

TNO PUBLIEK

Westerduinweg 3
1755 LE Petten
Postbus 15
1755 ZG Petten

www.tno.nl

T +31 88 866 50 65

TNO-rapport**TNO 2021 R10635****Rapportage Onderzoeksprogramma 2020
VP Windenergie**

Datum 6 april 2021

Auteur(s) P.J. Eecen

Exemplaarnummer

Oplage

Aantal pagina's 9 (incl. bijlagen)

Aantal bijlagen

Opdrachtgever

Projectnaam

Projectnummer

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2021 TNO

TNO PUBLIEK

Inhoudsopgave

1	Windenergie	3
1.1	Algemene gegevens	3
1.2	Samenvatting TNO Windenergie	3
1.3	Korte omschrijving TNO Windenergie	4
1.4	Highlights TNO Windenergie	5
2	TNO Windenergie Actualisatie en dynamiek	8
2.1	Systeemintegratie van duurzame elektriciteit	8
2.2	Samenwerking	8

1 Windenergie

1.1 Algemene gegevens

Titel:	Windenergie
Topsector:	Energie
TKI:	Wind op Zee
MMIP:	Missie A, MMIP1
Contactpersoon TNO:	Peter Eecen

1.2 Samenvatting TNO Windenergie

Om de klimaatdoelstellingen voor Nederland in 2030 en 2050 te realiseren, zal offshore windenergie een belangrijk onderdeel van het energiesysteem moeten worden om zo de CO₂ uitstoot te verminderen. Met de overheid en maatschappelijke organisaties heeft TNO de visie geponeerd dat in 2050 tussen 50GW en 70GW aan offshore windenergie operationeel zal moeten zijn op het Nederlandse deel van de Noordzee. In 2030 is de doelstelling om 11GW offshore windvermogen draaiend te hebben, maar een groei naar 18GW in 2030 is voor het klimaat te prefereren.

TNO heeft haar onderzoekprogramma gericht op het efficiënt en effectief ondersteunen van deze groei en tegelijkertijd kansen te creëren voor de Nederlandse economie. Het TNO-innovatieprogramma is succesvol in de ondersteuning van de ontwikkeling en bouw van offshore windparken door middel van offshore wind-metingen, effectievere turbines, verbeterd onderhoud en met name innovatieve schepen en gereedschap. In 2020 is wind park Borssele met een geïnstalleerd vermogen van 752MW toegevoegd aan de eerder gerealiseerde 1GW offshore windvermogen in Nederland. Er zal in 2030 11 GW zijn gerealiseerd, daarna zal de groei nog groter zijn. De ondersteuning van TNO om de industrialisatie van offshore windparken inclusief schepen en gereedschappen te creëren heeft tot grote kostenreductie geleid.



Het onderzoeksprogramma van TNO Windenergie sluit naadloos aan bij het programma van TKI Wind op Zee en Topsector Energie Missie A: “Een volledig CO₂ vrij elektriciteitssysteem in 2050”. Het programma richt zich voornamelijk op het meerjarig missiegedreven innovatieprogramma MMIP 1 “Hernieuwbare elektriciteit op zee” en in mindere mate op MMIP2 “Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving”. De overkoepelende MMIP13 over een robuust en maatschappelijk gedragen energiesysteem wordt daarbij nauw in het oog gehouden.

De innovaties in offshore windenergie die het R&D programma “Windenergie” heeft gerealiseerd in 2020 hebben resulteert in:

- Reductie van de prijs van offshore windstroom. De grootste turbine ter wereld is nu operationeel in Nederland en TNO voert het onderzoek en innovatieprogramma op deze turbine uit. Met behulp van TNO is de turbine in de markt gezet en is kennis vergaard voor het nog effectiever maken van offshore gebruik. TNO-innovaties in installatie, onderhoud en beheer besparen onze partners veel kosten.
- Integratie in het energiesysteem door flexibiliteit, opslag en markt. TNO heeft een ontwikkelingen in gang gezet om flexibiliteitsopties voor offshore windparken te ontwikkelen en testen op een specifiek ingericht systeem integratie field lab.
- Ruimtelijke en sociale inpassing, multifunctioneel gebruik van ruimte en recycling. TNO pleit voor het op grote schaal integreren van duurzame energieopties in ons landschap, heeft in 2020 ingezet op het voorkomen van vogel en vleermuis slachtoffers en heeft een concept ontwikkeld om windturbinebladen effectief te kunnen recyclen en met name het glas van de bladen te hergebruiken.

