

Invloed van windturbines op primaire waterkeringen, kansen en belemmeringen

Figuur 1 - Windturbines langs het Volkerak.

BRON: [HTTPS://BEELDBANK.RWS.NL](https://beeldbank.rws.nl),
RIJKSWATERSTAAT / JOOP VAN HOUDT)

Inleiding

Als windturbines in de buurt, in of op een waterkering worden geplaatst, worden ze beschouwd als niet-waterkerende objecten, waarvan de invloed op de waterkerende functie dient te worden bepaald. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in figuur 1. In de praktijk wordt daar door de waterkeringbeheerders verschillend mee omgegaan. Sommige waterkeringbeheerders zijn terughoudend in het toestaan van windturbines in of nabij de waterkering en andere waterkeringbeheerders juist niet. Blijkbaar wordt daar in den lande niet eenduidig mee omgegaan.

Dit artikel geeft een eerste aanzet, waarbij we kort de belangrijkste geotechnische voetangels/klemmen, kansen, belemmeringen en witte vlekken rond het onderwerp 'windturbines op waterkeringen' op een rij zetten. De focus ligt voornamelijk op de primaire waterkeringen, maar ook voor de regionale waterkeringen kan de geschetste problematiek een rol spelen.

Aanleiding

De recente discussie over het plaatsen van windturbines op waterkeringen is ingegeven door de steeds vaker gehoorde maatschappelijke en politiek-bestuurlijke wens schone, duurzame energie te stimuleren en CO₂-uitstoot te verminderen, maar ook vanuit de ruimtelijke ordening: windturbines moeten ergens een plek krijgen. Op politiek niveau ligt er voor de komende jaren een opgave om op land 6000 MW te realiseren [windenergie.nl]. In figuur 2 zijn alle huidige wind-

turbine projecten in Nederland opgenomen.

Verder is er een relatie met het innovatieprogramma voor multifunctionele waterkeringen en het lopend onderzoek in het kader van Sterkte en Belasting Waterkeringen (SBW) naar de invloed van niet-waterkerende objecten op de veiligheid van de waterkering.

In de huidige beleidsregel van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat *Technische eisen voor het plaatsen van windmolens op of nabij waterkeringen* van 2002 [V&W:2002] wordt gesteld dat plaatsing van windmolens in de kernzone niet is toegestaan. Plaatsing buiten de kernzone van de primaire waterkering, wordt slechts toegestaan, mits dit geen negatieve gevolgen heeft voor de waterkerende functie van de primaire waterkering. Echter, omdat daarvoor nog geen richtlijnen of leidraden zijn, is het voor een aanvrager moeilijk aan te tonen wat het effect van windturbines op de waterkering is. Het dilemma hierbij is dat, de taak van de waterkeringbeheerders "veiligheid" is en niet het faciliteren van locaties voor windenergieprojecten. Het vraagt een andere taakstelling om hier een stap verder in te kunnen komen. Overigens is er wel het algemene idee dat de combinatie dijken – windturbines technisch oplosbaar is.

Momenteel zijn er veel initiatieven door verschillende partijen (politiek, overheden, energie-sector), echter een duidelijke regie en de afstemming hierover ontbreekt.

Drs. ing. Frans P.W. van den Berg
Deltares te Delft
unit Geo-engineering
afd. Dike Technology



Ir. Harry Schelfhout
Deltares te Delft
unit Geo-engineering
afd. Dike Safety



Er is wel overleg tussen overheden (Ministerie, Provincies), dijkbeheerders en energiesector (NWEA) over dit onderwerp. Gezien de verschillende belangen is dit echter een moeizaam proces, waarbij duidelijk is dat er een politiek proces is en een technisch proces. Uit geotechnisch oogpunt zijn er nog veel onduidelijkheden. Het is dus belangrijk om deze technische aspecten te identificeren en risico's en oplossingen te kwantificeren en te formuleren.

De Keur (verordeningen van een waterschap) biedt de mogelijkheid aan waterkeringbeheerders om via de watervergunning eisen te stellen aan niet-waterkerende objecten, die in waterkeringzones worden geprojecteerd. Echter, omdat er daarvoor nog geen uniforme eisen zijn, kan elke waterkeringbeheerder daar een eigen interpretatie aan geven, wat de eenduidigheid niet ten goede komt. Onder waterkeringbeheerders bestaat de vrees dat, met het plaatsen van turbines de primaire functie van de waterkeringen, waterveiligheid, niet meer (goed) kan worden gewaarborgd. Tegelijkertijd biedt het plaatsen van windturbines zoveel kansen en mogelijkheden, dat het de moeite waard lijkt om dit serieus te onderzoeken.

