Best practices', de meest effectieve risico beperkende werkmethoden die de veiligheid ten goede komen, worden uitgewisseld onder de paraplu van de G9 Offshore Wind Health and Safety Organization en leiden daarmee tot continue verbetering van de standaard binnen de industrie.

Tot wasdom

Naast de innovaties en kostenreductie heeft het FLOW-programma dus ook een positieve spin-off gehad op het onderwerp veiligheid. "Het past bij een industrie die volwassen wordt om bij een project risicoaspecten en deskundigen in een vroeg stadium te betrekken," zegt FLOW-directeur Ernst van Zuijlen: "Als je tien jaar geleden een offshore project aanbesteedde lag de focus helemaal op de technische uitdagingen. Nu zijn we een slag verder en zijn veiligheid en gezondheid integraal onderdeel van het hele ontwerp. Minder risico voor de mensen die op zee werken is een kernwaarde van alle FLOW-partijen en ook een gemeenschappelijk belang."

Dit vertaalt zich onder andere in meer aandacht voor veiligheid en een gezonde werkomgeving binnen verschillende fasen van de levenscyclus van een offshore windpark. Zo ontwierp het kennis-centrum Windturbine Materialen en Constructies (WMC) software voor de ontwerpfase waarvan direct een positieve bijdrage voor de veiligheid mag worden verwacht. De software is namelijk beter in staat om te voorspellen hoe een windturbine zich gedraagt, maakt betere controllers mogelijk en levert nauwkeurige gegevens over de belasting aan leveranciers van diensten. Dat resulteert niet alleen in een hoger rendement en meer betrouwbaarheid maar ook in efficiënter materiaalgebruik en minder noodzaak voor onderhoud.

De veiligheidsrisico's in de fase van de bouw worden direct beïnvloed door bijvoorbeeld het werk van Ballast Nedam en partners aan een alternatieve methode voor het installeren van het windturbine fundament (trillen in plaats van heien) of de alternatieve wijze waarop de windturbine zonder gebruik van transitiestuk direct op de monopaal kan worden bevestigd. Dat scheelt in het aantal handelingen, minder offshore bewegingen (boten en hijswerk), een kortere installatietijd en minder benodigd personeel. Kortom: ook hier minder risico's.

Verantwoordelijkheid

Binnen de offshore windindustrie heeft elke betrokken partij zijn eigen verantwoordelijkheid voor veiligheid: de wetgever, de vergunning verstrekker, de toezichthouder, de brancheorganisaties, de opdrachtgevers, de operators alsook de verschillende contractors, subcontractors en leveranciers. Een zorgvuldig ingericht managementsysteem in combinatie met het inzetten van competente arbeidskrachten, zorgt ervoor dat veiligheid en gezondheid ingebed worden binnen de verschillende organisaties. Uit workshops gehouden binnen FLOW komt naar voren dat dit een gedeelde verantwoordelijkheid is.

> *"Meer trainingsfaciliteiten in de vorm van field labs of mockups maken een zorgvuldige voorbereiding mogelijk en zorgt voor een verbetering van competenties."*

Trainingen en een goede voorbereiding zijn het geheim. In de windindustrie werken bedrijven die relatief nieuw zijn in de offshore windindustrie. Beschikbare onshore ervaring kan niet altijd worden toegepast, trainingsfaciliteiten zijn beperkt en er is specifieke aandacht nodig op het gebied van reacties op noodgevallen (Emergency Response). "Meer trainingsfaciliteiten in de vorm van field labs of mockups maken een zorgvuldige voorbereiding mogelijk en zorgt voor een verbetering van competenties," aldus Nico Stolk, veiligheidsexpert en organisator van een van de workshops op dit gebied. "Oefening baart in dit geval risicobeheersing. FLOW leverde daarin een bijdrage, maar hier houdt het zeker niet op."

FOTO: MENNO MULDER

De toekomst van wind op zee (in Nederland) is geweldig

Offshore windenergie maakt in de wereld momenteel een forse versnelling door. Op vele zeeën en bijna alle continenten worden parken gebouwd. Er is sprake van een miljardenindustrie maar de toekomst belooft nog veel meer. In de huidige vormgeving van de elektriciteitsmarkt kan energieopwekking op zee de concurrentie op prijs nog niet aan. Er is nog bijna altijd subsidie nodig om het gat te dichten tussen de reguliere stroomprijs en de kosten voor offshore wind. Maar de kosten van wind op zee dalen gestaag.

