

Piping en Stabiliteit waterkering bij zandwinning Bosscherwaarden

P. Kraaijenbrink
D.R. Mastbergen

11200152-000

Inhoud

1 Piping, verwijderen zomerkade en invloed depots, drainage e.a.	3
1.1 Algemeen	3
1.2 Locatie	3
1.3 Probleem- / vraagstelling	5
1.4 Beschikbare informatie	5
1.4.1 Memo's en rapporten	5
1.4.2 Grondonderzoek	6
1.4.3 Situatie en dwarsprofielen	9
1.4.4 Binnendijks wiel ter hoogte van hm 117,5	10
1.5 Herontwikkeling en inrichting riviernatuurgebied	11
2 Methode van onderzoek	12
2.1 Beoordeling piping	12
2.2 Beoordeling verwijderen zomerkade en noodzaak extra steunberm	12
2.3 Beoordeling invloed depots en aanbrengen binnendijkse drainage.	12
3 Gehanteerde uitgangspunten	13
3.1 Hoogtes en waterstanden	13
3.1.1 Hoogtes	13
3.1.2 Waterpeilen	13
3.2 Grondonderzoek	15
3.3 Wiel tussen hm 117 en 118	18
3.4 Zandwinputten en voorlandlengte	18
3.5 Pipingregels en veiligheidsfilosofie	18
3.5.1 Voorwaarden voor optreden van piping	18
3.5.2 Toetsing (2010) methode Bligh	18
3.5.3 Huidige analyse aangepaste methode Sellmeijer (2011)	19
3.5.4 Veiligheidsfactoren en doorkijk nieuwe ontwerpregels (OI 2014)	20
3.6 Verwijderen zomerkaden	20
3.6.1 Algemeen	20
3.6.2 Golfberekeningen i.v.m. verwijderen zomerkaden	20
3.7 Ligging Depots	21
4 Resultaten onderzoek	22
4.1 Pipingberekeningen, resultaten uit de toetsing van 2010	22
4.2 Opbarsten en heave	23
4.3 Pipingberekeningen, resultaten nieuwe berekeningen	23
4.3.1 Toetsing Sellmeijer (2011)	23
4.3.2 Doorkijk ontwerp met OI 2014 (v3 – juli 2015)	25
4.4 Verwijderen zomerkaden, golfhoogte en erosie buitentalud	26
4.5 Invloed tijdelijke depots en binnendijkse drainage	27
4.5.1 Depots	27
4.5.2 Drainage binnendijks	28
4.5.3 Overige vragen	28
5 Conclusies en advies	30
5.1 Piping	30

5.2	Verwijderen zomerkaden i.r.t. aanleg buitenberm	31
6	Zandwinning en oeverveiligheid	34
6.1	Inleiding	34
6.2	Locatie	34
6.3	Evaluatie ontwerp zandwinning	35
6.4	Risicobeschouwing	36
6.5	Conclusies en aanbevelingen	38
7	Bosscherwaarden bodemstabiliteit	39
7.1	Vraagstelling	39
7.2	Stabiliteit bodemlagen, theorie	40
7.3	Toepassing op Bosscherwaarden	41
7.4	Conclusie	42
7.5	Referenties	42

Bijlagen

Grondonderzoek Bosscherwaarden, 2007

1 Piping, verwijderen zomerkade en invloed depots, drainage e.a.

1.1 Algemeen

Ten behoeve van de beoordeling van de effecten van de voorgenomen zandwinning en speciebergiging in de Bosscherwaarden door Bosscherwaarden BV stelt Royal Haskoning-DHV Nederland (RHDHV) een MER op.

In dit kader heeft Deltares in een eerder stadium nader onderzoek gedaan voor Royal Haskoning ten aanzien van de geohydrologie, zie rapport: "Onderzoek naar invloed zandwinning in de Bosscherwaarden", Q4056.40, d.d. april 2006. Daarnaast is door Deltares onderzoek gedaan naar de veiligheid van de oevers van de zandwininput(ten) en de waterkering, waarbij ook grondonderzoek is uitgevoerd, zie memo 071025 "Grondonderzoek Bosscherwaarden", Q4338.35, d.d. 30 november 2007.

Door Haskoning is recent nader geohydrologisch onderzoek uitgevoerd en gerapporteerd in MER Bosscherwaarden: "Resultaten geohydrologisch onderzoek, Update Bijlage 2, d.d. 5 februari 2013". Ook zijn de veiligheidszones en taludhellingen nader uitgewerkt. De resultaten zijn besproken met Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) op 18 juli 2014, waarvan de notulen zijn opgesteld door Haskoning. Op basis van deze gegevens heeft RHDHV aan Deltares gevraagd, telefonisch en per e-mail van 25 en 29 juli 2014, om het memo 071025 van 30 november 2007 te actualiseren. In het te actualiseren memo wordt gevraagd om aandacht te geven aan de volgende drie aspecten:

- 1 Oeverveiligheid;
- 2 Piping;
- 3 Effect stijghoogte verhoging.

Daarnaast zijn specifiek nog vragen gesteld ten aanzien van:

- de wenselijkheid een extra steunberm aan te brengen aan de buitenzijde van de Lekdijk West, als compensatie voor het verwijderen van de zomerkaden;
- de gevolgen van drainage voor de sterkte van de dijk;
- de invloed van tijdelijke depots op de waterkering;

Van belang is te weten, dat de zandwinning van tijdelijke aard is en dat de zandwinputten naderhand gebruikt zullen worden voor speciebergiging. Na de zandwinning is voorzien in herontwikkeling van het buitendijkse gebied tot een toegankelijk en aantrekkelijk riviernatuurgebied. Zie ook paragraaf 1.5.

In onderhavige memo wordt alleen ingegaan op het aspect piping punt 2) en de aanvullende vraag ten aanzien van het nut en/of de noodzaak van een extra buitenberm.

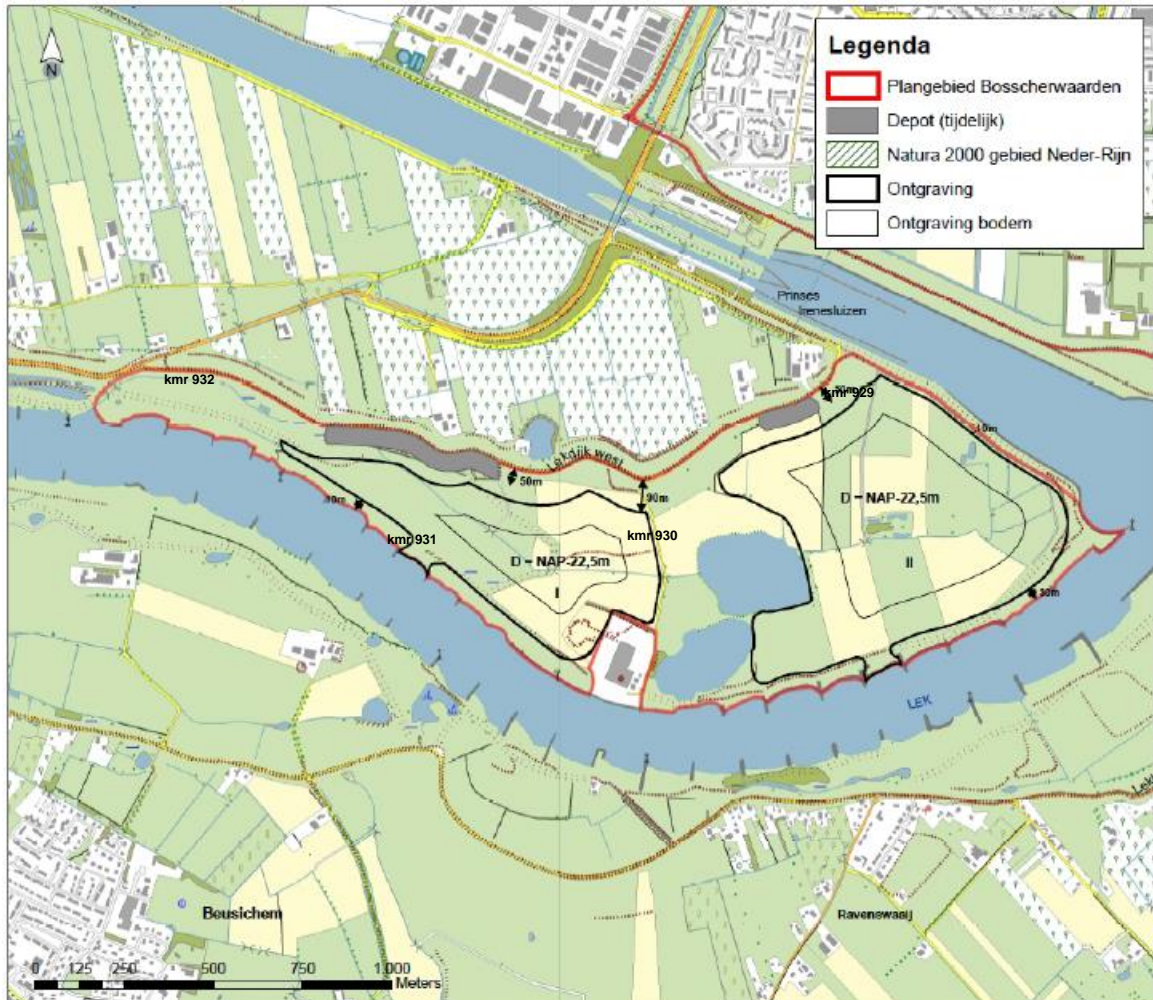
1.2 Locatie

De projectlocatie is gelegen ten zuiden van Wijk bij Duurstede, tussen het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek. De situatie is weergegeven in Figuur 1.1 en Figuur 1.2.

De voorgenomen zandwinning is gelegen in het voorland (de uiterwaard) van de Lekdijk West, tussen globaal hm 107 (Amsterdam-Rijnkanaal) en hm 126 (Lek). Globaal betreft dit rivierkilometer kmr. 929 tot en met kmr. 932. Zie ook Figuur 1.7.

In het gebied zijn reeds 2 kleinere zandwinputten aanwezig. In de huidige plannen wordt uitgegaan van een afstand van tenminste 90 m tussen de buitenteen van de waterkering en

de insteek van de te ontgraven zandwinputten. De ligging van de depots in Figuur 1.1 is indicatief. De breedte van de depots bedraagt maximaal circa 50 m.



Figuur 1.1 Overzicht projectlocatie met voorgenomen ontgravingen (t.b.v. zandwinning) en indicatieve ligging van de tijdelijke depots



Figuur 1.2 Luchtfoto projectlocatie (Bosscherwaarden)

1.3 Probleem- / vraagstelling

Naar aanleiding van voorgenomen zandwinning en de mogelijke effecten ten aanzien van de veiligheid van de waterkering zijn de volgende vragen gesteld:

- Wat is het risico ten aanzien van het faalmechanisme piping en of dit door de zandwinning toeneemt. Hoe groot is het effect en of er extra maatregelen getroffen dienen te worden. Dit ook in het licht van nieuwe (toekomstige) regelgeving ten aanzien van piping.

Of er een gegronde reden/noodzaak is om een extra buitenberm aan te brengen als compensatie voor het plaatselijk verwijderen van de zomerkaden in de uiterwaard.

In aanvulling op bovenstaande vragen van de opdrachtgever wordt opgemerkt dat er met name ook een risico is ten aanzien van de binnenwaartse stabiliteit als gevolg van het toenemen van waterspanningen onder en achter de waterkering (zie ook punt 3). Hierdoor neemt de kans op opdrijven en opbarsten toe en zal, door de hogere waterspanningen, ook de binnenwaartse stabiliteit verminderen. Daarbij wordt opgemerkt, dat een grondwatermodel, waarmee een heel (relatief groot) gebied in kaart gebracht wordt vaak te grof is (qua grid) voor de veel lokalere en gedetailleerdere dijklocaties die op piping en/of stabiliteit berekend dienen te worden.

De binnenwaartse stabiliteit is al eerder beoordeeld, zie [1] (paragraaf 1.4). In het kader van deze opdracht is hier verder geen onderzoek naar verricht.

In aanvulling op bovenstaande vragen zijn in een later stadium aanvullend onder andere de volgende vragen gesteld:

- Wat is de invloed van de tijdelijke depots, die tijdens de uitvoering benodigd zijn, met name ten aanzien van de waterkering.
- Wat zijn de gevolgen van het aanbrengen van drainage voor de sterkte van de waterkering.
- Wat is het effect van 2 cm opstuwning bij MHW in het westelijk gedeelte van het gebied.
- Hoe ziet de uitvoering van het afdekken van de taluds eruit en welke risico's zijn daar aan verbonden.

Opgemerkt wordt dat de zandwinning van tijdelijke aard is en dat wellicht al tijdens en na de zandwinning ook speciebergings zal plaatsvinden en het gebied uiteindelijk als rivier-natuurgebied ingericht zal worden. Daarmee zullen mogelijke negatieve effecten van de zandwinning ook van tijdelijke aard zijn.

1.4 Beschikbare informatie

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen is gebruik gemaakt van de navolgende informatie, rapportages en documentatie.

Daarnaast is gebruik gemaakt van de bij Deltares aanwezige (expert)kennis en expertise ten aanzien van waterkeringen en het faalmechanisme piping.

1.4.1 Memo's en rapporten

Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van de volgende rapportages:

- [1] Rapport: Onderzoek naar de invloed van zandwinning in de Bosscherwaarden; Deltares (WL/Delft Hydraulics), Q4056.40-versie 02, d.d. april 2006. In opdracht van de Ingensche Waarden B.V.
- [2] Memo: Geohydrologische berekeningen Bosscherwaarden; Royal Haskoning B.V., 9S0250/M00002/902347/Rott1, d.d. 23 juli 2007

- [3] Memo: Grondonderzoek Bosscherwaarden; Deltares (WL/Delft Hydraulics), Q4338.35, d.d. 30 november 2007, ter bespreking HDSR, inclusief bij behorend grondonderzoek (5 sonderingen en 4 boringen) en uitgevoerd laboratoriumonderzoek (korrelverdelingen).
- [4] MER: Baggerberging en zandwinning Bosscherwaarden; Royal Haskoning B.V., Concept Hoofdrapport, 9S0205/R00001//Rott1, d.d. 21 december 2007, in opdracht van de Ingensche Waarden B.V.
- [5] MER: Baggerberging en zandwinning Bosscherwaarden; Royal Haskoning B.V., Bijlagenrapport, 9S0205/R/900512 /Rott1, d.d. 8 januari 2008, in opdracht van de Ingensche Waarden B.V.
- [6] Verslag: Overleg tussen HSDR en De Ingensche Waarden BV, over stabiliteit van de dijk en kwel in relatie tot de ontgroning/baggerberging Bosscherwaarden, d.d. 11 juni 2008, te Houten
- [7] Plantekening: Ontgroningen en fasering Voorlopig voorkeursalternatief, MER baggerberging en zandwinning Bosscherwaarden, Royal Haskoning, d.d. 14-11-2008.
- [8] Memo: Bosscherwaarden bodemstabiliteit, Deltares, 1002690-000-ZKS-0001, d.d. 12 maart 2009
- [9] Rapport: Derde toetsing dijkkring 44, traject Lekdijk, Amerongen-Lekkanaal, Arcadis, 07493508:A Definitief, d.d. 1 juli 2010, hoofdrapport en bijlage 4 (Toetsing piping en heave).
- [10] Memo: MER Bosscherwaarden: Update Bijlage 2, Resultaten geohydrologisch onderzoek, Royal HaskoningDHV, 9S0250M0010/5000051/Rott, d.d. 5 februari 2013
- [11] Memo: Verslag uitzetten meetnet Bosscherwaarden; Arcadis, C01023.000351.0200/GF, d.d. 21 augustus 2013. Plaatsen peilbuizen, inclusief boorgegevens en metingen tot oktober 2014.
- [12] Notulen: Bespreking Afstemming MER Bosscherwaarden: Royal HaskoningDHV, 9S0250/C00003/500051/Rott, d.d. 18 juli 2014
- [13] Concept Inrichtingsplan Bosscherwaarden; Versie 150325; Bosscherwaarden B.V.