Verder spelen ook de kosten een rol: het plaatsen van een windturbine in zee is twee keer zo duur als het plaatsen van een windturbine op land. Ook geniet het landschappelijk gezien de voorkeur om windturbines te plaatsen op dan wel naast lijnvormige elementen in het landschap om zo verrommeling van het landschap tegen te gaan.

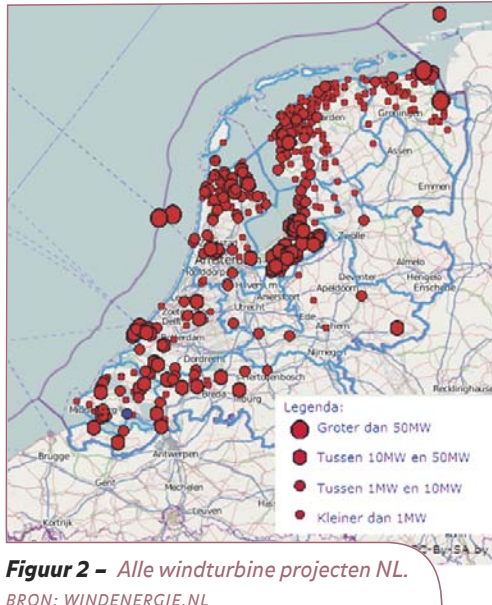
Stand van zaken en probleemstelling

Het onderzoek naar belemmeringen en kansen is recent opgestart. Het gaat daarbij om het ontwerpen, toetsen en beheren van windturbines in dijken. Het vertrekpunt daarbij is het rapport 'Windmolens en Waterkeringen' [RWS:2000], waarin de nadruk wordt gelegd op de plaats van de windturbines in verschillende waterkeringszones, de veiligheidsbenadering en technische eisen.

Samenvatting

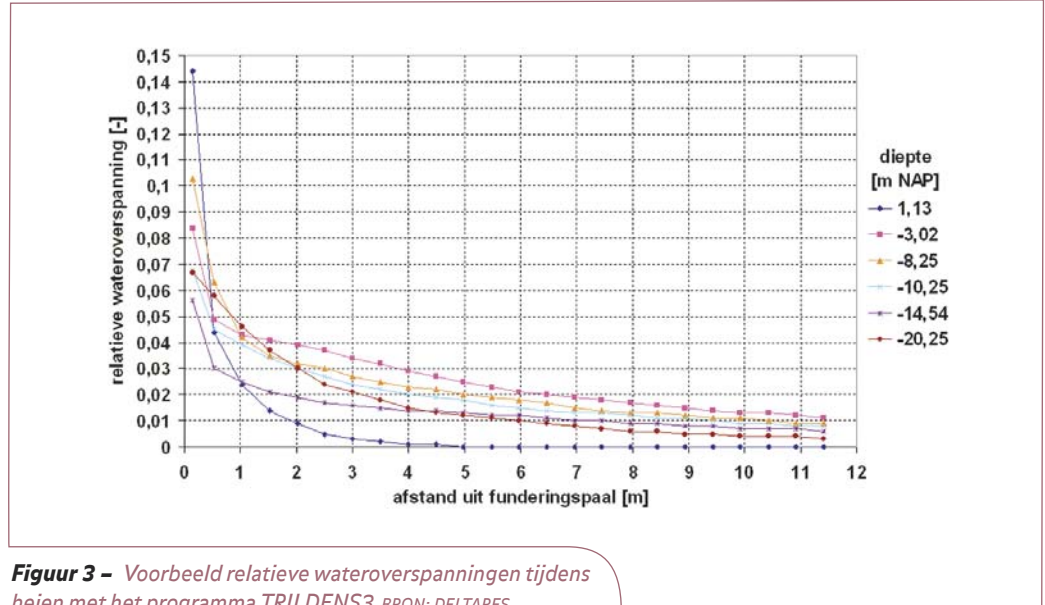
Steeds vaker worden windturbines in, op of nabij waterkeringen geplaatst. Dit levert een aantal technische vragen op. In de praktijk blijkt ook dat de regie en de onderlinge afstemming tussen de betrokkenen niet optimaal is. In dit artikel zal worden ingegaan op de huidige gang van zaken voor de

combinatie van windturbines en waterkeringen. Er zal onder andere een beschouwing worden gegeven over: trillingen, macrostabiliteit, kwel, piping, verweking en monitoring. Hierbij zal een onderscheid worden gemaakt in de bouw- en gebruiksfase.