Bovendien wordt er ook op vele politieke niveaus - nationaal, regionaal en, mondiaal - stevig gedebatteerd over de toegevoegde waarde van energievormen met lage effecten op klimaatverandering. Een stevige prijs op de uitstoot van broeikasgas zou dat gat al deels kunnen dichten, maar dat is nog bijna nergens het geval.

FOTO: MENNO MULDER

"Een goede samenhang en een sterk consortium hebben Nederland internationaal op voorsprong gezet in de ontwikkelingen in offshore wind. Maar die voorsprong hou je niet zomaar."

PAUL KORTING, ECN

Het Klimaatakkoord van Parijs van eind 2015 bevestigde nog eens de intentie van bijna 200 landen in de wereld om klimaatverandering te beperken tot onder 2° Celsius gemiddelde temperatuurstijging en liever nog tot 1,5° Celsius. Dat heeft ingrijpende consequenties voor de energievoorziening. Bijna alle scenariostudies die vooruitkijken naar het jaar 2050 beschrijven een bijna emissieloze energievoorziening en bijna allemaal leunen ze zwaar op offshore windenergie als een van de belangrijkste duurzame bronnen.

Dat stelt de offshore windindustrie voor een forse uitdaging. Ernst van Zuijlen: "Hoe het stroomsysteem er in 35 jaar tijd ook uit gaat zien, offshore windenergie zal zich moeten ontwikkelen tot een volwaardige stroombron, technisch zeer goed ontwikkeld, de ruggengraat van een koolstofarme energievoorziening en concurrerend op kilowattuurprijs. Gelukkig is die ruimte er ook. Al onze studies laten zien dat het potentieel groot is en dat FLOW daarin een goede stap heeft gezet."

"Als we op de succesformule voortbouwen kan de BV Nederland daar nog veel plezier aan beleven."

Tegelijk moet er nog een lange weg worden afgelegd. "FLOW heeft laten zien dat we met een groep van bedrijven en kennisinstituten een leidende rol kunnen spelen in onderzoek en ontwikkeling. Als we op die succesformule voortbouwen kan de BV Nederland daar nog veel plezier aan beleven."

Dat hoeft niet noodzakelijk in dezelfde vorm als in FLOW want in vijf jaar is het landschap in R&D-financiering in Nederland, en breder in Europa, behoorlijk gewijzigd. In Nederland is het topsectorbeleid leidend geworden, met op gebied van offshore wind het Topconsortium voor Kennis en Innovatie Wind op Zee. Het topsectorbeleid is per definitie open voor nieuwe toetreders. "De TKI-structuur biedt dus veel mogelijkheden om het consortium verder te versterken," aldus Van Zuijlen. "Maar laten we daarbij wel gebruik maken van wat sterke elementen uit FLOW, zoals de onderlinge samenwerking en de planning voor een langere termijn."

Daarnaast zijn er voor de R&D-financiering vanuit het Europese Horizon 2020-programma ook grote mogelijkheden voor Nederlandse consortia, in de meeste gevallen ook in samenwerking buitenlandse partijen.

"Een gemeenschappelijke roadmap en een programma houden de partijen bij elkaar"

"Kern van de planning van het onderzoek voor de eerstvolgende paar jaar is de programmatische aanpak," vindt Van Zuijlen. "Een gemeenschappelijke roadmap en een programma houden de partijen bij elkaar, dat is in FLOW wel gebleken. Zo'n gemeenschappelijke visie van ontwikkelaars, leveranciers en dienstverleners, onderzoekers en adviseurs helpt om doelen te stellen, kennis met hoge waarde te creëren en uiteindelijk een sterke positie te krijgen in dat internationale veld."