1.4.2 Grondonderzoek

Er is gebruik gemaakt van het beschikbare grond- en laboratoriumonderzoek, zoals dat is weergegeven in rapportage [3] en [11]. Dit betreft:

- 5 sonderingen op circa 50 m uit de waterkering (Lekdijk West)
- 4 buitendijkse boringen van 26,5 – 30,0 m, ten behoeve van korrelverdelingen.
- Laboratoriumonderzoek bestaande uit korrelverdelingen zand op totaal 59 monsters uit bovengenoemde boringen.
- Peilbuizen en boringen ten behoeve van het geohydrologische onderzoek. Totaal zijn 16 peilbuizen geplaatst in 14 boorgaten.
- Peilbuismetingen uitgevoerd in de betreffende peilbuizen in de periode van augustus 2013 tot en met oktober 2014. In de betreffende periode is tevens de rivierwaterstand gemeten.
- Boringen TNO, Database Dino, met grondonderzoek en peilbuisgegevens.

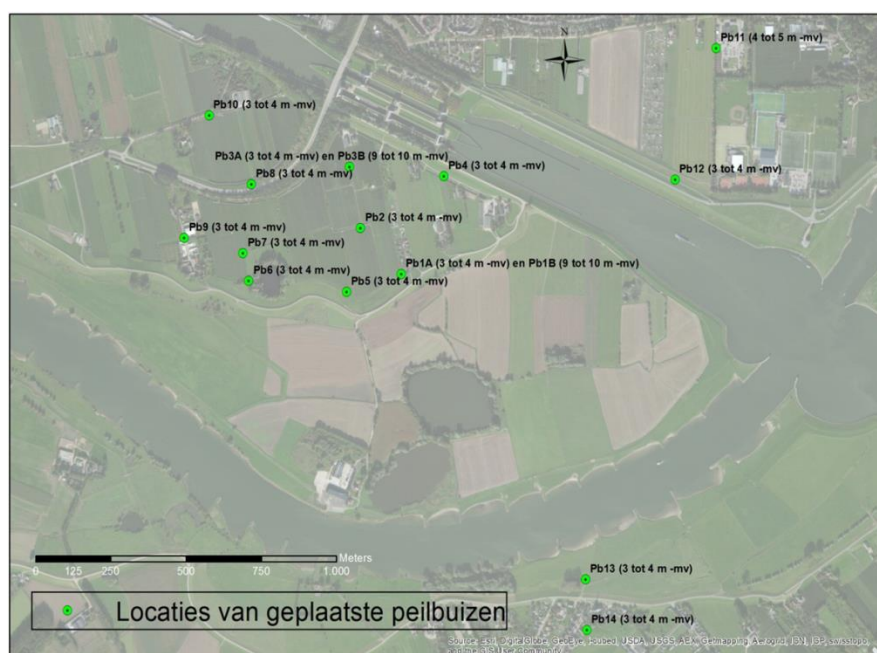
Het bovenstaande onderzoek is weergegeven in Figuur 1.3, Figuur 1.4, Figuur 1.5 en Figuur 1.6.

Naderhand zijn nog aanvullende gegevens van boringen in het voorland ontvangen. De betreffende gegevens zijn bestudeerd, maar hebben geen aanleiding gegeven om het advies en/of de berekeningen aan te passen.

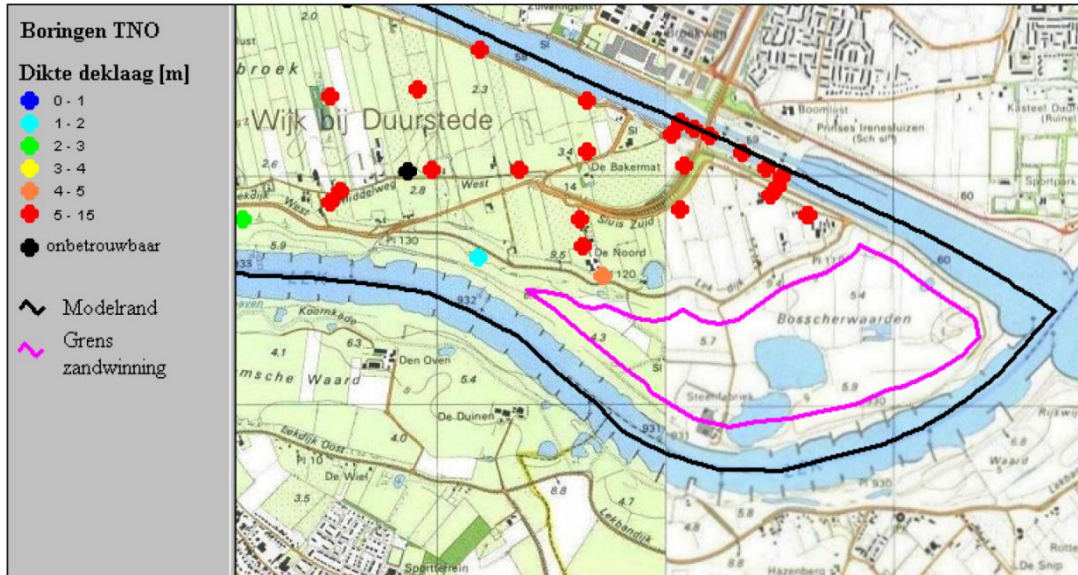
Daarnaast is gebruik gemaakt van de gegevens die zijn gebruikt voor de derde toetsronde (2006 – 2011) van dijkkring 44, traject Lekdijk, Amerongen-Lekkanaal. Met name hoofdstuk 5 en bijlage 4 uit [9] (Derde toetsing dijkkring 44; Toetsing op piping en heave, STPH) zijn hiertoe beschouwd en in onderhavig advies meegenomen. Aangenomen is dat de voor de toetsing gehanteerde uitgangspunten en parameters gebaseerd zijn op voldoende (grond)onderzoek.



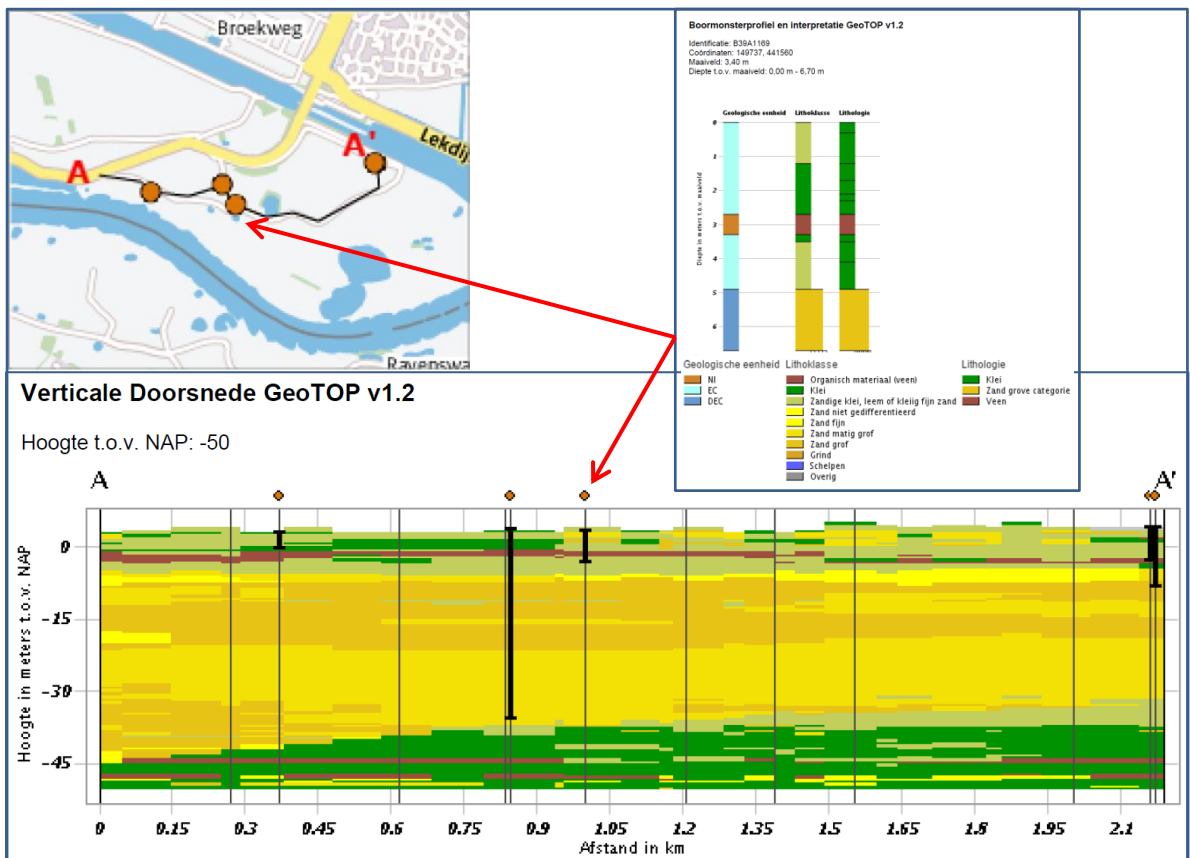
Figuur 1.3 Overzicht locaties boringen en sonderingen



Figuur 1.4 Overzicht geplaatste peilbuizen



Figuur 1.5 Boringen TNO – Dino-database boringen en peilbuisgegevens

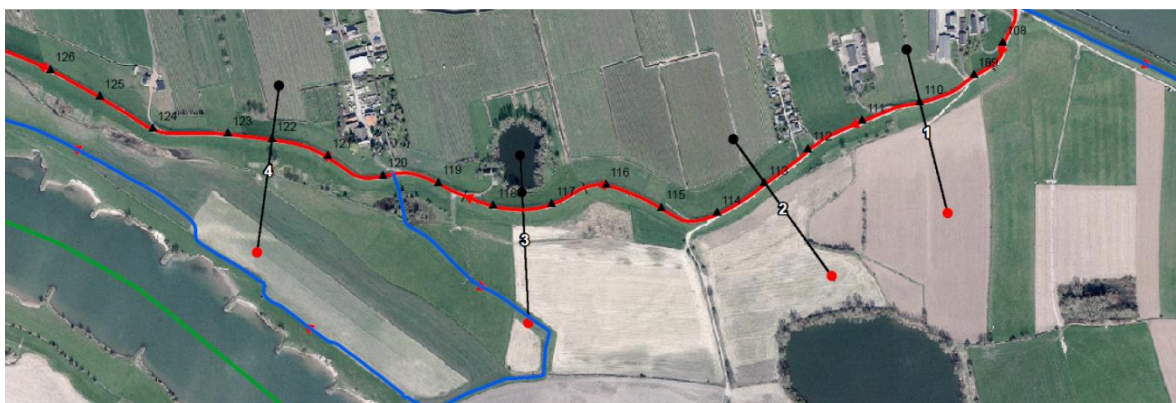


Figuur 1.6 Overzicht relevante boringen Dino, GeoTOP, verticale doorsnede A-A' en Boorprofiel B39A1169

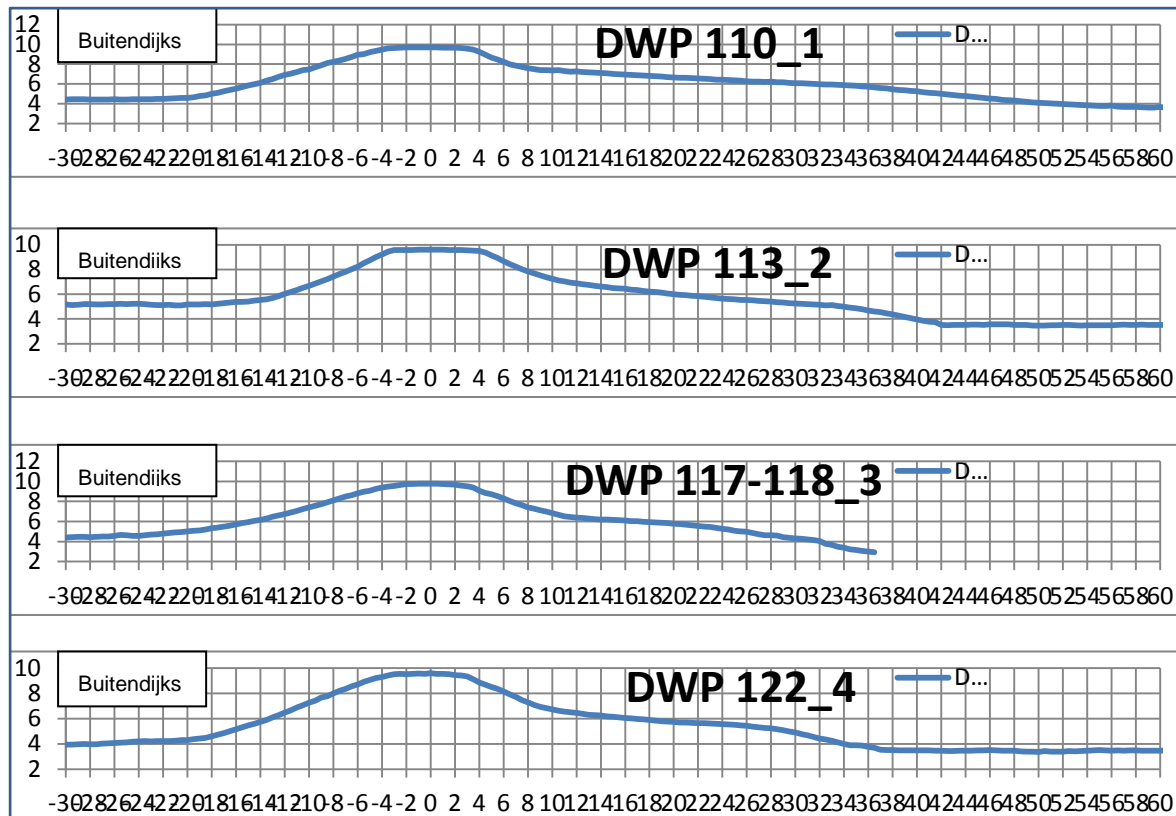
1.4.3 Situatie en dwarsprofielen

Via Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) zijn in februari 2015 een situatietekening en 4 dwarsprofielen verkregen. Het betreft onder andere situatietekening: Dwarsprofielen Bosscherwaard, d.d. 12-02-2015, paraaf: MID, schaal 1:5.000.

Verondersteld is dat de dwarsprofielen representatief zijn voor het gehele traject tussen globaal hm 107 en hm 126. Zie Figuur 1.7 en Figuur 1.8.



Figuur 1.7 Overzicht situatie dwarsprofielen Lekdijk West, gedeelte hm 108 – hm 126



Figuur 1.8 Dwarsprofielen 1 t/m 4 Lekdijk West tussen hm 108 en hm 126

1.4.4 Binnendijks wiel ter hoogte van hm 117,5

Ter hoogte van DWP 117-118 (117,5) ligt binnendijks een wiel. Er zijn geen verdere gegevens over de diepte en het dwarsprofiel ter plaatse van het wiel bekend/aangeleverd. Ook zijn er geen gegevens bekend over de bodemopbouw in het wiel.

In eerdere rapportages [1] zijn met betrekking tot het Wiel de volgende teksten opgenomen:

Het wiel bij De Noord

In vroeger tijden wilde het nogal eens voorkomen dat bij hoge waterstanden van de rivier de dijk te laag was of zelfs doorbrak. Het water viel dan achter de dijk naar beneden, waardoor op de plaats van de doorbraak een groot gat in de grond uitgeschuurd werd. Zo'n gat noemen we een wiel. Het wiel was vaak zo diep, dat de dijk niet op dezelfde plaats gedicht kon worden. De dijk werd daarom om het wiel heen gelegd, wat een kronkel in de dijk veroorzaakte. Tegenwoordig kan je de dijken die vaak doorgebroken zijn nog herkennen: deze dijken zijn vaak erg kronkelig. Figuur 4 laat zien dat er aan de binnenzijde van de Lekdijk, net ten oosten van De Noord zo'n wiel (in de vorm van een kleine waterplas) ligt. Navraag bij het hoogheemraadschap leerde dat dit wiel al enkele eeuwen geleden gevormd is. Bij de hoogwaters in het laatste decennium van de vorige eeuw is dit wiel (net als de andere wielen) nauwlettend in de gaten gehouden, maar er is niks bijzonders geconstateerd. Ook geen zand meevoerende wellen. Blijkbaar wordt dit wiel niet als een bezwaar voor de waterhuishouding gezien, want inmiddels is het Amsterdam-Rijnkanaal aangelegd en verdiept en daarbij is beide keren voldoende specie vrijgekomen om dit wiel te kunnen dempen, maar dat is kennelijk niet nodig geacht. Bij de modelberekeningen is er daarom van uitgegaan dat de bodemweerstand van dit wiel in de loop der tijd zodanig is toegenomen dat deze ook met 1400 dagen kan worden geschematiseerd.

