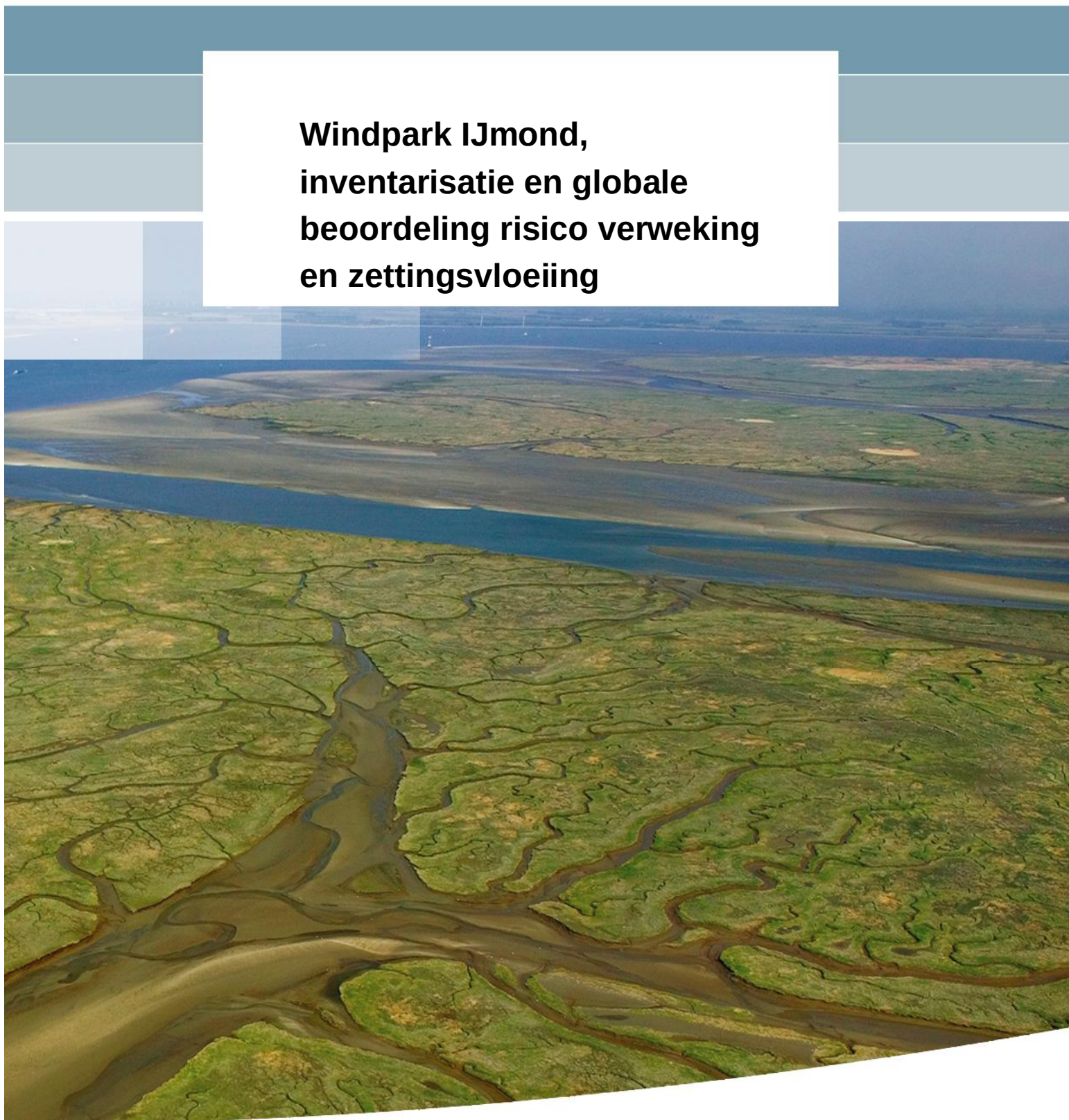


**Windpark IJmond,
inventarisatie en globale
beoordeling risico verweking
en zettingsvloeiing**



Windpark IJmond, inventarisatie en globale beoordeling risico verweking en zettingsvloeiing

Piet Meijers

1209826-000

Titel

Windpark IJmond, inventarisatie en globale beoordeling risico verweking en zettingsvloeiing

Opdrachtgever

Eneco Wind BV

Project

1209826-000

Kenmerk

1209826-000-GEO-0004-
gbh

Pagina's

46

Trefwoorden

Windenergie, windturbine, IJmuiden, zettingsvloeiing, verweking

Samenvatting

Eneco Wind BV is van plan om samen met Windpark IJmond BV in IJmuiden zes windturbines te plaatsen. Op het sluizencomplex IJmuiden zijn in het verleden met grote regelmaat zettingsvloeiingen opgetreden. Het ontstaan van een zettingsvloeiing wordt daarom als het grootste geotechnische risico tijdens de bouw en tijdens de gebruiksfase gezien. Voor het beoordelen van dit risico is een gefaseerd onderzoek gestart. Dit rapport geeft de resultaten weer van de eerste fase daarvan.

Besproken worden het mechanisme, de relevante gegevens van de locatie, een beschrijving van de ondergrond, een inventarisatie van historische vloeiingen en een eerste (kwalitatieve) inschatting van de kans op het ontstaan van een vloeiing. Geconcludeerd wordt dat tijdens de bouwfase de kans op het ontstaan van een vloeiing niet verwaarloosbaar is, maar door een aangepaste uitvoeringsmethode naar verwachting wel acceptabel klein kan worden. Voor de bedrijfsfase wordt de kans op het ontstaan van een vloeiing klein geacht.

In de vervolgfases dienen indicatieve en gedetailleerde berekeningen uitgevoerd te worden om het risico te kwantificeren.

Referenties

Offerte 1209826-000-GEO-0003-gbh, dd 2 juli 2014

Bestelnummer/datum: 4500611261 / 29.07.2014

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
draft	okt. 2014	Dr.ir. P. Meijers		Dr.ir. P. Holscher		Ing. A.T. Aantjes	
1	april 2015	Dr.ir. P. Meijers		Dr.ir. P. Holscher		Ing. A.T. Aantjes	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Probleemstelling en aanpak	3
2.1 Probleemstelling	3
2.2 Gevolgde aanpak	3
2.3 Inperking probleemstelling fase 1	3
3 Beschikbare informatie	5
4 Beschrijving mechanisme zettingsvloeiing	7
4.1 Algemene beschrijving	7
4.2 Cyclische verweking	7
4.3 Verwekingsvloeiing	7
4.4 Bresvloeiing	9
5 Beschrijving situatie	11
5.1 Plaats windturbines	11
5.2 Breedte landtong	12
5.3 Plaats hoogwaterkering	12
5.4 Hoogteligging terrein	14
5.5 Bodemligging	16
5.6 Gegevens talud	16
5.7 Gegevens damwandconstructies	18
5.8 Maatgevende waterstanden	18
5.9 Grondwaterstanden	19
5.10 Fundering windturbines	19
6 Beschrijving ondergrond	21
6.1 Inleiding	21
6.2 Algemeen beeld van de gelaagdheid van het Holocene grondpakket	22
6.3 Geologie en voorbelasting door belasting uit vroegere duinen	22
6.4 Vergelijking van de geotechnische profielen	23
6.4.1 Geotechnisch profiel ter plaatse van de Nieuwe Zeesluis	23
6.4.2 Geotechnisch profiel Uitbreiding Gemaal	25
6.4.3 Vergelijking geotechnische profielen	27
6.5 Beschikbaar laboratoriumonderzoek	27
6.5.1 Kritieke dichtheidsproeven	27
6.5.2 Cyclische proeven	30
6.5.3 Eindconclusie uit grondonderzoek	30
7 Bestaande ervaringen zettingsvloeiingen sluzengebied IJmuiden	33
7.1 Overzicht vloeiingen sluzengebied	33
7.2 Analyse ervaringen en conclusies	35
7.3 Conclusies uit ervaringen	36
8 Beoordeling risico's (kwalitatief)	37
8.1 Algemeen	37

8.2	Bouwfase windturbines	37
8.3	Bedrijfsfase windturbines	39
8.4	Calamiteiten windturbines	39
8.5	Verwijderingsfase windturbines	40
8.6	Consequenties vloeïing	40
8.7	Slotopmerking	41
9	Aanbevelingen aanvullend grondonderzoek	43
10	Conclusies en aanbevelingen	45
10.1	Conclusies, algemeen	45
10.2	Conclusies, per windturbine	45
10.3	Aanbevelingen	46
 Bijlage(n)		
A	Geotechnisch profiel	A-1
B	Beschikbaar grondonderzoek ter plaatse van de windturbines	B-1
B.1	Windturbine 1	B-1
B.2	Windturbine 2	B-4
B.3	Windturbine 3	B-7
B.4	Windturbine 4	B-12
B.5	Windturbine 5	B-16
B.6	Windturbine 6	B-19
Referenties		1

1 Inleiding

Eneco Wind BV is van plan om samen met Windpark IJmond BV in IJmuiden zes windturbines te plaatsen. Hiervan worden er vijf geplaatst op de landtong van het spuikanaal, aan de noordzijde van het sluizencomplex IJmuiden en één nabij de waterzuivering van de papierfabriek Crown van Gelder. Een deel van de landtong maakt deel uit van de hoogwaterkering. Verder zijn er in de directe nabijheid een gemaal en een sluizencomplex aanwezig.

In het gebied van het sluizencomplex IJmuiden is in het verleden een groot aantal zettingsvloeiingen opgetreden, waarvan een deel bij de landtong. In een aantal gevallen lijken deze vloeiingen verband te houden met baggerwerkzaamheden die op dat moment werden uitgevoerd of met heiwerkzaamheden, maar niet in alle gevallen is het mogelijk om een directe oorzaak voor het ontstaan van de vloeiing aan te wijzen.

Voor de bouw van de windturbines zal een fundering aangebracht moeten worden. Het type fundering is nog niet bekend, maar een fundering op geheide palen is een voor de hand liggende methode. Tijdens het heien van de palen ontstaan trillingen. Daarnaast zullen er tijdens de bedrijfsfase trillingen ontstaan. Deze trillingen kunnen een mogelijke trigger zijn voor het ontstaan van een zettingsvloeiing.

Eneco heeft Deltares opdracht gegeven tot het uitvoeren van een onderzoek naar de mogelijke risico's op het ontstaan van een zettingsvloeiing tijdens de bouwfase en de bedrijfsfase van de windturbines. De eerste fase is een inventarisatie van de situatie en een eerste, kwalitatieve, beoordeling van de haalbaarheid. Dit rapport beschrijft de resultaten van deze eerste fase.

2 Probleemstelling en aanpak

2.1 Probleemstelling

De vraag die door het onderzoek beantwoordt moet worden is of tijdens de bouw en de gebruiksfase van de windturbines de kans op het ontstaan van een zettingsvloeiing acceptabel klein is. Dit kan worden uitgesplitst in de volgende deelvragen:

- Wat is 'acceptabel klein'?
- Wat is de invloed van het installeren van de palen op de kans op het ontstaan van een zettingsvloeiing? Hierbij zijn de te beschouwen methoden van installeren heien, trillen en boren van de palen.
- Wat is de invloed van de gebruiksfase op de kans op het ontstaan van een zettingsvloeiing?

2.2 Gevolgde aanpak

Gezien de complexiteit van de problematiek wordt een gefaseerde aanpak gevolgd.

De eerste fase is een verkennende fase. In deze fase worden de beschikbare gegevens geïnventariseerd en zal zo mogelijk op basis van engineering judgement een eerste uitspraak over de mogelijke risico's worden gedaan.

Meer gedetailleerd zijn de werkzaamheden voor de eerste fase:

- Inventarisatie beschikbare gegevens:
 - Korte inventarisatie ervaringen zettingsvloeiingen ter plaatse van de landtong, op basis van bij Deltares beschikbare gegevens en ervaringen van Rijkswaterstaat.
 - Inventarisatie dwarsprofielen taluds bij de voorziene plaatsen van de windturbines.
 - Inventarisatie en interpretatie van beschikbaar grondonderzoek ter plaatse van de landtong en bij Crown van Gelder.
- Beoordeling (kwalitatief) van de mogelijke risico's en de haalbaarheid.
- Opstellen aanbevelingen aanvullend grondonderzoek.

Afhankelijk van het resultaat van de eerste fase kan daarna worden besloten of een tweede en eventueel derde fase zinvol is. In de tweede fase zullen een aantal berekeningen worden uitgevoerd om voor de gekozen locatie de mogelijke risico's nader te kwantificeren.

Als uit de tweede fase blijkt dat de gekozen procedure werkbaar is en realistische resultaten oplevert kan de derde fase worden opgestart. De derde fase bestaat uit het toepassen van de gekozen procedure op de locaties van (doorsneden ter plaatse van) de andere windturbines. Daaruit volgen mogelijk maatregelen die genomen moeten worden om het risico tijdens de bouw en de bedrijfsfase te verkleinen.

2.3 Inperking probleemstelling fase 1

In hoofdstuk 4 wordt een korte beschrijving van het mechanisme zettingsvloeiing gegeven. De aanleiding (trigger) voor het ontstaan van een zettingsvloeiing is zeer divers. De windturbines kunnen alleen verantwoordelijk worden geacht voor de trigger 'trillingen', inclusief de indirecte gevolgen van trillingen zoals wateroverspanningen. Het onderzoek zal zich daarom tot deze trigger beperken. De overige aanleidingen (triggers) liggen buiten de invloedssfeer van de bouwer/beheerder van het windpark. Ook wordt in deze fase geen

aandacht besteed aan het samenvallen van gebeurtenissen, zoals het gelijktijdig uitvoeren van baggerwerkzaamheden tijdens de bouw van de windmolens.

Belangrijk bij het kwantitatief beoordelen van de kans op verweking is de toelaatbare faalkans. De kwalificatie 'acceptabel klein' volstaat dan niet meer.

Door de gebruikers/beheerders van de terreinen zal aangegeven moeten worden wat 'acceptabel klein' in dit verband is. De huidige veiligheid tegen zettingsvloeiingen bepaalt welke marge er aanwezig is. Voor dit rapport (fase 1) wordt deze vraag verder buiten beschouwing gelaten. De beoordeling van het risico zal plaatsvinden op basis van bestaande kennis en inzichten over het ontstaan van zettingsvloeiingen en kwalitatief van aard zijn.

3 Beschikbare informatie

Voor dit rapport is door de opdrachtgever is de volgende informatie beschikbaar gesteld:

- Een overzichtstekening met de voorlopig geplande locaties van de windturbines.
- Funderingstekening van een windturbinepark elders, die als indicatie voor het type fundering en afmetingen van de windturbines in IJmuiden gebruikt kan worden.
- Ontwerprapport van een windturbinepark elders, die als indicatie van de optredende belastingen op de fundering gebruikt kan worden.

Volledigheidshalve wordt opgemerkt dat de definitieve plaats van de windturbines nog niet is vastgesteld. Ook is er nog geen ontwerp van de windturbines beschikbaar.

Op verzoek van de opdrachtgever zijn door Rijkswaterstaat de volgende gegevens verstrekt:

- Kaarten met diepteligging havens en spuikanaal ter plaatse van de landtong.
- Tekeningen met diverse doorsneden over de landtong.
- Tekeningen met plaats damwanden ter plaatse spuisluis.

Voor de gegevens van de ondergrond is voor deze studie tevens gebruik gemaakt van de volgende bronnen:

- Deltares, Geotechnische analyses Nieuwe zeesluis te IJmuiden, Invloed bouwmethoden op het sluizencomplex, rapport 1206941-000-GEO-0033, 14 november 2013.
- Deltares, Nieuwe zeesluis IJmuiden, Risico verweking door trillingen, rapport 1206941-000-GEO-0046, 25 april 2013.
- Deltares, Nieuwe zeesluis IJmuiden, Laboratoriumonderzoek, rapport 1206941-005-GEO-0006, 1 november 2013.
- DINO database met ondergrondgegevens.

4 Beschrijving mechanisme zettingsvloeiing

4.1 Algemene beschrijving

Een zettingsvloeiing is het verschijnsel dat een, schijnbaar zonder aanleiding, een talud verweekt en een grote massa zand wegstroomt. Voor het vervloeien zijn er de volgende mechanismen te onderscheiden: cyclische verweking, verwekingsvloeiing en bresvloeiing. De laatste twee mechanismen worden samengevat onder de term zettingsvloeiing. Bij de eerste twee mechanismen (cyclische verweking en verwekingsvloeiing) is er sprake van groter wateroverspanningen, bij het derde mechanisme (bresvloeiing) niet. In de volgende paragrafen worden de verschillende mechanismen kort beschreven. Voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar de in 2007 en 2009 verschenen artikelen in Geotechniek ([Groot et al 2007], [Meijers et al 2009], [Groot et al 2009]).

Een zettingsvloeiing treedt eigenlijk altijd onverwachts op en wordt vaak pas na afloop geconstateerd. Daarbij is het lang niet altijd duidelijk of er sprake is geweest van een verwekingsvloeiing of een bresvloeiing. Het vermoeden bestaat dat er vaak sprake is van een combinatie, waarbij het ene mechanisme het andere initieert.

Verweking van zand ontstaat omdat het zand door een externe belasting een dichtere pakking wil aannemen. Daarvoor is het nodig dat het water tussen de korrels wegstroomt. Voor dat laatste is enige tijd nodig. Bij langzame veranderingen is dat geen probleem, maar bij snelle veranderingen kan het water niet snel genoeg wegstromen en gaan de zandkorrels als het ware in het water drijven. Op dat moment hebben de korrels geen contact meer met elkaar en verliest het zand zijn sterkte.

Om te kunnen vervloeien is water nodig. Boven de grondwaterstand is er doorgaans geen sprake van verweking. Een uitzondering is heel fijn zand, waarbij de lucht tussen de poriën niet snel genoeg kan wegstromen, maar die situatie is voor de Nederlandse omstandigheden niet relevant.

4.2 Cyclische verweking

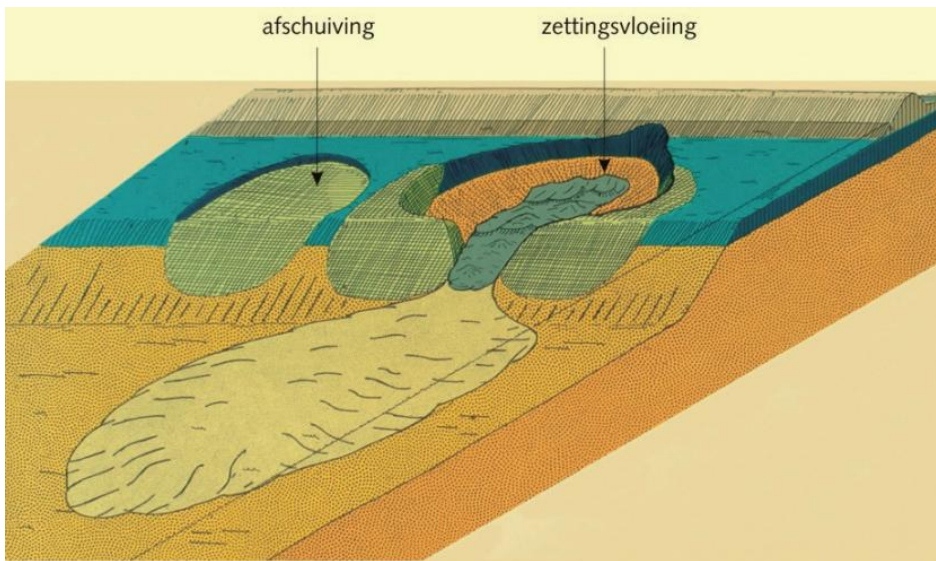
Bij een wisselende belasting, zoals bij het heien van palen, een aardbeving of brekende golven, zal het zand bij iedere wisseling iets verder willen verdichten. Als dit tot verweking leidt spreken we van 'cyclische verweking'. In dit geval is er een duidelijke oorzaak aanwezig. In de praktijk wordt van deze cyclische verweking gebruik gemaakt bij het intrillen van damwanden.

Voor cyclische verweking is de aanwezigheid van een talud niet noodzakelijk, ook bij een horizontaal maaiveld kan in de ondergrond wateroverspanning ontstaan. Dit in tegenstelling tot een verwekingsvloeiing of een bresvloeiing, waarbij de aanwezigheid van een talud wel essentieel is.

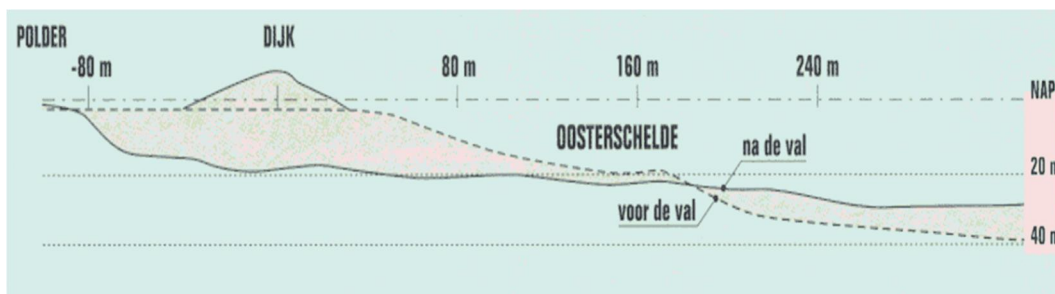
4.3 Verwekingsvloeiing

Het tweede mechanisme is de verwekingsvloeiing. Dit is het verschijnsel dat een groot gedeelte van de zandige ondergrond vloeibaar wordt, vaak zonder direct aanwijsbare oorzaak. Een verwekingsvloeiing treedt op in zand dat zodanig losgepakt is dat het korrelskelet bijna instabiel is. Bij een kleine verandering stort het opeens 'in elkaar'. In die situatie spreken we over een verwekingsvloeiing. Hierbij kunnen grote volumes zand verplaatst worden, volumes van 100.000 m³ of meer zijn niet ongebruikelijk. Er ontstaat

daarbij grote schade aan het talud en eventueel het achterliggende terrein. Het talud na de vloeijing is zeer flauw, typisch in de orde van 1:10. Het uitgestroomde zand geeft een verontdieping van de waterbodem voor het talud. Bij een vaarweg kan dit tot problemen voor het scheepvaartverkeer leiden. Figuur 4.1 toont schematisch het schadeprofiel bij een zettingsvloeijing. Ter vergelijking is in die figuur ook een typisch schade figuur bij een normale afschuiving weergegeven. Figuur 4.2 toont een lengteprofiel van een opgetreden zettingsvloeijing in Zeeland.



Figuur 4.1 Illustratie verwekingsvloeijing



Figuur 4.2 Illustratie profiel voor en na een zettingsvloeijing

Voor het ontstaan van een verwekingsvloeijing dient aan een aantal voorwaarden te worden voldaan (zie [Groot et al 2007]):

- 1 Zandlichaam, verzadigd met water.
- 2 Voldoende grote zone van losgepakt, niet gecementeerd zand.
- 3 Gemiddelde korrelspanning en deviatorspanning in het zand, beide voldoende hoog
- 4 het zand kan vervormen en wegvloeien zonder dat de deviatorspanning sterk afneemt ('spanningsgestuurd').
- 5 Een zogenaamde trigger: een plotselinge (kleine) verandering van de belasting als inleiding.

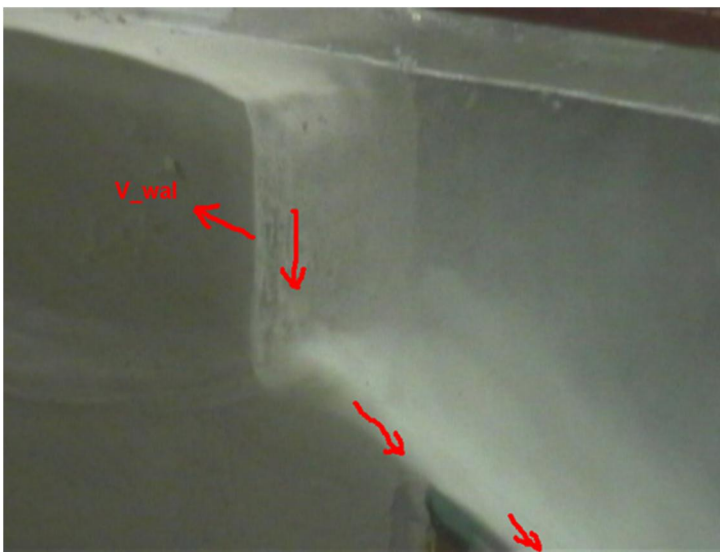
Voor de situatie van de landtong wordt aan de voorwaarden 1, 2 en 4 voldaan. De taluds zijn voldoende hoog om aan het eerst deel van voorwaarde 3 (korrelspanning voldoende hoog) te

voldoen. Of aan het tweede deel wordt voldaan hangt af van de taludhelling, in combinatie met de dichtheid van het zand. Voor voorwaarde 5 kan worden gedacht aan een kleine versteiling van het talud door bijvoorbeeld erosie aan de teen, maar ook aan trillingen. Aan deze voorwaarde wordt dus voldaan.

4.4 Bresvloeiing

Het derde mechanisme is de zogenaamde bresvloeiing. Dit mechanisme wijkt dit af van de voorgaande mechanismen, maar het resultaat is vergelijkbaar met een verwekingsvloeiing.