Een overzicht van alle FLOW-projecten

Advanced Controller Optimization	Doorontwikkeling en geschikt maken van het controle systeem van de 2B turbine voor 2-bladige toepassing en offshore conditities.
Alternative foundation connection	Haalbaarheidsstudie naar verbindingen bij monopiles die offshore gelast zijn.
Alternative foundation installation	Haalbaarheidsstudie naar alternatieve fundatie-installatiemethoden, zoals boren en trillen.
Application of Advanced Design Tools to a 3 bladed offshore wind turbine	Reductie van 'Cost of Energy' door toepassing van geavanceerde control strategieén voor actieve belastingreductie en toepassing van geavanceerde geintegreerde ontwerp aanpak voor (geautomatiseerde) ontwerp optimalisatie.
Benchmark of innovative O&M propositions for far and large offshore wind farms	Benchmarkstudie waarbij verschillende innovatieve O&M strategieën worden vergeleken.
Blade Load Monitoring based on Fiber Optic Measurements (BLM-FO)	Ontwikkeling van een monitoring systeem voor de belasting van bladen met behulp van een fiber optisch meetsysteem om te komen tot een efficiënte onderhoudsplanning en inschatting van de resterende levensduur.
CDTup, Control Design Tool Upgrade	Uitbreiding van de Control Design Tool van ECN voor toepassing bij 2-bladige turbines.
Concrete Gravity Base Substructure	Haalbaarheidsstudie naar een betonnen Gravity Base Foundation als technisch haalbaar en economisch voordelig alternatief.
Controller Optimization for 6MW 2 Bladed Offshore Wind Turbine	Realisatie van een model voor de turbine regeling voor optimalisatie van 6 MW 2-bladige offshore windturbine.
Design of a Full Scale Prototype Concrete Monopile	Vervolg op het 'Alternative Foundation Installation' project, naar alternatieve fundatie installatiemethoden zoals boren en trillen.
Design of Offshore Wake Model Validation Project	Ontwerp en definitie van meetplan voor validatie van zogmodellen (wake models).
Design Tools & Modelling Improvement	Uitbreiding van ontwerp-simulatiemodellen voor het berekenen van (dynamische) belastingen door wind en golven voor zwaardere far-offshore condities, waardoor de integrale constructie met kleinere onzekerheden kan worden ontworpen.
DUWIND's far offshore wind farm design PhD's	Vijf PhD projecten op vijf gecorreleerde onderwerpen: 1. Far-offshore windklimaatmodellen; 2. Koppeling tussen zogmodellen in de buurt en verder weg van de turbine; 3. Windpark management met gedistribueerde foutendetectie voor far-offshore windparken; 4. Windparken ontwerp met beschikbaarheidsoptimalisatie 5. Software tool voor conceptueel ontwerp van offshore windparken
Dynamic Power Management	Kostenreductie door een integrale aanpak voor het gecombineerde systeem van een windpark en de aansluiting met het elektrische net.
Extension Optimized 5 MW XD-WTG: Improved design and O&M	Verbetering van de XEMC Darwind 5 MW turbine naar hogere betrouwbaarheid, betere prestaties en lagere 'levelized cost of energy' door verbeteringen aan het ontwerp en een geavanceerde O&M strategie.

Flight Leader concept for cost-efficient load monitoring and O&M optimisation	Haalbaarheidsstudie voor kosteneffectieve monitoring van de belasting van de turbine en kostenreductie van O&M met behulp van het Fleet Leader concept.
Free Hanging Cables	Verificatie en toepassing van vrijhangende kabels in een monopilefundatie.
Improved Offshore Wave Load Simulation	Validatie van een tool voor golf en getijde belasting analyse op individuele offshore ondersteuningsconstructies.
Improvement of advanced design tools	Toepassing van geavanceerde strategieën voor actieve belastingsreductie regelingen en het ontwikkelen en verifiëren van geavanceerde en geïntegreerde ontwerptools voor hogere nauwkeurigheid van voorspellingen van de belasting.
Increase Rotor Diameter	Verhoging van de jaarlijkse energieproductie door de toepassing van een grotere rotordiameter bij een turbine die verder gelijk blijft, inclusief het vermogen.
Industrialize Installation	Ontwerp, testen en verificatie van een installatieconcept op basis van een monohull voor het geïndustrialiseerd installeren van ondersteuningsconstructies.
Installation methods for use of an underwater noise mitigation screen in conjunction with pile driving from a floating vessel and from a jack-up	Ontwikkeling van een efficiënte installatiemethode met de toepassing van het Noise Mitigation Screen (NMS).
Integrated design of far large offshore wind farm	Ontwikkeling van efficiënte rekenmethode voor gelijktijdige optimalisatie van de (actieve) controller en de (aëroelastisch toegesneden) constructie van een 2-bladige windturbine (PhD).
Mastering electro-mechanical dynamics of direct drive generators for large wind turbines	Modellering en validatie van het elektromagnetische gedrag van de generatoren en drive train (overbrenging) van direct drive windturbines. (PhD)
Met-ocean buoy with LiDAR	Ontwikkeling en test van een drijvende meetboei met een LiDAR voor het verzamelen van meteo en hydrodynamische data, als alternatief voor een dure vaste meetmast.
Meteo dashboard execution phase	Een geïntegreerd softwaresysteem dat gemeten en voorspelde meteo en hydro-dynamische data verzamelt, opslaat en presenteert voor het nemen van beslissingen ten aanzien van onderhoudsactiviteiten bij het Prinses Amalia Windpark.
Meteo Dashboard for cost effective operation of offshore wind farms	Haalbaarheidsstudie naar meteodashboard waarbij actuele meteo-gegevens worden gebruikt voor de optimalisatie van de onderhoudsstrategie voor offshore windparken.
Meteo Dashboard Validation Phase	Validatieproject van het Meteo Dashboard. Een geïntegreerd softwaresysteem dat meteo- en hydrodynamische gegevens verzamelt opslaat en presenteert ten behoeve van de besluitvorming van de onderhoudswerkzaamheden in een offshore windpark.