Figuur 1.9 Gegevens m.b.t. het wiel uit [1]

Het wiel (tekst uit [1]):

Volgens het hoogheemraadschap is het zeer de vraag of de situatie rond het wiel bij De Noord correct is weergegeven in het model. Het hoogheemraadschap spreekt zijn zorg uit over zand meevoerende wellen die door de diepte van het wiel niet zichtbaar zijn, en die de dijkstabiliteit kunnen ondergraven. Telefonische navraag (17 februari 2006) bij de heer de Wit, gebiedskenner bij HDSR, leerde het volgende:

- *In het wiel bij hectometerpaal 120¹ (bekend als het Gat van Honig, naar een familie die daar heel lang gewoond heeft) is aan de dijkzijde een onderwatertalud aangebracht van 1 : 4. Het wiel is daarbij aan de dijkzijde verondiept. In het HDSR-archief in Woerden zijn waarschijnlijk nog wel dwarsprofielen van de dijkverbetering te vinden.*
- *De bodem van het wiel is waarschijnlijk relatief open.*
- *Er zijn twee dijkverbeteringen uitgevoerd. De tweede eind tachtiger jaren om te voldoen aan de nieuwe norm. Bij deze dijkverbetering zijn door Heidemij (het huidige Arcadis) berekeningen uitgevoerd waarop de dijkverzwaring is gebaseerd. Daarbij is rekening gehouden met een buitendijkse zandwinning (het doorsnijden van de deklaag) tot op 50 m uit de teen van de dijk.*
- *Bij de hoogwaters eind vorige eeuw² zijn in dit gebied geen problemen opgetreden, ook niet bij het wiel.*

Een (sterke) verlaging van de deklaagweerstand ter plekke van het wiel zal beduidend meer kwel opleveren in het wiel zelf. Hierdoor zal de kwel in de omgeving van het wiel kleiner worden.

¹ Dit moet vermoedelijk hm 117,5 zijn.

² In 1993 en 1995

In [9] is verder aangegeven, dat bij hoogwater het waterpeil in de kolk met een vaste overlaat wordt opgezet. De overlaat zou bij een stijging van 0,50 m ten opzichte van het normale waterpeil (ca. NAP +2,10 m) gaan overstromen.

1.5 Herontwikkeling en inrichting riviernatuurgebied

Na de zandwinning zullen de zandwinputten worden opgevuld met (bagger) specie en zal het buitendijkse gebied opnieuw ingericht worden als aantrekkelijk en toegankelijk rivier-natuurgebied [13].

Dit biedt tevens mogelijkheden en kansen om de situatie met betrekking tot de waterveiligheid van de primaire waterkering te verbeteren en mogelijke risico's te verkleinen, ook ten opzichte van de huidige situatie.

Hierbij wordt met name gedoeld op het aspect piping. Bij herinrichting kan bijvoorbeeld rekening gehouden worden met aanleg van een voldoende dikke en afsluitende deklaag in het voorland, om daarmee de kwelweglengte, voor zover nodig, met voldoende zekerheid en in voldoende mate te verlengen.



Figuur 1.10 Het voorgestelde inrichtingsplan uit [13]

2 Methode van onderzoek

2.1 Beoordeling piping

In eerste instantie is op basis van de beschikbare gegevens, met name de rapportage: 'Derde Toetsing Dijkkring 44' [9], een analyse gemaakt van de gehanteerde uitgangspunten en beoordelingsmethodiek voor het faalmechanisme piping en heave (STPH).

De toetsing uit 2010 [9] is uitgevoerd met behulp van de methode Bligh. Daarbij is de benodigde kwelweglengte bepaald op basis van het aanwezige verval over de waterkering en een constante (creepfactor, C_{Bligh}), die afhankelijk is van de korrelgradering van het zand. Het verval mag daarbij gereduceerd worden met $0,3 \cdot d$, waarin d de dikte van de deklaag is. Zie paragraaf 3.5.2.

Vervolgens is geanalyseerd of er relevante afwijkingen tussen de gehanteerde uitgangspunten uit de toetsing en de overige beschikbare gegevens zijn. Daarbij is aangegeven wat de mogelijke consequenties zijn.

Ter beoordeling van piping is ook een (globale) analyse gemaakt van de mogelijkheid van opdrijven en Heave. Bij voldoende weerstand tegen opdrijven (n_{opdr}) en/of een voldoende klein verticaal verhang (i) kan piping namelijk niet optreden.

Mede op basis van een analyse van de uitgevoerde korrelverdelingen en geometrische gegevens zijn vervolgens opnieuw pipingberekeningen uitgevoerd, zowel met de methode Bligh, die ook voor de toetsing is gehanteerd, als met behulp van de nieuwe (meest recente) pipingregel, die gebaseerd is op de regel van Sellmeijer (2011). Deze regel is in principe (formeel) vastgesteld en zal ook opgenomen worden in Ringtoets (WTI 2017).

Naast de resultaten van boringen en korrelverdelingen zijn ter vergelijking ook berekeningen gemaakt met parameters afkomstig uit de VNK-studie (Veiligheid Nederland in Kaart).

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van bij Deltares beschikbare Spreadsheets.

2.2 Beoordeling verwijderen zomerkade en noodzaak extra steunberm

Ten behoeve van dit aspect heeft een kwalitatieve beoordeling plaatsgevonden, op basis van expert-kennis. Daarbij is verder gebruik gemaakt van golfhoogte-berekeningen met behulp van de formules van Brettschneider. Voor de verdere beoordeling is gebruik gemaakt van de Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde, d.d. 25-10-2012.

2.3 Beoordeling invloed depots en aanbrengen binnendijkse drainage.

Ten behoeve van deze aspecten heeft een kwalitatieve beoordeling plaatsgevonden op basis van expert-kennis. Een nadere onderbouwing is gegeven in paragraaf 4.5.

3 Gehanteerde uitgangspunten

De gehanteerde uitgangspunten zijn voornamelijk afgeleid uit [1], [3] en [9].

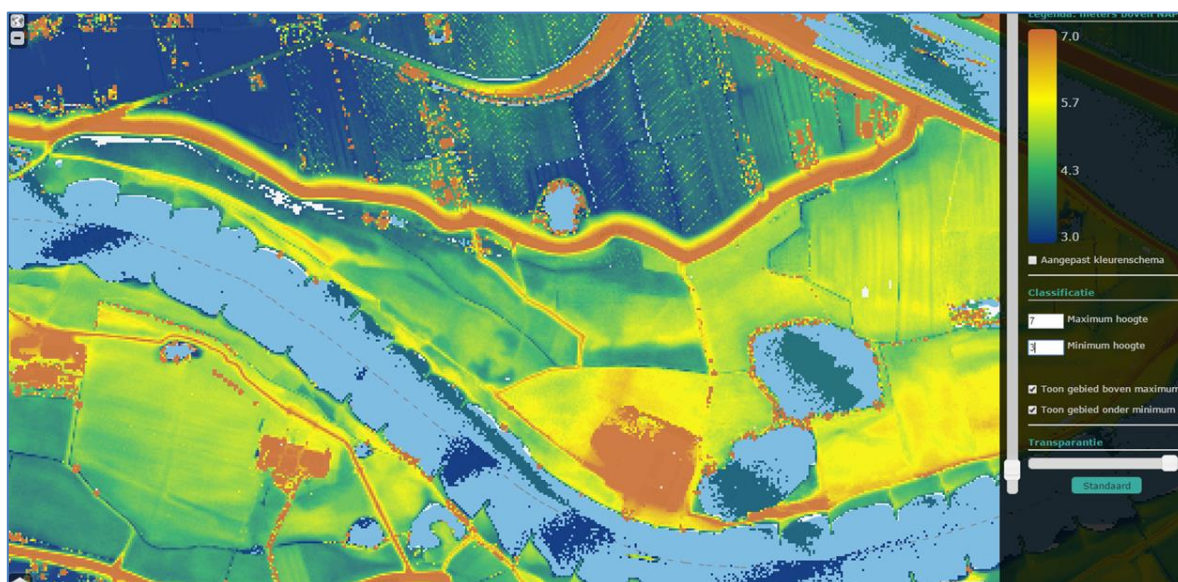
3.1 Hoogtes en waterstanden

3.1.1 Hoogtes

De maaiveldhoogtes zijn afgeleid uit de aangeleverde dwarsprofielen, zie paragraaf 1.4.3.

De laagst aangegeven binnendijkse maaiveldhoogte, tot 100 m uit de as van de waterkering, bedraagt NAP +3,16 m (DWP 113). Uitzondering hierop is dwarsprofiel 117-118 ter hoogte van het binnendijkse wiel. Hier is het (polder-)peil maatgevend. Aangenomen is dat dit overeen komt met het waterpeil in het wiel.

De hoogtes uit het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) zijn weergegeven in Figuur 3.1



Figuur 3.1 Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) van de projectlocatie

Uit [9] blijkt dat bij de uitgevoerde toetsingen (2010) voor het mechanisme piping, het binnendijkse maaiveldniveau gelijk gesteld is aan het binnendijkse polderpeil; NAP +2,11 m. Deze conservatieve aanname is aangehouden voor het hele traject.

Voor de nieuwe pipingberekeningen is de maatgevende binnendijkse maaiveldhoogte per dwarsprofiel aangehouden.

Tevens zijn de consequenties berekend van een 0,2 m lager maaiveld als gevolg van autonome bodemdaling in de komende 50 jaar.

3.1.2 Waterpeilen

Maatgevend hoog water

Conform [9] blijkt voor de toetsing een Maatgevend Hoog Water (MHW) gehanteerd te zijn van NAP +8,35 m (hmp 109) tot NAP +8,10 m (hmp 126).

De toets- en ontwerppeilen conform het Addendum 1 bij de Leidraad Rivieren zijn weergegeven in Tabel 3.1.

Overzicht toets en ontwerppeilen per rivierkilometer				
Peilen	kmr 929	kmr 930	kmr 931	kmr 932
Toetspeil HR 2006 [NAPm]	+ 8.50	+ 8.40	+ 8.20	+8.10
Ontwerppeil 2050 [NAPm]	+ 8.50	+ 8.40	+ 8.20	+8.10
Ontwerppeil 2100 * [NAPm]	+ 8.50	+ 8.40	+ 8.20	+8.10
* Ontwerppeil 2100 is gelijk aan ontwerppeil 2050				

Tabel 3.1 Overzicht maatgevende waterstanden

Opgemerkt wordt dat de gegeven waterstanden gelden voor de as van de rivier. Deze waterstanden zijn exclusief de robuustheidstoeslag van (in het algemeen) 0,30 m.

Voor een definitief ontwerp dient de robuustheidstoeslag bepaald te worden en moet er een vertaling gemaakt worden van de waterstand op de as van de rivier naar de oever (teen van de waterkering).

Voor de uitgevoerde berekeningen is uitgegaan van een MHW van NAP +8,45 m voor het hele traject.

Daarnaast zijn de consequenties berekend van een 0,3 m hoger peil (robuustheidstoeslag) in combinatie met een maaiveld daling van 0,2 m over 50 jaar.

Polderpeilen

De polderpeilen zijn afgeleid uit [1] en [9].

Uit [9] blijkt dat over het gehele traject een binnendijks polderpeil is aangehouden van NAP +2,11 m. Daarbij is de binnendijkse maaiveldhoogte gelijkgesteld aan het polderpeil.

Voor onderhavig onderzoek is conform [9] uitgegaan van een polderpeil van NAP +2,11 m.

Voor het meest westelijke gedeelte is conform [1] en Figuur 3.2 een polderpeil gehanteerd van NAP +1,80 m.

Van belang voor het mechanisme piping zijn met name:

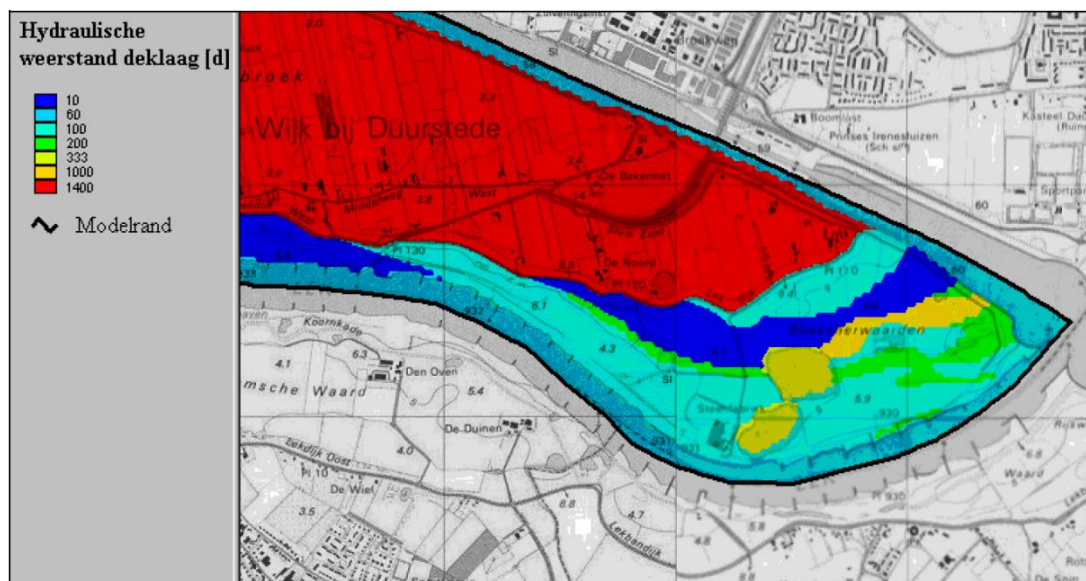
- de deklaagdikte en weerstand in het voorland;
- de dikte van de watervoerende zandlaag waaruit piping zou kunnen ontstaan;
- de dikte van de deklaag in het achterland;
- de gradering van het zand in de watervoerende deklaag, met name de D_{70} (= zandfractie waarbij 70% kleiner is dan de betreffende korrel diameter D);
- de doorlatendheid van de watervoerende zandlaag.

Op basis van de genoemde onderzoeken is uitgegaan van de volgende gegevens.

- Er is tot tenminste 50 m uit de waterkering een deklaag in het voorland aanwezig. Dit wordt bevestigd door de 5 uitgevoerde sonderingen (zie ook [3]). Ook in het onderzoek van de toetsing [9] is een voorlandbreedte van 50 m aangehouden.

Wel wordt opgemerkt dat uit Figuur 3.3 blijkt dat, met name in het gedeelte hm 116 – 124, de deklaagdikte erg beperkt is gezien de lage hydraulische weerstand. Dit wordt echter niet bevestigd door sondering 1 en 2.

De zandwinputten zullen gegraven worden op tenminste 90 m uit de buitenteen van de waterkering. Verondersteld is dat het intredepunt voor piping daarmee ook op 90 m uit de buitenteen komt te liggen. Zo nodig dient/kan een extra kleiafdekking worden aangebracht.



Figuur 3.3 Overzicht weerstand hydraulische deklaag, afkomstig uit **Error! Reference source not found.**

- De dikte van het eerste watervoerende pakket bedraagt circa 40 m. Dit volgt zowel uit [9] als uit de gegevens uit de Dino-database (zie paragraaf 1.4.2 en Figuur 1.6).
- De dikte van de deklaag binnendijs is bepaald op basis van de beschikbare gegevens. In [9] wordt uitgegaan van een dikte van de binnendijkse deklaag van 6,11 m voor het hele traject. Deze dikte is bepaald op basis van een maaiveldhoogte (gelijk aan polderpeil) van NAP +2,11 m en een onderkant van het slappe lagenpakket op NAP -4,0 m. Voor het in rekening brengen van mogelijke variaties is voor de pipingberekeningen [9] gerekend met een extra veiligheid van 0,9. Derhalve een minimale deklaagdikte van 5,50 m.