Een bres is een zeer steil stukje van het talud dat langzaam langs het talud omhoog loopt. De bres ontstaat door een versteiling ergens op het talud. Door dilatantie (de neiging tot volumevergroting bij schuifvorming) ontstaat er tijdelijk een hogere sterkte van het zand wat het verticale talud (de bres) in stand houdt. Vervolgens sijpelt water in de bres en keert de oorspronkelijke sterkte terug. Het zand 'regent' daarna langs de bres naar beneden en stroomt vervolgens langs het talud af. Op deze wijze kan de bres langs het talud omhoog lopen. Of daarbij de hoogte van de bres toeneemt, gelijk blijft of afneemt hangt af van de eigenschappen van het zand, de steilheid van het talud en de hoogte van de bres. Als de hoogte afneemt dooft het mechanisme uit en ontstaat er dus geen bresvloeiing. Een aanwezige bekleding (toplaag) kan ook een dempende invloed op dit mechanisme hebben. Hoever een bres doorgroeit (dus hoe groot de schade is) hangt ook af van de lengte van het talud.



Figuur 4.3 Illustratie mechanisme bresvloeiing in een modelproef

Een bresvloeiing is een vloeiing gedomineerd door het bresproces. Dat wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van een "bres" en een "suspensiestroom". Een bres is een zeer steil taludgedeelte waar zandkorrels door de zwaartekracht op grote schaal losraken van het taludoppervlak, waardoor de bres zich geleidelijk naar boven beweegt. De losgeraakte zandkorrels mengen zich met water tot de suspensiestroom. Die stroomt het talud af, waarvan het debiet groeit door erosie van zand uit het zandoppervlak en verdere opname van water.

Het bresproces verloopt meestal geleidelijk. Maar onder bepaalde omstandigheden nemen de grootte van de bres, het debiet van de suspensiestroom en de daardoor veroorzaakte erosie explosief toe zodra de bresgrootte en/of het suspensiestroomdebiet een kritieke grens

hebben overschreden. Dan is sprake van een bresvloeiing. Die omstandigheden betreffen taludhelling, taludhoogte, fijnheid van het zand en pakingsdichtheid van het zand.

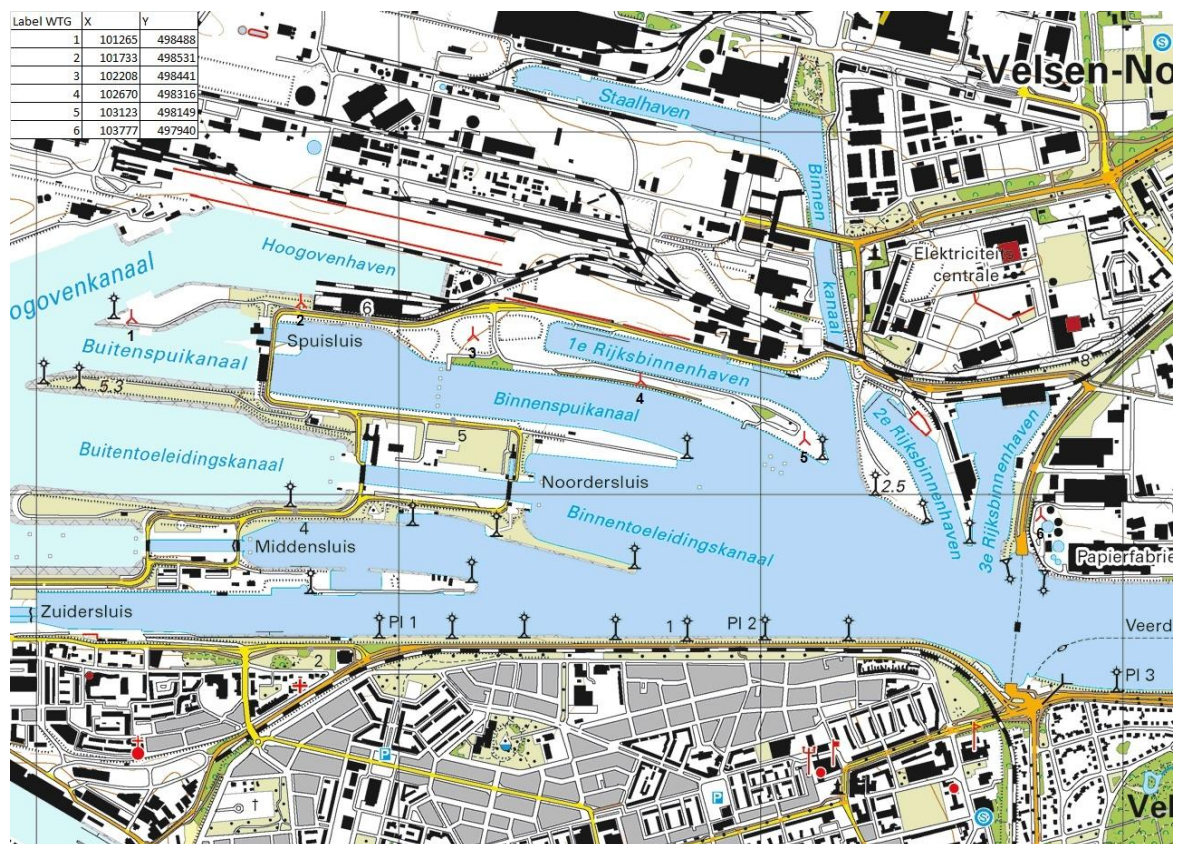
Anders dan bij een verwekingsvloeiing, is bij een bresvloeiing alleen het zand aan het taludoppervlak betrokken. Een bresvloeiing duurt gewoonlijk vele uren. Dat is veel langer dan een verwekingsvloeiing, die hooguit enige tientallen minuten vergt. Bresvloeiingen kunnen ook in heel vastgepakt zand optreden. Maar er zijn sterke aanwijzingen dat ze makkelijker optreden naarmate het zand losser gepakt is.

Bij baggeren met een winzuiger wordt gebruik gemaakt van het bresproces. Doorgaans betreft het een beheerst proces. Maar soms niet meer. Dan ontstaat een relatief hoog en steil taludgedeelte dat als initiële bres de kritieke grootte overschrijdt, zodat een bresvloeiing ontstaat. Dat gebeurt als de zuigbuis te diep in het zand gestoken is of als de homogeniteit van de grond (kleilaagjes tussen het zand) zorgt voor onregelmatig bressen in de vorm van lokale afschuivingen, of als een lokale massa zand losgepakt zand plotseling verweekt (lokale verwekingsvloeiing).

5 Beschrijving situatie

5.1 Plaats windturbines

Voorzien is dat er 6 windturbines van 3 MW worden geplaatst. De exacte plaats is nog niet bekend, deze hangt af van de diverse randvoorwaarden. Figuur 5.1 en Figuur 5.2 geven twee mogelijke configuraties voor de plaats van de windturbines. Deze dienen hier uitsluitend ter indicatie.



Figuur 5.1 Mogelijke plaats windturbines



Figuur 5.2 Mogelijke plaats windturbines

In dit rapport wordt verder uitgegaan van de configuratie volgens Figuur 5.1. Volgens deze configuratie wordt windturbine 1 wordt geplaatst op de kop van de landtong Buitenspuikanaal, windturbine 2 nabij de Spuisluis, windturbine 3, 4 en 5 op de landtong tussen het Binnenspuikanaal en de 1^e Rijksbinnenhaven Binnenspuikanaal en windturbine 6 bij Crown en Van Gelder.

5.2 Breedte landtong

Een belangrijke parameter bij het beoordelen van het risico op een zettingsvloeiing is de afstand van de molens tot het talud.

De breedte van de landtong (van waterlijn tot waterlijn) is, volgens opmeting in Google Earth:

- Zijde Noordzeekanaal (oostelijke landtong): ongeveer 50 m.
- Bij gedeelte hoogwaterkering (westelijke landtong): 75 m.
- Kop landtong zeezijde: 100 m.

De breedte van de landtong is, volgens de beschikbaar gestelde dwarsprofielen:

- Zijde Noordzeekanaal (oostelijke landtong): ongeveer 50 m (opgemeten uit tekening met kaartnummer NHWSI-2012-52056, 8 mei 2012; afstand tussen waterlijnen).
- Bij gedeelte hoogwaterkering (westelijke landtong): 126 m, profiel 5 op tekening.
- Kop landtong zeezijde: 85 m (afstand tussen kruinlijnen talud), profiel 1 op tekening.

De windturbines 1, 2, 4 en 5 worden in het midden van de landtong geplaatst. Hiervoor is de afstand tot de waterlijn ongeveer de halve breedte van de landtong. Uit opmeting in de beschikbare locatietekening volgt dat de afstand van windturbine 3 tot de waterlijn ongeveer 80 m is. Windturbine 6 is gepland op het terrein van Crown en Van Gelder. Hierbij is de afstand tot de waterlijn ongeveer 80 m.

5.3 Plaats hoogwaterkering

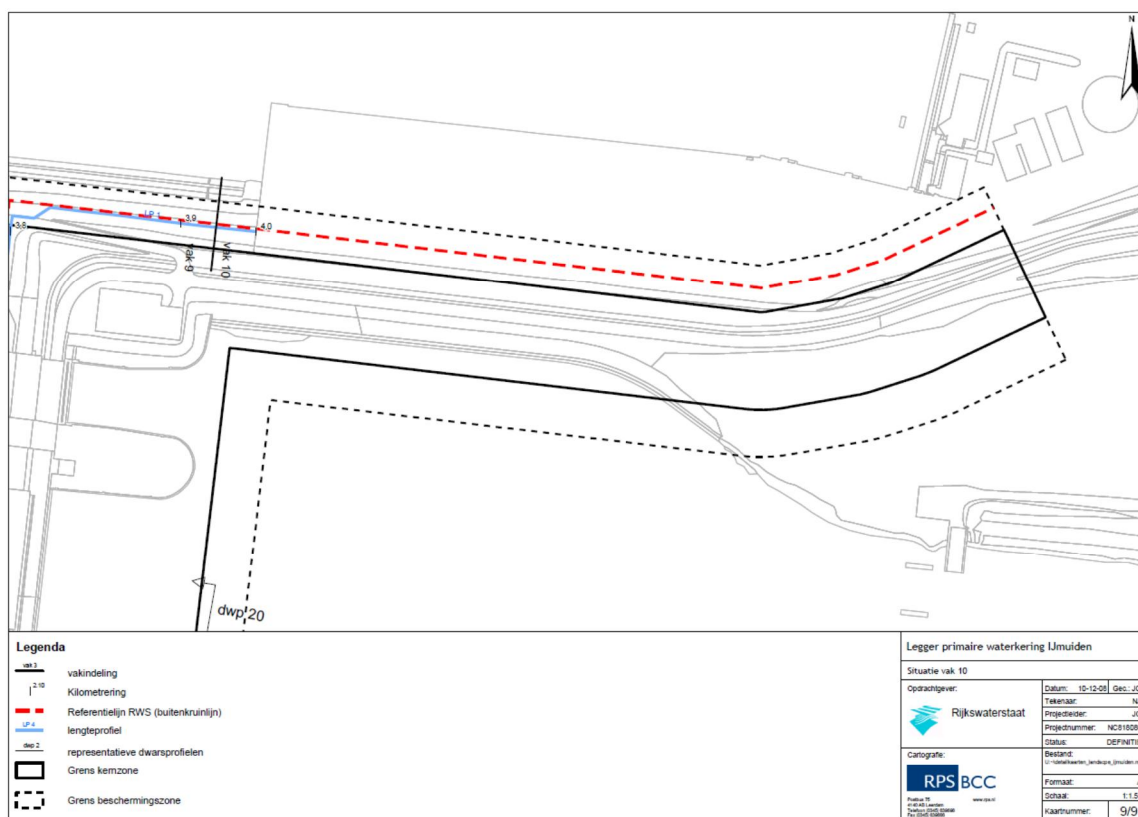
In Figuur 5.3 is de plaats van de hoogwaterkering aangegeven. Hieruit volgt dat de meeste windturbines buiten de hoogwaterkering zijn geprojecteerd. Falen van de taluds brengt de waterveiligheid van de hoogwaterkering niet in gevaar. Figuur 5.3 toont de kernzone en

beschermingszone van de hoogwaterkering. Hieruit blijkt dat windturbine 2 is in de kernzone van de hoogwaterkering geprojecteerd.



Figuur 5.3 Hoogwaterkering ter plaatse van Zeesluis IJmuiden, uit: RWS, legger IJmuiden

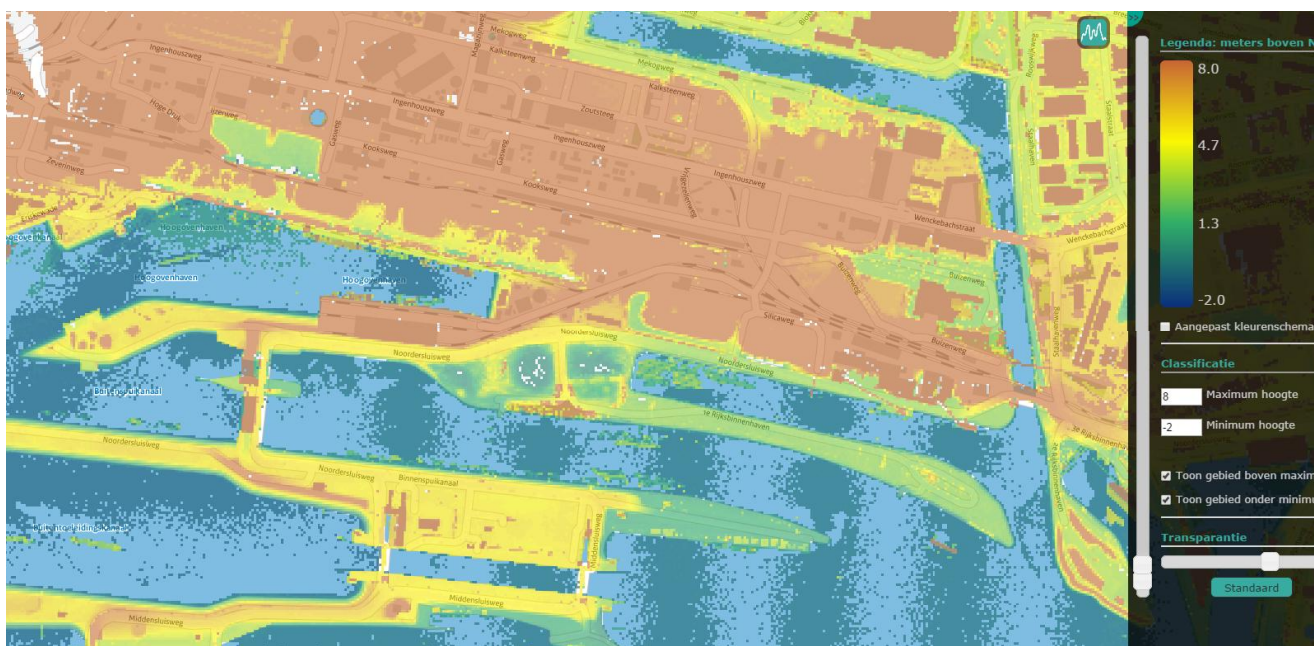
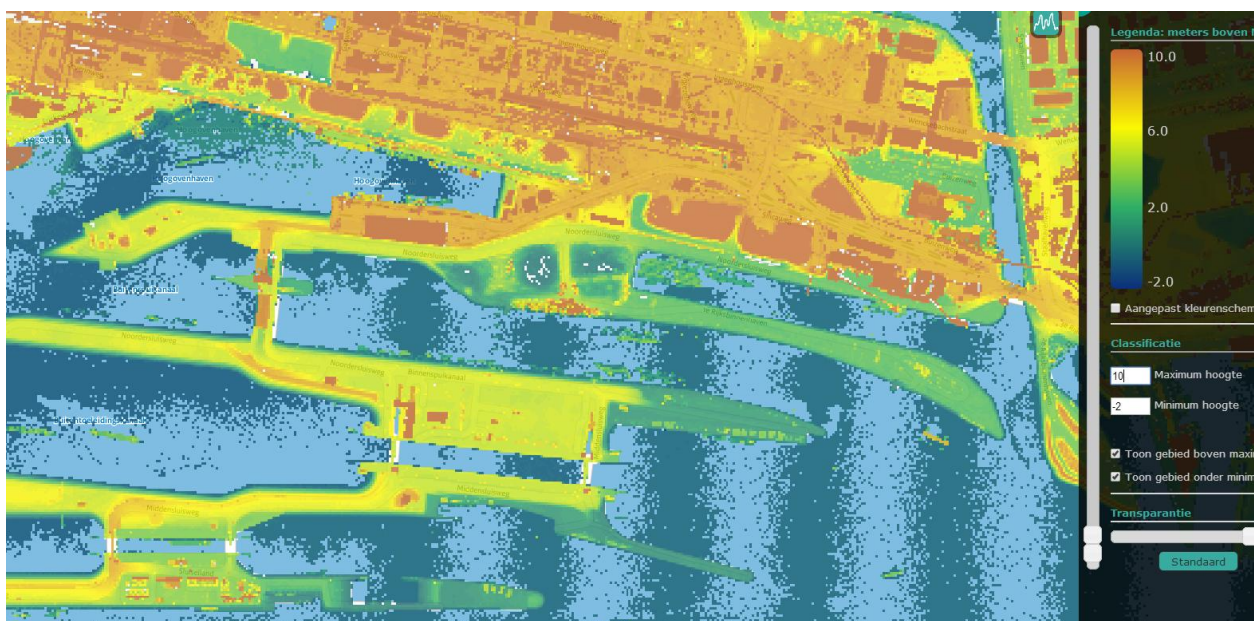
Voor windturbine 2 gelden er dus eisen vanuit de waterveiligheid. Op dit moment is het beoordelen van het effect van een windturbine in een waterkering en de eisen waaraan het ontwerp moet voldoen nog onderwerp van discussie en onderzoek. Voor het sluisencomplex IJmuiden als geheel is, volgens de legger, een toelaatbare faalkans vastgesteld op 10^{-5} per jaar. Deze eis betreft het gedeelte dat onderdeel is van de hoogwaterkering. Voor een onderdeel daarvan zal een strengere eis gelden. Voor de overige gedeelten van het sluisencomplex is nog geen toelaatbare faalkans vastgesteld.



Figuur 5.4 Kernzone en beschermingszone waterkering IJmuiden, gedeelte NO van Spuisluis, legger primaire waterkering IJmuiden

5.4 Hoogteligging terrein

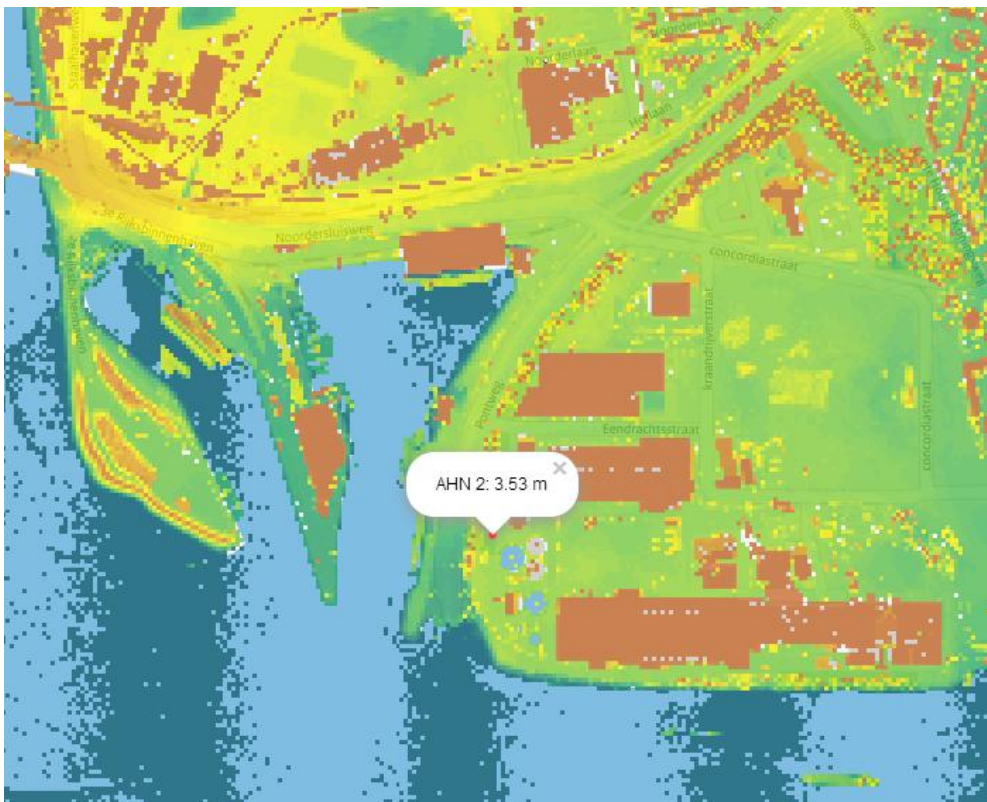
Via het AHN (Algemeen Hoogtebestand Nederland, www.ahn.nl) is inzicht te krijgen in de globale hoogte van het terrein. Figuur 5.5 geeft een screenplot van het gedeelte waar de windturbines komen.



Figuur 5.5 Hoogtekaart (AHN)

Uit het AHN volgt dat voor het westelijke deel van de landtong, inclusief het deel van de hoogwaterkering, het maaiveld op ongeveer NAP + 5m ligt. De kruin van de hoogwaterkering ligt volgens dit bestand op NAP + 7,7 m à NAP + 8,0 m. Voor het oostelijke deel ligt het maaiveld op ongeveer NAP + 2,5 m à NAP + 2,7m.

Volgens de beschikbare tekening (uit 1975) met dwarsprofiel ligt het maaiveld aan de oostelijke zijde, bij einde 1^e Rijksbinnenhaven, op ongeveer NAP + 2,9 m.



Figuur 5.6 Hoogteligging bij Crown Van Gelder (AHN)

Bij Crown en Van Gelder wordt de windturbine aan de binnenzijde van de waterkering geplaatst. Het maaiveld ter plaatse is ongeveer NAP + 3,5 m, zie Figuur 5.6. De afstand tot de waterlijn is ongeveer 75 m. Gegevens over het talud ter plaatse zijn Deltares niet bekend.

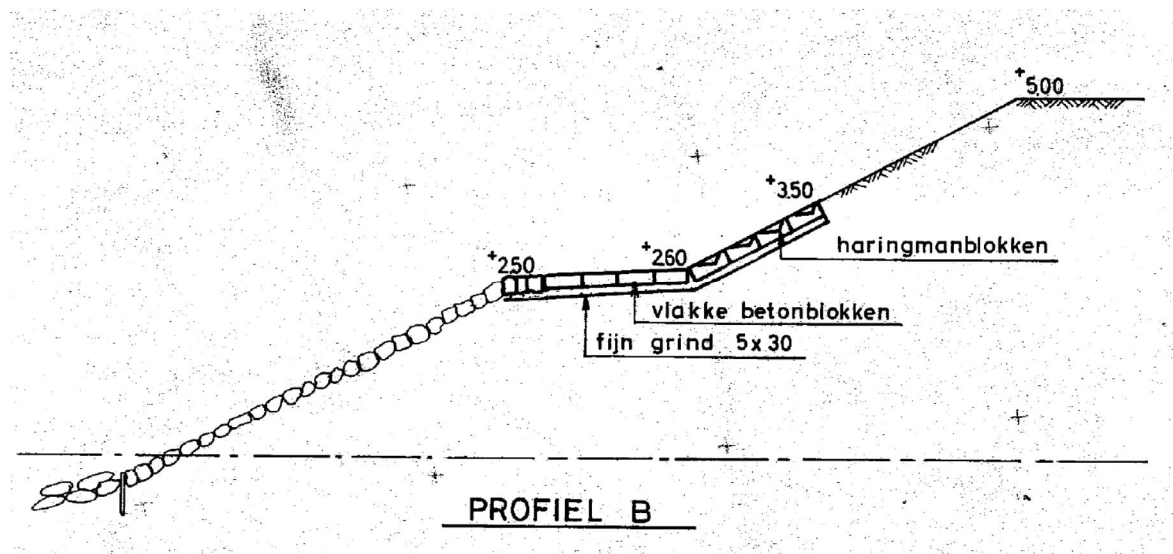
5.5 Bodemligging

Uit de beschikbare informatie zijn de volgende gegevens over de bodemligging afgeleid:

- Spuikanaal, zeezijde: NAP – 10,5 m.
- Spuikanaal, zijde Noordzeekanaal: NAP – 12 m, maar lokaal ontgravingen tot NAP – 13 m.
- Hoogovenhaven: geen gegevens, vermoedelijk rond NAP – 13 m.
- 1^e Rijksbinnenhaven: ongeveer NAP – 5,5 m, maar aan de zijde van de landtong is sprake van een relatief ondiep gedeelte met een flauwe taludhelling.

5.6 Gegevens talud

Van de taluds bij de landtong zijn alleen tekeningen uit 1967 en 1971 bekend. Figuur 5.7 geeft een doorsnede. In 1975 is het Spuikanaal verbreed voor de bouw van het gemaal. Mogelijk zijn toen de taluds aangepast.



Figuur 5.7 Talud landtong Buitenspuikanaal, de streep-stip lijn is NAP, tekening 71.A.5.1.1.58

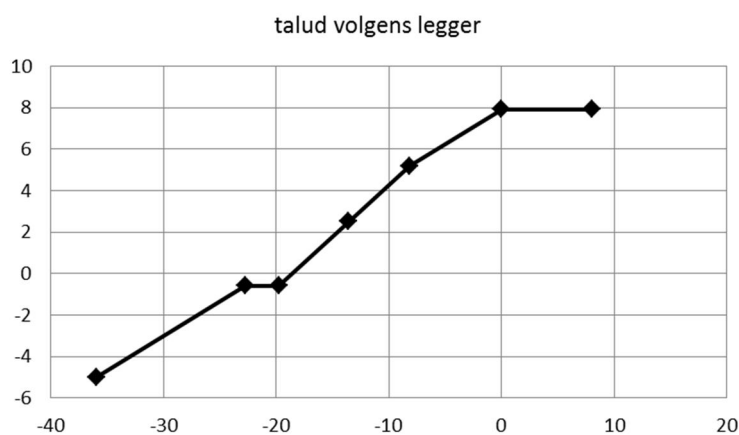
In de legger IJmuiden (uit 2009) wordt dit gedeelte van de hoogwaterkering als volgt omschreven:

Het grondlichaam tussen het gemaal en Corusterrein heeft een hoogte van NAP +7,92 m. De dijk heeft een kruinbreedte van ca. 8 m en aan beide zijde een talud 1 : 3. Onder de grasmat ligt een kleibekleding met een dikte van 0,9 m.