Figuur 2 – Alle windturbine projecten NL.

BRON: WINDENERGIE.NL



Figuur 3 – Voorbeeld relatieve wateroverspanningen tijdens

heien met het programma TRILDENS3. BRON: DELTARES

Bij de verdere uitwerking ligt het accent op de huidige stand van zaken in de witte vlekken in de veiligheidsbenadering en de technische beoordeling voor de bouwfase en de gebruiksfase van windturbines op gronddijken. Daarbij is tevens gebruik gemaakt van de opgedane kennis uit een aantal praktijkgevallen. Ingegaan wordt op verstoring van de ondergrond als gevolg van trillingen door het heien van palen (bouwfase), of door dynamische belasting van een draaiende windturbine (gebruiksfase) en de invloed daarvan op kwel, piping, verweking en de stabiliteit van de waterkering.

Technische aspecten bouwfase

TRILLINGEN

Tijdens de bouwfase ontstaan tijdens het heien van de funderingspalen trillingen, die (samen met de grondverdringing) verhoogde waterspanningen in de ondergrond en verminderde grondeigenschappen kunnen veroorzaken en de dijk belasten. De heitrillingen zijn afhankelijk van de heimethode en de frequentie van het heiblok. De verstoring van de ondergrond als gevolg van trillingen kan worden bepaald door middel van een vertaalslag van de trillingen via de wateroverspanningen en de relatieve dichtheid naar relatieve waterspanningen (verhouding tussen de maximale wateroverspanning en de effectieve verticale spanning bij de situatie zonder water-

overspanning). Hiervoor is het rekenmodel TRILDENS3 beschikbaar, op basis waarvan tevens de bijbehorende reductie van de hoek van inwendige wrijving in de verschillende grondlagen wordt berekend. Ter illustratie: uit het voorbeeld van figuur 3 blijkt dat op een afstand van meer dan 10 meter uit (een afzonderlijke) funderingspaal de invloed van de relatieve waterspanningen verwaarloosbaar klein (< 1%) is. Dit is al een betrouwbare indicatie van de grootte van de verstoringzone rondom een heipaal als gevolg van heitrillingen.

Belangrijke parameters bij het bepalen van de wateroverspanning zijn de dichtheid en doorlatendheid van de ondergrond, het aantal belastingwisselingen en de frequentie van het heiblok. De dichtheid kan bijvoorbeeld worden bepaald uit een correlatie met de conusweerstand. Over de invloed van verdichting door wisselende belastingen is nog weinig bekend. Voor het aantal belastingwisselingen kan worden uitgegaan van de voorgeschreven kalender. In venige of kleiige lagen zal de zakking per slag groter zal zijn dan in zandige lagen. Op dit moment is er nog geen onderzoeksprogramma beschikbaar om de invloed van de cyclische belastingen op de grondeigenschappen te bepalen.

De doorlatendheid van de grond bepaalt hoe snel de wateroverspanning kan dissiperen: hoe kleiner de doorlatendheid, hoe hoger de wateroverspan-

ning. Opgemerkt wordt dat de berekeningen representatief zijn voor één afzonderlijke paal, omdat bij het heien van de volgende paal de waterspanningen als gevolg van het heien van de vorige paal al gedissipeerd zijn. Aan de hand van de berekende relatieve wateroverspanningen in de ondergrond worden de relatieve dichtheid en daarmee de hoek van inwendige wrijving (ϕ) van de verschillende grondlagen gecorrigeerd. Daarbij wordt een hogere dichtheid vertaald naar een grotere hoek van inwendige wrijving.

De modellering en de trillingsrisicoanalyse kan worden opgesteld volgens CUR - publicatie 166 Damwandconstructies [CUR:2008]. Hierin wordt onderscheid gemaakt in verschillende bodemkarakteristieken, verschillende palen en damwandplanken alsmede in verschillende wijzen van inbrengen. In CUR 166 wordt voor de bronintensiteit van de trillingsintensiteit een van de zeven standaard bodemprofielen gehanteerd. Door de bronwaarden van dit standaard profiel te correleren naar de grondcondities van de projectlocatie kan rekening worden gehouden met lokale omstandigheden (zoals grondparameters en geometrie).