Uit het grondonderzoek (peilbuizen, boringen, sonderingen, Dino) blijkt echter, dat de onderkant van de slappe lagen binnendijks aanzienlijk hoger kan liggen. Uit een analyse blijkt een maximale hoogte van circa NAP -2,0 m aannemelijk (zie bijvoorbeeld sondering 5 in het voorland).

Daarentegen is de maaiveldhoogte hoger dan aangenomen bij de toetsing [9]. Een en ander resulteert uiteindelijk in een geringere dikte van de binnendijkse deklaag dan aangehouden in de toetsing.

Voor de nieuwe berekeningen is uitgegaan van de onderkant van de slappe lagen op NAP – 4,0 m (evenals bij de toetsing 2010), waarbij tevens de situatie is berekend voor een 2 m dunnere deklaag (NAP -2,0 m).

- Op basis van de uitgevoerde korrelverdelingen blijkt dat een aanzienlijke variatie voorkomt, zowel in korrelverdeling als in korrelafmetingen. Voor piping is principe fijner zand maatgevend boven grover zand. Verder gaat het in principe om het zand aan de bovenzijde van het watervoerende zandpakket. Bepaling van de juiste parameters (korrelafmetingen) voor pipingberekeningen is lastig, zo komt er bijvoorbeeld bij boring 1 aan de bovenzijde van het watervoerende pakket zelfs een grindlaag voor. In het algemeen wordt het zand aan de bovenzijde van het watervoerende pakket beschreven als matig tot zeer grof (zand mediaan $M_z = 210 - 420 \mu\text{m}$). In [9] is voor de berekening van piping, met behulp van de methode Bligh, uitgegaan van matig fijn, tot matig grof zand; $C_{\text{Bligh}} = 15$.
- Voor onderhavig onderzoek zijn verschillende combinaties van D_{70} en doorlatendheid onderzocht, Op basis van de D_{70} en bijbehorende D_{60}/D_{10} is met behulp van de methode 'Den Rooyen', uitgaande van een gemiddelde pakking, de doorlatendheid bepaald van het zand uit de beschikbare boringen. Daarnaast is ook gebruik gemaakt van waarden uit de VNK-database voor dit gebied. Zie Tabel 3.2.

	D70	D60	D10	k	k
	[μm]	[μm]	[μm]	[m/s]	[m/d]
Boringen:					
1 t/m 4	550	450	175	3,15E-04	27
	350	250	100	1,03E-04	9
	350	-	-	5,20E-04	45
	250	-	-	1,03E-04	9
VNK (WTI):					
Echteld	270	-	-	3,50E-04	30
Kreftenheye	230	-	-	6,90E-04	60

Tabel 3.2: Overzicht gehanteerde D_{70} en doorlatendheden (conservatieve schattingen) t.b.v. pipingberekeningen

Op basis van een analyse van de gegevens is voor de maatgevende berekeningen uitgegaan van de waarden uit VNK voor Echteld-zand. De uitkomsten daarvan komen goed overeen met de uitkomsten behorend bij een $D_{70} = 350 \mu\text{m}$ en $k = 5,2\text{E-}04$.

Alleen Kreftenheye 230 leidt tot ongunstigere resultaten, maar is gezien de beschouwde korrelverdelingen niet realistisch.

3.3 Wiel tussen hm 117 en 118

Ter hoogte van dwarsprofiel 3 (hmp 117,5) bevindt zich binnendijks een wiel. Dit wiel vormt met het oog op piping mogelijk een extra risico. Ter plaatse van het wiel geldt dat:

- binnendijks vermoedelijk de gehele deklaag ontbreekt, wat ongunstig is voor piping;
- het maaiveld, of het waterpeil in het wiel beduidend lager is dan het maaiveld van naastgelegen dwarsprofielen, wat eveneens ongunstig is voor piping.

In de eerdere toetsing conform [9] is wel rekening gehouden met het waterpeil in het wiel, maar niet met het ontbreken van de deklaag. In de nieuwe berekeningen is daar wel rekening mee gehouden.

3.4 Zandwinputten en voorlandlengte

De te graven zandwinputten zullen conform de huidige plannen aangelegd worden op tenminste een afstand van 90 m uit de buitenteen van de huidige waterkering (Lekdijk West). Aangenomen is dat het intredepunt voor piping hiermee komt te liggen op 90 m uit de buitenteen van de waterkering.

De aanwezige pipinglengte is bepaald op basis van de 4 dwarsprofielen (zie paragraaf 1.4.3).

De zandwinning is van tijdelijke aard en zal tevens aangewend worden voor specieberging. Na afloop zal het gebied opnieuw ingericht worden als aantrekkelijk en toegankelijk rivier-natuurgebied (paragraaf 1.5). Dit biedt tevens kansen en mogelijkheden om de risico's met betrekking tot de veiligheid van de waterkering te verkleinen.

3.5 Pipingregels en veiligheidsfilosofie

3.5.1 Voorwaarden voor optreden van piping

Voor het kunnen optreden van piping dient voldaan te worden aan tenminste twee voorwaarden:

- 1 De opbarstveiligheid dient kleiner of gelijk aan 1,2 te zijn (opbarsten)
- 2 Er dient voldaan te worden aan het criterium voor heave: het uittrede-verhang is groter dan 0,5. Bij een lager (verticaal) uitstroomverhang kan geen piping optreden.

Ten behoeve van opbarsten en heave zijn aanvullend beschouwingen gemaakt met een volumegegewicht van de deklaag van 14 kN/m^3 (conform de toetsing 2010) en een potentiaal die 1 m lager is dan maatgevend hoog water (MHW).

3.5.2 Toetsing (2010) methode Bligh

Voor de toetsing in 2010 zijn berekeningen uitgevoerd met de methode Bligh, waarbij een creep-factor (C_{creep}) van 15 is aangehouden.

$$\Delta H \leq \Delta H_c = \frac{L}{C_{\text{creep}}}$$

Hierin is:

- ΔH het verval over de waterkering ($= H - h_p$)
- ΔH_c het maximaal toelaatbare verval
- L de minimale kwelweglente
- C_{creep} creepfactor

Indien een binnendijkse deklaag aanwezig is, mag een reductie ($0,3 * d$, met d = dikte deklaag) worden toegepast in verband met een benodigd (verticaal) opbarstkanaal om het

zand aan maaiveld af te voeren. Dit geldt zowel voor de regel van Bligh als voor de regel van Sellmeijer.

$$(\Delta H - 0.3d) \leq \Delta H_c = \frac{L}{C_{creep}}$$

3.5.3 Huidige analyse aangepaste methode Sellmeijer (2011)

Voor de beoordeling van het mechanisme piping zijn nieuwe berekeningen gemaakt voor de 4 aangeleverde dwarsprofielen.

Daarbij is de aangepaste (nieuwe) formule van Sellmeijer uit 2011 gebruikt. Deze geeft in het algemeen ongunstigere uitkomsten dan de oorspronkelijke regel van Sellmeijer uit 1988:

$$\frac{H_c}{L} = F_{resistance} F_{scale} F_{geometry}$$

Met:

$$F_{resistance} = \frac{\gamma'_p}{\gamma_w} \{ \eta \tan(\theta) \} \left(\frac{RD}{RD_m} \right)^{0,35}$$

$$F_{scale} = \frac{d_{70m}}{\sqrt[3]{\kappa L}} \left(\frac{d_{70}}{d_{70m}} \right)^{0,4}$$

$$F_{geometry} = F(G)^{MSep} = 0,91 \cdot \left(\frac{D}{L} \right)^{\left(\frac{D}{L} \right)^{2,8} - 1 + 0,04}$$

waarin:

ΔH_c	kritieke verval over de waterkering [m]
γ'_p	(schijnbaar) volumegewicht van de zandkorrels onder water [kN/m ³]
γ_w	volumegewicht van water [kN/m ³]
θ	rolweerstandshoek van de zandkorrels [°]
η	coëfficiënt van White [-]
κ	intrinsieke doorlatendheid van de pipinggevoelige/bovenste zandlaag [m ²]
d_{70}	70-percentielwaarde van de korrelverdeling [m]
d_{70m}	gemiddelde d_{70} in de kleine schaalproeven (2,08 E-4m)
D	dikte van de zandlaag [m]
L	lengte van de kwelweg (horizontaal gemeten) [m]
RD	relatieve dichtheid [-]
RD_m	gemiddelde relatieve dichtheid in de kleine schaalproeven (0,725)

3.5.4 Veiligheidsfactoren en doorkijk nieuwe ontwerpregels (OI 2014)

Voor de pipingberekeningen met de methode Sellmeijer (2011) is in eerste instantie gebruik gemaakt van de 'standaard' veiligheidsfactor van 1,2. De toets, die met het berekende kritieke verval uit de pipingformule (Sellmeijer) uitgevoerd wordt, is dan als volgt:

$$(\Delta H - 0.3 d) \leq \frac{1}{\gamma} \Delta H_c$$

met: veiligheidsfactor $\gamma = 1.20$ en d = lengte opbarstkanaal [m]

Indien een doorkijk gemaakt wordt naar nieuwe ontwerpregels en nieuwe normering voor waterkeringen, conform het Ontwerp Instrumentarium 2014 (OI 2014), dan dient voor dit betreffende dijktraject een hogere veiligheidsfactor te worden gehanteerd, die mede afhankelijk is van de werknorm voor het betreffende dijktraject en de dijktrajectlengte.

De (werk)normen zijn uitgedrukt als middenkans. De voor het ontwerp te hanteren overstromingskans zal vaak een factor 2 groter zijn dan de middenkans.

Hiervan uitgaande wordt voor piping voor het betreffende dijktraject een zogenaamde sterktefactor gevonden van 1,56.

De totale veiligheidsfactor is het product van deze sterktefactor en de schematiseringsfactor. Vooralsnog is uitgegaan van een schematiseringsfactor van 1,0. Een hogere waarde zal leiden tot een hoger kritiek verval, dus een langere pipinglengte.

3.6 Verwijderen zomerkaden

3.6.1 Algemeen

In het gebied zullen, als gevolg van de zandwinning, een aantal zomerkaden uit het voorland verdwijnen. Hierdoor zal er in de toekomst vaker water tegen het buitentalud van de dijk staan. De vraag is of in verband hiermee aanvullende maatregelen nodig zijn, bijvoorbeeld in de vorm van een extra buitenberm.

Een buitendijkse steunberm heeft als primaire functie een positieve bijdrage voor de buitenwaartse stabiliteit. Daarnaast kan een berm bijdragen aan de erosiebestendigheid van het buitentalud.

Het is derhalve goed voor te stellen dat, ten behoeve van het verwijderen van zomerkaden in het gebied, compenserende maatregelen getroffen dienen te worden. De situatie met water tegen het buitentalud is immers ongunstiger (infiltratie, kwel, hogere waterspanningen) dan zonder water tegen het talud. Een en ander is afhankelijk van de huidige situatie en de opbouw c.q. erosiebestendigheid en doorlatendheid van het huidige buitentalud.

Om te bepalen of extra maatregelen nodig zijn golfberekeningen uitgevoerd en is op basis van de Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde, d.d. 25-10-2012, beoordeeld of extra maatregelen nodig zijn.

3.6.2 Golfberekeningen i.v.m. verwijderen zomerkaden

Ten behoeve van golfberekeningen in verband met het verwijderen van de zomerkaden in het voorland zijn de volgende parameters aangehouden:

- Waterdiepte: 5 m (maaiveld op NAP +3,5 m), waarbij ervan uitgegaan is, dat de zandwinputten op voldoende afstand (minimaal circa 90 m) uit de buitenteen van de waterkering aangelegd zullen worden.

- Windsnelheid: maximaal circa 20 m/s (storm, windkracht 8 - 9).
- Strijklengte, zuidwesten wind, maximaal circa 750 m.

In de situatie na herinrichting van het gebied zal de situatie vermoedelijk gunstiger zijn dan waar nu vanuit gegaan wordt.

Op basis van de uitkomsten is met behulp van de Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken (2012) een beoordeling gemaakt ten aanzien van extra maatregelen.

3.7 Ligging Depots

De depots worden aan de buitenzijde van de Primaire waterkering gerealiseerd en zullen tijdelijk zijn. De depots bestaan uit kleigrond en zullen tenminste 0,5 m lager blijven dan de primaire waterkering. De breedte van de depots bedraagt conform Figuur 1.1 circa 50 m.

De locaties zijn indicatief en kunnen in principe, binnen de projectgrenzen, langs het hele traject van de Lekdijk aangebracht worden.

De depots bestaan uit de ontgraven bovengrond (Deklaag) ter plaatse van de te realiseren zandwinputten en zandopslag.

4 Resultaten onderzoek

4.1 Pipingberekeningen, resultaten uit de toetsing van 2010

De pipingberekeningen voor de toetsing uit 2010 zijn uitgevoerd met de methode Bligh. Daarbij is een creep-factor gehanteerd van 15.

Verder is er, ten aanzien van de dikte van de binnendijkse afdekkingen, een veiligheidsfactor van 0,9 gehanteerd.

Overzicht resultaten pipingberekeningen 3 ^e toetsronde (2015), methode Bligh, C=15; $\gamma = 0,9$									
hmp	108	109	110	111	112	113	114	115	116
MHW	8,35	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,30	8,20
MV/pp	3,50	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
D _{deklaag}	7,50	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11
$\Phi_{3, \text{ theor.}}_{\text{einde berm}}$	8,04	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90	7,86	7,86	7,77
n _{opbarsten}	0,89	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,74	0,74	0,74
i _{uitree}	0,60	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93
L _{benodigd}	42,4	68,9	68,7	68,7	68,7	68,7	68,1	68,1	66,6
L _{aanw}	90	110	110	110	110	110	110	110	110
hmp	117	118	119	120	121	122	123	124	125
MHW	8,19	8,18	8,17	8,15	8,14	8,14	8,13	8,12	8,11
MV/pp	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
D _{deklaag}	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11
$\Phi_{3, \text{ theor.}}_{\text{einde berm}}$	7,78	7,77	7,76	7,74	7,73	7,73	7,72	7,71	7,75
n _{opbarsten}	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
i _{uitree}	0,93	0,93	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
L _{benodigd}	66,5	66,3	66,2	65,9	65,7	65,7	65,6	65,4	65,3
L _{aanw}	90	90	90	95	95	95	95	95	95

Uit de berekeningsresultaten, uitgevoerd voor de toetsing (2010) met de methode Bligh, blijkt dat over het gehele traject voldoende kwelweglengte aanwezig is om piping onder maatgevende omstandigheden te voorkomen.

Opgemerkt wordt, dat ter hoogte van hmp 117 – 118 binnendijks een wiel aanwezig is. Hier is in de toetsing geen rekening gehouden met afwezigheid van de deklaag. Indien hier wel rekening mee gehouden wordt, dan bedraagt de benodigde kwelweglengte (conform Bligh): 91,2 m.

4.2 Opbarsten en heave

Uit de berekeningen uitgevoerd ten behoeve van de toetsing (2010), blijkt dat voldaan wordt aan twee voorwaarden voor het optreden van piping:

- de opbarstveiligheid dient kleiner of gelijk aan 1,2 te zijn (opbarsten);
- er dient te worden voldaan aan het criterium voor heave: het uittrede-verhang is groter dan 0,5.

Ter controle van opbarsten heave zijn, voor de 4 beschouwde dwarsprofielen, indicatief berekeningen uitgevoerd met een 1 m lagere potentiaal dan MHW: NAP +7,45 m.

hmp	110	113	117,5	122
MHW -1 m	7,45	7,45	7,45	7,45
MV/pp	3,3	3,1	2,1	3,4
ok slappe lagen 1	-2	-2	n.v.t.	-2
D _{deklaag 1}	5,3	5,1	0	5,4
n _{opdr} ; $\gamma=14$	0,80	0,77	0,00	0,82
i (heave) 1	0,78	0,85	-	0,75
ok slappe lagen 2	-4	-4	n.v.t.	-4
D _{deklaag 2}	7,3	7,1	0	7,4
n _{opdr} ; $\gamma=14$	0,91	0,88	0,00	0,92
i (heave) 2	0,57	0,61	-	0,55

Tabel 4.1 Overzicht resultaten opbarsten en heave

Uit de berekeningen blijkt dat voldaan wordt aan de voorwaarden voor zowel opdrijven als heave. Derhalve kan bij onvoldoende kwelweglengte piping optreden.