1.3 Korte omschrijving TNO Windenergie

Het onderzoek aan offshore windenergie is onderverdeeld in drie onderzoekslijnen:

- **Offshore wind farms**; Optimalisatie van offshore windparken, het ontwerp, de installatie, het onderhoud en decommissioning aan het einde van de levensduur.
- **WE systeem integratie**; Integratie van wind energie (WE) in het energy systeem; energieopslag, energieconversie, transmissie en netten
- **Nieuwe technologie**; Toekomstige grote turbines (20+MW) en innovatieve concepten zoals drijvende turbines, verticale as en “high altitude” windsystemen.

Offshore wind farms

De resultaten van dit onderzoek naar offshore windparken (en groepen van windparken) maken TNO WE een goede partner voor verdere verbetering van de offshore windparken die worden gebouwd tot 2030. Met name integrale optimalisatie is een kernsterkte van de onderzoeksgroep. Hiertoe is het noodzakelijk kennis en ontwerpgeredenschap te hebben voor een breed scala aan technologie en gedetailleerde en gevalideerde modellen om innovatieve ontwerpen te ontwikkelen. Tevens wordt onderwerpen als levensduurverlenging, decommissioning en recycling behandeld binnen deze cluster.

Systeem integratie

The stormachtige ontwikkeling van offshore windparken en de snelle integratie van grote hoeveelheden offshore windenergie hebben grote gevolgen voor het energiesysteem en de omgeving. Voor het garanderen van de leveringszekerheid

en betaalbaarheid van het energiesysteem is uitbreiding van de transportcapaciteit en vergroting van de flexibiliteit van zowel aanbod als vraag noodzakelijk. Hiermee zijn grote inspanningen en maatschappelijke kosten gemoeid. Tevens worden maatschappelijke acceptatie, cybersecurity en inpassing in de ecologie belangrijke onderwerpen.

Nieuwe technologie

Windparken tot 2030 zullen opgeschaalde versies van huidige horizontale as windturbines gebruiken. Deze onderzoekslijn richt zich op ontwikkeling van disruptieve ontwikkelingen zoals drijvende ondersteuningsconstructies, ontwerpen van de volgende generatie, grote, robuuste turbines, robotica voor onderhoud, verticale as windturbines en kite-power systemen en digitalisatie van windenergie en ondersteunende concepten zoals artificiële intelligentie (AI), big data, digital twin concepten en machine learning. Daarnaast is experimentele validatie een belangrijke pijler in deze onderzoekslijn.

1.4 Highlights TNO Windenergie

Windmetingen op de Noordzee

TNO voert meerjarige meteorologische metingen uit op de Noordzee. Om de ontwikkelaars van offshore windparken te ondersteunen worden de metingen uitgevoerd op drie offshore platformen: Lichteiland Goeree (LEG), Europlatform (EPL) en productieplatform K13a. De metingen worden uitgevoerd met LiDAR meetsystemen (op basis van lasers) waarmee metingen tot 200 meter worden verkregen. De unieke en gewilde data wordt beschikbaar gesteld via de website www.WindOpZee.net. Deze data speelt een belangrijke rol voor de ontwikkelaars van de toekomstige offshore windparken zoals we gezien hebben bij de tenders voor de offshore locaties Borssele (BWFZ), Hollandse Kust Zuid (HKZ) en Hollandse Kust Noord (HKN). De data ondersteunen de businesscases van de ontwikkelaar waarmee de biedingen tegen lagere kosten kunnen worden gedaan. Metingen kunnen de onzekerheid in de opbrengst met enkele procentpunten verlagen waardoor de financiering voordeliger wordt. In 2020 is verkend of een nieuwe meetlocatie t.b.v. het toekomstige offshore windpark “Boven de Wadden” zinvol is en waar eventueel metingen gedaan zouden kunnen worden.

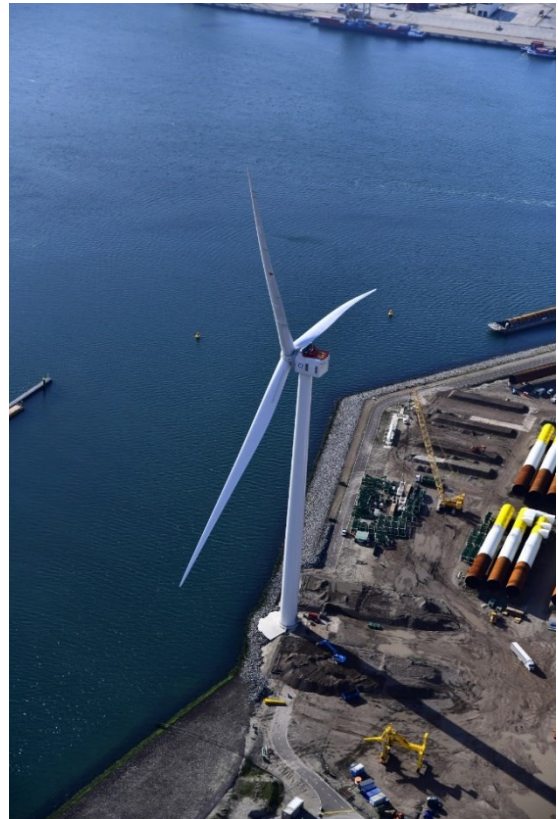


Grootste windturbine ter wereld is gecertificeerd. TNO meet aan de GE Haliade X en valideert modellen voor verdere opschaling