Tijdens de installatie van heipalen wordt de omliggende grond in beweging gebracht, waardoor trillingen ontstaan, die zich als golven door de ondergrond voortplanten. Op korte afstand tot

de trillingsbron is de verticale trillingsrichting dominant, op grotere afstand is de horizontale trillingsrichting dominant. Afhankelijk van de grondgesteldheid ligt het omslagpunt doorgaans op een afstand van circa 1,5 tot 2 maal de paallengte. De demping van de trillingen is in sterke mate afhankelijk van de mate waarin het grondmateriaal wordt vervormd onder invloed van de homogeniteit en de gelaagdheid van het bodemprofiel. De demping is frequentie afhankelijk. Doorgaans is de dominante frequentie bij heien van betonpalen 10 Hz tot 15 Hz.

De trillingen kunnen worden geschematiseerd door op het geometrische profiel een aardbevingscomponent aan te brengen, waarbij zowel een verticale als een horizontale versnellingscomponent wordt aangebracht. Daarbij varieert de verticale component afhankelijk van de grondgesteldheid tussen 0,5 à 1,0 maal de horizontale component. Dit houdt in dat er een extra kracht wordt ingevoerd met een waarde van de grondmassa \times de versnelling. Omdat de versnellingscomponent niet als een uniforme belasting of puntlast kan worden gemodelleerd, geldt de versnellingscomponent voor het gehele profiel, wat een ongunstige schematisatie is. Tijdens het heien kunnen de versnellingen worden gemeten en worden getoetst aan de richtlijnen van de Stichting Bouwresearch (SBR). De invloed van de trillingen op de macrostabiliteit van de waterkering kan worden bepaald via een vertaalslag van de trillingen naar versnellingen in de ondergrond. De versnelling in de ondergrond is het grootst vlakbij de heipalen en neemt af met de afstand. Dit is ook vastgesteld bij proeven, waarvan het resultaat is opgenomen in de [MER:2011]

Aan de hand van stabiliteitsberekeningen met aangepaste rekenparameters kunnen de verstoringszone en de stabiliteitszone worden bepaald. Daarbij worden de door de heitringingen veroorzaakte versnellingen verdisconteerd in de grondeigenschappen ter plaatse van het maatgevende schuifvlak. Om het effect van de versnellingen op de stabiliteit van de waterkering te kunnen beoordelen moeten deze worden gemodelleerd, bijvoorbeeld in het rekenmodel D-Geostability, waarbij impliciet rekening wordt gehouden met de situatie zonder opdrijven (methode Bishop met modelfactor $\gamma_d = 1,0$) en met opdrijven (methode UpliftVan met modelfactor $\gamma_d = 1,05$) en materiaalfactoren (γ_m) uit het Addendum van het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [ENW:2007]. Vervolgens moet de berekende stabiliteitsfactor voldoen aan het product van de schadefactor voor de bouwfase ($\gamma_n = 1,0$) en de schematiseringsfactor, waarvoor een standaardwaarde van $\gamma_b = 1,3$ geldt (deze

factor kan eventueel worden verlaagd aan de hand van het rapport Stappenplan Schematiseringsfactor [zie RWS:2010]). De toetswaarde voor de met D-Geostability berekende stabiliteitsfactor wordt dan 1,30 (methode Bishop) of 1,24 (methode UpliftVan).

KWEL EN PIPING

De invloed van de trillingen op kwel en piping dient te worden geverifieerd. Door toepassing van grondverdringende palen is er minder kans op het ontstaan van kortsluiting, tussen de watervoerende grondlagen lagen met daartussen een afsluitende laag. Hierdoor is de kans op kwel en/of piping tijdens de bouwphase ook klein. Dit in tegenstelling tot grondverwijderende palen, waarbij rondom de paal ontspanning van grond optreedt, waardoor er kwel langs de paalschacht kan ontstaan. Daarom hebben grondverdringende palen de voorkeur.