Numerical Simulation of the Installation of Vibratory and Impact Driven Piles	Numerieke simulatie van de installatie van getrilde monopalen als alternatief voor geheide monopalen en het gedrag van de bodem bij verschillende bodemtypes.
Operation & Maintenance Cost Estimator (OMCE)	Ontwikkeling van een model voor het inschatten en verlagen van de kosten van Operation & Maintenance.
Optimize turbine (-blade) installation	Ontwikkeling van technieken en materieel voor verbeterde installatie van turbine bladen (sneller, bij hogere windsnelheden en onder iedere willekeurige hoek).
Optimizing cable installation and operation, a life cycle perspective	Ontwikkeling van technieken en materieel om het leggen, beschermen, monitoren van kabels te optimaliseren.
Optimizing the cost of energy of the XD offshore wind turbine	Optimalisatie van de 'Cost of Energy' voor de XD offshore windturbine door optimalisatie van de opbrengst, operationele performance en minimalisatie van de kosten door toepassing van gevanceerde regel-algoritmes en kosteneffectieve O&M aanpak.
Raised Flange Connection	Toepassing van een verbindingsflens tussen de monopile en turbinemast.
Scour protection study	Vaststellen van de invloed van erosie bij monopile fundaties en onderzoek naar alternatieve methoden en materialen.
Silence: Underwater noise from offshore pile driving	Numeriek model voor het reproduceren van onderwatergeluid tijdens het heien op zee en zodoende effectieve mitigerende maatregelen te evalueren (PhD).
Simulation of Wind Farm Aerodynamics	Ontwikkeling van een tool voor het ontwerp van turbines en de ontwikkeling van algoritmes voor zogeffecten en zoginteractie.
Slip joint	Ontwikkelling van een gecertificeerd ontwerp en het testen van een conische staal-op-staalverbinding tussen de monopile en de transitiestuk.
Smart regulation for far and large offshore wind integration	Analyse van de institutionele randvoorwaarden in samenhang met regulatorische en technische aspecten bij de bouw en exploitatie van offshore windparken.
Smart Turbine	Conceptueel ontwerp van een slimme turbine door toepassing van flappen op verschillende plaatsen op het blad.
Stall	Onderzoek naar de mogelijkheid om de regeling van de bladhoek (Pitch) te vervangen door een actieve en/ of passieve overtrek (Stall) (2 x PhD).
Support Structure	Ontwerp en analyse van een volledig vakwerk ondersteuningsconstructie.
Support structures for far and large Offshore Wind farms	Een ontwerp van nieuwe ondersteuningsconstructies voor Far and Large Offshore Windfarms (PhD).
System Stability Impacts: Grid Code Trade-off Analysis	Ontwikkeling van een tool voor de analyse van de invloed van de net code op het aansluiten van offshore windparken op de nationale en internationale elektriciteitsnetten.
Tools: Integrated design tools development for large number of varied structural configurations	Ontwerptools voor het geïntegreerd ontwerpen van windturbine en ondersteuningsconstructie (PhD).