De oeverbekleding aan de zeezijde is als volgt opgebouwd:

- Op het dijktaud van NAP +5,20 m tot NAP +2,50 m een met Haringmanblokken beklede glooiing met een helling van ca. 1 : 2.
- Van NAP +2,50 m tot NAP -0,60m een met gietasfalt gepenetreerde basalt glooiing met een helling van ca. 1 : 2 opgesloten met een aaneengesloten rij perkoenpalen.
- Op NAP -0,6 m een 3 m brede plasberm bekleed met stortsteen;
- Aansluitend op de plasberm een met stortsteen bekleed kraagstuk met een helling van 1 : 3 tot NAP - 5,00 m.

Het betreft hier het talud aan de zeezijde. Figuur 5.8 toont het talud volgens de beschrijving in de legger. Over het gedeelte onder NAP – 5 m wordt niets vermeld.



Figuur 5.8 Talud zeezijde hoogwaterkering, volgens beschrijving in legger

Uit de beschikbare dieptekaarten volgt een indicatie van het onderwatertalud. Een compleet beeld van de taluds ontbreekt echter op dit moment. Globaal lijkt er sprake van een talud 1:3, wat nabij de teen flauwer wordt.

5.7 Gegevens damwandconstructies

Op een aantal plaatsen zijn op de landtong damwandconstructies aanwezig. Een volledig overzicht van de plaatsen met een damwandconstructie ontbreekt nog.

Uit de beschikbare tekeningen volgt dat nabij de spuisluis een damwandconstructie aanwezig is. Ten oosten van de spuisluis is over ongeveer 250 m een damwand aanwezig met bovenkant op NAP + 2 m. Ten westen van de spuisluis is over ongeveer 50 m een damwand aanwezig, waarvan de bovenkant ligt op NAP + 5 m en aansluitend over ongeveer 90 m een damwand met de bovenkant op NAP – 4,25 m. Dit gedeelte is in het talud geplaatst.

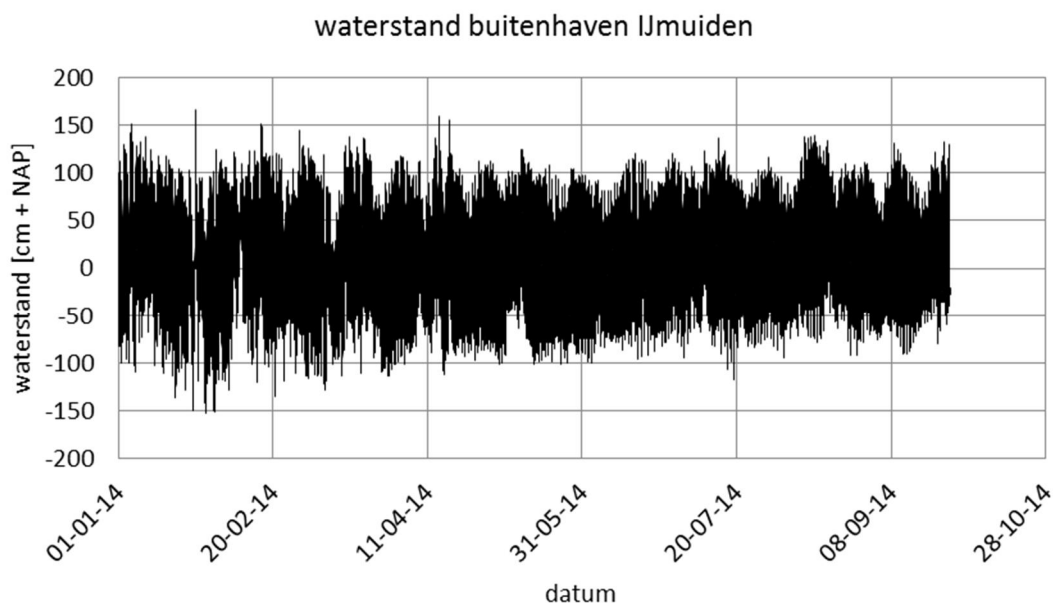
Daarnaast zijn er op een aantal andere plaatsen damwanden aanwezig. Daarvan ontbreken op dit moment verdere gegevens.

5.8 Maatgevende waterstanden

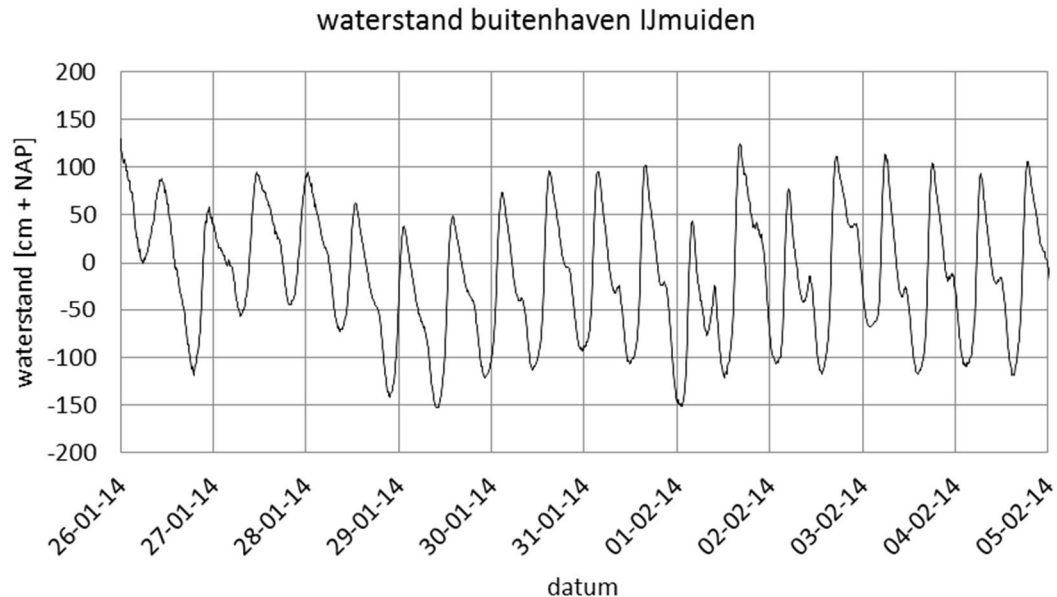
De maatgevende waterstanden voor het gebied zijn:

- Zeezijde:
 - o Toetspeil: NAP + 5,2 m [HR 2006].
 - o LLWS (laaglaagwaterspring) NAP – 0,95 m.
 - o LAT (lowest astronomical tide): NAP – 1,03 m.
- Kanaalzijde: niet gegeven in HR2006, Volgens de beschikbare tekeningen varieert deze tussen NAP – 0,2m en NAP – 0,6m. De waarden in AHN suggereren NAP – 0,4 m.

In Figuur 5.9 wordt de gemeten waterstand in de buitenhaven van IJmuiden in de eerste 9 maanden van 2014 getoond. In deze periode waren de extremen waarden van de waterstand NAP + 1,66 m en NAP – 1,53 m. Figuur 5.10 toont in meer detail het verloop van de waterstand rond de periode van de laagst gemeten buitenwaterstand. Opvallend daarin is dat de stijgsnelheid van de waterstand hoger is dan de daalsnelheid.



Figuur 5.9 Waterstand buitenhaven IJmuiden 2014, bron: live.waterbase.nl



Figuur 5.10 Waterstand buitenhaven IJmuiden 2014 (detail), bron: live.waterbase.nl

5.9 Grondwaterstanden

Er zijn bij Deltares geen historische freatische grondwaterstanden voor de landtong bekend. De freatische grondwaterstanden op de zuidelijke en noordelijke oevers (bovenstrooms van de sluizen) liggen boven het kanaalpeil. Gemiddeld bedraagt de freatische grondwaterstand hier ca. NAP + 0,50 m.

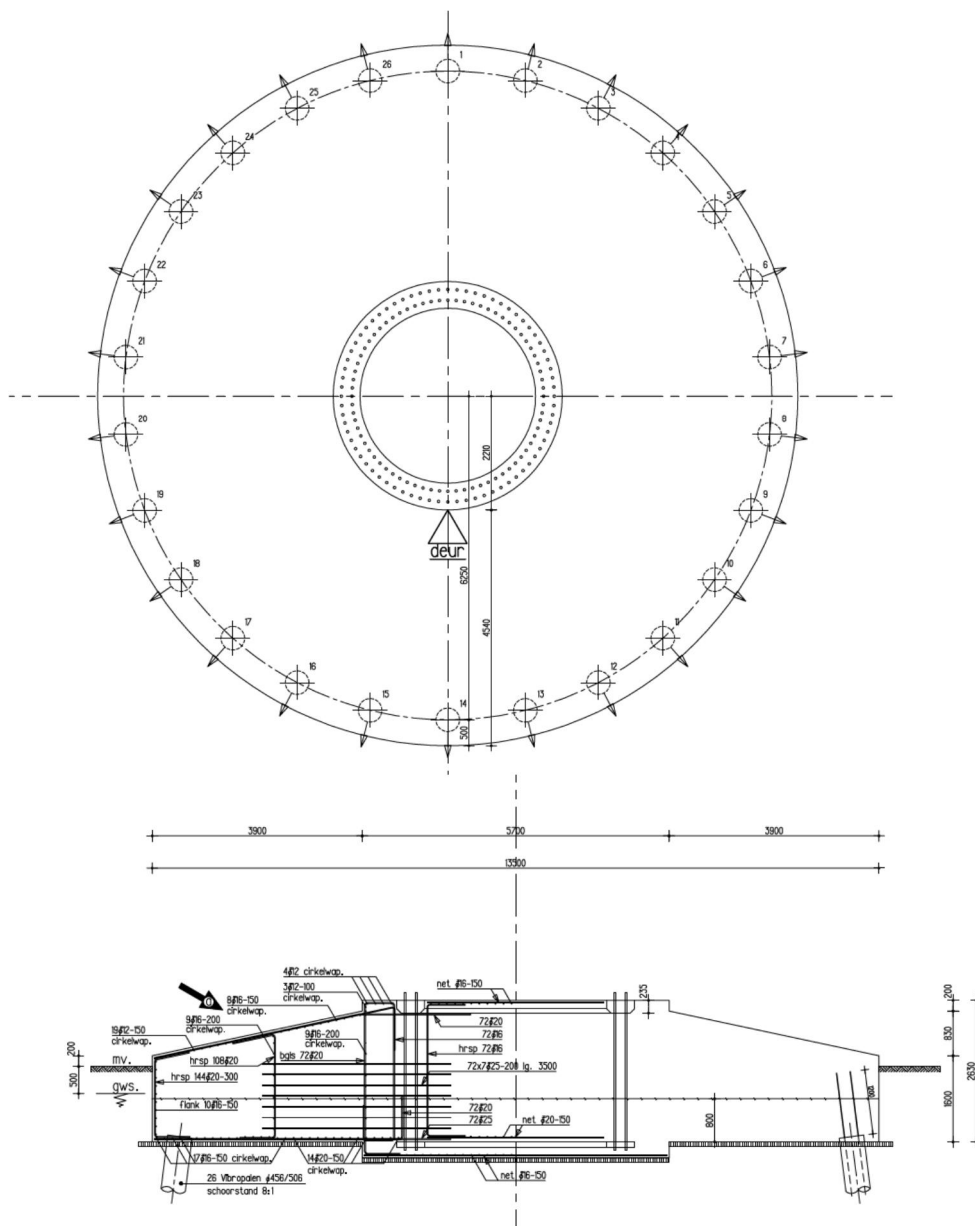
In 2013 is als onderdeel van het onderzoek voor de nieuwe zeesluis de stijghoogte op het eiland tussen de Noorder- en de Middensluis gemeten. Deze metingen zijn nog niet geanalyseerd. De eerste inschatting is dat aan de kanaalzijde de stijghoogte niet veel afwijkt van het kanaalpeil. Aan de zeezijde varieert de stijghoogte.

5.10 Fundering windturbines

Op dit moment is het type windturbines en de constructie van de fundering nog niet vastgelegd. Voor deze studie zal van de volgende gegevens worden uitgegaan.

Figuur 5.11 geeft een mogelijke fundering van de windturbines. Bij dit ontwerp is sprake van een betonnen plaat op palen. De diameter van de plaat is ongeveer 12,5 m. Het aantal palen is 26. De definitieve afmetingen kunnen hiervan afwijken maar voor de eerste beoordeling worden deze afmetingen gebruikt.

De benodigde paallengte moet nog worden vastgesteld, maar ligt vermoedelijk in de orde van 15 tot 20 m.



Figuur 5.11 Mogelijke fundering windturbines (ontleend aan tekening ct6_15_00C)

Voor de trillingen tijdens de gebruiksfase zijn niet de statische, maar de dynamische belastingen op de fundering maatgevend. Ten tijde van deze studie waren die niet bekend. Voor een vergelijkbare windturbine zijn de volgende maximale belasting voor de fatigue load bekend (afgeronde waarden):

- Verticaal: 0,25 MN.
- Horizontaal: 1 MN.
- Moment om verticale as: 12 MNm.
- Moment om horizontale as: 90 MNm.

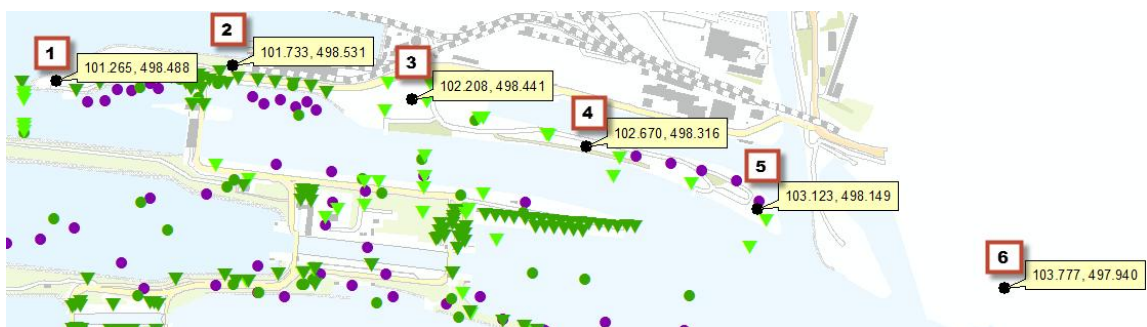
De kortdurende dynamische component is meestal ongeveer 1/3 van deze waarde.

6 Beschrijving ondergrond

6.1 Inleiding

In het Deltares rapport 1206941-000-GEO-033 (Geotechnische analyses Nieuwe Zeesluis te IJmuiden Invloed bouwmethoden op het sluizencomplex) wordt een overzicht gegeven van het beschikbare grondonderzoek. Gezien het onderwerp van dat rapport is het niet verwonderlijk dat de aandacht is gericht op de plaats van de nieuwe sluis (dus het gebied tussen de bestaande Middensluis en de Noordersluis). Toch zijn er ook gegevens over de landtong beschikbaar.

In de onderstaande Figuur 6.1 zijn de locaties van de geprojecteerde windturbines met de coördinaten aangegeven; tevens zijn de beschikbare sonderingen en boorgegevens aangegeven. Het sondeeronderzoek op de landtong van de windturbines komt voornamelijk uit het archief van Deltares. In de omgeving van windturbine 6, bij Crown en Van Gelder, is in het DINO-archiefsysteem slecht één relevante sondering aangetroffen (sondering S25A01851, zie figuur 6.8). In 2012 en 2013 is een uitgebreid veldonderzoek uitgevoerd in het kader van de nieuwe zeesluis. De resultaten zijn verwerkt in geotechnische profielen ter plaatse van de nieuwe sluis. Daarnaast is er een geotechnisch profiel beschikbaar van de uitbreiding van het gemaal en een geologisch profiel over het hart van het Noordzeekanaal (maar deze geeft geen informatie voor de ondiepe grondlagen). Van de gegevens zal gebruik worden gemaakt bij de beschrijving van de grond op de windturbinelocaties.



Figuur 6.1 Beschikbaar grondonderzoek en locaties van de windturbines 1 t/m 6; sonderingen: groene driehoek, boringen: paarse cirkel



Figuur 6.2 Ligging geotechnische profielen (gekleurde lijnen) en de locatie van de DINO-sondering S25A01851

6.2 Algemeen beeld van de gelaagdheid van het Holocene grondpakket

Op basis van het beschikbare grondonderzoek zijn in het verleden diverse geotechnische profielen opgesteld. In bijlage A is het beschikbare geotechnische profiel (opgesteld in 2000) over een gedeelte van de landtong gegeven. In bijlage B zijn per windturbine een of meerdere in de directe omgeving beschikbare sonderingen gegeven.

In de ondergrond kunnen de volgende holocene lagen worden onderscheiden:

Vanaf maaiveld tot circa. NAP

Zand met conusweerstand oplopend tot circa 10 MPa.

Van NAP tot NAP – 7 à -9 m

Zeer vast gepakt zand met conusweerstand tussen 20 MPa en 40 MPa. Lokaal kleilaagjes

Van circa NAP – 7 à -9 m tot NAP – 13 m

Matig tot los gepakt schelphoudend zand, gelaagd met conusweerstand tussen 5 MPa en 15 MPa. Lokaal ook doorsneden met dunne kleilagen. Naar het type schelpen wordt deze laag ook wel de Spisula laag genoemd

Van circa NAP – 13 m tot NAP – 17 m

Zeer vast gepakt zand met conusweerstand tussen 15 MPa en 30 MPa.

Vanaf circa NAP -17 tot NAP – 20 m

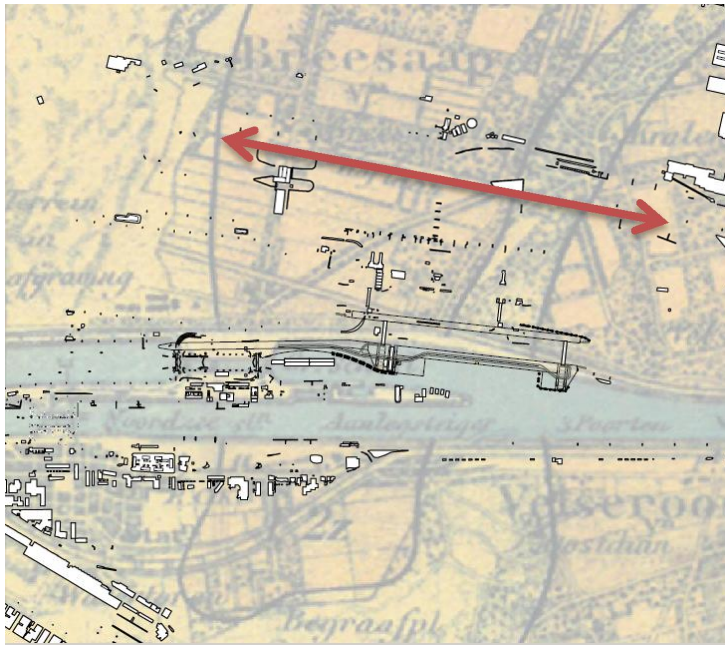
De afsluitende kleilaag en het basisveen.

Onder het basisveen bevinden zich pleistocene grondlagen. Dit zijn voornamelijk zandlagen met een hoge conusweerstand. Rond NAP – 40 m en NAP -100 m wordt nog een kleilaag aangetroffen.

6.3 Geologie en voorbelasting door belasting uit vroegere duinen

In de periode tussen ca.1300 en 1600 n. Chr zijn in het gebied paraboolduinen ontstaan. De maximale hoogte van de duintoppen van deze (later vergraven) paraboolduinen worden gereconstrueerd – op basis van vergelijking van duinhoogte in de omgeving van het projectgebied – op een hoogteniveau van NAP +15 m tot NAP + 20 m. De duinvalleien liggen in de ruimere omgeving in het algemeen boven de NAP + 7 m. Dit betekent dat het reliëfverschil van de oorspronkelijk aanwezige duinen waarschijnlijk 8 m of meer bedroeg.

Tussen 1000 en 1150 n. Chr. migreerde in het gebied een grote paraboolduin van het Middensluiseiland gebied naar het Breesaapgebied ('loopduin'). Oostelijk van de Breesaap (zie Figuur 6.3) bereikte de 'wandelende' duin zijn huidige positie.



Figuur 6.3 Ligging sluizencomplex IJmuiden ten opzichte van de Breesaap (in rood de globale ligging van de landtong)

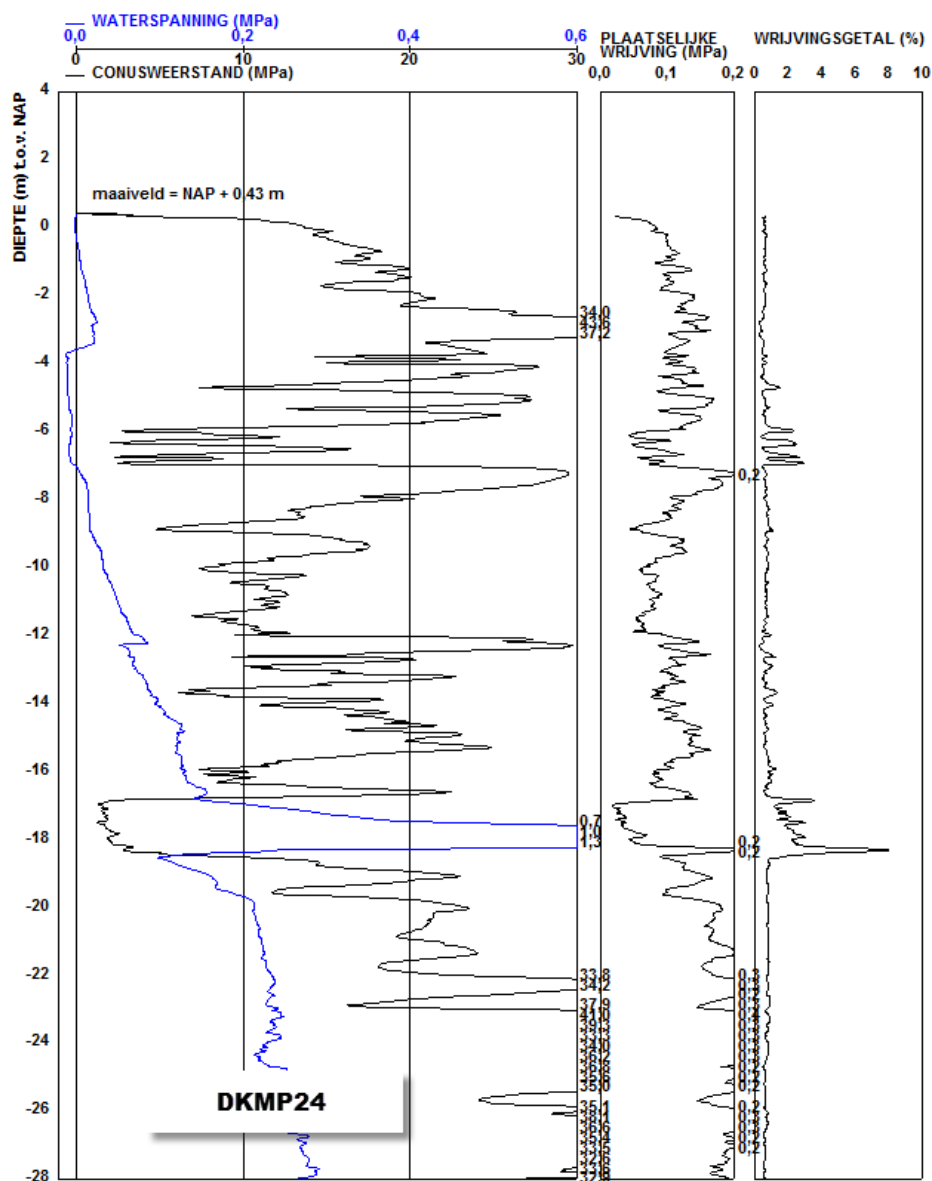
Uit de reconstructie van het duinlandschap kan worden afgeleid dat het gebied westelijk van de scheidslijn op circa halverwege de Middensluis het Holocene pakket is voorbelast door duinvorming van circa 15 m. De voorbelasting kan ook verder oostelijk zijn geweest door de migratie van het paraboolduin.

Op basis van deze informatie moet rekening worden gehouden met een voorbelasting van de zandlaag op een diepte vanaf NAP – 18 m.