VERWEKING

Bij verwekingsgevoelige ondergrond dient te worden nagegaan of er als gevolg van heitringingen een zettingsvloeiing kan optreden. Dit is stabiliteitsverlies van een grondmassief, bestaande uit los gepakt zand onder een relatief steile helling, waarbij de instabiliteit leidt tot de vorming van een zand-watermengsel dat wegvloeit en tot rust komt onder een zeer flauwe taludhelling. Zettingsvloeiing treedt vooral op in relatief fijn en slecht doorlatend zand, omdat het water daarin niet snel genoeg kan uittreden, waardoor verweking van het zand kan ontstaan. Zettingsvloeiing kan alleen ontstaan als wordt voldaan aan de volgende vier criteria:

1. Er vindt een activiteit plaats, die schuifspanningen initieert in de ondergrond.
2. Het zand is fijnkorrelig, zodat waterspanningen zich kunnen opbouwen in de poriën. De opbouw van waterspanningen kan pas worden uitgesloten bij $D_{50} > 210 \mu_m$.
3. Het zand is bolvormig en heeft daardoor een geringe hoek van inwendige wrijving.
4. Het gemiddelde taludhelling is steiler dan of gelijk aan 1 : 4 over een hoogte van minimaal 5 meter en het zand heeft over een hoogte van 1 tot 2 meter een geringe relatieve dichtheid.

Als in voorkomende gevallen aan alle vier de criteria wordt voldaan wordt aanbevolen om op de betreffende locaties geen heiwerkzaamheden toe te staan. De bovenstaande criteria zijn niet hard. In twijfelgevallen kan nader onderzoek nuttige informatie opleveren. (laboratoriumonderzoek zoals dissipatieproeven of triaxiaalproeven op losgepakt zand met een $K=1$ consolidatie, of berekeningen met geavanceerde pakketten waarin cyclische effecten en de koppeling van grond en water kun-

nen worden gemodelleerd).

Bovendien kunnen maatregelen (bijvoorbeeld bemalen om de wateroverspanningen weg te nemen) er toe leiden dat wel kan worden geheid.

Technische aspecten gebruiksfase

VEILIGHEIDSBENADERING

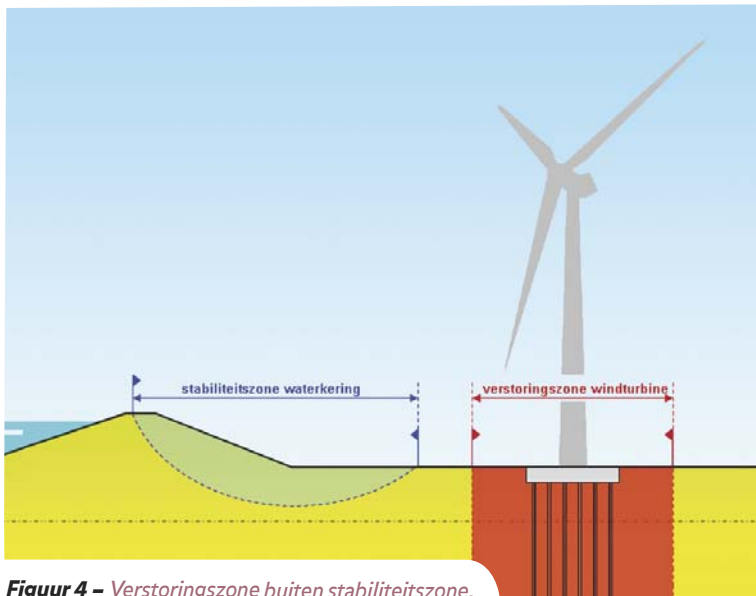
Afhankelijk van de plaats in het dwarsprofiel kunnen windturbines de stabiliteit van de waterkering beïnvloeden. Voor de beoordeling van niet-waterkerende objecten (bebouwing, begroeiing en pijpleidingen) in primaire waterkeringen worden in het kader van het programma Sterkte en Belasting Waterkeringen (SBW) toetsregels ontwikkeld. Daarbij wordt uitgegaan van een interactie tussen de faalmechanismen van de waterkering en de verstoring van de ondergrond door niet-waterkerende objecten.

Vervolgens dient de stabiliteitszone van de waterkering en de verstoringszone van het niet-waterkerend object te worden bepaald. Als de verstoringszone de stabiliteitszone niet doorsnijdt (zie fig. 4) heeft de windturbine geen nadelige invloed op de waterkerende functie. Als de verstoringszone de stabiliteitszone wel doorsnijdt (zie fig. 5) moet de invloed van de windturbine op de waterkerende functie nader worden bepaald. Dit kan worden gekwantificeerd door de kans op de stabiliteitszone en de kans op de verstoringszone met elkaar te combineren.