4.3 Pipingberekeningen, resultaten nieuwe berekeningen

De nieuwe berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de 4 aangeleverde dwarsprofielen.

4.3.1 Toetsing Sellmeijer (2011)

In Tabel 4.2 zijn de resultaten opgenomen van de piping berekeningen voor de 4 beschouwde dwarsprofielen met zowel de methode Bligh als Sellmeijer (2011, nieuwe pipingregel).

Overzicht resultaten pipingberekeningen Bligh en Sellmeijer (2011)				
Dwarsprofiel:	hmp 110	hmp 113	hmp 117,5 *	hmp 122
Echteld Zand (VNK), D70 [μm]	270	270	270	270
doorlatendheid, k [m/s]	3,5 E-04	3,5 E-04	3,5 E-04	3,5 E-04
doorlatendheid, k [m/d]	30	30	30	30
L_{aanwezig} , <u>90 m voorland</u> [m]	155	145	145	145
$L_{\text{ben. Bligh}} (C=15)$ [m]	44,4	48,3	95,3	42,5
$L_{\text{ben. Bligh}}$, d = -2 m [m]	53,4	57,3	95,3	51,5
$L_{\text{ben. Sellmeijer 2011}}$, $\gamma=1,2$ [m]	68	75	164	65
$L_{\text{ben. Sellmeijer 2011}}$, $\gamma=1,2$ d = -2 m [m]	85	92	164	81
* ter plaatse van binnendijs wiel, geen deklaag aanwezig				

Tabel 4.2 Overzicht resultaten pipingberekeningen methode Sellmeijer 2011 (veiligheidsfactor $\gamma=1,2$)

Ten opzichte van de oude pipingregel (Sellmeijer 1988) leidt de nieuwe rekenregel tot grotere benodigde kwelweglengtes. Ter plaatse van het wiel (hmp 117,5) scheelt dit circa 64 m. Met uitzondering van het binnendijs wiel is voldoende kwelweglengte aanwezig, of kan in het voorland gecreëerd worden. Het te kort aan kwelweglengte ter plaatse van het wiel bedraagt circa 20 m.

Robuustheidstoets en maaiveld daling

Indien rekening gehouden wordt met ontwerpomstandigheden ; een 0,3 m hoger MHW (robuustheidstoets) en een maaiveld daling van 0,2 m (totaal 0,5 m extra verval), dan is circa 20 m extra pipinglengte nodig. Met uitzondering van het wiel voldoen de berekende profielen hieraan.

Ter plaats van het wiel zal geen maaiveld daling optreden. Indien niet gerekend wordt met opzet van het peil in het wiel, is ter plaatse van het wiel circa 11 m extra pipinglengte nodig. Als het peil van het wiel bij maatgevend hoogwater verhoogd wordt dan is geen extra kwelweglengte nodig.

Het tekort aan kwelweglengte kan door verschillende maatregelen teniet worden gedaan. Zie hoofdstuk 5, Conclusies en advies.

4.3.2 Doorkijk ontwerp met OI 2014 (v3 – juli 2015)

In Tabel 4.3 zijn de resultaten opgenomen van de piping berekeningen voor de 4 beschouwde dwarsprofielen met de methode Sellmeijer.

Overzicht resultaten pipingberekeningen OI 2014, Sellmeijer (2011)				
Dwarsprofiel:	hmp 110	hmp 113	hmp 117,5 *	hmp 122
Echteld Zand (VNK), D70 [μm]	270	270	270	270
doorlatendheid, k [m/s]	3,5 E-04	3,5 E-04	3,5 E-04	3,5 E-04
doorlatendheid, k [m/d]	30	30	30	30
L_{aanwezig} , 90 m voorland [m]	155	145	145	145
$L_{\text{ben. Sellmeijer 2011 [m]}}$ OI2014; g=1,56	93	102	220	88
$L_{\text{ben. Sellmeijer 2011 [m]}}$ OI2014; g=1,56; d = -2 m	115	124	220	110

* ter plaatse van binnendijks wiel, geen deklaag aanwezig

Tabel 4.3 Overzicht resultaten pipingberekeningen Ontwerp Instrumentarium 2014, Sellmeijer 2011 ($\gamma=1,56$)

Ten opzichte van de oude pipingregel (Sellmeijer 1988) leidt de nieuwe rekenregel en het OI2014-v3 tot grotere benodigde kwelweglengtes.

Met uitzondering van het binnendijkse wiel is voldoende kwelweglengte aanwezig, of kan in het voorland gecreëerd worden. Het te kort aan kwelweglengte ter plaatse van het wiel bedraagt met het OI 2014 circa 75 m.

Aanvulling WBI2017 / OI2014-v4

Op basis van nieuwste gegevens uit OI2014-v4 en ook het WBI2017, blijkt de sterktefactor iets hoger te moeten zijn, namelijk 1,62 in plaats van de eerder gehanteerde waarde van 1,56.

Deze waarde geldt voor traject 44-1 (Kromme Rijn), met een lengte van 32,4 km en een norm van 1:30.000. De maximale toelaatbare faalkans bedraagt 1:10.000.

De toelaatbare faalkans voor piping bedraagt daarbij $2,44 \cdot 10^{-7}$ met een bijbehorende betrouwbaarheidsindex van $\beta = 5,07$.

Dat betekent, dat de berekende pipinglengtes, die in tabel Tabel 4.3 zijn weergegeven, met circa 4 % zullen toenemen.

De benodigde pipinglengtes komen daarmee op respectievelijk: 120 m, 129 m, 229 m en 115 m.

Dit betekent, dat op alle trajecten, met uitzondering van de locatie bij het wiel, hm 117,5, voldoende kwelweglengte aanwezig is om piping te voorkomen. Derhalve is er alleen ter hoogte van het wiel risico op piping tijdens maatgevende hoogwater standen.

In hoofdstuk 5 zijn mogelijk te treffen maatregelen aangegeven, die ter plaatse van het wiel getroffen zouden kunnen worden.

Robuustheidstoeslag en maaiveld daling

Indien rekening gehouden wordt met ontwerpomstandigheden (50 jaar); met een 0,3 m hoger MHW (robustheidstoeslag) en een maaiveld daling van 0,2 m (totaal 0,5 m extra verval), dan

is circa 20 m extra pipinglengte nodig. Met uitzondering van het wiel en hmp 113 voldoen de berekende profielen hieraan.

Ter plaats van het wiel zal geen maaivelddaling optreden. Indien niet gerekend wordt met opzet van het peil in het wiel, is ter plaatse van het wiel nog 11 m extra pipinglengte nodig.

Als het peil van het wiel bij maatgevend hoogwater verhoogd wordt dan is geen extra lengte nodig. Gezien de geplande uitvoeringsduur van de zandwinning is het niet nodig om hiermee te rekening te houden.

Het tekort aan kwelweglengte kan door verschillende maatregelen teniet worden gedaan. Zie hoofdstuk5, Conclusies en advies.

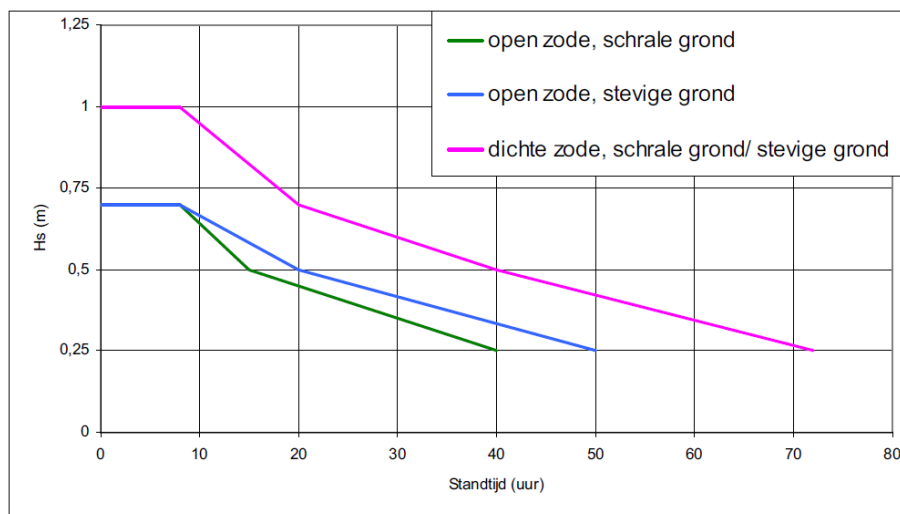
4.4 Verwijderen zomerkaden, golfhoogte en erosie buitentalud

Voor het betreffende dijkvak zijn met verschillende methoden de volgende golfhoogten berekend, zie Figuur 4.1:

Bestand Help	
Invoer	
waterdiepte [m]:	5
strijklengte [m]:	750
windsnelheid op 10 m hoogte [m/s]:	20
Volgens Bretschneider	
significante golfhoogte [m]:	0,47
piekperiode [s]:	2,49
Volgens Young & Verhagen	
significante golfhoogte [m]:	0,28
piekperiode [s]:	2,05
Volgens Wilson	
significante golfhoogte [m]:	0,41
piekperiode [s]:	1,88

Figuur 4.1 Resultaten golfberekeningen

Uit de berekeningen blijkt, dat de golfhoogte beperkt blijft tot maximaal circa 0,50 m. Vervolgens is met behulp van de Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken (2012) een beoordeling gemaakt van de benodigde erosiebestendigheid van het buitentalud. De betreffende grafiek geldt voor een maximale taludhelling van 1:2,5.



Figuur 4.2 Standtijd van de toplaag uit Handreiking Grasbekledingen op dijken

Uit de grafiek blijkt dat, bij een goed erosiebestendig talud (dichte zode) en een golfhoogte van 0,50 m, een standtijd van 40 u wordt gevonden. Bij een weinig erosiebestendig talud bedraagt de standtijd ook nog 20 u. Het is niet aannemelijk dat een storm in het bovenrivierengebied langer aanhoudt dan 20 u.

4.5 Invloed tijdelijke depots en binnendijkse drainage

4.5.1 Depots

De depots hebben in principe geen negatief effect op de faalmechanismen: macrostabiliteit binnenwaarts, macrostabiliteit buitenwaarts en piping.

Met name voor macrostabiliteit buitenwaarts en piping is er juist en gunstig effect.

Alleen ten aanzien erosiebestendigheid van het buitentalud kan er een negatief effect zijn als gevolg van:

1. Het aanbrengen van het depot tot tegen het buitentalud. Tijdens aanwezigheid van het depot, zal er geen negatief effect zijn. Bij hoogwater kan er materiaal wegspoelen, maar dit zal, gezien de breedte (omvang van de depots) geen negatief effect op de waterkering hebben. Bovendien zal de aannemer normaliter maatregelen treffen ter voorkoming van eventueel wegspoelen. Zodra het depot echter opgeruimd wordt, zal met name onderliggende grasbekleding aangetast zijn en een sterk verminderde erosiebestendige werking hebben. Er zullen herstelmaatregelen getroffen dienen te worden om de taluds in oorspronkelijke staat terug te brengen.
2. Indien de depots niet direct tegen het buitentalud worden aangebracht, ontstaat er ruimte tussen de waterkering en het depot. Hier kan tijdens hoog water mogelijk extra stroming ontstaan en/of hogere stroomsnelheden, waardoor mogelijk het buitentalud extra aangetast zal worden. Een en ander is sterk afhankelijk van de (staat van) huidige bekleding en/of het waterpeil.

4.5.2 Drainage binnendijks

Als gevolg van het aanbrengen van drainage, zullen tijdens maatgevende omstandigheden de grondwaterstanden en waterspanningen onder en met name achter de waterkering lager blijven/worden. Dit heeft een gunstig effect op de stabiliteit van het dijklichaam.

Er is derhalve geen negatief effect van het aanbrengen van drainage op de sterkte van de dijk.

De effecten op de stabiliteit van het dijklichaam zijn, met name in kwantitatieve zin, reeds onderbouwd in de eerdere rapportage uit 2006:

- 1 Rapport: Onderzoek naar de invloed van zandwinning in de Bosscherwaarden; Deltares (WL/Delft Hydraulics), Q4056.40-versie 02, d.d. april 2006. In opdracht van de Ingensche Waarden B.V.

In onderhavige rapportage is in paragraaf 1.3 het volgende aangegeven:

De binnenwaartse stabiliteit is al eerder beoordeeld, zie [1]. In het kader van deze opdracht is hier verder geen onderzoek naar verricht.

Opgemerkt wordt dat de zandwinning van tijdelijke aard is en dat wellicht al tijdens en na de zandwinning ook specieberging zal plaatsvinden en het gebied uiteindelijk als rivier-natuurgebied ingericht zal worden. Daarmee zullen mogelijke negatieve effecten van de zandwinning ook van tijdelijke aard zijn.

Verhoogd grondwater, dat met de drainage afgevangen zal worden, mogelijk met een bemalingssysteem, zal geen bijzonder negatief effect op de dijk. In de huidige situatie is er ook reeds sprake van kwel onder de dijk door (zie [1]). Als gevolg van vergravingen buitendijks zal de kweldruk iets toe te nemen, waardoor binnendijks de waterdruk iets toeneemt. Met een drainage wordt dit juist zoveel mogelijk weer gecompenseerd, wat gunstig is voor de stabiliteit van de waterkering. Het effect van lagere waterspanningen zal groter (gunstiger) zijn dan de toename van waterstroom onder de dijk door.

4.5.3 Overige vragen

Zoals in paragraaf 1.3 is aangegeven zijn nog 2 (aanvullende) vragen gesteld:

- 1: wat is het effect van 2 cm opstuwing bij MHW in het westelijk gedeelte van het gebied;
- 2 hoe ziet de uitvoering van het afdekken van de taluds eruit en welke risico's zijn daar aan verbonden.

Ad.1

Een opstuwing van 2 cm zal geen noemenswaardig effect hebben. In de berekeningen is overigens rekening gehouden met een robuustheidstoetslag van 0,30 m.

Ad.2

Het aanbrengen van kleiafdekkingen onderwater is een vrij lastige zaak en dient met de nodige zorgvuldigheid te geschieden. Er zijn een aantal voorbeelden, waarbij dit goed gelukt is en goed mogelijk bleek. Een en ander is echter sterk afhankelijk van de gekozen uitvoeringsmethode. De te kiezen uitvoeringsmethode zal door de aannemer bepaald worden. Met behulp van de juiste meettechnieken, met name met behulp van peilbuismetingen en met onderwaterpeilingen (multibeam echoloding – sidescan-sonar), kan een en ander goed gemonitord worden. Uiteindelijk zullen na de zandwinning de putten grotendeels weer gedempt worden en het gebied heringericht worden als riviernatuurgebied.

Daarmee kan, zoals ook reeds in deze rapportage is aangegeven, de situatie met betrekking tot de waterveiligheid van de primaire waterkering verbeterd worden en risico's verkleind worden ten opzichte van de huidige situatie.

5 Conclusies en advies

5.1 Piping

Uit de berekeningen blijkt dat, met name ter plaatse van het wiel (hm 117,5), ook in de huidige situatie, mogelijk een kwelweglengte tekort kan ontstaan tijdens maatgevend hoog water (MHW).

Onder de huidige (toets)omstandigheden bedraagt de benodigde kwelweglengte namelijk 164 m ter hoogte van het binnendijkse wiel (zie Tabel 4.2).

De aanwezige kwelweglengte is onder andere afhankelijk van de lengte waarover een (relatief) ondoorlatende deklaag in het voorland aanwezig is. Dit bepaalt namelijk de ligging van het zogenaamde intredepunt voor piping. Deze is niet exact bekend.

Indien, ten behoeve van het graven van de zandwinputten, een afstand van 90 m uit de buitenteen van de waterkering (Lekdijk West) aangehouden wordt als intredepunt, dan is er nog een tekort van circa 20 m kwelweglengte. De afstand van de buitenteen tot het binnendijkse uitredepunt bedraagt namelijk 55 m (totale kwelweglengte = 145 m).

Uitgaande van ontwerpomstandigheden op basis van het Ontwerp Instrumentarium 2014 (OI 2014), bedraagt de benodigde kwelweglengte circa 220 m. Het tekort aan kwelweglengte komt dan op 75 m.