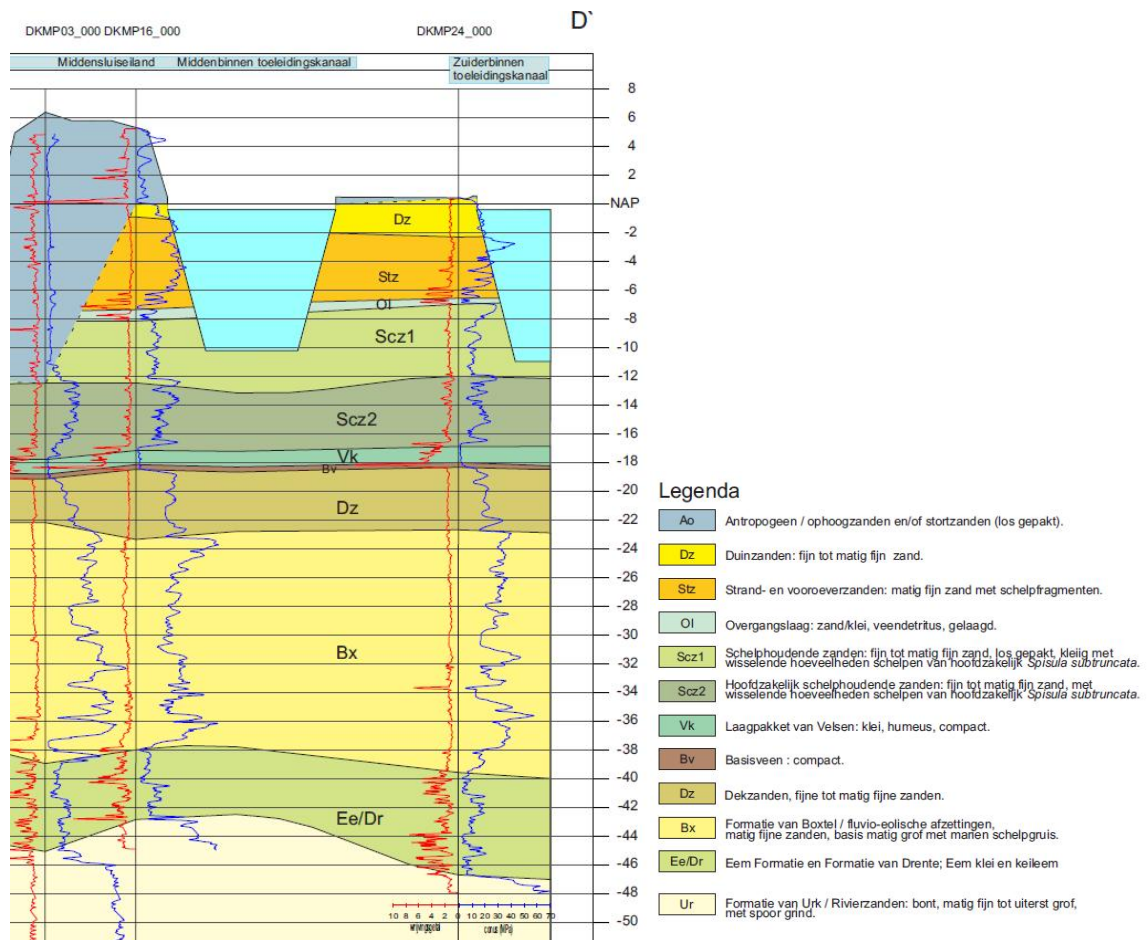
6.4 Vergelijking van de geotechnische profielen

6.4.1 Geotechnisch profiel ter plaatse van de Nieuwe Zeesluis

De gelaagdheid van de bodem is voor het sluisproject vastgesteld met een groot aantal sonderingen. In Figuur 6.4 is sondering DKMP 024 weergegeven en daarin wordt de schelphoudende *Spisula* zandlaag aangetroffen tussen NAP – 7 m en NAP – 17 m. De gelaagdheid op de sluislocatie is in het hele gebied redelijk uniform en is weergegeven in een uitsnede van geotechnisch profiel D-D' (Figuur 6.5). Het sondeerbeeld van sondering DKMP 024 is hierin aangegeven. Kenmerkend is de relatief lage conusweerstand tot NAP – 12 m en de hogere conusweerstand vanaf NAP – 12 m.



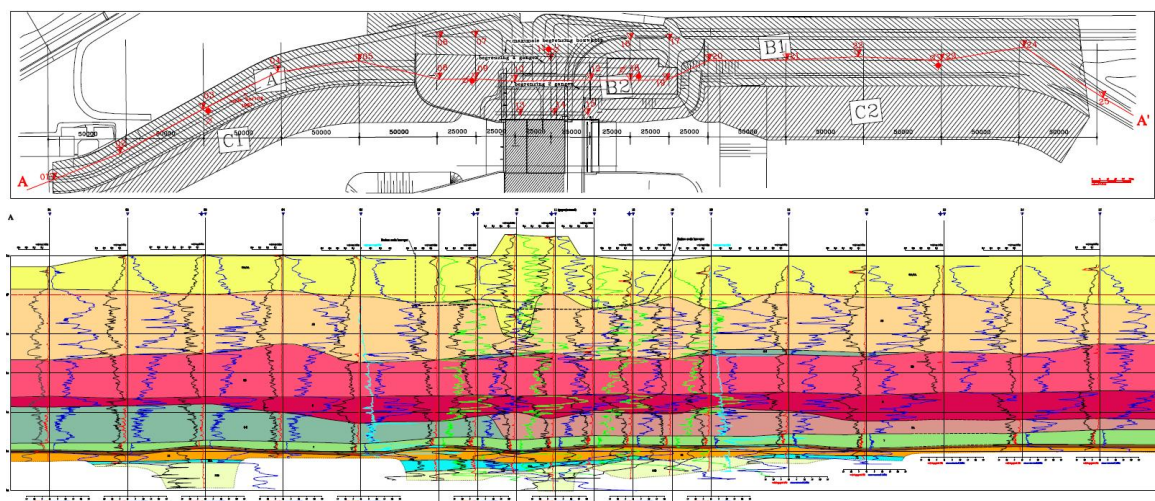
Figuur 6.4 Sondering DKMP24 met waterspanningsmeting— Zuider Binnentoeleidingskanaal/profiel D-D' (1206941—000-GEO-033)



Figuur 6.5 Deeluitsnede geologisch profiel D-D'

6.4.2 Geotechnisch profiel Uitbreiding Gemaal

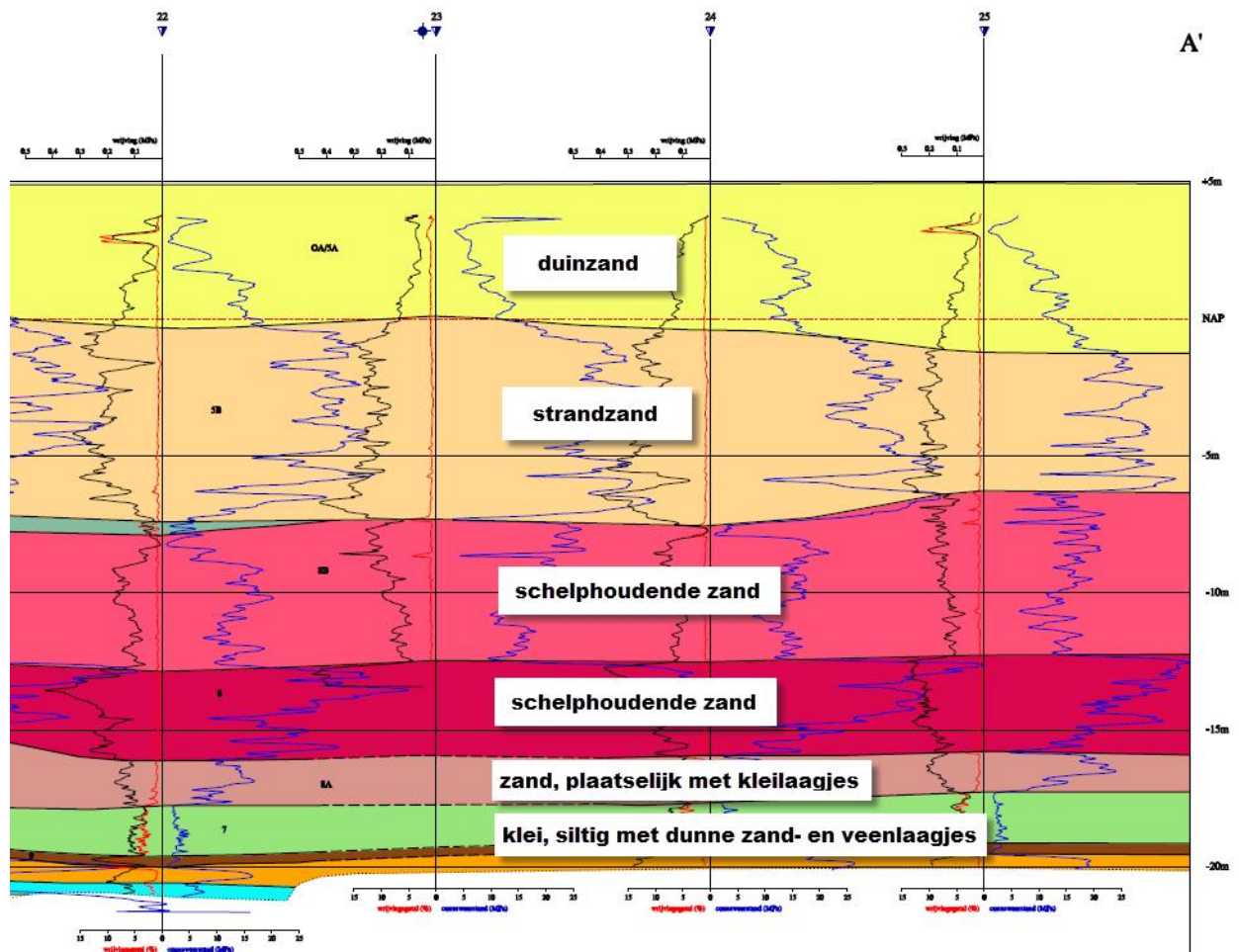
In geotechnisch profiel A-A' is de schelphoudende *Spisula* zandlaag aangegeven in lichtrood en donderrood (zie Figuur 6.6). De gelaagdheid geeft een uniform beeld; de betreffende zandlaag wordt aangetroffen tussen circa NAP – 7 m en circa NAP – 17 m. De daaronder liggende kleilaag gaat in oostelijke richting over in zandlaag met plaatselijk kleilaagjes. Tussen de *Spisula* zandlaag en de daarbovenliggende zandlaag komen plaatselijk dunne kleilaagjes voor.



Figuur 6.6 Geologisch profiel A-A' (legenda zie Figuur 6.7)

LITHOSTRATIGRAFISCHE LEGENDA				
OA	hoofdzakelijk zand	Antropogene gronden		HOLOCEEN
5A	zand vaak met schelpresten	Jonge en Oude Duin- en Strand- Zanden	WESTLAND - FORMATIE	
5B	zand met veel schelpresten			
6-8	zand met veel kleilaagjes	Afzettingen van Châlais		
8A	zand, plaatselijk met kleilaagjes			
8B	zand, plaatselijk met kleistukjes en schelpresten (cws vaak <20MPa)			
8	zand met weinig schelpresten (cws vaak >20MPa)			
7	klei, siltig met dunne zand- en veenlaagjes	Laag van Volzen		
9	veen	Basisveen		
22	zand, fijn	FORMATIE van TWENTE		
23A	klei, zandig tot zand, kleig met schelpresten	BEM-FORMATIE		
23B	zand vaak met schelpresten, enkel kleilaagje			
				PLEISTOCEN

Figuur 6.7 Legenda bij Figuur 6.6 en Figuur 6.8



Figuur 6.8 Deeluitsnede geologisch profiel A-A' (legenda: zie figuur 6.16)

6.4.3 Vergelijking geotechnische profielen

Uit de vergelijking van de geotechnische profielen blijkt dat de grondslag (sondeerbeeld en gelaagdheid) ter plaatse van het westelijke deel van de landtong vergelijkbaar zijn met die op het sluizencomplex.

6.5 Beschikbaar laboratoriumonderzoek

Ter vaststelling van het gedrag van met name de Spisula zandlaag is voor het ontwerp van de Nieuwe Zeesluis en uitgebreid laboratorium onderzoek uitgevoerd (zie Deltares rapport 1206941-005-GEO-0006). Voor het beoordelen van het gedrag van de Spisula zandlaag zijn de statische en cyclische triaxiaalproeven van belang.

6.5.1 Kritieke dichtheidsproeven

Er zijn 4 series proeven uitgevoerd als zogenaamde 'droge kritieke dichtheidsproeven'. Het doel van deze proeven is het bepalen bij welke dichtheid er bij schuifvorming geen contractie meer optreedt. Bij deze proeven wordt een zuiver deviatorisch spanningspad opgelegd, de isotrope spanning constant is gehouden. Dit wordt bereikt door de celspanning te laten afnemen als de verticale spanning toeneemt. Uit de resultaten is het mogelijk om een verband te leggen tussen de maximale verdichting bij afschuiven en het poriegehalte n van het monster.

Tabel 6.1 geeft een overzicht van de 4 proevenseries.

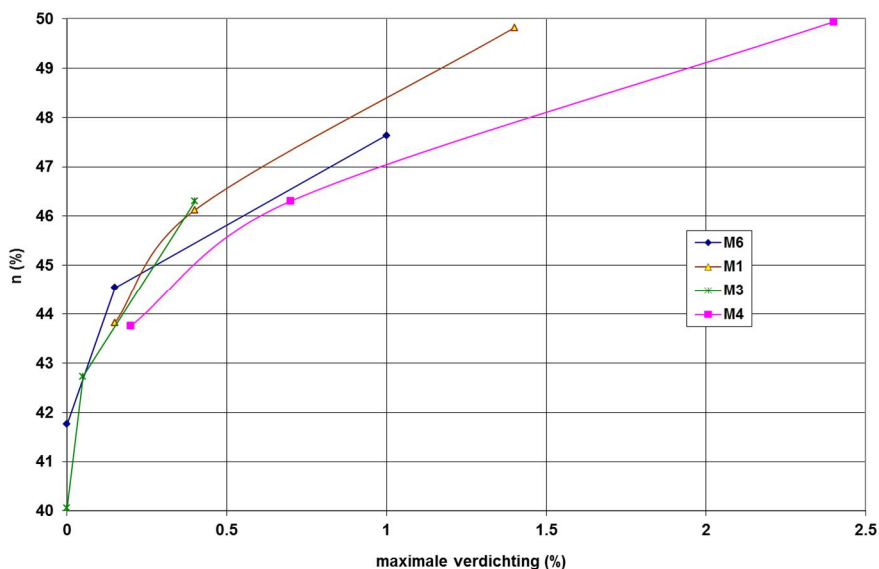
Serie (mengmonster)	Type 1)	Consolidatiespanning (celspanning) [kPa]
M1	CID	150
M3	CAD	120
M4	CID	90
M6	CAD	60

- 1) CID: isotroop geconsolideerde proef, gedraineerd
CAD: anisotroop geconsolideerde proef, gedraineerd

Tabel 6.1 Overzicht droge kritieke dichtheidsproeven

Figuur 6.9 toont het verband tussen porositeit en maximale verdichting. De curven neigen naar een kritiek poriëngehalte tussen 40 en 44 procent (de nullijn van de verdichting). De gekozen waarde hangt enigszins af van de gebruikte extrapolatie. Er is een zwakke tendens dat bij lager consolidatiespanningen de kritieke porositeit hoger wordt. Dit is in lijn met de bevindingen in [Lindenberg, Koning 1981]. Daar wordt ook gevonden dat de droge kritieke dichtheid een functie is van het spanningsniveau. Bij lagere spanningen wordt een hogere kritieke porositeit gevonden. De beschouwde spanningen in [Lindenberg Koning 1981] zijn 50 kPa, 30 kPa en 20 kPa. De voor het huidige project uitgevoerde testen zijn bij een hogere consolidatiespanning uitgevoerd.

Monster M3 vertoont nog enige verdichting bij $n = 42,7\%$. Bij lager waarden van het poriëngehalte wordt geen verdichting meer gemeten. Op basis van deze resultaten kan worden gesteld dat de beste schatting voor de droge kritieke dichtheid (poriëngehalte) 42% is.



Figuur 6.9 Relatie tussen maximale verdichting en poriëngehalte voor 4 mengmonsters

De minimum- en maximumdichtheid van dit mengmonster is niet bepaald. Uitgaande van de waarden voor andere monsters wordt voor het minimum en maximum poriëngehalte geschat

$n_{\min} = 0,36$ en $n_{\max} = 0,46$. Hieruit is de relatieve dichtheid van het mengmonster bepaald, zie Tabel 6.2.

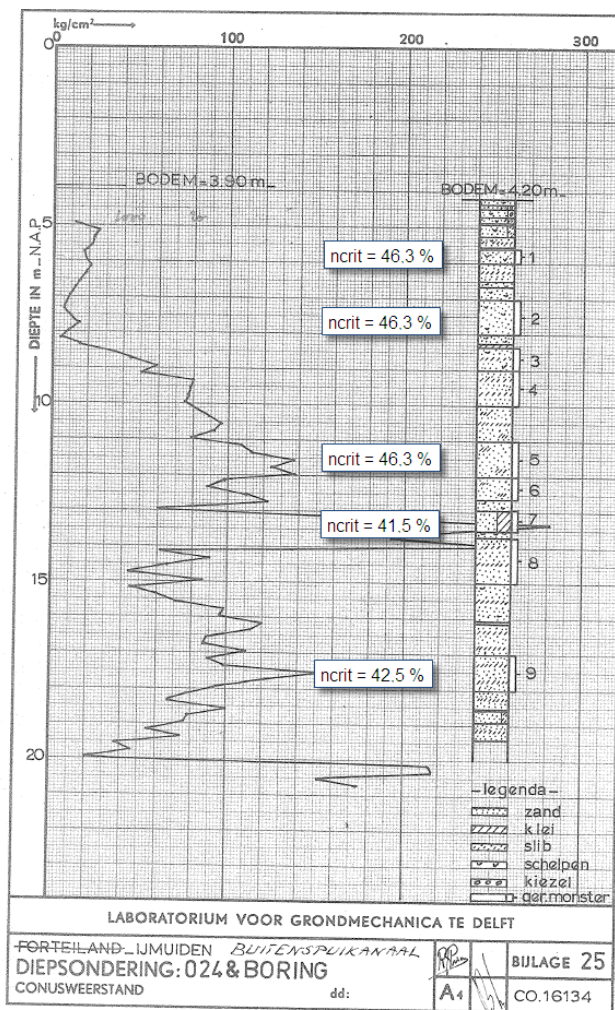
n_0	$n_{\min}$	$n_{\max}$	e_0	$e_{\min}$	$e_{\max}$	R_e
0.4	0.36	0.46	0.67	0.56	0.85	0.64
0.42	0.36	0.46	0.72	0.56	0.85	0.44

Tabel 6.2 Schatting relatieve dichtheid mengmonster

Eerder (1966) zijn kritieke dichtheden bepaald in het Buitenspuikanaal. Dit naar aanleiding van instabiliteiten van de oevers. Het veldonderzoek in de vorm van een boring met monsternamen en sonderingen is vanaf het water uitgevoerd. In Tabel 6.3 zijn de resultaten weergegeven. In Figuur 6.10 zijn in het sondeerbeeld de vastgestelde waarden n_{crit} op de betreffende diepte toegevoegd. Als het sondeerbeeld wordt vergeleken met latere sonderingen uit de omgeving dan is het aannemelijk dat de monsters nummers 7 en 9 met de n_{crit} -waarden van respectievelijk 41,5 % en 42,5% zijn bepaald in de Spisulahoudende zandlaag.

monster no.	poriëngehalte [%]			
	$n_{\min}$	$n_{\max}$	droge kritieke poriëngehalte	In-situ poriëngehalte
1	37,5	46,3	46,3	42
2	38,7	46,5	46,5	40
5	38,9	47,9	46,0	37
7	35,4	44,6	41,5	38
9	39,0	49,4	42,5	37

Tabel 6.3 Droge kritieke dichtheid Buiten Spuikanaal



Figuur 6.10 Sondering en boring 024 in Buitenspuikanaal; inclusief bepaalde n_{crit} -waarden

6.5.2 Cyclische proeven

Er zijn 9 gedraineerde en 11 ongedraineerde cyclische triaxiaalproeven uitgevoerd. Een deel van de proeven is uitgevoerd op intacte monsters (zogenaamde tube samples, hierbij wordt het zandmonster vanuit de bus direct in het triaxiaalapparaat geplaatst) en een deel op opgebouwde monsters. Tevens zijn proeven met een constante belastingamplitude en met een in stappen toenemende belastingamplitude uitgevoerd. De resultaten zijn vergeleken met predicties volgens eenvoudige modellen met gebruikelijke materiaalparameters. Daarbij zijn geen verschillen geconstateerd. Op basis van deze proeven kan dus niet worden geconcludeerd dat de betreffende zanden een ongewoon gedrag vertonen.

6.5.3 Eindconclusie uit grondonderzoek

In dit rapport worden niet de volledige resultaten van het uitgevoerde grondonderzoek voor de nieuwe zeesluis besproken. Daarvoor wordt naar de betreffende rapportages verwezen. De belangrijkste conclusies worden hier wel overgenomen. Er is op dit moment geen aanleiding te veronderstellen dat voor de landtong andere conclusies geldig zijn.

De resultaten van de laboratoriumproeven duiden niet op ongewoon grondgedrag. Alle resultaten van de cyclische proeven liggen binnen de gebruikelijke waarden.

Enigszins afwijkende aspecten uit de laboratoriumproeven zijn (niet alle proeven zijn in dit rapport opgenomen):

- De Spisula zandlaag heeft een vrij hoog kalkgehalte.
- De doorlatendheid is aan de lage kant.
- De minimum- en maximumporositeit zijn aan de hoge kant, maar liggen nog wel binnen de verwachtingsbreedte.
- Het droog volumegewicht van de Spisula laag ligt lager dan van de zandlaag daarboven, dit kan samenhangen met het hoge kalkgehalte.

Uit het terreinonderzoek volgen als conclusies:

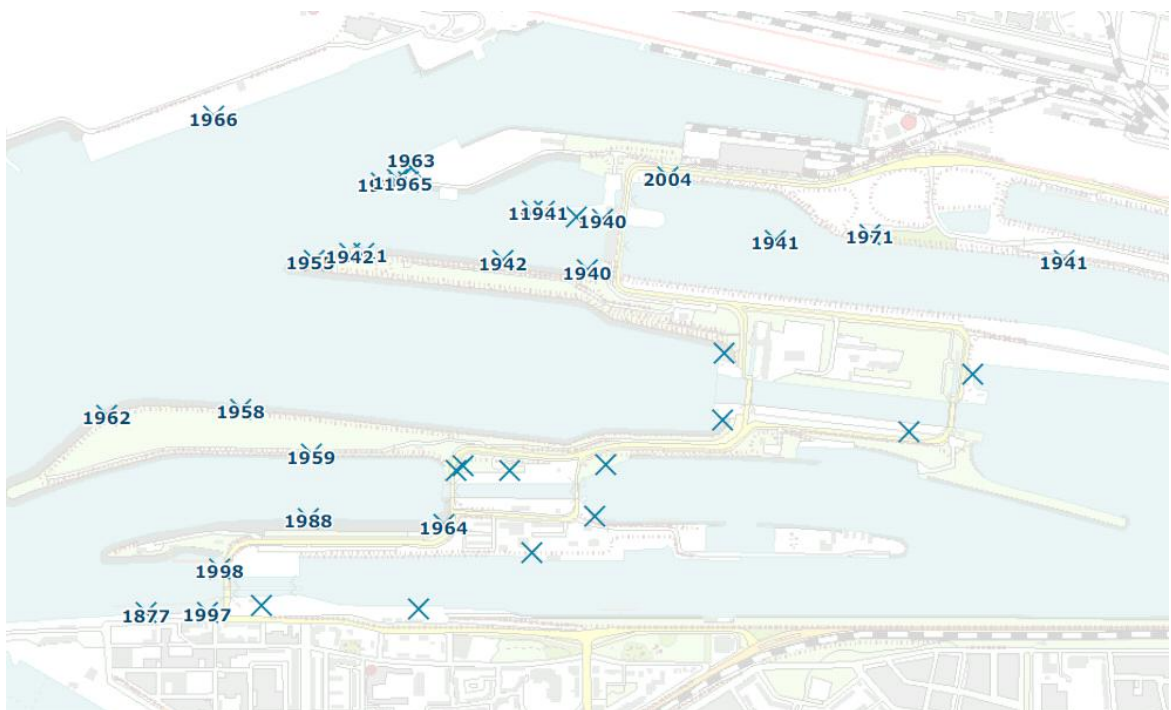
- De gemeten conusweerstand duiden niet op extreem los zand.
- De resultaten van de elektrische dichtheidsmeting moeten met enige terughoudendheid worden beschouwd.
- De conusweerstand van de Spisula laag is beduidend lager dan die van de laag daarboven.
- Als de gemeten conusweerstand wordt gecorrigeerd voor de voorbelasting volgen voor de beschouwde sondering voor de Spisula zandlaag waarden van de relatieve dichtheid van 30 à 40,5 en een state parameter in de buurt van $\psi = -0,05$; deze waarden corresponderen niet met de gemeten dichtheid uit de boringen.

7 Bestaande ervaringen zettingsvloeiingen sluizengebied IJmuiden

7.1 Overzicht vloeiingen sluizengebied

Er zijn diverse meldingen uit het verleden van opgetreden zettingsvloeiingen. In rapport 1206941-000-GEO-0002 worden deze vermeld. Volgens de bij Deltares beschikbare gegevens zijn er sinds 1940 ongeveer 30 opgetreden.

Het onderstaande overzicht komt uit rapport 1206941-000-GEO-0002.



Figuur 7.1 Overzicht bekende zettingsvloeiingen

Volgens de gegeven beschrijving in rapport 1206941-000-GEO-0002 zijn veel vloeiingen opgetreden tijdens baggerwerkzaamheden. Een beschrijving van de situatie bij iedere afzonderlijke vloeiing is echter niet beschikbaar. Aangegeven is dat de baggerwerkzaamheden in het algemeen werden uitgevoerd met een winzuiger. Het steile, door de gravende emmers veroorzaakte taludgedeelte was niet meer dan 1m hoog. De taluds waren matig steil (1:3) en niet zeer hoog. De vloeiingen traden op als de diepste emmer zich bevond op een niveau ergens tussen NAP -5 m en NAP – 11 m. Op die diepte bevindt zich juist het schelphoudende Spisula zand.