Under water noise mitigation during pile driving - full scale test	Realisatie en test van een Noise Mitigation Screen (NMS) op ware grootte om het onderwatergeluid tijdens het heien van monopiles te reduceren.
Upgrade to 140 meter rotor diameter on a two-bladed downwind turbine	Onderzoek naar de uitbreiding van een rotor diameter van 130 naar 140 meter voor de 2B Energy 2-bladige downwind turbine met toepassing van Individuele bladhoek regeling.
Wind Farm electrical system design and optimization	Realisatie van een model om de electrische infrastructuur en kabeltechnologie te optimaliseren.
Wind Farm Wake Modelling, Fatigue Loads and Control	Ontwikkeling van tools voor het ontwerp en de regeling van Far Offshore Windparken.
XEMC Darwind Next Generation offshore wind turbine (7-8 MW)	Haalbaarheidsstudie voor de XEMC Darwind Next Generation (7-8 MW) offshore windturbine.

FOTO: MENNO MULDER

Partners in FLOW

2-B Energy
info@2-benergy.com
www.2benergy.com

Ballast Nedam

TU Delft
duwind@tudelft.nl
www.duwind.tudelft.nl

Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)
windenergy@ecn.nl
www.ecn.nl

Eneco
info@eneco.nl
www.eneco.nl

Royal IHC
offshore@royalihc.com
www.royalihc.com

RWE International SE
www.rwe.com/renewables

TenneT TSO
communicatie@tennet.eu
www.tennet.eu

Van Oord Offshore Wind Projects bv
area.owp@vanoord.com
www.vanoord.com

XEMC Darwind BV
info@darwind.nl
www.darwind.nl

Associated partners

BAM Infra Projecten
info@baminfra.nl
www.baminfra.nl

Deltares
info@deltares.nl
www.deltares.nl

Knowledge Centre WMC
info@wmc.eu
www.wmc.eu

Colofon

Auteur
Rolf de Vos

Redactieadviesraad
Arjan Mast
Ernst van Zuijlen
Liesbeth Batelaan (beeldredactie)
Anouk Stortenbeker (eindredactie)

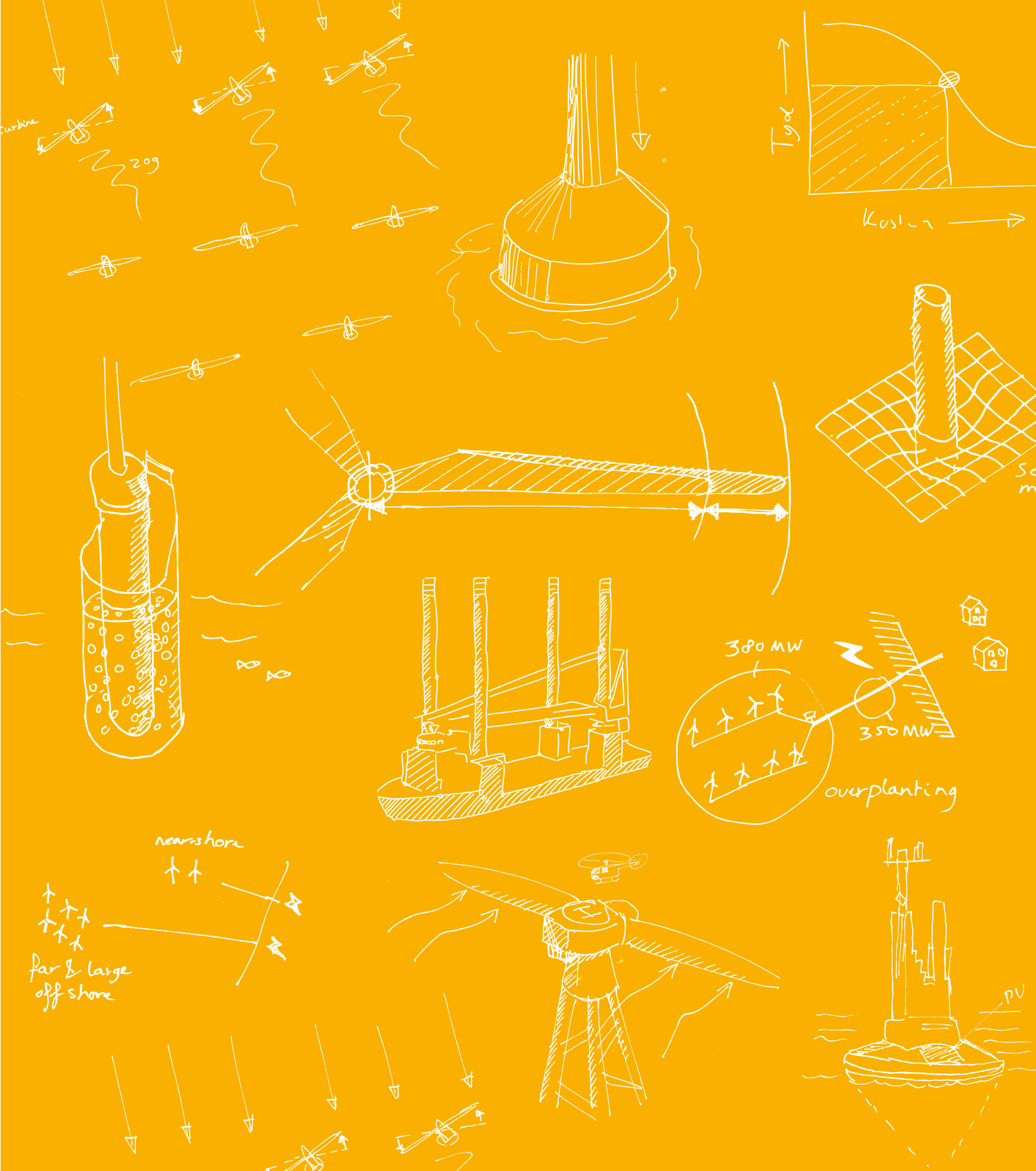
Fotografie
Menno Mulder - www.mennomulder.com
Diverse FLOW-partners
Evert Albers
Tom Fowler