De uitkomsten wijken af van de toetsing uit 2010. De oorzaak hiervoor ligt enerzijds in het feit dat in de toetsing de situatie rondom het wiel mogelijk onvoldoende gedetailleerd beschouwd is en alleen de eenvoudige methode van Bligh gehanteerd is. Anderzijds leidt de nieuw te hanteren pipingregel (Sellmeijer 2011) tot aanzienlijk langere benodigde kwelweglengtes, met name ook als daarbij uitgegaan wordt van toekomstige ontwerpparameters (OI 2014).

Concreet betekent dit dat, indien géén gebruik gemaakt wordt van de nieuwste inzichten en rekenmethodiek ten aanzien van piping, er ter plaatse van de maatgevende locatie (wiel bij hmp 117,5), bij een ontgravingsafstand van 90 m uit de buitenteen, geen tekort aan kwelweglengte gevonden wordt en dat derhalve geen extra maatregelen nodig zouden zijn.

Uitgaande van de nieuwste inzichten en toekomstige normering en regelgeving wordt echter wel een tekort aan kwelweglengte berekend.

Maatregelen om dit te kort aan kwelweglengte op te heffen kunnen/zullen voornamelijk bestaan uit:

- Het aanbrengen van een deklaag in het voorland en ter plaatse van het talud en de bodem van de zandwinputten. Dit kan door het aanbrengen van een sliblaag of bijvoorbeeld bentonietmatten op de taluds en/of de bodem van de zandwinputten. Het betreft daarbij hoofdzakelijk de taluds aan de zijde van de waterkering (noordelijke taluds).
Een deklaag die in het voorland wordt aangebracht dient tenminste 1,5 m dik te zijn. Uitgangspunt daarbij is dat de bovenste 0,5 m als leeflaag functioneert. Een slibafdekking op de (onderwater) taluds en bodem van een zandwinput dient minimaal 2 m dik te zijn.
- Het aanbrengen binnendijks van een piping-, c.q. heave scherm. Een dergelijk scherm kan gedimensioneerd worden op het heave-criterium, waardoor dergelijke schermen meestal relatief kort kunnen zijn.
- Het aanbrengen van een (dichte) deklaag in het wiel of een filterconstructie, waardoor geen zand meer kan uittreden.

Belangrijk is het feit, dat de situatie met ontgraven zandwinputten slechts van tijdelijke aard is. De zandwinputten zullen gebruikt worden voor speciebergings en na afloop zal het buitendijkse gebied opnieuw ingericht worden als aantrekkelijk en toegankelijk rivier-

natuurgebied (zie paragraaf 1.5). Bij de herinrichting kan en zal voldoende rekening gehouden worden met het aanbrengen van dekklagen en voldoende ondoorlatend materiaal, waardoor in de toekomstige situatie het risico op piping, ook ten opzichte van de huidige situatie, aanzienlijk zal verbeteren.

Gezien de mogelijk te treffen maatregelen, die voornamelijk zullen bestaan uit het aanbrengen van afdekklagen in het voorland en ter plaatse van de (noordelijke) taluds en de bodem van de zandwinputten, is het in principe niet direct nodig om meer onderzoek uit te voeren of gegevens te verzamelen.

Meer onderzoek en/of gegevens, van zowel de binnendijkse als de buitendijkse deklaag, (diktes, doorlatendheden, volumegewichten e.d.) en meer informatie omtrent het wiel (diepte, dwarsprofiel, bodemopbouw e.d.), kan wel leiden tot optimalisatie van de te treffen maatregelen.

5.2 Verwijderen zomerkaden i.r.t. aanleg buitenberm

Uit een analyse van de mogelijke effecten van het verwijderen van een aantal zomerkaden in het gebied, blijkt dat verwacht mag worden, dat de golfhoogtes beperkt zullen blijven tot maximaal 0,50 m. Bij dergelijke golfhoogten zal een slecht/weinig erosiebestendig talud, met een helling van 1:2,5 m, circa 15-20 u standhouden. Bij een erosiebestendig talud is dit 40 u. Een en ander is dus afhankelijk van de kwaliteit en de erosiebestendigheid van de huidige taluds. Aangenomen mag worden dat deze als gevolg van beheer en onderhoud goed zijn en dat derhalve op een standtijd van 40 u gerekend mag worden.

Gezien deze resultaten is het op voorhand niet nodig om aanpassingen aan het buitentalud te realiseren, zeker niet in de vorm van een extra buitenberm.

Geadviseerd wordt om in een later stadium, op basis van ervaringen in het veld en het gedrag in de praktijk, te beoordelen of aanvullende maatregelen nodig zijn om het buitentalud (lokaal) beter tegen erosie te beschermen. Dit kan op diverse manieren, bijvoorbeeld door verflauwing van het talud, het aanbrengen van een betere grasmatten en/of betere erosiebestendige kleilaag, het aanbrengen van een steenbekleding (grasbeton, basalton) e.d. Het aanbrengen van een extra (steunberm) wordt daarbij niet nodig geacht, tenzij in de praktijk blijkt dat het gedrag, ook bij de aangegeven maatregelen onvoldoende is.

Of vanuit oogpunt van beheer een berm nodig is kan niet door Deltares beoordeeld worden. Momenteel is dat in ieder geval kennelijk niet nodig. Om deze afweging te kunnen maken, dient na gegaan te worden hoe vaak er bij het vergraven van de zomerkades water direct voor de dijk komt te staan en of de frequentie van voorkomen (van water voor de dijk) het beheer van de waterkering daadwerkelijk belemmert. Wellicht moet daarbij ook nagegaan worden waaruit het beheer precies bestaat en wat de frequentie van het beheer (bijvoorbeeld maaien) is.

Bijlage(n)**1: Tekst uit Addendum TRWG: Wielen en strangen****Uit: Addendum bij het TRWG; DEEL B / TEKSTEN UIT LOR1 EN LOR2****Wielen en strangen nabij de dijk**

(TRWG hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5 en LOR1 p.177)

Algemeen

Dichtbij rivierdijken worden op veel plaatsen wielen aangetroffen, die bij vroegere doorbraken van de dijk zijn ontstaan. Door het binnenstromend water werd de grondslag ter plaatse uitgeschuurd. Doorgaans werd dan na het hoogwater een nieuwe dijk aan de rivierzijde om het wiel aangelegd en soms ook wel aan de polderzijde van het wiel. Op een aantal plaatsen komen dicht bij de dijk ook strangen voor. Dit zijn oude, min of meer verlande rivierlopen.

Kenmerkend voor wielen en strangen is het soms vrij diepe en gedeeltelijk met water gevulde gat in de bodem. Indien zo'n wiel of strang dicht bij de dijk ligt kan de stabiliteit van de dijk nadelig worden beïnvloed. Ten aanzien van de gevolgen voor de stabiliteit kan onderscheid worden gemaakt in binnendijs gelegen wielen en een wiel of strang buitendijs.

Wiel binnendijs

Doorgaans is een wiel zo diep, dat het tot in de zandondergrond onder de veelal aanwezige klei- en veenlagen reikt. Bij hoge rivierstanden is er dan een aanzienlijke kwel door dit zandpakket heen, naar het wiel. Het grondwater treedt uit het zandige onderwatertalud, en is daarbij het sterkst geconcentreerd in het bovenste deel van het zandtalud. Zo'n grond-waterbeweging kan instabiliteiten in het talud veroorzaken.

In het verleden heeft men bij verscheidene wielen met gebruikmaking van kwelkaden het water ter plaatse van wielen opgezet. Het verval over de dijk werd daarmee beperkt en de stabiliteit vergroot.

Dijkvakken bij een wiel zijn kwetsbaarder dan normale dijkvakken. Gebreken zullen vaak pas in een relatief laat stadium worden geconstateerd, omdat de uitstroom van water, eventueel uitspoeling van grond en het optreden van vervormingen beneden het niveau van het waterpeil in het wiel aan de waarneming onttrokken is. Tijdig ingrijpen bij dreigend stabiliteitsverlies wordt hierdoor bemoeilijkt. Bovendien zal bij dreigend doorbraakgevaar het treffen van noodmaatregelen door de aanwezigheid van het wiel maar beperkt mogelijk zijn.

Het dijkontwerp verdient ter plaatse van wielen daarom meer aandacht dan elders.

De mogelijke vormen van instabiliteit bij wielen zijn in principe gelijk aan die bij gewone dijkvakken. Bij een wiel is echter eerder kans op uitspoeling van grond (micro-instabiliteit) of het optreden van zandmeevoerende wellen. Daarnaast kan de stabiliteit van een dijk bij een wiel, evenals bij de normale dijkvakken, verloren gaan door het ontstaan van diepe glijvlakken. Daarbij kan, afhankelijk van het dwarsprofiel van de dijk, de waterkering geheel of voor een groot deel in beweging komen. Omdat een wiel een grote bergingsmogelijkheid biedt voor een schuivende grondmassa, moet een dergelijk stabiliteitsverlies als zeer ernstig beoordeeld worden. De na te streven veiligheid dient mede door dit gegeven te worden bepaald. Voor elk van deze aspecten wordt verwezen naar het TRWG (TAW, 2001), het TRZW (TAW, 1999) en het TRW (TAW, 2003-a).

Enkele aanvullende opmerkingen zijn hierbij echter nodig:

- De taluds en de bodem van een wiel kunnen bedekt zijn met een min of meer geconsolideerde sliblaag. Dit leidt tot een extra uittreeweerstand voor het kwelwater, waardoor de waterspanningen in de grond hoger worden dan wanneer er geen sliblaag aanwezig is.

- De grondwaterstroming zal min of meer driedimensionaal kunnen zijn. Dit leidt tot hogere waterspanningen dan bepaald uit de doorgaans gebruikte tweedimensionale schematisering.
- Inscharingen in een afdekkende kleilaag op een zandondergrond ter plaatse van het onderwatertalud veroorzaken eveneens een concentratie van de grondwaterstroming.
- Wanneer de grond langs het onderwatertalud door afzetting van slib of door begroeiing niet homogeen is, kan men stromingsconcentraties in het uittredende grondwater verwachten.

Het verhogen van het waterpeil in het wiel hoeft met name bij de aanwezigheid van een binnenberm niet altijd tot een vergroting van de stabiliteit langs diepe glijvlakken te leiden. Ter vergroting van de stabiliteit kunnen speciale maatregelen getroffen worden, hetzij om het kwelwater aan de rivierzijde van de dijk te blokkeren, hetzij om het kwelwater zonder gevaren voor stabiliteitsverlies uit het zandtalud te laten uittreden.

- Bij de eerstgenoemde mogelijkheid kan worden gedacht aan waterdichte schermen (zie Hoofdstuk "Bijzondere constructies" in dit deel). De toepassing lijkt echter beperkt, in verband met de doorgaans aangetroffen bodemgesteldheid.
- Het aanbrengen van een filterconstructie in de potentieel gevaarlijke zone van het talud geeft een oplossing voor de tweede genoemde mogelijkheid (zie Hoofdstuk "Bijzondere constructies" in dit deel). Bij wielen zal vanwege de moeilijke uitvoering en inspectie tijdens hoogwater de filterconstructie betrekkelijk ruim gedimensioneerd moeten worden.
- Een relatief robuuste en tegenwoordig vaak toegepaste methode is het aanbrengen van een flauw talud in zand, onder water. Ter voorkoming van uitspoeling van grond zal het talud een helling van 1V:5H of flauwer moeten hebben. Als alternatief kunnen bijzondere waterkerende constructies worden toegepast.

6 Zandwinning en oeverveiligheid

6.1 Inleiding

Ten behoeve van de beoordeling van de effecten van de voorgenomen zandwinning en specieberging in de Bosscherwaarden door Bosscherwaarden BV stelt Royal HaskoningDHV Nederland een MER op.

In dit kader heeft Deltares onderzoek gedaan naar de veiligheid van de oevers van de zandwinput en de waterkering, waarbij ook sonderingen zijn uitgevoerd, zie memo "Grondonderzoek Bosscherwaarden", d.d. 30 november 2007 (als bijlage opgenomen bij dit memo).

In het memo van 30 november 2007 zijn de richtlijnen t.a.v. het ontwerp taludhelling en de uitvoering van de zandwinning gegeven die van belang zijn voor de oeverveiligheid en de buitenwaartse stabiliteit van de waterkering. Dit is dus feitelijk een toetsing van de veiligheid van de oever t.a.v. het faalmechanisme zettingsvloeiing (bres- of verwekingsvloeiing) en daardoor het risico op afschuiving van de waterkering. Het heeft geresulteerd in een aangepaste veiligheidszone langs de rivierdijk waar de insteek van de zandwinning buiten moet blijven. Deze zone is nu vergroot van 50 tot 90 m.

In tabel 1 staat het voorlopig voorgenomen ontwerp van de zandwinning (HaskoningDHV).

Tabel 1 Voorlopig ontwerp

Randvoorwaarden	Interpretatie
Insteek en taludhelling voor de ontgroning	De afstand tussen de insteek van de ontgroning en de teen van de Lekdijk bedraagt minimaal 90 meter. De ontgroning krijgt een talud van 1:3 tot NAP -12,5 meter en 1: 3,5 van NAP -12,5 tot NAP -22,5 meter.

Gevraagd is het ontwerpplan voor de uitvoering te actualiseren.

6.2 Locatie

Figuur 1 geeft een indruk van de huidige situatie. Figuur 1.1. Deltares Memo 1210430-002-ZKS-0001, Piping Lekdijk Bosscherwaarden, geeft het huidige inrichtingsplan van Haskoning en in Figuur 1.2, zie ook Figuur 2 in de bijlage, is het uitgevoerde grondonderzoek aangegeven en tevens wit gearceerd het gebied van de vroegere, deels weer aangevulde zandwinning.



Figuur 1 Zicht op de Bosscherwaarden vanaf de weg naar de steenfabriek in Noordelijke richting (foto 2014)

In tabel 2 is de gemeten maaiveldhoogte ter plaatse van de sonderingen vermeld.

Tabel 2 Gemeten maaiveldhoogte bij uitgevoerde sonderingen

2007	40 m diepte
Sondering	Maaiveld m + NAP
SO1	3.52
SO2	4.09
SO3	3.88
SO4	5.84
SO5	4.59

6.3 Evaluatie ontwerp zandwinning

In de notitie van 2007 (bijlage) is, vooruitlopend op de CUR Aanbeveling, een ontwerp voor het talud aangegeven dat rekening houdt met de uitvoering.

In 2008 is de CUR Aanbeveling 113, Oeverstabiliteit bij zandwinputten verschenen. Op basis van deze richtlijn is het ontwerp voor de zandwinning opnieuw bekeken. De CUR richtlijn geeft aanbevelingen voor monitoring tijdens de uitvoering, zoals het meten van de positie van de zuigkop t.o.v. de ontwerplijn en de taludontwikkeling door regelmatige bodempeiling.

De CUR aanbeveling geeft een ontwerptalud dat bij uitvoering voldoende veiligheid garandeert, mits het zand niet te fijn is en niet te losgepakt. Uit de boringen (Fugro, 2001), zie tabel 2 van de memo van 2007 in de bijlage, blijkt dat hoofdzakelijk (matig) grove zanden worden aangetroffen, naast lokaal een (matig) vaste kleilaag, zodat deze methode mag worden toegepast.

In 2007 zijn door Deltares (GeoDelft) 5 sonderingen uitgevoerd langs de waterkering, deze zijn gerapporteerd in de notitie van Deltares / WL 2007, Q4338.35, CO-412453/378.

Bij dit grondonderzoek (sonderingen tabel 2) is vastgesteld dat het zand over het algemeen matig tot vastgepakt is met enkele wat minder vastgepakte lagen (R_n 35 tot 40%) op grotere diepte bij SO1, 2 en 4. De relatieve dichtheid R_n is een maat voor de gevoeligheid van de zandbodem voor verweking.

Uitgaande van een gemiddeld rivierwaterpeil van NAP + 3.45 m en de maaiveldhoogte zoals gegeven in tabel 2, is in figuur 2 het ontwerptalud van de zandwinput geschetst. De rode lijn geeft het huidige ontwerp (volgens tabel 1), de groene lijn geeft het thans aanbevolen onderwatertalud volgens CUR 113, zie tabel 3.