In het dossier van Deltares bevinden zich de profielen van de vloeiingen die in 1940, 1941 en 1942 in het buitenspuikanaal zijn opgetreden. Van de meeste vloeiingen is aangegeven dat zij tijdens het baggeren zijn opgetreden. Volgens de tekeningen was de snededikte 1 m. Bij vijf vloeiingen is tevens het tijdstip van de vloeiing, van laagwater en van hoogwater gegeven. In het onderstaande overzicht zijn de belangrijkste kenmerken van die vloeiingen samengevat.

- 28 november 1940: tijdstip vloeïing ongeveer 12.00 hr, laagwater op 11.30 hr en hoogwater op 14.05 hr; geen vermelding van baggerwerkzaamheden, eindtalud 5 à 10 graden
- 29 nov. 1940: tijdstip vloeïing ongeveer 13.00 hr, laagwater 12.35 hr, hoogwater 14.50 hr; geen vermelding baggerwerkzaamheden; eindtalud 5 à 10 graden
- 29 sept. 1941: tijdstip vloeïing ongeveer 11.30 hr, hoogwater 9.40 hr, laagwater 17.10 hr, emmerdiepte NAP – 6,4 m; eindtalud 10 à 20 graden
- 20 nov. 1941: tijdstip vloeïing 14.00 hr, laagwater op 11.20 hr en hoogwater op 15.45 hr; emmerdiepte NAP – 5,4 m; kuil in profiel
- 27 nov 1941: tijdstip vloeïing ongeveer 6.00 hr, laagwater 4.35 hr, hoogwater 9.50 hr; emmerdiepte niet duidelijk, eindtalud ongeveer 5 graden
- 20 dec. 941: emmerdiepte NAP – 7,4 m; eindtalud 5 à 10 graden
- 16 april 1942: emmerdiepte NAP – 11,4 m; eindtalud 10 graden
- 13 mei 1942: emmerdiepte NAP – 5,4 m; eindtalud 5 à 10 graden
- 20 mei 1942: emmerdiepte niet gegeven, eindtalud 15 graden
- Datum vloeïing niet gegeven (datum tekening 21 jan. 1941): oorzaak onbekend, eindtalud 10 à 20 graden.

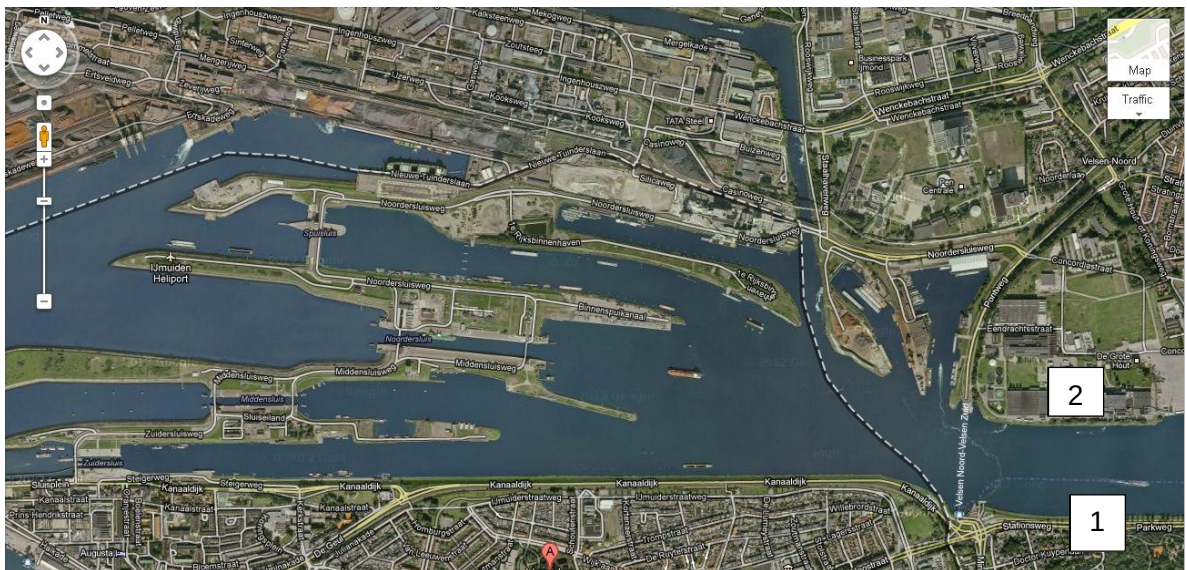
Opvallend is dat van de vijf vloeïingen waarvan het tijdstip bekend is er vier optraden tijdens opkomend water. Ook is volgens de tekeningen de inscharing bij deze vloeïingen klein. Uit de profielen is niet direct af te leiden of het een verwekingsvloeïing of een bresvloeïing is geweest.

In memo 1206941-000-GEO-0015, gedateerd 16 oktober 2012, (ook opgenomen als paragraaf 7.3.2 in rapport 1206941-001-GEO-002) wordt een overzicht gegeven van recente ervaringen ter plaatse. Specifiek van belang is de zettingsvloeïing uit 1971 (tussen locatie 3 en locatie 4), waarbij tijdens het heien van palen voor de pijlers van een noodbrug een zeer grote vloeïing optrad (orde 100.000 m³). Bij de renovatie van het gemaal (nabij locatie 2) is aan de noordzijde van de uitbreiding een zettingsvloeïing opgetreden; nadere details zijn niet bekend.

Voor de overige zettingvloeïingen van eerdere datum is bekend (rapport 1206941-000-GEO-0002) dat veel vloeïingen optraden tijdens baggerwerkzaamheden. Een beschrijving van de situatie bij iedere afzonderlijke vloeïing is echter niet beschikbaar. De vloeïingen traden op als de diepste emmer zich bevond op een niveau ergens tussen NAP -5 m en NAP – 11 m. Op die diepte bevindt zich schelphoudende Spisula zand.

In 1968 heeft zich ten oosten van het sluizencomplex aan de zuidkant van het kanaal (figuur 6.10, nummer [1] een grote zettingsvloeïing voorgedaan tijdens baggerwerkzaamheden bij de verbreding van het Noordzeekanaal, waarbij ca. 250.000 m³ grond het kanaal in schoof. De vloeïing trad snel op, na ca. 3 uur was de situatie weer stabiel. Door de vloeïing was de kanaalbodem dermate ondiep geworden dat de scheepvaart ca. een week gehinderd werd vanwege baggerwerkzaamheden.

In 1960 is er bij de firma Van Gelder ook een grote zettingsvloeïing opgetreden. Details van de werkzaamheden zijn niet bekend.



Figuur 7.2 Overzicht sluizencomplex IJmuiden met zettingvloeijing (2) bij Crown van Gelder en aan overzijde van het kanaal

Het beschikbare overzicht van opgetreden vloeiingen is niet compleet. Volgens recente (mondelijke) informatie van Rijkswaterstaat zijn er via oude krantenberichten meer vloeiingen te traceren.

7.2 Analyse ervaringen en conclusies

In veel gevallen trad de vloeijing op bij baggerwerkzaamheden op een niveau van circa NAP – 6 m. Dit is juist de overgang van het fijne zand naar het grovere schelphoudende zand (Spisula zand). Dit suggereert dat het Spisula zand verantwoordelijk is voor de vloeijing of dat juist de overgang van de twee lagen hiervoor verantwoordelijk is.

Verreweg het merendeel van de vloeiingen traden op in de westelijke helft van het complex (zeezijde). Dit is de zijde die onderhevig is aan getijdebewegingen. Het is bij Deltares niet bekend of de vloeiingen met name bij of rond laagwater optraden. Toch suggereren de waarnemingen wel dat er een verband is met relatief snelle waterstandswisselingen (getij) en de kans op een vloeijing. Vanuit de theorie van het ontstaan van zettingsvloeiingen is zo'n verband verklaarbaar. Als een van de mogelijke triggers voor een zettingsvloeijing wordt het uitstromen van grondwater gezien. Daarbij is een snelle val van het buitenwater ongunstig is. Een andere trigger is een lokaal steil talud. Bij baggerwerkzaamheden kunnen deze twee triggers samenvallen. Het voorgaande verklaart wel waarom er aan de zeezijde meer vloeiingen zijn opgetreden dan aan de kanaalzijde. Het verklaart nog niet waarom er bij het sluizencomplex zoveel vloeiingen optreden.

Bij de voorgaande conclusie is impliciet aangenomen dat er aan de zeezijden en de kanaalzijde van het sluizencomplex ongeveer evenveel werkzaamheden zijn verricht. Als aan de zeezijde beduidend meer werkzaamheden zijn verricht is dat ook een verklaring waarom daar meer vloeiingen zijn opgetreden. Een dergelijk inzicht ontbreekt momenteel.

Duidelijk is dat ook heien en trillen aanleiding kunnen geven tot een zettingsvloeijing. De effecten van deze werkzaamheden (wateroverspanningen en trillingen) zullen het sterkst zijn in de directe nabijheid van de werkzaamheden. Verontrustend is de melding dat in één geval de vloeijing op 40 m afstand ontstond. Het kan zijn dat deze vloeijing een andere oorzaak had

en toevallig samenviel met het intrillen van de damwanden of dat de vloeijing het gevolg is van het samenvallen van twee triggers. Om hierover een uitspraak te kunnen doen zou deze vloeijing nader geanalyseerd moeten worden.

Zoals besproken in hoofdstuk 4 wordt bij zettingsvloeiingen onderscheid gemaakt tussen verwekingsvloeiingen en bresvloeiingen. Een verwekingsvloeiing treedt typisch op in losgepakte zandlagen. Het proces vindt in korte tijd plaats en het eindtalud is flauw, in de orde van 1:10. Een bresvloeiing duurt langer. Zolang het bresproces zich onder water afspeelt is deze niet zichtbaar. Pas als de bres de waterlijn doorsnijdt wordt deze zichtbaar.. Er zijn echter geen meldingen van een zich ontwikkelende bres. De opmerking dat bij de vloeijing van 1968 (situatie [1] uit paragraaf 7.3.2 van rapport 1206941-001-GEO-0002) dat het proces 3 uur duurde is wel een indicatie dat er mogelijk sprake was van een bresvloeiing.

7.3 Conclusies uit ervaringen

De ervaring uit het verleden heeft duidelijk aangetoond dat het zand ter plaatse gevoelig is voor een zettingsvloeiing. Uit de beschrijvingen is niet op te maken of er sprake is van een verwekingsvloeiing of een bresvloeiing. Ook de beschikbare eindtaluds van de vloeiingen in het buitenspuikanaal geven hierover geen eenduidig beeld. De beste inschatting op dit moment is dat beide typen vloeiingen zijn voorgekomen, mogelijk in combinatie waarbij het ene type het andere type initieert.

Ten aanzien van de zandlagen en meer specifiek de schelphoudende (*Spisula*) zandlaag kan worden gesteld dat op basis van het uitgevoerde grondonderzoek niet eenduidig kan worden geconcludeerd dat er sprake is van extreem losgepakt en verwekingsgevoelig zand. Het optreden van verwekingsvloeiing als mechanisme kan echter niet worden uitgesloten. De fijnheid van de zandlagen geeft aan dat deze gevoelig zijn voor het ontstaan van bresvloeiingen, dit op zich een trigger kunnen zijn voor een zettingsvloeiing.

8 Beoordeling risico's (kwalitatief)

8.1 Algemeen

De taluds zijn ongeveer 1:3. De hoogte varieert van enige meters tot 18 m. Bij deze taluds zijn in los zand zettingsvloeiingen zeker mogelijk. Op basis van de geometrie is een vloeijing niet uit te sluiten. De ervaring in het verleden heeft geleerd dat er inderdaad vloeiingen kunnen optreden.

Aan de zijde van het Noordzeekanaal lijkt de grondwaterstand in de landtong weinig af te wijken van het kanaalpeil. Dit betekent dat het verhang in het talud daar geen extra bijdrage aan het risico op een vloeijing geeft. Aan de buitwaterzijde kan er wel een groot verschil in grondwaterstand en buitenwaterstand zijn. Dit verhang vormt een extra schuifspanning en kan daardoor het risico op een vloeijing vergroten.

In het algemeen kan worden gesteld dat het risico op een zettingsvloeiing door de windturbines afneemt als de afstand tot het talud toeneemt. De reden daarvan is dat de trillingsamplitude afneemt bij toenemende afstand. Op dit moment is nog niet aan te geven wat een 'veilige' afstand is.

8.2 Bouwfase windturbines

Voor de bouwfase zijn de volgende deelfasen te onderscheiden:

- Installatie paalfundering.
- Stellen bekisting fundatieplaat, stellen wapening en storten beton.
- Installatie windturbine (inhijzen mast, gondel en wieken).

Hierna worden deze bouwfasen kort besproken met het oog op het risico van het ontstaan van een zettingsvloeiing. Tevens wordt een kwalitatieve inschatting van het risico gegeven. In een vervolgstudie zal deze inschatting concreet moeten worden gemaakt en vergeleken met een toetscriterium.

Installatie paalfundering

Voor de bouw van de windturbines zullen palen geplaatst moeten worden. Voor het type palen zijn er verschillende opties. Het heien van prefab betonpalen heeft vanuit kosten oogpunt de voorkeur. Bij het heien ontstaan echter trillingen en wateroverspanning. Beiden kunnen fungeren als een trigger voor een zettingsvloeiing.

Om het risico op het ontstaan van een zettingsvloeiing te beoordelen is een indicatie van de gevolgen van het heien (wateroverspanning, trillingen bij het talud) nodig.

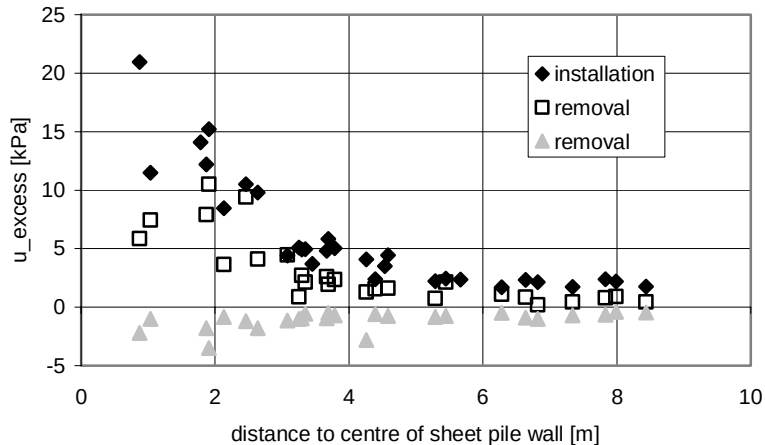
Tijdens de studie voor de nieuwe zeesluis IJmuiden is een schatting gemaakt van de mogelijke trillingen bij het talud bij het heien van een vibropaal 560/610 (Deltares rapport 1206941-000-GEO-0046). De geschatte trillingsamplitude op 5 m afstand was 22 mm/s. De geschatte afstand tot de waterlijn bij de windturbines langs het binnen spuikanaal is 18 m. Hieruit volgt als eerste schatting voor de trillingsamplitude bij het talud $v = 12 \text{ mm/s}$. Als vervolgens wordt verondersteld dat de frequentie 10Hz is volgt hieruit een piekversnelling van $0,7 \text{ m/s}^2$. Deze versnelling is dusdanig dat niet op voorhand is te stellen dat deze een verwaarloosbare invloed op het risico van ontstaan van een zettingsvloeiing heeft.

Naast het triggeren van een zettingsvloeiing door trillingen kan de zettingsvloeiing ook getriggerd worden door het ontstaan van wateroverspanningen tijdens het heien.

Uit metingen bij het intrillen van damwanden (o.a. damwandproef Raamsdonksveer, zie [Meijers 2007]) is gebleken dat de zone met wateroverspanning beperkt is tot ongeveer 5 à 10 m uit de damwand. Daarbuiten is de toename van de wateroverspanning minder dan 5 kPa, zie figuur 8.1. Gemeten is 2 kPa tijdens het installeren, met nauwelijks een afname met de afstand. Voor het heien van palen wordt een vergelijkbare invloedszone verwacht. Deze wateroverspanning zal een beperkt verhang in het talud geven.

De verwachting is dat door getijdewerking er ook verhangen in het talud optreden, waarbij geen vloeiingen ontstaan. In deze fase van het onderzoek is de grootte van het verhang en het effect daarvan op het ontstaan van een vloeiing niet nader onderzocht. Wel kan worden geconcludeerd dat een beperkt verhang geen vloeiing zal veroorzaken. De verwachting is dus dat de wateroverspanning tijdens het heien van de palen slecht een marginale invloed heeft op het ontstaan van een zettingsvloeiing. Dit aspect zal in de vervolgfase nader gekwantificeerd moeten worden. Overigens is er een eenvoudige mitigerende maatregel, namelijk het tijdelijk installeren van een bemaling in het talud.

Een indirect risico is nog wel dat door het ontstaan van de wateroverspanningen er elders in het talud een toename van de schuifspanningen ontstaat die op zijn beurt de trigger voor de zettingsvloeiing wordt.



Figuur 8.1 Extremen waarden gemeten wateroverspanning als functie van de afstand tot de damwand, damwandproef Raamsdonksveer [Meijers 2007]

Indien de risico's tijdens het heien als te groot worden beoordeeld moet worden overgegaan op een paalsysteem dat trillingsvrij kan worden aangebracht. Daarbij kan worden gedacht aan boorpalen of schroefpalen. Tijdens extremen windbelasting kan er mogelijk trek ontstaan in de palen, met dit aspect moet bij de keuze van het paaltype rekening worden gehouden. Indien de palen na het einde van de levensduur van de windmolens moeten kunnen worden verwijderd zal hiermee ook bij de keuze van het paaltype rekening moeten worden gehouden.

Bouw voetplaat

Het maken van de voetplaat (bekisting stellen, wapening vlechten, beton storten en verdichten) heeft naar verwachting weinig trillingen tot gevolg. Daarom wordt verwacht dat deze bouwfase geen gevolgen heeft voor het risico op een zettingsvloeiing.

Installatie windturbine

Bij de bouw van de mast, plaatsen gondel en monteren wieken wordt met een zware kraan gewerkt. Het gewicht van de kraan, inclusief ballast, zal in de orde van 300 ton liggen. Als een telescoopkraan wordt gebruikt, wordt deze afgestempeld op 4 stempels. Dit betekent dat er plaatselijk een hoge bovenbelasting over een beperkt oppervlak op het talud wordt geplaatst. Door deze bovenbelasting nemen de schuifspanningen in het talud toe, wat een trigger kan zijn voor het ontstaan van een zettingsvloeiing.

Een alternatief voor het gebruik van een mobiele kraan is het gebruik van drijvend materieel (drijvende bokken e.d.). Als ook de onderdelen van de windturbine over water worden aangevoerd is er geen sprake van een bovenbelasting op de landtong.

Een aandachtspunt is nog wel een mogelijke calamiteit tijdens de bouw, bijvoorbeeld het omvallen van een kraan of het losraken van een wiek of gondel tijdens het installeren.

8.3 Bedrijfsfase windturbines

Tijdens de bedrijfsfase worden door de dynamische belasting trillingen in de ondergrond opgewekt. Het verschil met de bouwfase is dat nu alle palen tegelijk worden belast, terwijl bij de bouwfase de palen per stuk worden geïnstalleerd.

Met een sterk vereenvoudigd model en een eerste schatting van de diverse parameters is een afschatting gemaakt van de grondresponsie op 20 m uit het hart van de molenfundatie. Het resultaat was een snelheidsamplitude van 1 mm/s.

Het betreft hier een sterk vereenvoudigde benadering en de gebruikte belasting is onzeker. In een vervolgstap zal overleg met de leverancier van de windturbines nodig zijn om de meer zekerheid te krijgen over de te hanteren dynamische belasting bij dit type berekeningen.

De voorlopige conclusie is dat uit deze eenvoudige analyse volgt dat de bedrijfsfase waarschijnlijk niet problematisch is. Een vervolgstap is zeker zinvol. Bij die vervolgstap moet tevens de situatie bij maatgevend hoogwater en maatgevend laagwater worden beschouwd.

8.4 Calamiteiten windturbines

Bij calamiteiten kan worden gedacht aan het losraken van een wiek (voor een voorbeeld zie Figuur 8.2), het losraken van de gondel of het omvallen (afbreken) van de mast. Bij losraken van een wiek of gondel zal deze met grote snelheid het talud raken. Of dit een zettingsvloeiing kan veroorzaken is niet eenvoudig aan te geven. De verwachting is wel dat, mocht dit onverhoopt gebeuren, het risico op het ontstaan van een vloeiing groter is dan tijdens het heien van de palen.

Een ander type calamiteit is brand. Deze geeft geen belasting op het talud en is daarmee niet relevant voor het risico op een zettingsvloeiing.



Figuur 8.2 Losgeslagen wiek op A6, 27 mei 2009, bron: <http://nos.nl/artikel/88415-meterslange-windturbinewiek-op-a6-door-noodweer.html>

8.5 Verwijderingsfase windturbines

Voor de fase van verwijderen van de windturbines zijn de maatgevende belastingen het plaatsen van een zware hijskraan op het terrein, ten behoeve van de ontmanteling van wieken en mast, en het verwijderen van de funderingspalen.

De hijskraan zal van vergelijkbare afmetingen zijn als die gebruikt is tijdens het installeren van de windmolens. Deze situatie wijkt dus niet af van de installatiefase en behoeft daarom niet apart te worden beschouwd.

Het verwijderen van de palen kan wel een groter risico op het ontstaan van een zettingsvloeiing geven. Statisch trekken is waarschijnlijk niet mogelijk, zodat hierbij getrild moet worden. In de eerste fase van het trillen, als de paal moet worden 'losgetrild', is de verwachting dat het trillingsniveau hoger is dan tijdens het trillend op diepte brengen van de palen. Dit is dus een aandachtspunt. Daarnaast betekent het verwijderen van de palen ook dat er een gat ontstaat wat moet worden opgevuld.

Vanuit het oogpunt van risico's heeft het achterlaten van de paalfundering bij de ontmantelingsfase de voorkeur. Wel betekent dit dat er constructies in de grond achterblijven waarmee bij later gebruik van het terrein rekening moet worden gehouden. Indien de paalfundering in het gedeelte van de hoogwaterkering zit betekent dit tevens dat daarmee bij de verplichte 12-jaarlijkse toetsing van de waterkeringen rekening moet worden gehouden.

8.6 Consequenties vloeiing

Bij windturbine 2 (de tweede windturbine gerekend vanaf de zeezijde) zal er direct sprake zijn van schade omdat hier de molen in feite in de waterkering staat. Bij molen 3 (de derde windturbine gerekend vanaf de zeezijde) ligt de beschermingszone van de hoogwaterkering achter de molen. Beschadiging van de waterkering treedt pas op als de inscharing bij een vloeiing voldoende groot is om deze waterkering te bereiken.

Bij de molens 1, 4 en 5 is er bij een vloeiing sprake van beschadiging van de tussendam en van verontdieping van de het spuikanaal en/of de havens. Gezien de beperkte diepte van de

binnenhaven wordt het niet waarschijnlijk geacht dat een eventuele vloeijing aan deze zijde zal optreden.

Windturbine 6 (terrein Crown van Gelder) ligt op ruime een afstand van het buitenwater (100 m van het Noordzeekanaal en 80 m van de 3e Rijksbinnenhaven).

8.7 Slotopmerking

In dit hoofdstuk is een kwalitatieve inschatting gemaakt van de kans op een vloeijing. Dit is gebaseerd op huidige inzichten, ervaringen bij andere projecten en inschattingen.

Bij een vervolgfase dient deze inschatting met berekeningen nader te worden onderbouwd dan wel te worden bijgesteld.

9 Aanbevelingen aanvullend grondonderzoek

Aanbevolen wordt om op alle windturbinelocaties aanvullend grondonderzoek en laboratoriumonderzoek uit te voeren.

1. Meting stijghoogte

Installatie van 4 peilbuizen met meting van de stijghoogte op verschillende diepten. Als plaats van de peilbuizen wordt aanbevolen:

- Midden landtong Buitenspuikanaal.
- Nabij voorziene plaats windturbine 2.
- landtong Binnenspuikanaal, nabij voorziene plaats windturbine 3.
- Ter plaatse windturbine 6.

Per peilbuis moet op verschillende diepten de stijghoogte worden gemeten. Omdat een langdurende meetreeks belangrijk is voor de interpretatie dienen deze metingen zo snel mogelijk te starten. Gelijktijdig dient ook de waterstand te worden gemeten, zodat een relatie tussen de grondwaterstand en waterstand van het open water gelegd kan worden.

2. Sonderingen

Ter plaatse van de windturbines zijn nu geen sonderingen beschikbaar. Aanbevolen wordt om voor de vervolgfase per windturbine 1 sondering tot een diepte van NAP – 30 m uit te voeren. De sondering moet worden uitgevoerd met meting van de waterspanning en kleef. Voor het bepalen van het risico op verweking is een sondering tot NAP – 20 m voldoende, maar met het oog op het ontwerpen van de paalfundering wordt een diepte van NAP – 30 m aanbevolen.

Als besloten wordt tot de bouw van de windturbines moeten mogelijk extra sonderingen worden uitgevoerd ter vaststelling van de lokale variatie in grondopbouw. Aanbevolen wordt om hiertoe pas te besluiten als meer inzicht in de definitieve plaats en het te kiezen funderingstype beschikbaar is.

3. Meting van schuifgolfsnelheden met seismische conus

Voor de dynamische analyse van de windturbines (gebruiksfase) is informatie over de dynamische (kleine rek) stijfheid van de grond nodig. Aanbevolen wordt om deze meting uit te voeren als meer inzicht in de definitieve plaats en het te kiezen funderingstype beschikbaar is.

4. Meting (relatieve) dichtheid

Een belangrijke parameter is de (relatieve) dichtheid van het zand. Voor de in-situ bepaling hiervan komt eigenlijk alleen de elektrische dichtheidsmeting in aanmerking. Aanbevolen wordt om deze meting op een beperkt aantal plaatsen uit te voeren. De exacte plaats zal later bepaald moeten worden als meer inzicht is verkregen in de meest in aanmerking komende plaatsen voor een windturbine en de variatie in de lokale grondopbouw.