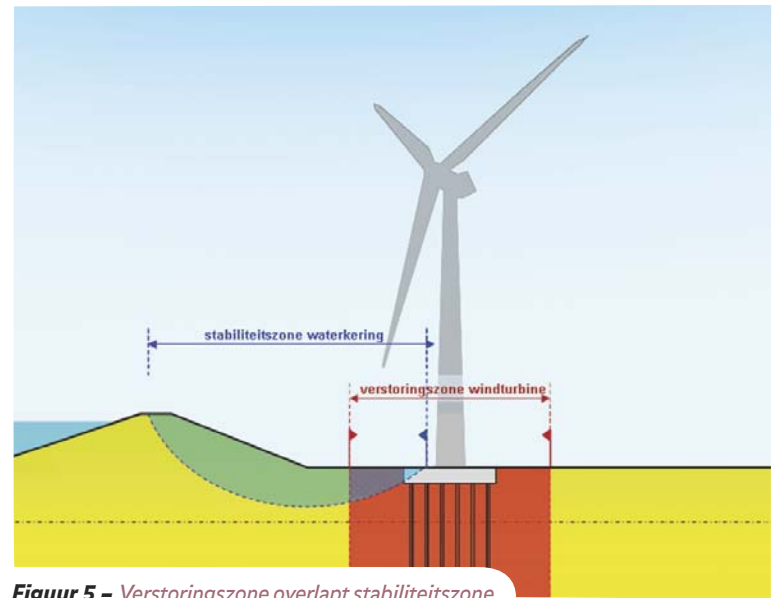
FAALKANS VAN INCIDENTEN

Incidenten kunnen optreden zoals een omvallende mast, rotorbreuk, vallende gondel of rotorbladen. De kans op falen moet per incident worden bepaald en vervolgens worden doorvertaald naar een additionele kans op falen van de waterkering. Een witte vlek daarbij is de bepaling van de invloed van een incident op de faalmechanismen van de waterkering. Bij de nadere invulling daarvan kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van de in [RWS:2000] opgenomen schema's met faalmechanismen van de waterkering, die worden beïnvloed door de plaatsing van windturbines.

Om de additionele faalkans te kunnen toetsen is een toelaatbare faalkans nodig, die is gerelateerd aan de veiligheidsnorm van de waterkering. Daarbij dient tevens rekening te worden gehouden met het cumulatieve effect van lijnopstellingen van meerdere turbines. De toelaatbare faalkans moet verwaarloosbaar klein zijn. Op dit moment zijn daar nog geen eenduidige criteria voor. Ter indicatie: voor het falen van niet-waterkerende objecten wordt door de auteurs per afzonderlijk object gedacht aan een eis in de orde van grootte van 0,1% van de veiligheidsnorm van het betreffende dijkkringgebied.



Figuur 4 – Verstoringzone buiten stabiliteitszone.



Figuur 5 – Verstoringzone overlapt stabiliteitszone.

TRILLINGEN

Trillingen kunnen ontstaan in de gebruiksfase als gevolg van cyclische windbelastingen. Bij de uitwerking kan een soortgelijke aanpak worden gevolgd als voor de bouwfase. De horizontale verplaatsingen van de fundering kunnen worden berekend met een plastisch elementenmodel (bijvoorbeeld met het eindige elementenmodel (EEM) Diana of Plaxis). Verhoogde grondwaterstanden/-spanningen kunnen ontstaan als de afdichtende lagen tussen de watervoerende pakketten door de heipalen worden doorsneden. De invloed van de versnellingen in de ondergrond op de stabiliteit van de waterkering dient te worden geverifieerd. Daarbij hebben in vergelijking tot de bouwfase de lagere versnellingswaarden en de herverdeling van de belastingen via het funderingsblok over de funderingspalen een gunstig effect op de waterspanningen en zijn voor de macrostabiliteit minder relevant. De beoordeling van de met D-Geostability berekende stabiliteitsfactor geschiedt op dezelfde wijze als bij de bouwfase met dien verstande dat de schadefactor γ_m , afhankelijk van de beschouwde dijkkring varieert tussen 1,05 en 1,13. De toetswaarde voor de met D-Geostability berekende stabiliteitsfactor is dan 1,37 à 1,47 (methode Bishop) of 1,30 à 1,40 (methode UpliftVan).