TNO heeft een belangrijke rol gespeeld in het realiseren van de grootste turbine ter wereld op de Maasvlakte in Rotterdam en de certificering daarvan. De ontwikkeling van deze turbine is een gezichtsbepalende stap naar de volgende generatie windturbines die nog efficiënter en effectiever wind omzetten in duurzame elektriciteit. Mede dankzij de metingen van TNO is in 2020 deze reus, i.e. de GE

Haliade X met een maximaal vermogen van 12MW, gecertificeerd en wordt er verder gemeten aan opgeschaalde versie van 13MW. De turbine is ondertussen een nieuwe keuze voor offshore windturbines, wat concurrentie aanwakkert en de markt scherp houdt.

TNO voert in samenwerking met GE en LM Wind Power een onderzoeksprogramma uit waarbij metingen aan de windturbine worden gebruikt voor validatie van modellen. Daarnaast worden slimme computertechnieken ontwikkeld om meer waarde uit de metingen te halen. Dat is dringend noodzakelijk omdat de beperkte geldigheid van de modellen voor deze grote turbines tot zorgen leidt. In de lange 107m bladen worden de nieuwste sensoren van TNO gebruikt, de optische rekstroken. Dat zorgt ervoor dat geen geleidende draden door de bladen worden getrokken. In verband met bliksem is dat te prefereren. Ook het blad dat bij ORE Catapult wordt getest is door TNO met dezelfde sensoren geïnstumenteed. Dat levert extra informatie over de performance van de bladen. In 2020 zijn met de metingen aan de bladen en met de ontwikkelde computer technieken het dynamisch gedrag van de bladen in kaart gebracht. Dit zorgt voor een optimale prestatie van deze turbine en potentiële ontwerpoptimalisaties voor toekomstige, nog grotere turbines.



De grootste turbine ter wereld zal waarschijnlijk slechts enkele jaren de grootste blijven; het ontwerpen van steeds grotere turbines is niet ten einde. Er is nog schaalvoordeel te behalen, maar dat gaat niet vanzelf. De grotere bladen ondervinden steeds grotere krachten en de aerodynamica (de leer van windstroming rond het blad) moet verder worden ontwikkeld. We merken dat de ophanging van de bladen kritisch wordt. In het STRETCH project wordt samen met GE en LM Windpower een nieuwe hub-test faciliteit ontwikkeld en in Nederland gebouwd om exact te kunnen bepalen hoe de krachten aan de wortel van het blad worden doorgegeven aan de turbine. Met die kennis kunnen bladen en rotors worden ontwikkeld die weer 15% groter zijn dan de huidige grootste bladen. De eerste grote componenten van de faciliteit zijn in 2020 geïnstalleerd.

Onderzoek naar vogelaanvaringen en vogelgedrag;

Het onderzoek naar vogelaanvaringen en vogelgedrag wordt essentieel voor de uitrol van offshore windenergie. Het is nu al een kritisch onderwerp, waarvan men verwacht dat betere kennis moet worden opgedaan om met name na 2030 de windparken te kunnen blijven bouwen. In 2020 is TNO een samenwerking gestart met Amerikaanse en Taiwanese onderzoeksinstituten en bedrijven om het WT-Bird systeem verder ontwikkelen. In 2021 zullen de systemen worden ingezet in een Amerikaans binnenwaters windpark en een Taiwanees offshore windpark.



Artificiële intelligentie en zelflerende systemen

Artificiële intelligentie (AI) en zelflerende systemen ('machine learning' ML) zijn wiskundige technieken die ingezet worden voor optimalisatie studies. TNO heeft AI ingezet voor windturbine-regelingen samen met de TUDelft en de Nederlandse windturbinefabrikant Lagerwey. Uit het onderzoek is gekomen dat AI en ML de meest optimale windturbine-regeling-instellingen kunnen vinden om zo te zorgen voor de grootste opbrengst en de laagste mechanische belastingen.

Mitigeren erosie aan de leading edge van het blad (LEE) door slimme windturbine-regeling.

In het HER project "WINDCORE" zijn interessante resultaten behaald door de windturbine-regeling aan te passen bij specifieke weerscondities (neerslag en wind), die een significante impact op de levensduur hebben, door de rotor langzamer te laten draaien. LEE schade aan de bladen is een groot probleem in de industrie, waarvoor oplossingen worden bedacht. Een van de oplossingen ontwikkelt TNO met partners door beter te begrijpen wanneer de meeste erosie optreedt en dan de regeling van de windturbine aan te passen zodat met zo min mogelijk verlies van productie en minimaal onderhoud een maximaal effect wordt bereikt om LEE schade aan bladen te verminderen.