5. Boring met monsternamen over de gehele hoogte met gedrukte bussen

Per windturbinelocatie 1 boring in hart van de funderingsplaat. Gedrukte dunwandige Delftse bussen met diameter 66 mm inwendig. Bussen *niet* voorzien van core catcher in de schelphoudende Spisula zandlaag. Boordiepte tot NAP -20 m. In verband met uitdrukken van de monsters in het laboratorium de monsterbussen *niet verzegelen* met ingegoten parafine was o.i.d. In verband met minimaliseren monsterverstoring de bussen schokvrij en trillingsarm transporteren naar het laboratorium.

6. Laboratoriumonderzoek

Aanbevolen wordt om het laboratoriumonderzoek te definiëren na uitvoering van de volgende fasen. Op deze wijze kan het laboratoriumonderzoek optimaal worden afgestemd op de dan geconstateerde onzekerheden.

10 Conclusies en aanbevelingen

10.1 Conclusies, algemeen

Op het terrein van de zeesluizen IJmuiden zijn in het verleden diverse zettingsvloeiingen ontstaan. In een aantal gevallen was de oorzaak waarschijnlijk baggerwerkzaamheden, maar niet in alle gevallen is de oorzaak bekend.

Als verwekingsgevoelige laag wordt de Spisula-laag gezien. Door Deltares is in een eerder project het risico op een zettingsvloeiing bij de bouw van de nieuwe zeesluis onderzocht. Uit de vergelijking van de beschikbare grondgegevens over de grondopbouw bij de landtong met die bij de nieuwe zeesluis volgt dat deze vergelijkbaar zijn. Voor de beoordeling van het risico op het ontstaan van een zettingsvloeiing kan dus van die gegevens gebruik worden gemaakt.

Voor het ontstaan van een vloeiing is een zogenaamde 'trigger' nodig. De trillingen tijdens de bouwfase of de bedrijfsfase van de windturbines kunnen deze 'trigger' vormen. Op basis van een eerste, kwalitatieve, inschatting wordt verwacht dat tijdens de bouwfase het risico op het ontstaan van een zettingsvloeiing voldoende klein kan worden door een aangepaste uitvoeringsmethode. In een vervolgstudie zal moeten worden onderzocht of deze aangepaste uitvoeringsmethode inderdaad voldoende veilig is en of een standaard bouwmethode op zich al een voldoende kans op het ontstaan van een zettingsvloeiing geeft. Voor de bedrijfsfase is de inschatting dat de trillingen voldoende klein zijn. Deze inschatting moet in een vervolgstudie nader onderbouwd worden.

Op basis van een eerste, kwalitatieve, inschatting wordt geconcludeerd:

- T.a.v het risico van zettingsvloeiingen geïnitieerd door het heien van palen:
Het trillingsniveau is zodanig dat dit niet uitgesloten kan worden. De gegenereerde waterspanningen lijken geen probleem. Nadere analyse is wenselijk. Anders moet worden uitgeweken naar een trillingsarm systeem.
- T.a.v. het risico van zettingsvloeiingen geïnitieerd door het standaard gebruik:
Het trillingsniveau is zo laag, dat hier geen risico van zettingsvloeiingen door ontstaat.

10.2 Conclusies, per windturbine

In het algemeen kan worden gesteld dat het risico op een zettingsvloeiing door de windturbines afneemt als de afstand tot het talud toeneemt.

De molens 1, 2, 4 en 5 zijn in het midden van de landtong geprojecteerd. Omdat deze molens in het midden van de landtong staan is de afstand tot het talud voor deze molens niet te verkleinen. Wel wordt voor windturbine 4 en 5 het risico op een zettingsvloeiing aan de zijde van de 1^e Rijksbinnenhaven kleiner geacht dan aan de zijde van het Buitenspuikanaal. Hier is mogelijk dus nog enige optimalisatie mogelijk door de windturbine richting 1^e Rijksbinnenhaven te verschuiven.

Windturbine 2 is gepland in de kernzone van de hoogwaterkering. Vanuit de beheerder zullen extra eisen worden gesteld aan het ontwerp. Welke dat zijn is op dit moment nog niet aan te geven.

Bij windturbine 3 lijkt er wel ruimte voor enige verplaatsing, maar vormt de beschermingszone van de hoogwaterkering mogelijk een beperking.

Windturbine 6 staat al op grote afstand van het water, zodat hier de kans op het ontstaan van een verwekingsvloeiing om die reden al klein wordt geacht.

10.3 Aanbevelingen

De gemaakte kwalitatieve kans op het ontstaan van een zettingsvloeiing tijdens de bouwfase of de bedrijfsfase is gebaseerd op engineering judgement. Aanbevolen wordt om deze conclusies door middel van berekeningen te onderbouwen.

Tevens wordt aanbevolen dat voor deze berekeningen meer gegevens over de huidige staat van de taluds, inclusief de onderwatertaluds, beschikbaar komen.

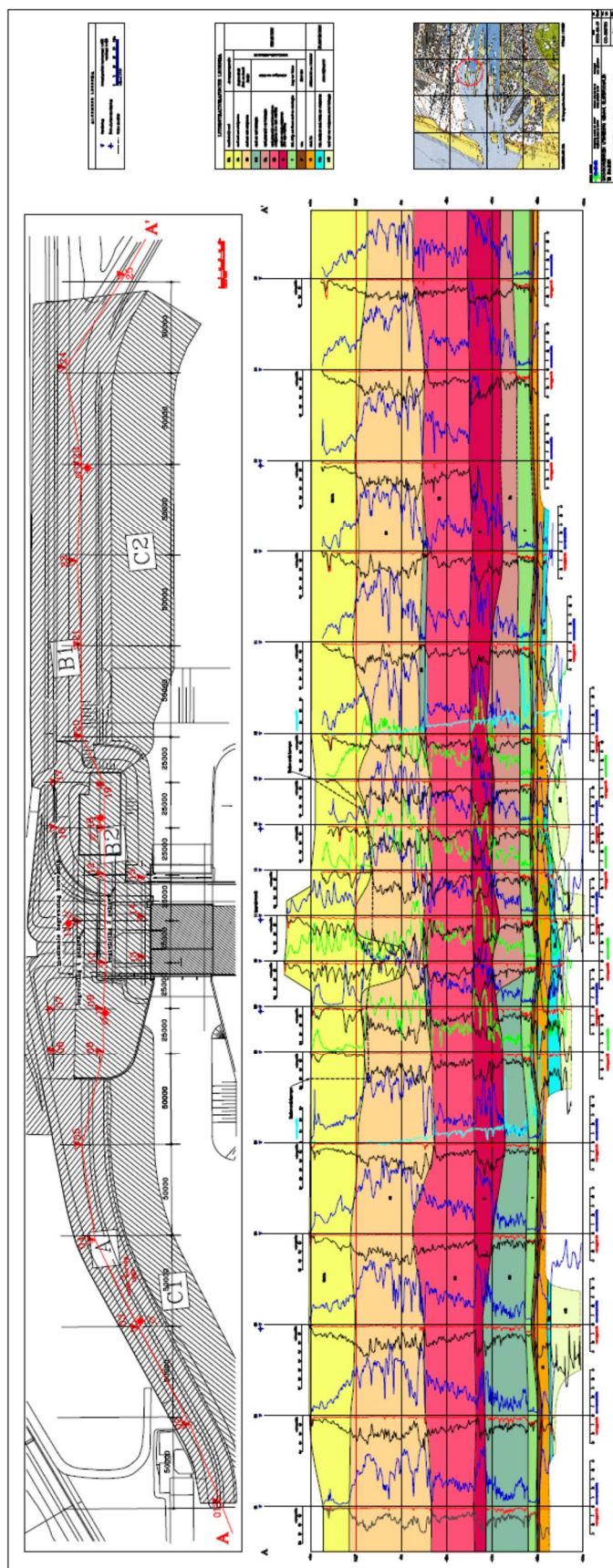
Er zijn aanbevelingen voor aanvullend grondonderzoek opgesteld.

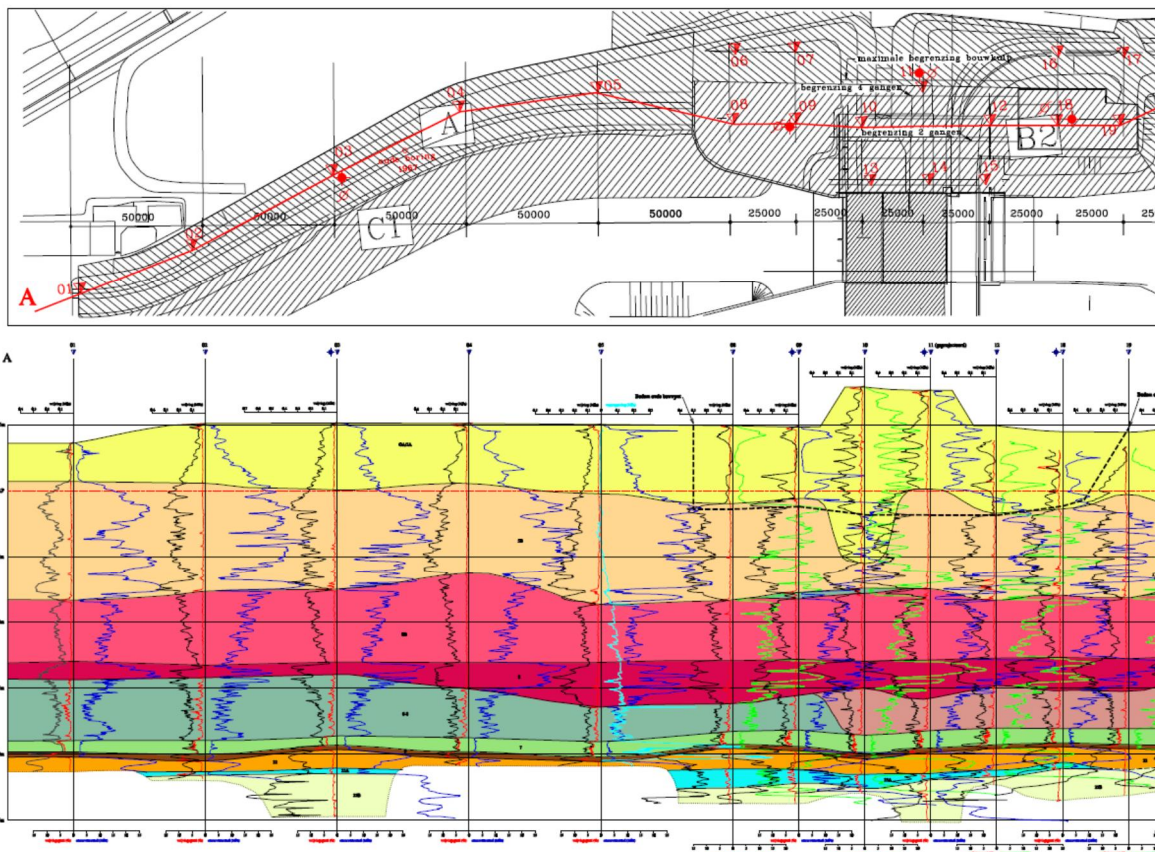
Op dit moment ontbreken gegevens over de stijghoogte in de landtong. Aanbevolen wordt om zo snel mogelijk te starten met het meten van de stijghoogte op 4 locaties.

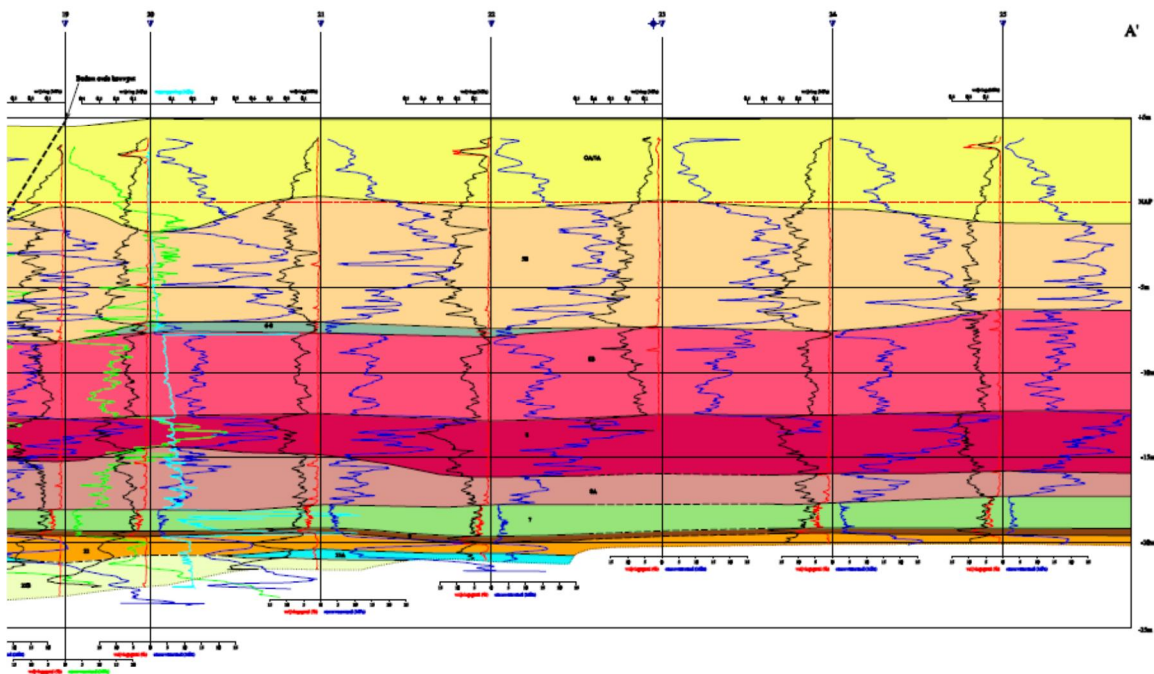
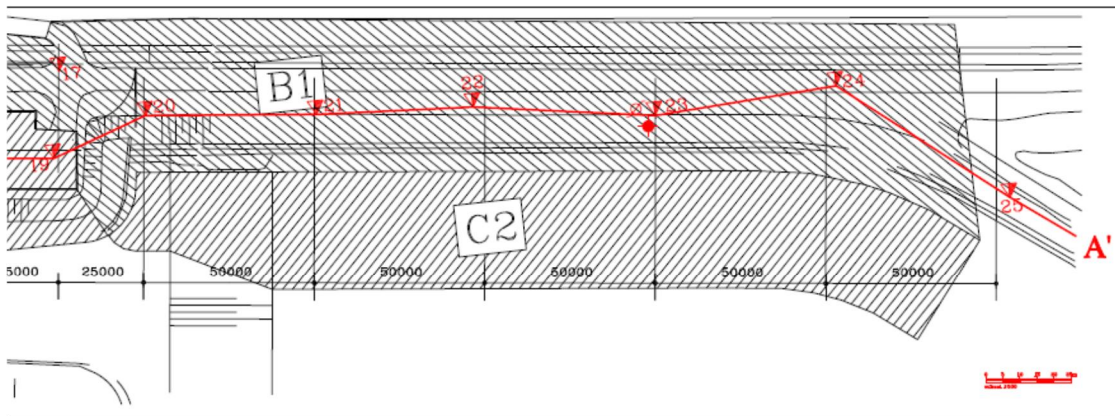
Aanbevolen wordt om voor de tweede fase minimaal 1 sondering per windturbinelocatie uit te voeren tot een diepte van minimaal NAP – 30 m.

Voor de definitieve ontwerpfase is een uitgebreider grondonderzoek nodig. Een aantal aanbevelingen zijn gegeven. Aanbevolen wordt om de invulling hiervan in samenspraak met de ontwerper en leverancier van de windturbines op te zetten, zodat de resultaten ook voor het funderingsontwerp bruikbaar zijn.

A Geotechnisch profiel







ALGEMENE LEGENDA		
	Sondering	Schaal profiel: horizontaal 1:500 vertikaal 1:100  schaal 1:500
	Puls-/Ackermannboring	
---	Grens onzeker	

LITHOSTRATIGRAFISCHE LEGENDA				
OA	hoofdzakelijk zand	Antropogene gronden		HOLOCEEN
5A	zand vaak met schelpresten	Jonge en Oude Duin- en Strand- Zanden	WESTLAND - FORMATIE	
5B	zand met veel schelpresten			
6-8	zand met veel kleilaagjes	Afzettingen van Calais		
8A	zand, plaatselijk met kleilaagjes			
8B	zand, plaatselijk met kleistukjes en schelpresten (cws vaak <20MPa)			
8	zand met weinig schelpresten (cws vaak >20MPa)			
7	klei, siltig met dunne zand- en veenlaagjes	Laag van Velzen		
9	veen	Basisveen		
22	zand, fijn	FORMATIE van TWENTE		PLEISTOCEEN
23A	klei, zandig tot zand, kleilig met schelpresten	EEM-FORMATIE		
23B	zand vaak met schelpresten, enkel kleilaagje			

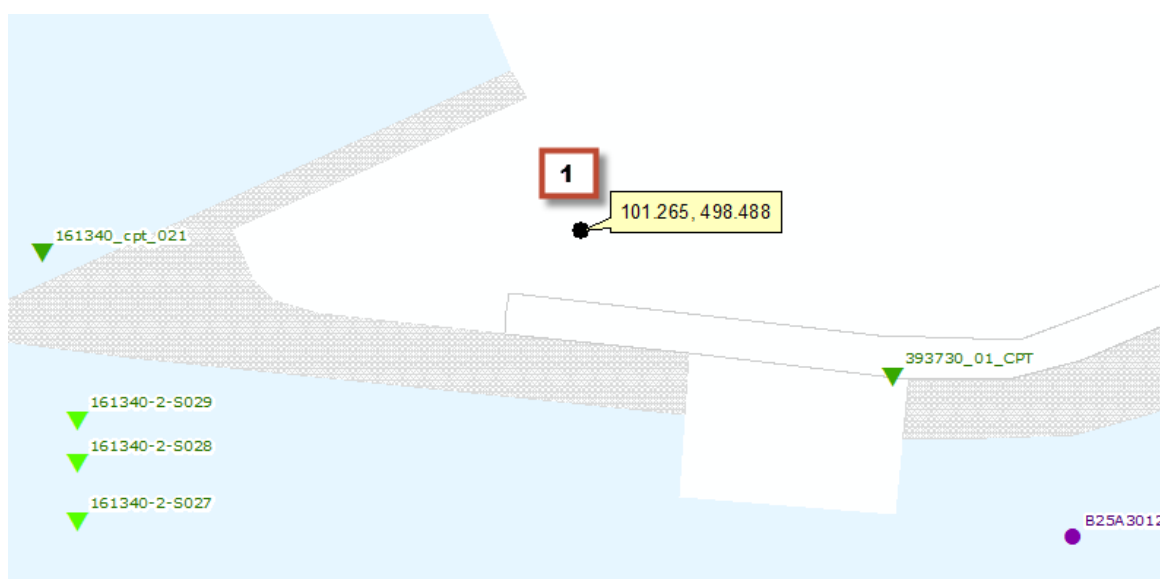
B Beschikbaar grondonderzoek ter plaatse van de windturbines

In de volgende paragrafen worden per windturbine de beschikbare sonderingen en boringen gepresenteerd.

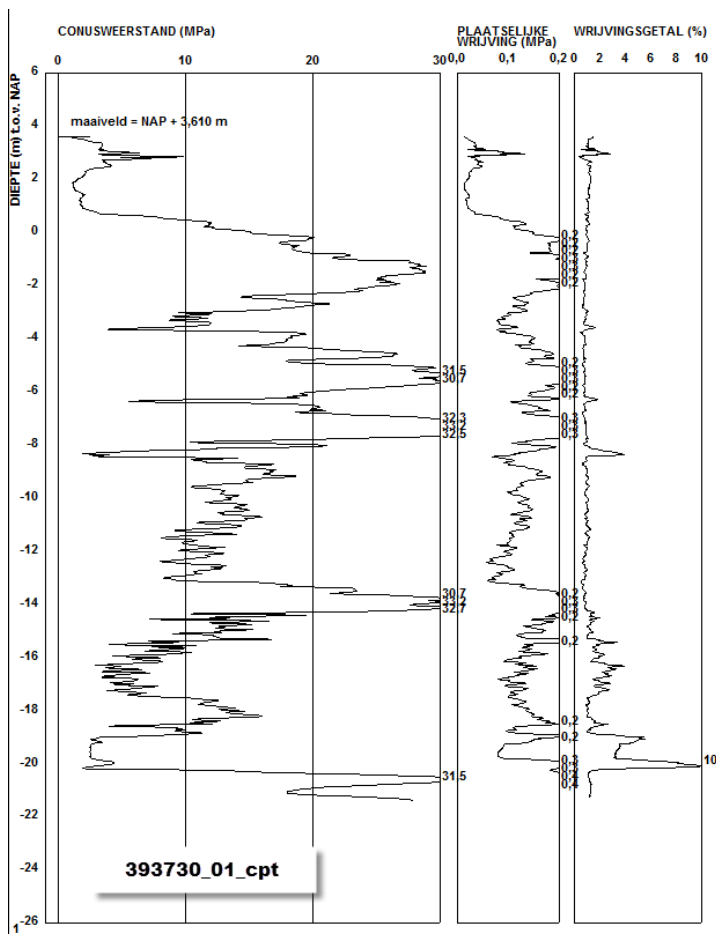
B.1 Windturbine 1

Voor locatie 1 zijn sonderingen 393730_01_cpt en 161340_cpt_021 beschikbaar; zie figuren 6.19 en 6.20.

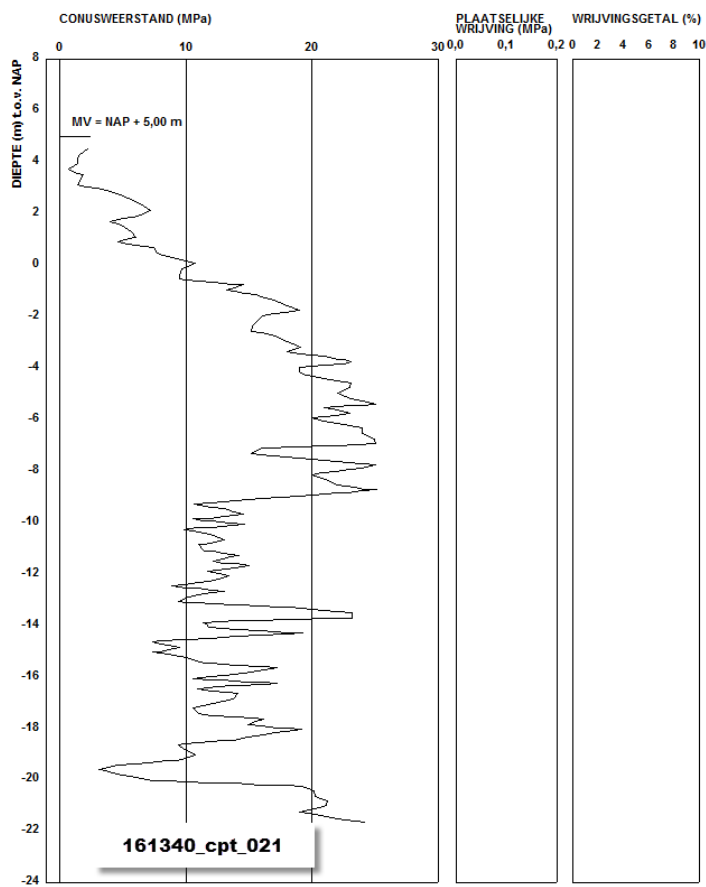
De schelphoudende Spisula zandlaag wordt aangetroffen tussen circa NAP – 8 m / NAP – 14 m en NAP – 16 m / NAP – 18 m.