KWEL EN PIPING

In het regel worden de funderingspalen tot in de vaste zandlagen geheid en zijn dan niet meer aan zettingen onderhevig. Echter door de bodemdaling zakt de grond rondom de palen wel en kan er een kier tussen de palen en de grond ontstaan door vermoeiing als gevolg van cyclische belasting; zeker in geval van schoorpalen. In hoeverre deze belasting verstoring van de ondergrond kan

veroorzaken dient nader te worden onderzocht. Ingeval van verhoogde waterspanningen als gevolg van perforatie van de afsluitende lagen, dient een aanvullende kwelweganalyse te worden gemaakt op basis waarvan extra kwelvoorzieningen nodig kunnen zijn. Specifiek aandachtspunt is de duurzaamheid van de funderingspalen.

Bij het amoveren van de bovenbouw blijven de palen als permanent obstakel aanwezig in de ondergrond met het risico van kwelwegen en het ontstaan van holle ruimten door b.v. degradatie van beton en zettingsverschillen (tussen de fundering en de omliggende grond). Daarom moet bij betonpalen de dekking op de wapening voldoende zijn, wat betekent dat er eisen moeten worden gesteld aan de kwaliteit en borging bij de fabricage en het aanbrengen van de palen. Omdat de palen zich deels in een zuurstofarme omgeving bevinden en beneden het grondwaterpeil volledig afgesloten zijn van zuurstof kan het optreden van betonrot, waardoor de wapening wordt aangetast worden voorkomen. Onder de voorwaarde dat de juiste betondekking en milieuklasse wordt toegepast kan beton als duurzaam worden bestempeld. Bij het amoveren van de bovenbouw dienen de betonpalen tot onder de afsluitende deklaag te worden verwijderd, waarna de oorspronkelijke deklaag weer middels een kleiaanvulling wordt hersteld.

VERWEKING

Bij verwekingsgevoelige ondergrond dient te worden nagegaan of er als gevolg van trillingen van een draaiende windturbine in de gebruiksfase een zettingsvloeiing kan optreden. Hoe dit soort trillingen doorwerken in de ondergrond en wat de invloed daarvan is op de relatieve dichtheid van het

zand is niet bekend. Daarom moet in dit stadium, mede in verband met de bij de bouwfase genoemde vier criteria, terughoudendheid worden betracht bij het bij het toestaan van windturbines in gebieden met verwekingsgevoelige ondergrond. Onderzoek hiernaar is gewenst om dit nader te kunnen kwantificeren door meten en monitoren.

MONITORING

In het kader van [MER:2011] zijn monitoringsgegevens gebruikt van twee andere locaties met windturbines van 3 Megawatt. Tijdens de meetperiode zijn windsnelheden opgetreden van maximaal 14 m/s, waarbij de versnellingen aan het funderingsblok zijn gemeten. versnellingen zijn met een factor 2,5 lineair doorvertaald naar windturbines van 7,5 Megawatt, waarbij is uitgegaan van een horizontale versnelling van $0,09 \text{ m/s}^2$ en een verticale versnelling van $0,19 \text{ m/s}^2$. Vervolgens zijn deze waarden doorvertaald van de locatie van het funderingsblok naar de ligging van de maatgevende schuifvlakken van de waterkering. Met een vergelijkbare analyse als bij heien, zijn een horizontale versnelling van circa $0,030 \text{ m/s}^2$ en een verticale versnelling van circa $0,060 \text{ m/s}^2$ bepaald, wat resulteerde in een ca. 4% lagere stabiliteitsfactor. Om een dergelijke vertaalslag beter te kunnen kwantificeren zijn meer praktijkmetingen aan het funderingsblok en op afstand daarvan nodig. Daartoe dient data te worden verzameld aan de hand van metingen aan operationele windturbines met verschillende vermogens. Bij nieuw te plaatsen windturbines zou dit onderdeel moeten zijn van de vergunningaanvraag, waarbij niet alleen de versnellingen maar ook de invloed daarvan op de faalmechanismen van de waterkering moeten worden gemonitord.

Conclusies en aanbevelingen

Op dit moment lopen er veel initiatieven van windmolens op, in en nabij waterkeringen alleen de duidelijke regie en de interactie is nog niet voldoende. Tijdens de bouw- en gebruiksfase zijn de methodieken en modellen voor de beoordeling van macrostabiliteit, kwel, piping en verweking voorhanden.