Full-scale test wind turbine met innovatief onderzoek aan bladen

In het TIADE project wordt met GE en LM Windpower een onderzoeksturbine gebouwd. Deze grote 3.8MW windturbine met ashoogte van 110m en rotordiameter van 130m is geplaatst op het windturbine testveld dat door ECN is ontwikkeld in de Wieringermeer. De laatste 12m van de tips kunnen worden verwisseld en dat zal in het TIADE project ook worden gedaan. Op deze manier kunnen nieuwe innovaties op tips worden getest en kan nieuwe meetapparatuur worden getest.

Innovatieve drijvende turbine ontworpen

TNO heeft met partners in 2020 een innovatief ontwerp gemaakt voor een 15MW drijvende windturbine. Drijvende offshore windparken zullen in de toekomst een belangrijk deel uitmaken van het arsenaal offshore windenergie. TNO zorgt middels dit onderzoek dat haar ontwerptools op orde zijn, identificeert welke zaken verder ontwikkeld moeten worden om een robuuste drijvende offshore windsector mogelijk te maken en maakt middels dit onderzoek een economische kans voor de Nederlandse offshore sector.

2 TNO Windenergie Actualisatie en dynamiek

2.1 Systeemintegratie van duurzame elektriciteit

Voor de businesscase van offshore windparken is de inpassing van elektrische energie in het energiesysteem cruciaal. Niet alleen moet een windpark gedurende 20 jaar goedkoop produceren, maar ook is het essentieel dat de windstroom gedurende 20 jaar goed kan blijven worden verkocht. Dat laatste al dan niet middels conversie. Wanneer het CO₂-vrije energiesysteem wordt ontwikkeld is de ontwikkeling van flexibiliteit en de ontwikkeling van afzetmarkten voor duurzame energie essentieel. TNO heeft de visie dat de regelbaarheid van de diverse productie, conversie en opslagsystemen kan bijdragen aan de stabiliteit van het net en aan de businesscase van de offshore windparken. Daartoe ontwikkelt TNO een systeem integratie field lab in samenwerking met WUR. Deze additionele onderzoekslijn zal belangrijk worden voor de windenergieonderzoeksgroep. In 2020 zijn de verschillende onderdelen van het field lab in productie genomen wat zal leiden tot een operationeel field lab in 2021.

Dynamiek: het systeem integratie field lab zal leiden tot nieuwe type werkzaamheden waarbij de kennis van de windonderzoeksgroep van windparken wordt gecombineerd met de inpassing in het energiesysteem. Samenwerking met andere onderzoeksgroepen is daarin voorzien.

Impact op de leefomgeving

TNO windenergie samen met TNO zonne-energie richt een field lab op dat de impact en veiligheid van hernieuwbare energie op de omgeving onderzoekt. Het onderzoek van TNO windenergie richt zich daarbij voornamelijk op de vogel en vleermuis vliegroutes in samenhang met aanvaringen met windturbines. Voor de windenergiesector is het belangrijk om hier inzicht in te krijgen met betrekking tot vergunningverlening en het laten draaien van offshore windparken. De windenergiesector streeft ernaar om een goede symbiose te creëren tussen duurzame energieopwekking en natuur; in dit geval vogels en vleermuizen. Daar is onderzoek voor nodig. In 2020 heeft TNO een 3D vogelradar aangeschaft en heeft sensoren om aanvaringen te detecteren verder ontwikkeld.

Dynamiek: het environmental field lab zal leiden tot nieuwe type werkzaamheden op het gebied van ecologische impact en het zogenaamde 'bouwen met natuur'.

2.2 Samenwerking

De research groep windenergie van TNO heeft in Nederland als belangrijkste partner TU Delft. Met de andere TO2 instituten en universiteiten wordt volop samengewerkt: MARIN, Deltares, WUR, CWI, TU Twente en TU Eindhoven. Internationaal hoort de windenergie onderzoeksgroep van TNO bij de top 4 instituten voor windenergieonderzoek. De instituten NREL, DTU, Fraunhofer en TNO bepalen grotendeels de internationale onderzoeksprioriteiten. TNO is momenteel coördinator van EERA JP Wind, een samenwerking van de 53 grootste onderzoeksgroepen in Europa en heeft een dominante rol in ETIPWind, het Europese industrie-platform voor windenergie. TNO is onderdeel van SETWind, de samenwerking tussen verschillende Europese landen om het SETPlan offshore wind vorm te geven. TNO heeft namens EERA JP Wind het initiatief gestart voor

een groot internationaal samenwerkingsprogramma om de Europese samenwerking verder te versterken.