Figuur B.1 Locatie windturbine 1



Figuur B.2 Sondering 393730_01_cpt

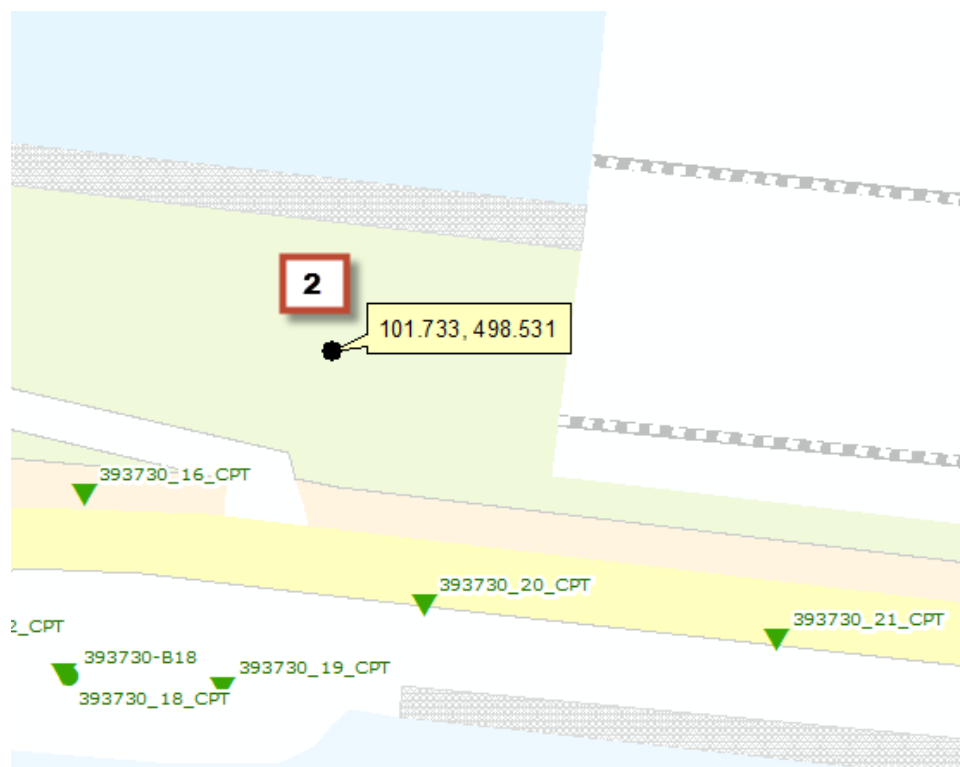


Figuur B.3 Sondering 161340_cpt_021

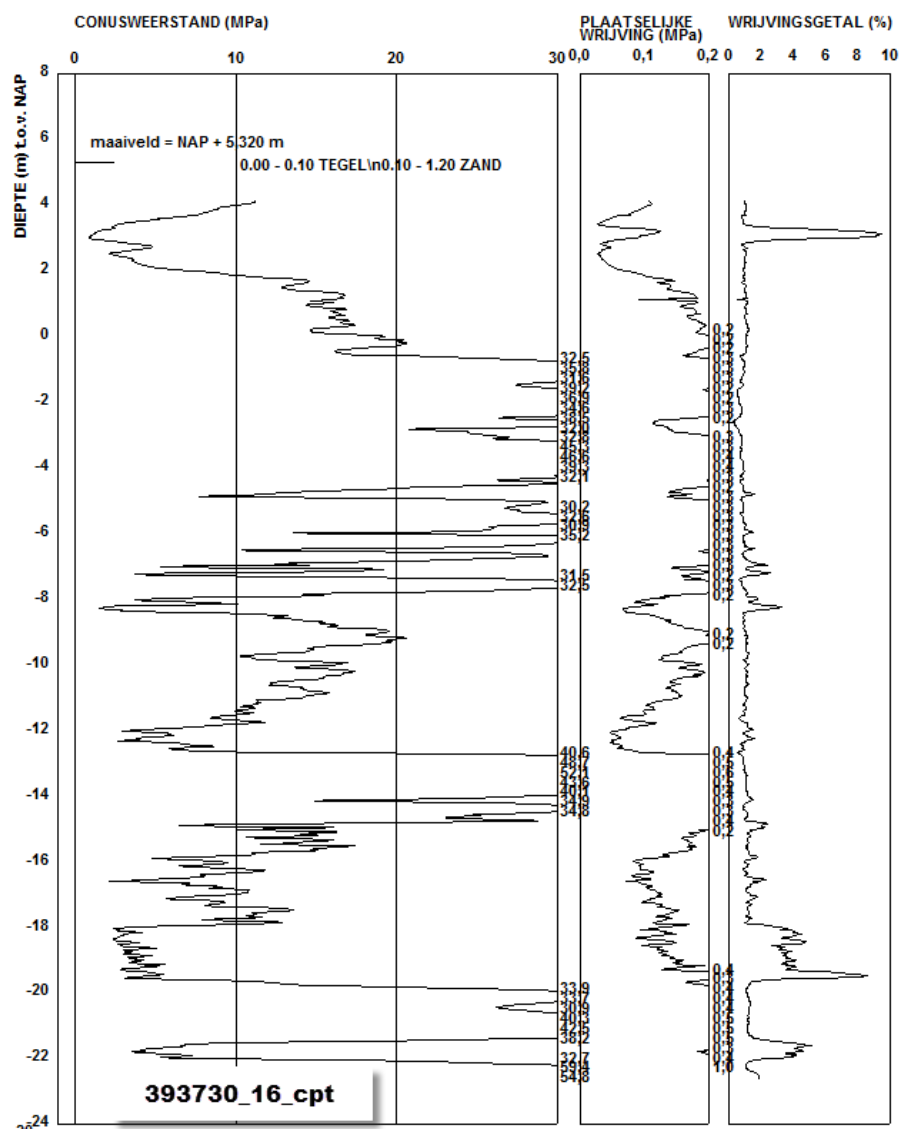
B.2 Windturbine 2

Voor locatie zijn sonderingen 393730_16_cpt en 393730_20_cpt beschikbaar; zie figuren 6.22 en 6.23.

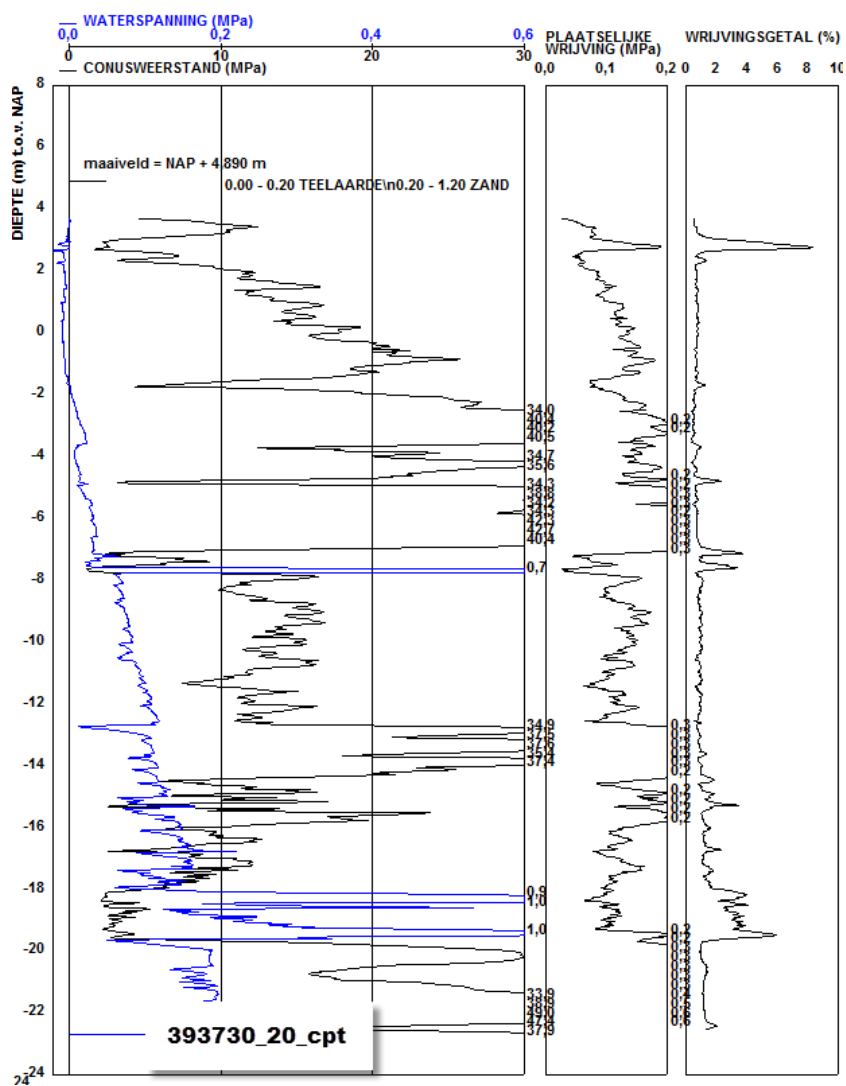
De schelphoudende Spisula zandlaag wordt aangetroffen tussen circa NAP – 8 m en NAP – 16 m / NAP – 18 m.



Figuur B.4 Locatie windturbine 2



Figuur B.5 Sondering 393730_16_cpt



Figuur B.6 Sondering 393730_20_cpt

B.3 Windturbine 3

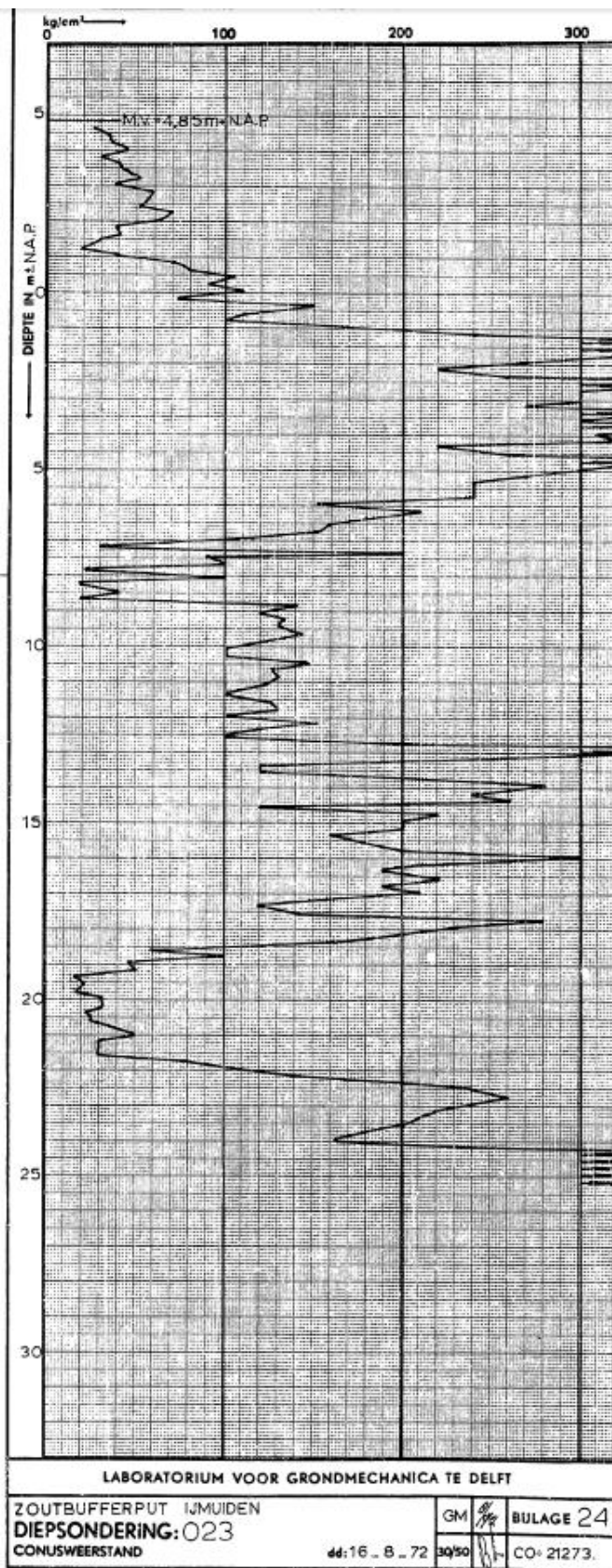
Voor locatie zijn sonderingen 21273_20 cpt tot 21273_23_cpt beschikbaar; zie figuren 6.25 t/m 6.28.

De schelphoudende Spisula zandlaag wordt aangetroffen tussen NAP – 8 m / NAP – 9 m en NAP – 17 m / NAP – 19 m.

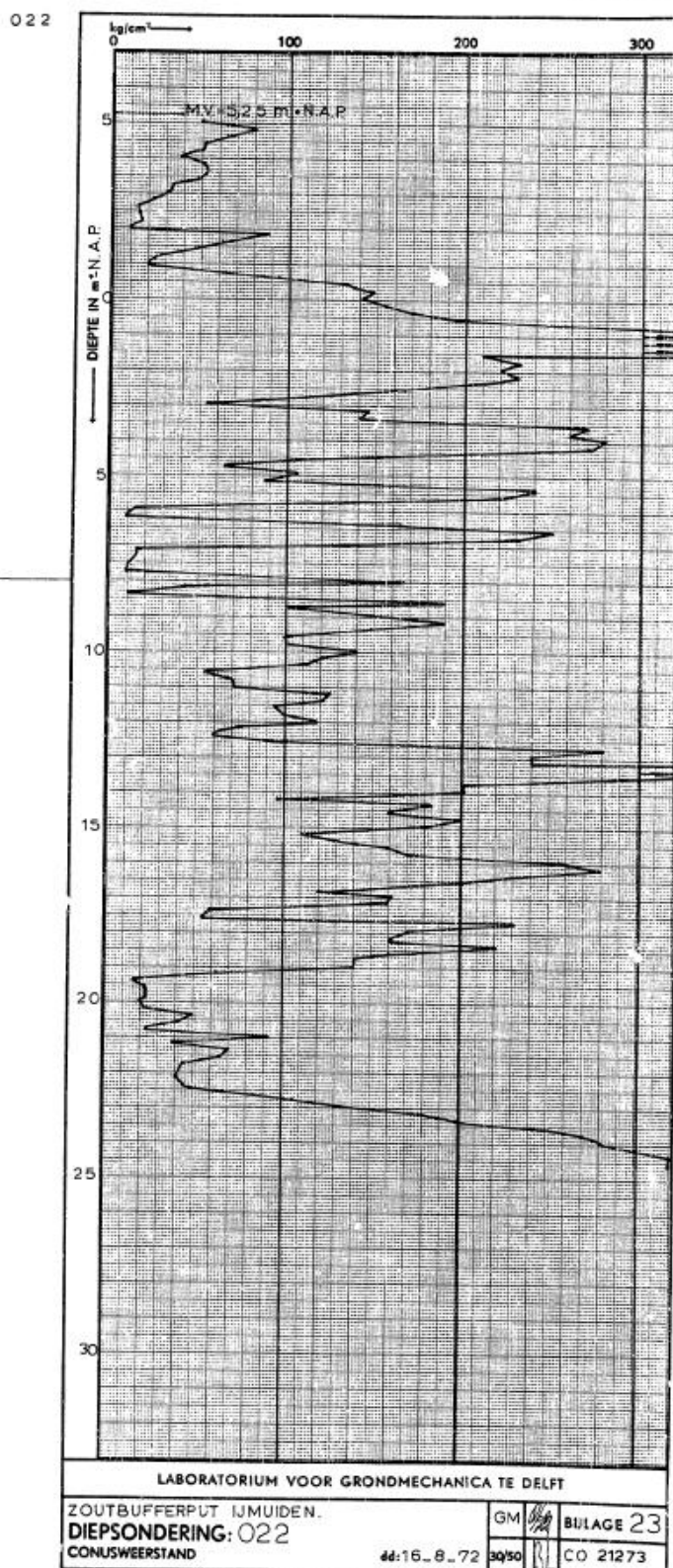


Figuur B.7 Locatie windturbine 3

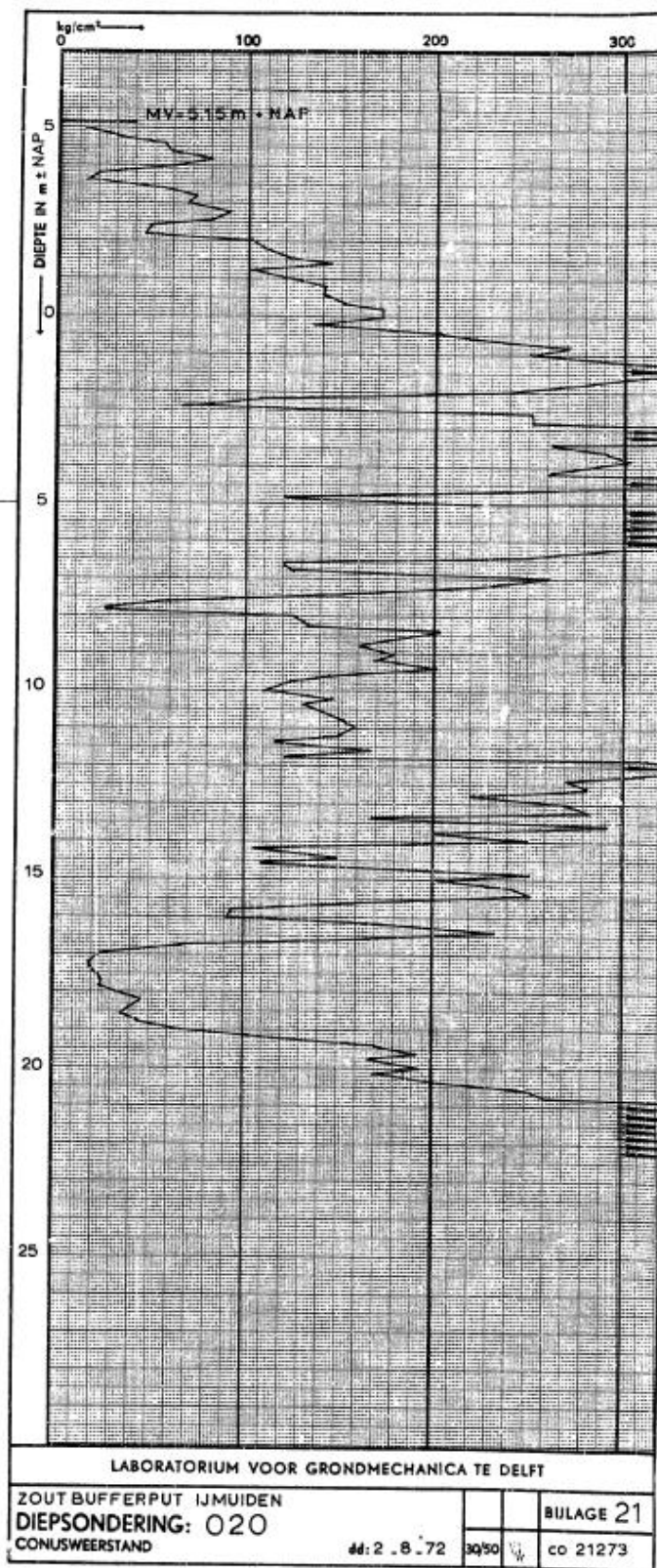
023



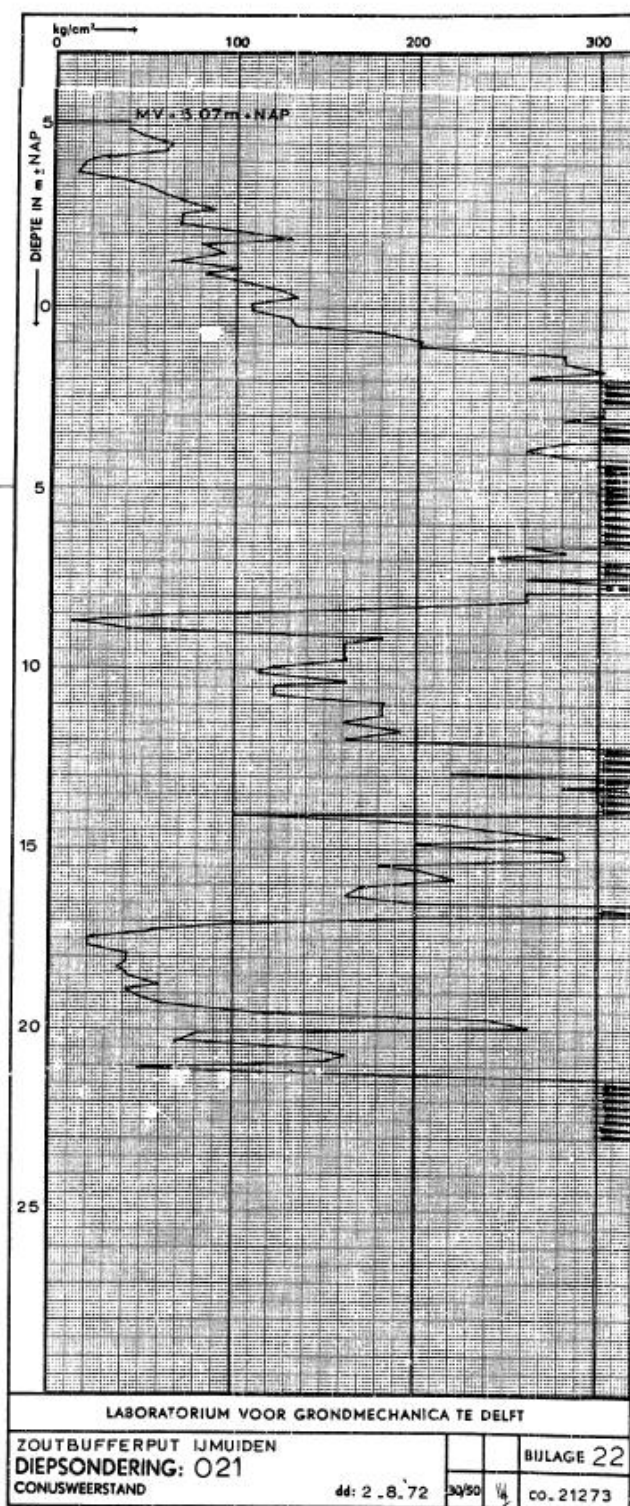
Figuur B.8 Sondering 21273_023



Figuur B.9 Sondering 21273_022



Figuur B.10 Sondering 21273_20

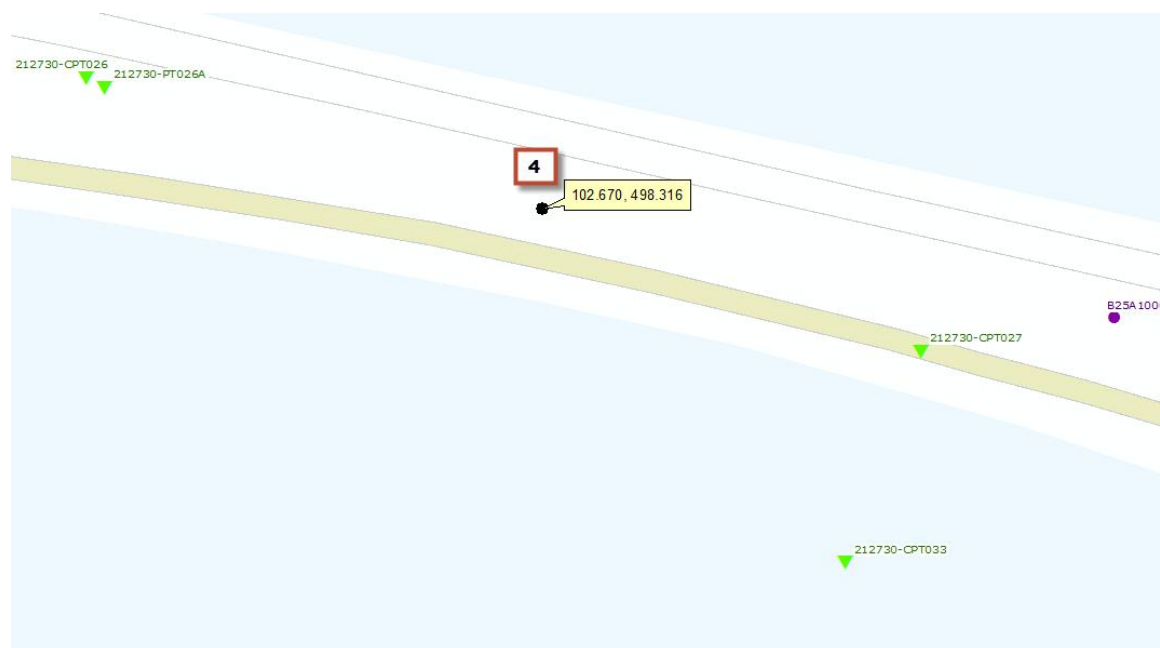


Figuur B.11 Sondering 21273_21

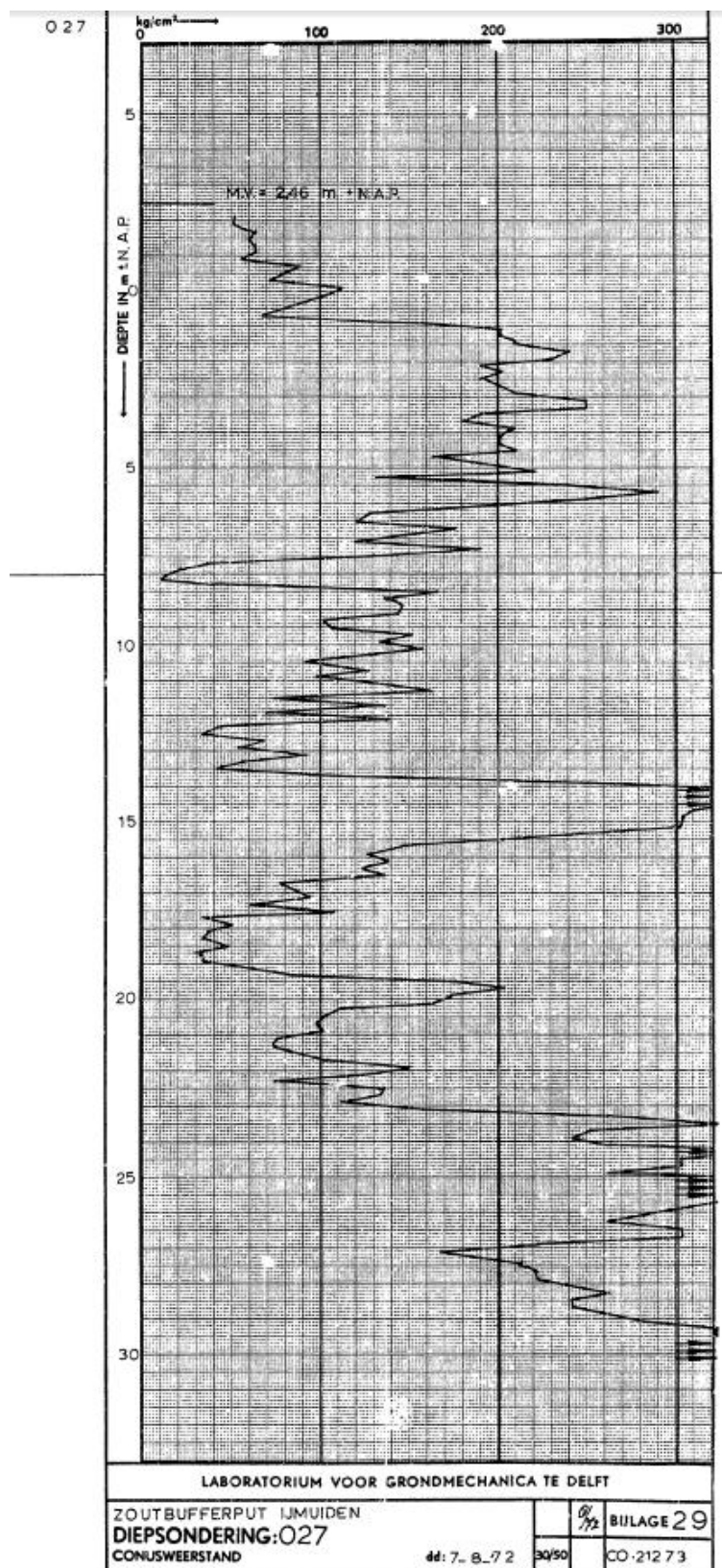
B.4 Windturbine 4

Voor locatie zijn sonderingen 21273_26 cpt tot 21273_27_cpt beschikbaar; zie figuren 6.30 en 6.31. Sondering 2173_033 (figuur 6.32) is op het water gemaakt en geeft geen informatie over de grondlagen boven NAP – 14 m.