Voor de beoordeling van de trillingseffecten tijdens de bouwfase kan gebruik gemaakt worden van huidige methodieken en modellen. Van de optredende cyclische trillingseffecten, in relatie tot de vermoeiing van de ondergrond, tijdens de gebruiksfase is er nog onvoldoende kennis aanwezig. De zogenaamde onzekerheden en witte vlekken hiervan worden hieronder weergegeven.

De veiligheidsrisico's:

- Inventarisatie van kennis over de technische aspecten in relatie met veiligheid.
- Instrumentarium voor ontwerpen, toetsen en beheren.
- Veiligheidsrisico door falen windturbine.
- Invloed van trillingen op waterkerende functie tijdens gebruiksfase.

Aanbevolen wordt om nader onderzoek uit te voeren om huidige manco's in kennis te dichtten. Hierbij valt onder andere te denken aan:

- Nadere interpretatie meetgegevens van trillingen

en wateroverspanning als gevolg van heiwerk van funderingspalen.

- Bepalen orde grootte van te verwachten trillingen (frequentie en amplitude) in de gebruikssituatie (is gebruikssituatie wel maatgevend).
- Invloed van vernageling van de funderingspalen op de uiteindelijke stabiliteit van de waterkering.
- Gewenst is de uitwerking van een praktijkcase ten aanzien van de doorwerking van de trilling in de bouw- en gebruiksfase met alle betrokken stakeholders (kennisinstituten, windmolensector en waterkeringbeheerders).
- Op dit moment is er nog geen onderzoeksprogramma beschikbaar om de invloed van de cyclische belastingen op de grondeigenschappen te bepalen.
- Mogelijkheden voor multifunctionele inrichting van waterkeringen.
- Aansluiting zoeken bij internationale onderzoeksprogramma's, kennisinstituten en universiteiten.

Informatie en literatuur

- *Geotechnisch trillingsonderzoek windturbines v90-3, OMV, in de primaire waterkering.* Projectnummer 58100. Geoconsult Noord, 2009. Opdrachtgever: Windpark Haringvliet BV, Bunnik.
- Website www.windenergie.nl, met daarop onder meer het Nationaal plan van aanpak

windenergie.

- [CUR:2008]: CUR publicatie 166 Damwandconstructies, 5e druk Civieltechnisch Centrum Uitvoering, Research en Regelgeving.
- [ENW:2007]: Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Expertise Netwerk Waterveiligheid, 2007.
- [MER:2011]: MER Windpark Noordoostpolder, 4_Watervergunning aanvraag WMDbi-tcm24-353176.pdf. (aanvraag watervergunning Windpark Westermeerdijk binnendijks aan het waterschap Zuiderzeeland d.d. 5 augustus 2011 van Pondera Consult, namens Windmolenproject Westermeerdijk binnendijks v.o.f.
- [RWS:2000]: Windmolens en Waterkeringen, Technische eisen voor het plaatsen van van windmolens op of nabij waterkeringen. RWS Dienst Weg- en Waterbouwkunde, november 2000, W-DWW-2000-081.
- [RWS:2010]: Stappenplan Schematiseringsfactor van RWS Waterdienst, 11 juni 2010.
- [STOWA:2011]: Windturbines op of langs waterkeringen. Een kennisinventarisatie STOWA
- [V&W:2002]: Beleidsregel Technische eisen voor het plaatsen van windmolens op of nabij waterkeringen. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, nr. HKW/R 2002/3641, 15 mei 2002. ●

BMNED is een onafhankelijk, Europees opererend ingenieursbureau met specialisaties in:

- Geotechnische en civiele constructies
- Staal-, hout- en betonconstructies
- Geotechnische veldwerkzaamheden
- Bouwmanagement



www.bmned.com

Uw civiel- en bouwtechnisch ingenieursbureau!



www.gsned.com

Uw beste maat als het om grond en water gaat!

GSNED is actief op het gebied van:

- Sonderingen op land en water
- Proefbelastingen van funderingspalen en ankers

Rooseveltlaan 8
4536 GZ Terneuzen
Postbus 326
4530 AH Terneuzen
T: +31 115 620 927
F: +31 115 623 678
E-mail: info@bmned.com
E-mail: info@gsned.com