Voor het bovenste deel van het onderwatertalud en het bovenwatertalud (de deklaag) is hier echter een helling van 1:3 aangehouden in plaats van 1:2 om bij de oever voldoende veiligheid tegen afschuiving te garanderen. Door Bosscherwaarden BV is reeds toegezegd de uitvoering volgens het ontwerp in figuur 2 en tabel 3 uit te voeren.

Het aanbevolen talud is onderin (vanaf NAP – 6.55 m, zie tabel 3) flauwer (1:4 tot 1:8) dan het ontwerp. Daardoor wordt de kans op bres- of verwekingsvloeiing verder gereduceerd en is het realiseren van het talud bovendien beter uitvoerbaar, omdat er geen scherpe knik bij de bodem is.

Na voltooiing van de zandwinning wordt de put weer geleidelijk verondiept door het bergen van baggerspecie, waardoor de stabiliteit op termijn weer verder toeneemt.

6.4 Risicobeschouwing

Bij uitvoering van de zandwinning, ook als deze volgens de richtlijnen plaatsvindt, moet niettemin rekening gehouden worden met de kans op een oeverinscharing. Volgens de 'Eenvoudige Risicobeschouwing' in CUR 113 is de veiligheid voldoende gewaarborgd indien zich geen permanente belendingen met bijzondere waarde bevinden binnen een afstand van 2x of 3x de putdiepte, gerekend vanaf de waterlijn, dit laatste nog afhankelijk van het mogelijke faalmechanisme, bres- of verwekingsvloeiing. Dit betekent een veiligheidszone van 50 of 75 m.

De veiligheidszones in CUR 113 zijn gebaseerd op een evaluatie van alle bekende in het verleden opgetreden oeverinscharingen door zettingsvloeiing bij zandwinputten, zoals ook al vermeld in de memo van 2007, zie figuur 4 in de bijlage. Bij de inventarisatie is vastgesteld dat voorzover oeverinscharingen bij zandwinputten zijn opgetreden en waarnemingen bekend waren, dit steeds gebeurde tijdens de uitvoering en bestond uit een geleidelijk terugschrijdend erosieproces (bresvloeiing).

De losgepakte lagen, genoemd in de memo van 2007, liggen onder de beoogde putbodem, behalve bij S02, namelijk op NAP – 20 m tot -21.5 m en S04 op NAP – 22 m tot onder de putbodem. Aangegeven is dat dan lokaal taludhellingen nodig zijn van gemiddeld 1:4 tot 1:6 om verwekingsvloeiing met voldoende zekerheid uit te kunnen sluiten. Volgens het huidige ontwerp (figuur 2 en tabel 3) is dit dus het geval, zodat verwekingsvloeiing kan worden uitgesloten en een veiligheidszone van 50 m voldoende veilig is.

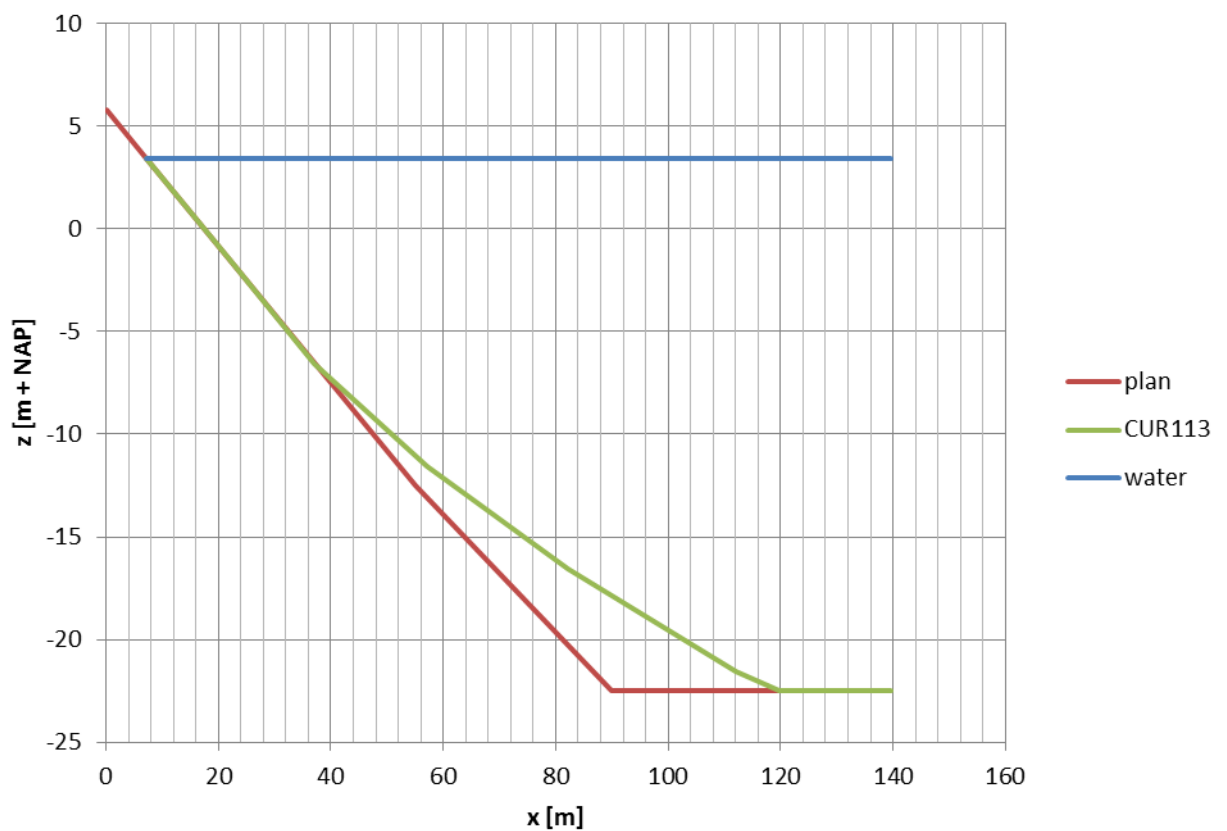
In de notitie van 2007 is genoemd dat het risico op overstroming, bij een combinatie van extreem hoogwater en dijkbeschadiging door een oeverinscharing kan worden uitgesloten als bepaald kan worden dat onder deze omstandigheden de zandwinning stilgelegd wordt, wat uit praktisch oogpunt ook al het geval zal zijn.

Om de stabiliteit van de waterkering altijd te kunnen garanderen, ook al is er geen sprake van hoog water, mag de verstoringszone ten gevolge van een oeverinscharing niet in de stabiliteitszone van de waterkering komen, zoals omschreven in NEN 3651, Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken. Dit is opgenomen in het inrichtingsplan van RoyalHaskoning en geeft dus een aanvullende veiligheid voor de waterkering t.o.v. CUR 113.

De stabiliteitszone, gerekend vanuit de teen van de dijk bij het maaiveld, wordt veiligheidshalve op 4x de hoogte van de waterkering gesteld. Met een dijkhoogte van NAP + 9.55 m (uit AHN) volgt dan een stabiliteitszone van 15 tot 25 m, afhankelijk van de maaiveldhoogte ter plaatse, zie tabel 2.

De maximale aan te houden afstand voor de veiligheidszone van de insteek van de zandwinning tot de teen van de dijk volgens CUR 113 en NEN 3651 is dus 75 m.

Zandwinning Bosscherwaarden



Figuur 2 Taludontwerp volgens CUR 113 (locatie bij S04)

6.5 Conclusies en aanbevelingen

Aanbevolen wordt het in figuur 2 geschetste taludontwerp volgens CUR 113 aan te houden. Omdat vooral grove zandlagen of (matig) vaste klei wordt aangetroffen geeft dit ontwerp voldoende veiligheid om bij de zandwinning de kans op oeverinschaling door bresvloeiing te minimaliseren.

Bij de uitvoering wordt aanbevolen de positie van de zuigkop en de taludontwikkeling te monitoren zoals in CUR 113 vermeld. Ook dienen de dikkere kleilagen evenals de deklaag zoveel mogelijk afzonderlijk verwijderd te worden.

Hoewel enkele losgepakte lagen worden aangetroffen bij de sonderingen van 2007 geeft het aangepaste ontwerp voldoende zekerheid om verwekingsvloeiing uit te kunnen sluiten.

De maximale aan te houden afstand voor de veiligheidszone van de insteek van de zandwinning tot de teen van de dijk volgens CUR 113 en NEN 3651 is dan 75 m. De nu aangehouden 90 m voldoet dus.

Aanbevolen wordt bij de uitvoering van de oostelijke zandwinning ook rekening te houden met de aangrenzende bestaande zandwininput ten einde te voorkomen dat eventueel slib uit deze put ongecontroleerd in de nieuw ontgraven zandwininput stroomt en daarnaast ook rekening te houden met de stabiliteit van de toegangsweg en de steenfabriek.

Tabel 3 Aanbevolen taludhelling conform CUR 113

CUR113	taludhelling	
diepte z m + NAP	1:	
5.84	3	maaiveld
3.45	3	waterpeil
-1.55	3	
-6.55	4	
-11.55	5	
-16.55	6	
-21.55	8	
-22.5		putbodem

7 Bosscherwaarden bodemstabiliteit

7.1 Vraagstelling

De Ingensche Waarden BV heeft aan Haskoning Nederland BV opdracht gegeven om een inrichtings-milieueffectrapportage op te stellen om alle effecten van een zandwinning in combinatie met een baggerspeciebergings in de Bosscherwaarden in beeld te brengen. De milieueffect-rapportage "MER Baggerbergings en zandwinning Bosscherwaarden" door Royal Haskoning, is in concept is verschenen op 21 december 2007. Bij de verschijning van de Startnotitie Zandwinning en Baggerbergings Bosscherwaarden, als voorloper van de MER, heeft de Natuur en Milieufederatie Utrecht per brief van 7 februari 2003 aan de Provincie Utrecht een aantal vragen geformuleerd die naar haar mening nader uitgewerkt zouden moeten worden.

De volgende vraag uit de brief van 7 februari 2003, die betrekking heeft op de geohydrologie en de stabiliteit van bodem en waterkering, is door de Provincie Utrecht overgenomen en voorgelegd aan de initiatiefnemer, De Ingensche Waarden BV:

"Tussen het nabij gelegen Amsterdam-Rijnkanaal en dit gebied is er met betrekking tot de waterstanden een groot potentiaalverschil. Welke risico's brengt een diepe put mee voor een versterkte grondwaterstroming en stabiliteit van de bodem van het Amsterdam-Rijnkanaal. Bestaat er gevaar voor het opdrukken van die bodem. Welke maatregelen zijn er om dat te voorkomen en kunnen die worden toegepast."

Deze vraag dient door de initiatiefnemer te worden beantwoord alvorens tot vergunningsverlening over gegaan kan worden. Door de Provincie Utrecht is een specifieke vraagstelling als reactie op het concept MER rapport naar voren gekomen ten aanzien van paragraaf 11.3, Stabiliteit primaire waterkering, namelijk:

"Geef de consequenties voor de stabiliteit van bodemlagen van de watergangen, inclusief het Amsterdam – Rijnkanaal en ontgrondingen. Er is onderzoek gedaan naar de stabiliteit van de primaire waterkering, niet naar de stabiliteit van de bodemlagen (van de watergangen, en het ARK)."

Deze vraag heeft betrekking op de vraag van de Natuur- en Milieufederatie Utrecht, zoals hierboven geformuleerd. Deltares heeft opdracht gekregen van Royal Haskoning per brief met kenmerk 9S0250/L00004/500051/Rott1, 23 januari 2009, om dit aspect te onderzoeken en hierover een korte notitie op te stellen op basis van expert judgement op dit onderdeel. Modelberekeningen of veldonderzoeken zijn daarvoor vooralsnog niet noodzakelijk. Deze notitie is opgesteld door ir Dick R. Mastbergen en gereviewed door ir T. Vergroesen.

7.2 Stabiliteit bodemlagen, theorie

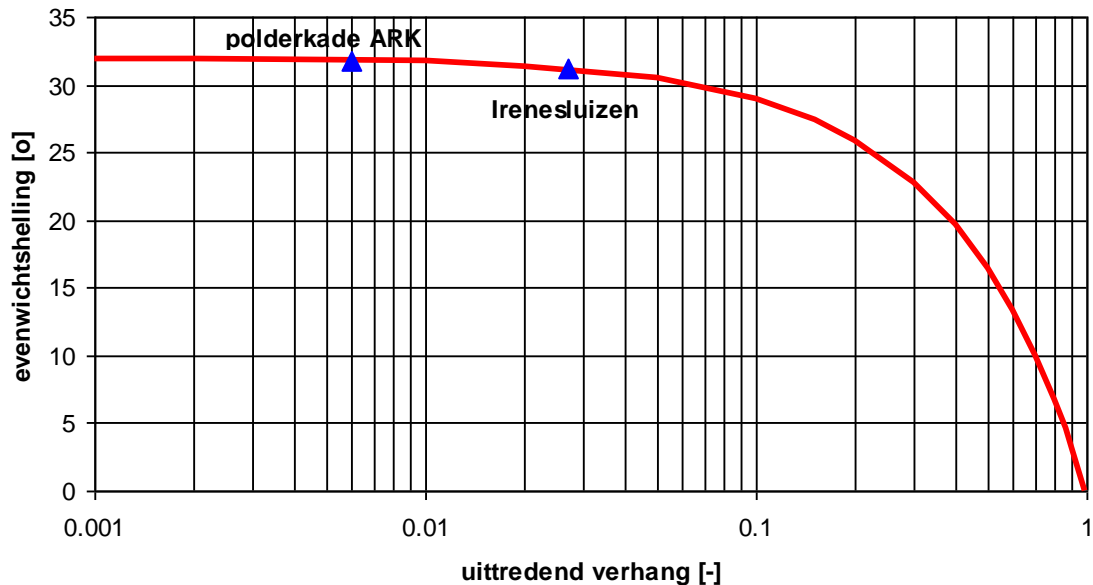
De stabiliteit van een zandlaag op een helling bij in- of uittredend poriënwater kan worden geëvalueerd met de formule voor de zogenaamde walletjessnelheid. Dit is de terugschrijdende erosiesnelheid van een zandoppervlak onder invloed van zwaartekracht en poriënwaterstroming. Terugschrijdende erosie of bressen wordt toegepast bij zandwinning met winzuigers in diepe putten (bressen).

$$v_{wal} = - \frac{i + (1 - n_0) \Delta \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\sin(\varphi)}}{\Delta n / k_\ell}$$

Hierin zijn n_0 de porositeit van het zand, i het verhang (negatief bij uittredend poriënwater), Δ de relatieve dichtheid van de zandkorrels ($= 1,65$), Δn de porositeitstoename bij erosie of afschuiving, k_ℓ de doorlatendheid van de afgeschoven zandlaag in m/s, α de taludhelling (maximaal 90°) en φ de natuurlijke rusthoek van het zand (ligt voor de meeste zandsoorten tussen 29° en 37°). Het effect wordt in relatie met bodemstabiliteit, ook wel micro-instabiliteit genoemd en komt voor bij dijken, dammen, in diepe bouwputten, etc. zie ref. Het is vergelijkbaar met “piping”, maar het manifesteert zich aan het oppervlak langs een talud.