De schelphoudende Spisula zandlaag wordt aangetroffen tussen NAP – 8 m en NAP – 17 m.

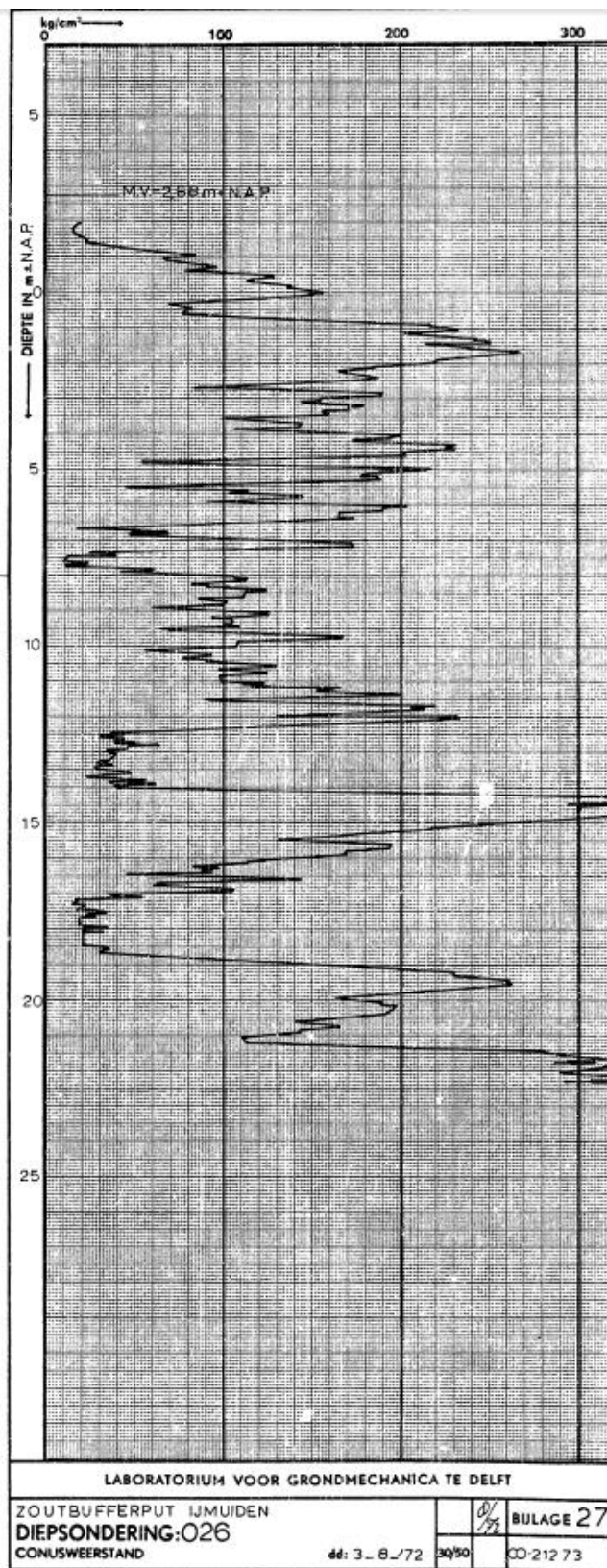


Figuur B.12 Locatie windturbine 4



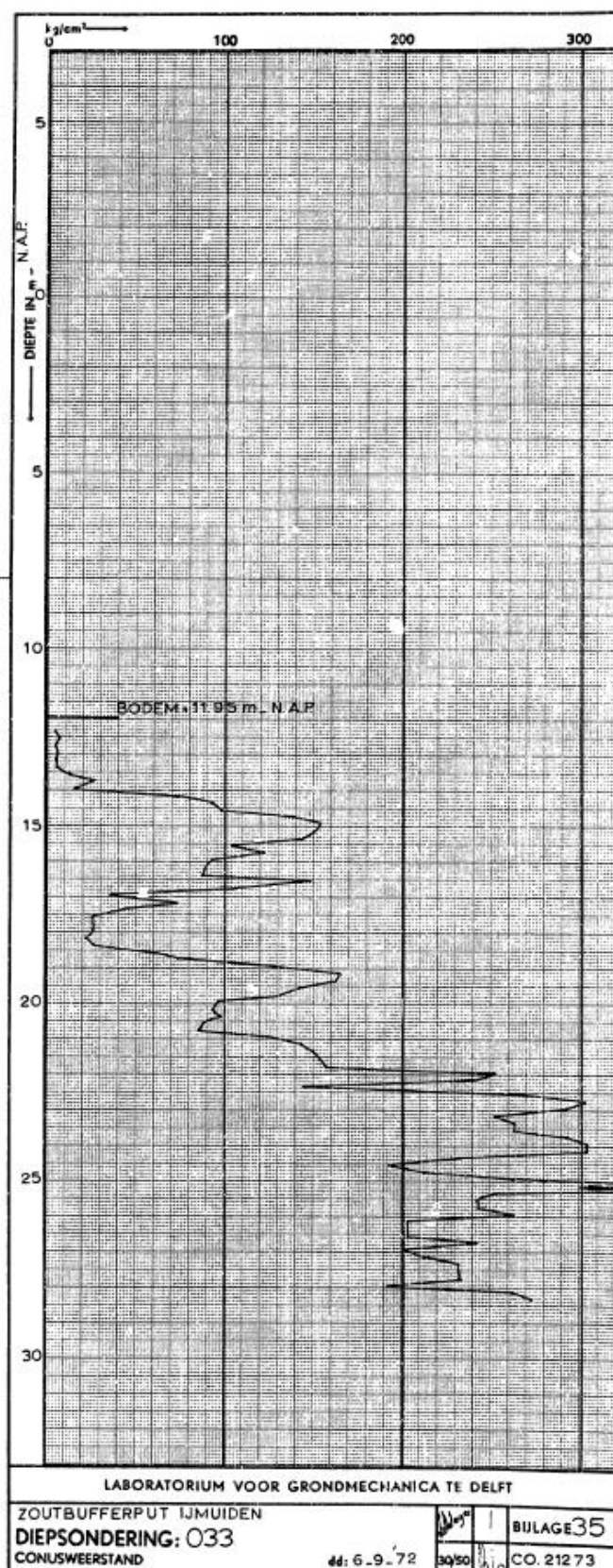
Figuur B.13 Sondering 21273_027

026



Figuur B.14 Sondering 21273_026

033

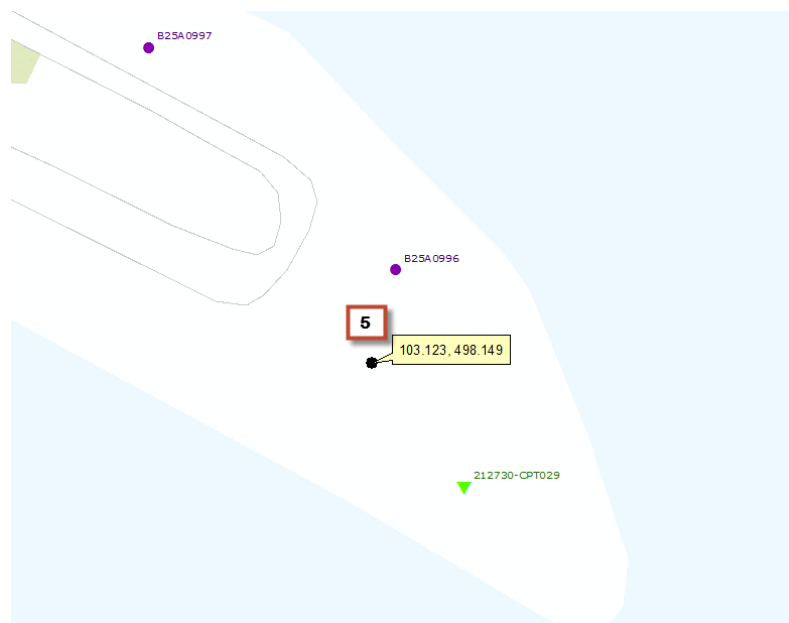


Figuur B.15 Sondering 21273_033

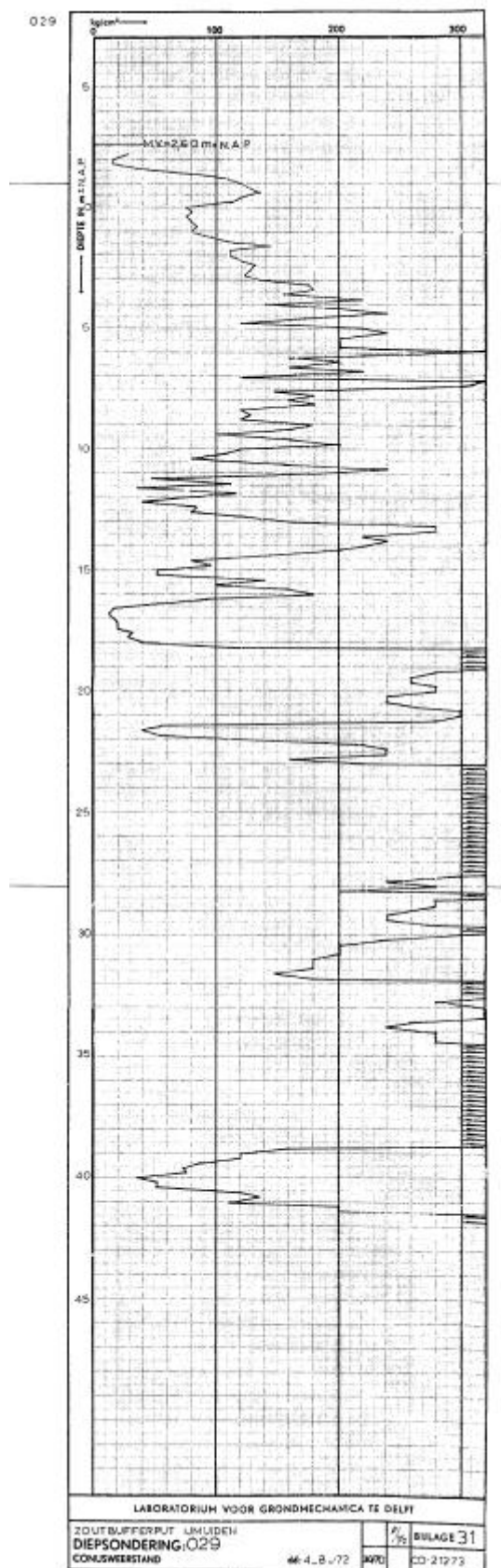
B.5 Windturbine 5

Voor locatie zijn sonderingen 21273_29 cpt beschikbaar; zie figuur 6.34. Boring B25A0996 geeft geen specifieke informatie (zie figuur 6.35).

De schelphoudende Spisula zandlaag wordt aangetroffen tussen NAP – 7 m en NAP – 15,5 m.



Figuur B.16 Locatie windturbine 5



Figuur B.17 Sondering 21273_029

ALGEMENE GEGEVENS BORING
 NITG-nummer: B25A0996
 X-coördinaat (m): 103129
 Y-coördinaat (m): 498172
 Coördinatensysteem: RD2000
 Plaatsnaam: Velsen
 Provincie: Noord-Holland
 Kaartblad: 25A
 Bepaling locatie: Geschat, overige methoden
 Maaiveldhoogte (meter t.o.v. NAP): 3.00
 Bepaling maaiveldhoogte: Onbekend
 Boormethode: Pulsboring
 Einddiepte (meter beneden maaiveld): 65.50
 Datum boring: 01-01-1956
 Eigenaar: onbekend
 Uitvoerder: Hoogendoorn, C. Giessendam

ALGEMENE GEGEVENS LITHOLOGIE
 Beschrijver lagen: Onbekend
 Organisatie beschrijver: Onbekend
 Beschrijvingsmethode: Onbekend
 Nat/Droog beschreven: Onbekend
 Datum laagbeschrijving: Onbekend
 Kwaliteitscode beschrijving lithologie: D

LITHOLOGIE LAGEN									
Bovenkant laag (m beneden maaiveld)			Onderkant laag (m beneden maaiveld)			kleur		Hoofdgrondsoort	Sublaag zandmedia:
Bijmenging zand	Zand %	Bijmenging grind	Grind %	Bijmenging humus	Organische stof %				Kalkgehalte
0.00	4.50	geel zand	---	---	fijne categorie (0)	---	---	---	---
4.50	5.80	onbekend zand	---	---	fijne categorie (0)	---	---	---	---
5.80	11.60	grijs zand	---	---	fijne categorie (0)	---	---	---	---
11.60	19.20	onbekend zand	---	---	fijne categorie (0)	---	---	---	---
19.20	20.00	onbekend klei	---	---	---	---	---	---	---
20.00	21.20	onbekend veen	---	---	---	---	---	---	---
21.20	26.80	donker-grijs zand	---	---	fijne categorie (0)	---	---	---	---
26.80	31.20	grijs zand	---	---	fijne categorie (0)	---	---	---	---
31.20	34.30	onbekend zand	---	---	fijne categorie (0)	---	---	---	---
34.30	41.00	onbekend zand	---	---	---	---	---	---	---
41.00	43.20	onbekend klei	---	---	---	---	---	---	---
43.20	45.80	onbekend zand	---	---	fijne categorie (0)	---	---	---	---
45.80	46.10	onbekend veen	---	---	---	---	---	---	---
46.10	51.40	onbekend zand	---	---	zeer fijn (0)	---	---	---	---
51.40	53.50	onbekend zand	---	---	fijne categorie (0)	---	---	---	---
53.50	65.50	onbekend zand	---	---	---	---	---	---	---

Figuur B.18 Boring B25A0996

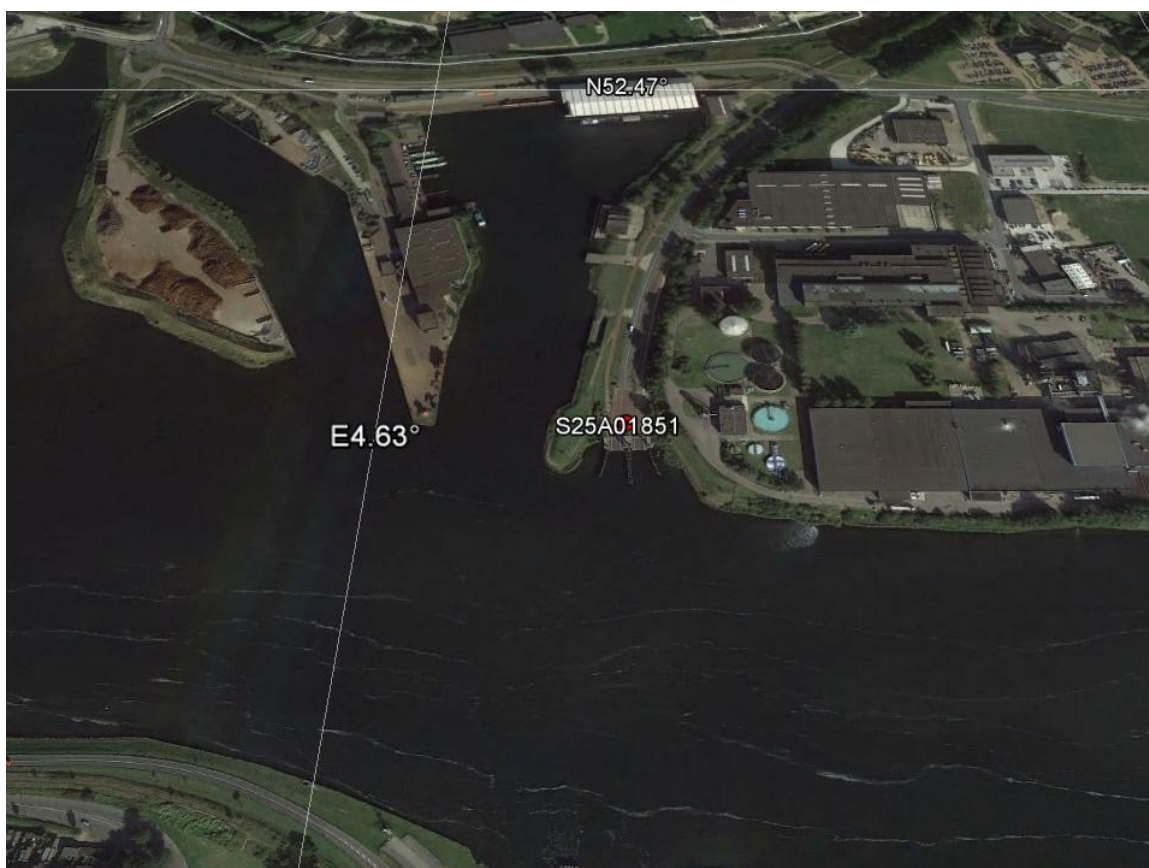
B.6 Windturbine 6

Voor locatie is sondering S25A01851 beschikbaar; zie figuren 6.37 en 6.38. Sondering 212730_34 (figuur 6.39) is op het water gemaakt en geeft geen informatie over de grondlagen boven NAP – 14 m.

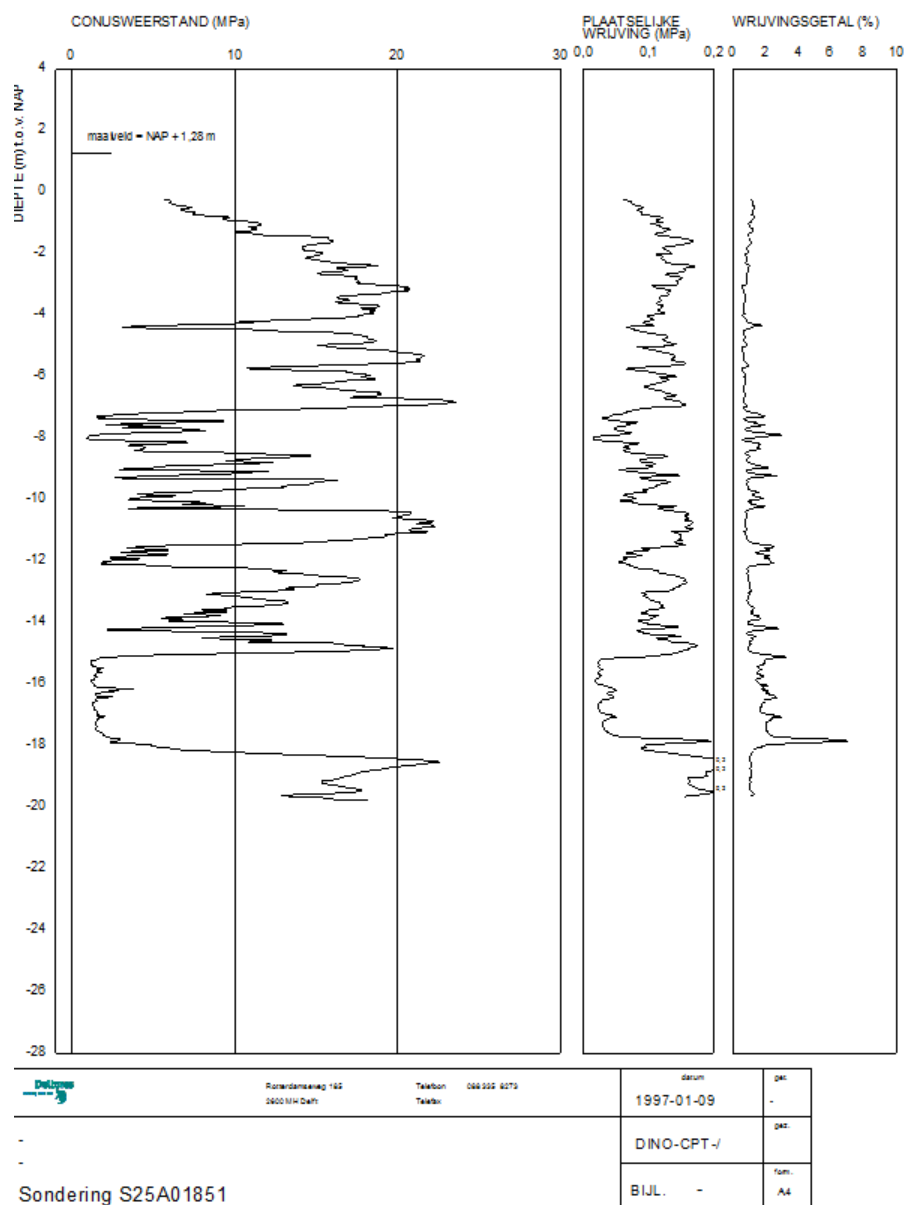
De schelphoudende Spisula zandlaag wordt aangetroffen tussen NAP – 7 m en NAP – 15 m.



Figuur 10.1 Locatie windturbine 6

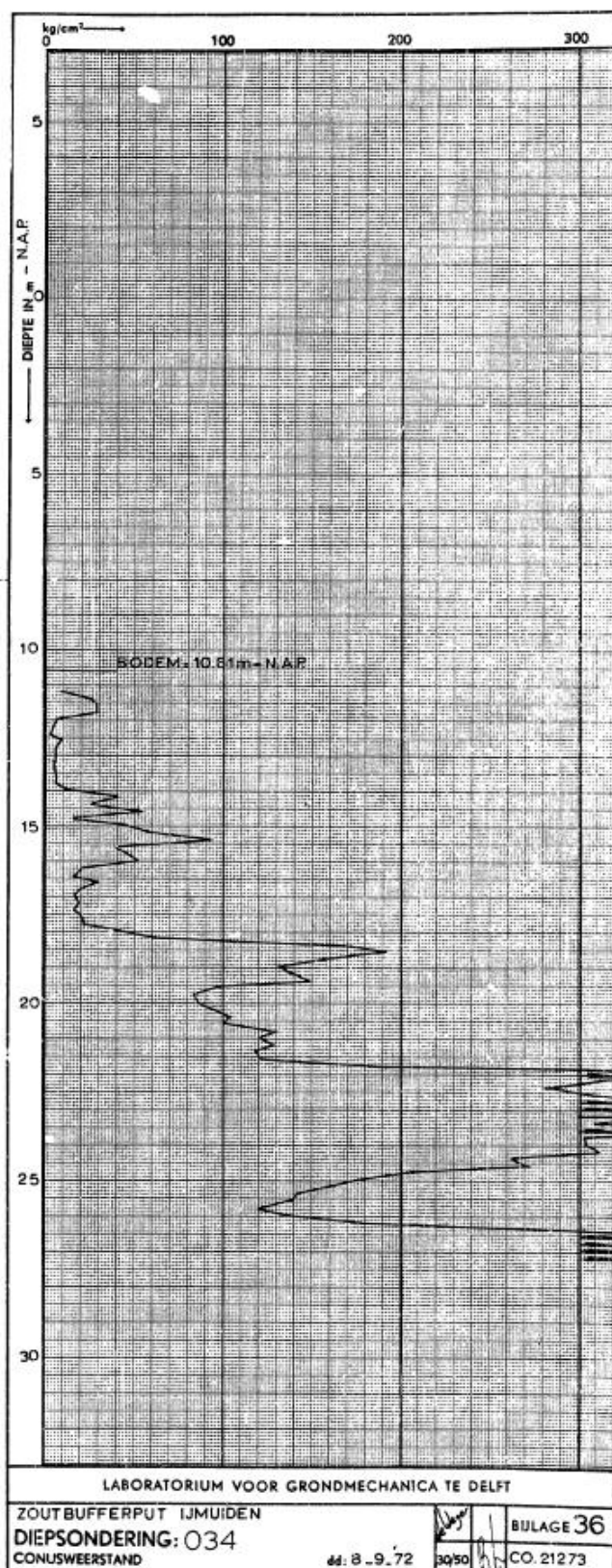


Figuur 10.2 Locatie sondering S25A01851



Figuur 10.3 Sondering S2501851

034



Figuur B.19 Sondering 21273_034

Referenties

[Groot et al 2007]

Groot, M.B. de, Stoutjesdijk, T.P., Meijers, P., Schweckendiek, T.,
Verwekingsvloeiing in zand. Geotechniek oktober 2007

[Groot et al 2009]

Groot, M.B., Ruyt, M. van der, Mastbergen, D.R., Ham, G.A. van den
Bresvloeiing in zand. Geotechniek, juli 2009

[HR 2006]

Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011
(HR 2006). Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Augustus 2007

[Lindenberg, Koning 1981]

Lindenberg, J., Koning, H.L.,
Critical density of sand.
Geotechnique, 31, 1981, pp 231-245

[Meijers 2007]

Meijers, P.,
Settlement during vibratory sheet piling
Dissertatie TU Delft, december 2005

[Meijers et al 2009]

Meijers, P., Groot, M.B. de, Lubking, P., Thijssen, R.,
Gedrag van zand onder cyclische belasting. Geotechniek januari 2009

[Rijkswaterstaat 2009]

Legger IJmuiden, Nadere omschrijving van de verschillende invloedszones voor de
waterkering IJmuiden t.b.v. de legger, 1 juni 2009