Concept, vormgeving en productie
Evert Albers - www.streeff.nl

FLOW
www.flow-offshore.nl

Dit boek is met zorg samengesteld. Desondanks kan het verkeren dat het boek onvolkomenheden bevat. FLOW kan niet aansprakelijk worden gesteld voor de inhoud van dit boek of voor de gevolgen van het gebruik daarvan.
Aan de inhoud van het boek kunnen geen rechten worden ontleend.

Kopiëren en citeren van (delen van) de inhoud is alleen toegestaan in overleg met FLOW; secretariaat@flow-offshore.nl


turbine
209
Tyd
Kostn
380 MW
350 MW
overplanting
nearshore
far & large
off shore
PV

FLOW

Rond 2009, toen windenergie op zee in Nederland zich in een luwte bevond, staken enkele kennisinstituten, industriële- en energiebedrijven de koppen bij elkaar om offshore windenergie op een hoger plan te brengen. Dat resulteerde in 2010, samen met de overheid, in de start van het FLOW onderzoek- en ontwikkelingsprogramma voor Far and Large Offshore Wind. Belangrijkste doelstellingen; bijdragen aan een forse kostenreductie, een versnelde ontwikkeling en een reductie van financiële- en veiligheidsrisico's van offshore wind.

Na vijf jaar FLOW kan nu de balans worden opgemaakt en mogen we constateren dat de doelen zijn gerealiseerd. Offshore windenergie kost nu ruim 20% minder dan ten tijde van de start van FLOW; nieuwe windparken zijn, worden en gaan worden gebouwd . De overheid is partner in de ontwikkeling, bedrijven hebben hun aandeel in de markt van offshore wind verder uitgebreid en financiers voelen zich zekerder van hun zaak als zij investeren in wind op zee.

Aan al die verworvenheden heeft FLOW bijgedragen. Dit boek beschrijft de vele innovaties die het hebben geschopt tot realisatie op de markt of die dat binnenkort gaan waarmaken. Misschien méér nog dan over technologie en consistente programmering, gaat dit FLOW boek over de unieke samenwerking tussen kennisinstituten, industrie en energiebedrijven. Want deze samenwerking is in vijf jaar FLOW het basis-ingrediënt geweest van een gerichte industriële ontwikkeling en een goede basis voor offshore windenergie in Nederland.

FOTOGRAFIE O.A. MENNO MULDER
WWW.MENNOMULDER.COM

FLOW het boek