Uit de formule kan worden afgeleid dat er geen sprake is van terugschrijdende erosie ($v_{wal} = 0$) als de teller van het rechterlid van de vergelijking 0 is, waarbij α de evenwichtshelling is van het zandoppervlak. In een situatie zonder grondwaterstroming ($i = 0$) is er evenwicht bij de natuurlijke wrijvingshoek van het zand φ van ongeveer 32° . Er is sprake van volledige verweking of fluïdisatie (drijfzand) bij een uittredend verhang van 0,99, immers dan is de evenwichtshelling α gelijk aan 0. Tussen deze uitersten verloopt de evenwichtshoek zoals weergegeven in figuur 1. Bij intredend grondwater (infiltratie) verhoogt de stabiliteit dan wel de weerstand tegen erosie en bij uittredend grondwater (kwel) wordt deze minder, zie referentie. Het effect van het verhang kan ook verrekend worden in de hoek van inwendige wrijving φ die effectief lager wordt bij uittredend poriënwater. Dat betekent dat de gevoeligheid voor erosie door een stroming toeneemt. In figuur 1 kan worden afgelezen dat dit effect pas merkbaar wordt bij een uittredend verhang groter dan 0,1.

stabiliteit zandbed bij uittredend verhang



Figuur 1 Effectieve hoek van inwendige wrijving zandlaag bij uittredend verhang

7.3 Toepassing op Bosscherwaarden

In de rapportage “Onderzoek naar invloed zandwinning in de Bosscherwaarden”, T. Vergroesen, WL | Delft Hydraulics, Q4056.40, april 2006, zijn modelberekeningen uitgevoerd van de optredende kwel in de polder achter de dijk ten noord-westen van de Bosscherwaarden in de situatie voor en na de zandwinning (verwijderen van deklagen). Daartoe zijn de meest extreme condities aangenomen t.a.v. de waterstanden om de kweloverlast in de polder ten noorden van de Lekdijk te bepalen. De volgende aannamen gelden:

- permanent hoogwater op de Lek van 7,60 m + NAP
- hydraulische weerstand deklagen in de polder van 1400 dagen.
- hydraulische weerstand bodemlagen in het Amsterdam Rijnkanaal 60 dagen.
- Het waterpeil in het Amsterdam-Rijnkanaal is 0,40 m – NAP.
- Polderpeil 1,25 – 2,15 m + NAP

De berekeningen geven aan dat de toename van de kwel in de polder bij hoogwater ten gevolge van de zandwinning zal toenemen met minder dan 0,1 mm/dag. In vergelijking met bijv. de ontwerp-afvoernorm van 13 mm/dag is dit een verwaarloosbare toename. De waterstand van 7,60 m + NAP bij Wijk bij Duurstede is de hoogste ooit waargenomen (1995). Zelfs bij een nog 0,5 m hogere waterstand blijft de toename van de kwel minder dan 0,1 mm/dag.

De kwel door de bodem van het Amsterdam-Rijnkanaal is weliswaar het grootst, maar er treedt hier geen verandering op ten gevolge van de zandwinning. Het grootste potentiaalverschil bij hoogwater op de Lek treedt namelijk op bij de Irenesluizen welke de scheepvaartverbinding vormen tussen het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek, aan de noord-

oost zijde aan de Bosscherwaarden. Het waterstandsverschil over de sluizen is maximaal 8 m over een lengte van de schutsluis van 300 m, wat resulteert in een uittredend verhang over de bodem van het kanaal van maximaal 0,027. Zelfs bij dit extreme hoogwater is er nauwelijks sprake van reductie van de stabiliteit, zie figuur 1.

Uit de berekening met het hydrologisch model Bosscherwaarden volgt dat met een deklaagweerstand van 1400 dagen en een maximaal verhang van 0.1 mm/dag de drukstijging in de polder maximaal 14 cm waterkolom bedraagt. Dit geeft een verhang over de kade van het Amsterdam-Rijnkanaal, een afstand van ongeveer 25 m gerekend van de binnenzijde van de kade tot het wateroppervlak, van ten hoogste 0,006. Dit is nog aanzienlijk lager dan het verhang over de sluis. De evenwichtshoek verschilt niet merkbaar van de natuurlijke rusthoek van het zand φ van ongeveer 32° , zie figuur 1, dus er is geen sprake van verhoogde erosiegevoeligheid of instabiliteit van de bodemlagen.

7.4 Conclusie

Op basis van de hierboven gegeven beschouwingen kan geconcludeerd worden dat er geen risico is voor het optreden van instabiliteit of opdrukking van de bodemlagen in het Amsterdam-Rijnkanaal of elders als gevolg van de voorgenomen zandwinning en baggerspeciebergings in de Bosscherwaarden. Maatregelen om dit te voorkomen zijn dus niet nodig.

7.5 Referenties

Natuur en Milieufederatie Utrecht, Brief 7 februari 2003 aan Provincie Utrecht over Startnotitie Zandwinning en Baggerbergings Bosscherwaarden

MER Baggerbergings en zandwinning Bosscherwaarden, Royal Haskoning, concept, 21 december 2007

Onderzoek naar invloed zandwinning in de Bosscherwaarden, WL | Delft Hydraulics, T. Vergroesen, Q4056.40, april 2006

Grondonderzoek Bosscherwaarden, WL | Delft Hydraulics / GeoDelft, D.R. Mastbergen, Q4338.35, november 2007

Scouring in case of sand boils through a jetgrout layer, D.R. Mastbergen, W.G.M. van Kesteren and A.F. van Tol, Proceeding of ITA World Tunneling Congress, Amsterdam, 12-17 April 2003

Influence of seepage on stability of sandy slope, Rhee C. van, A. Bezuijen, Jo. of Geotechnical Engr., Vol. 118, No. 8, 1992

Micro-instabiliteit kan ook optreden bij flauwe taluds, Adel, Henk den, Mastbergen, Dick R. en Stoutjesdijk, Th., Land + Water, 5, mei 2008

Aan : Dick van Waning, De Ingensche Waarden BV
Van : Dick R. Mastbergen, WL | Delft Hydraulics, Maarten B de Groot, GeoDelft
Betreft : Grondonderzoek Bosscherwaarden
Datum : 30 november 2007
Kopie : Maarten de Groot, Toine Vergroesen
Afhandeling: ter bespreking met Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Inleiding

De Ingensche Waarden BV heeft aan Haskoning opdracht gegeven om een inrichtings-MER op te stellen om alle effecten van een zandwinning in combinatie met een baggerspeciebergings in de Bosscherwaarden, gelegen aan de Lekdijk West bij Wijk bij Duurstede in beeld te brengen. Het voorstel voor het ontwerp van de put gaat tot een diepte van 25 m onder maaiveld (21 m – NAP) en tot een afstand van maximaal 50 m van de Lekdijk (zie figuur 1, in deze figuur wordt echter uitgegaan van een diepte tot 25 m – NAP).

Om tot vergunningsverlening over te gaan is het noodzakelijk de effecten van de zandwinning te onderzoeken op:

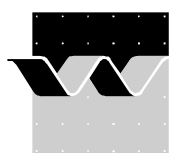
- 1) de geohydrologie (kwel) en
- 2) de stabiliteit van de waterkering.

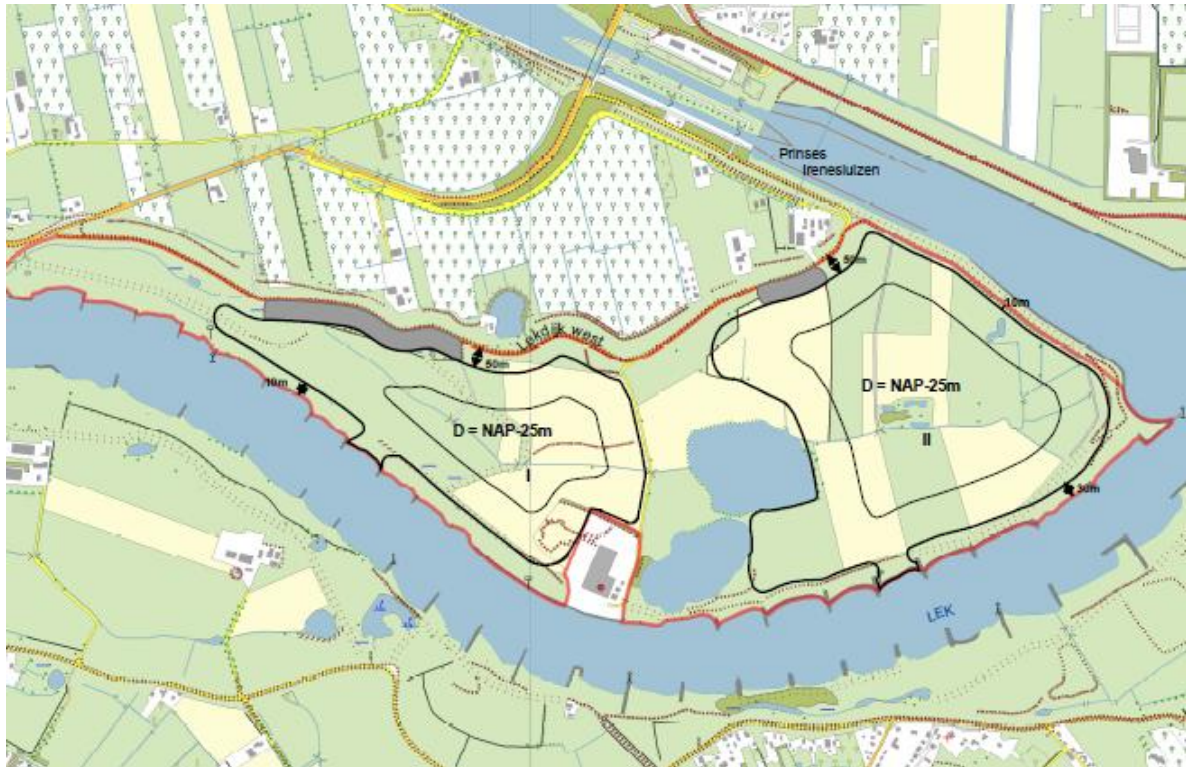
Ten aanzien van het eerste onderdeel is een studie uitgevoerd door WL | Delft Hydraulics, gerapporteerd in “Onderzoek naar invloed zandwinning in de Bosscherwaarden”, Q4056.40, april 2006, dat is besproken met het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Ten aanzien van het tweede onderdeel bestonden nog vragen, reden waarom WL | Delft Hydraulics nader onderzoek heeft uitgevoerd. Het bleek dat er geen grondonderzoek van het betreffende gebied beschikbaar was. Daarom heeft De Ingensche Waarden BV besloten op advies van WL | Delft Hydraulics en na overleg met vertegenwoordigers van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden sonderingen te laten uitvoeren door GeoDelft. In deze notitie worden de resultaten van dit grondonderzoek gegeven.

Vraagstelling

Om tot vergunningsverlening over te kunnen gaan moet worden vastgesteld dat bij de uitvoering van de zandwinning en daarna de stabiliteit van de waterkering niet in gevaar wordt gebracht. Daartoe worden eisen gesteld aan de minimale afstand van de oever van de zandwinput tot de teen van de waterkering in samenhang met de diepte, de taludhelling en de bodemsamenstelling. Om tot eensluidende eisen ten aanzien van zandwinputten te komen is door de CUR een aanbeveling opgesteld, C130 Oeverstabiliteit bij zandwinputten. Deze aanbeveling waaraan overheid, branche, consultants en onderzoeksinstituten hebben meegewerkt, is nog niet definitief, maar vormt een goede richtlijn die hier toegepast wordt. Momenteel zijn de zandwinners nog van mening dat het in de C130 commissie bepaalde te streng zou zijn, maar De Ingensche Waarden BV gaat hier akkoord met de conclusies van de C130 commissie. Deze richtlijnen gaan er van uit dat de kans op een oeverinschaling voldoende klein is.

Risico voor de waterkering ontstaat echter pas als een oeverinschaling optreedt die groter is dan de aan te houden afstand van de zandwinning tot de waterkering. Een kans op overstrooming ontstaat pas als een dergelijke oeverinschaling samenvalt met een hoogwater op de Lek.





Figuur 1 Voorlopig plan ontgraving Bosscherwaarden (Haskoning).

Uitgevoerd grondonderzoek

Op basis van de toekomstige omvang en diepte van de zandwinning is vastgesteld dat er minimaal 4 sonderingen nodig zijn tot een diepte van 1,5 x de putdiepte van 25 m dus 37,5 m – MV. Omdat de kritieke oever aan de Noordzijde langs de Lekdijk ligt zijn uiteindelijk op 17, 18 en 19 oktober 2007 vijf sonderingen uitgevoerd op een afstand van 50 m van de rivierdijk, zie bijlagen S01 t/m S05 en tabel 1 en figuur 2. Door de sonderingen daar te kiezen wordt de meeste zekerheid gekregen ten aanzien van de bodemgesteldheid aan de geprojecteerde rand van het toekomstige onderwatertalud.

Naast de vier minimaal benodigde sonderingen (conform CUR C130) is nog een sondering gezet direct aan de rand van de oude en aangevulde zandwinning (S03). In figuur 2 is tevens de reeds uitgevoerde zandwinning aangegeven. De insteek van die zandwinning liep vlak langs de weg naar de steenfabriek tot aan 100 meter uit de teen van de dijk. Bij de uitvoering van deze zandwinning zijn er geen inscharingen buiten de insteek van de zandwinning opgetreden. Kennelijk waren de bodemgesteldheid zoals gemeten in sondering S03 en de gehanteerde werkwijze tijdens de toenmalige zandwinning voldoende veilig om oeverinscharingen te voorkomen.

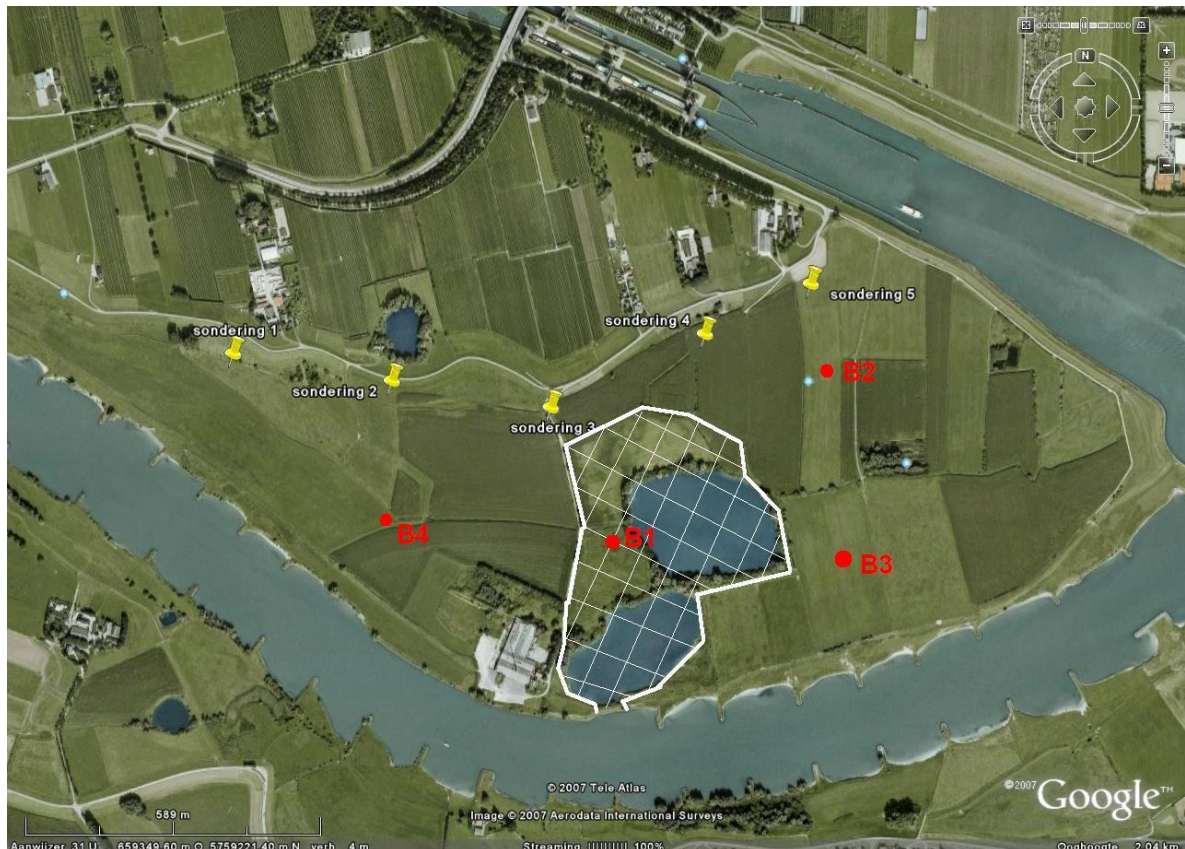
Bij de meest westelijke sondering S01 geldt dat de diepte van de zandwinning hier beperkt zal zijn, omdat de waard hier zo smal is dat de onderwatertaluds elkaar over een grote lengte overlappen (het z.g. puntzak-effect).

Tabel 1 Uitgevoerde sonderingen in Bosscherwaarden (GeoDelft, 2007)
(in Rijksdriehoekcoördinaten)

Naam	Xcoord	Y coord	Zcoord =MV m + NAP	Diepte m
S01	149599,50	441500,60	3,520	38,5
S02	149916,30	441447,70	4,090	38,1
S03	150233,70	441395,70	3,880	37,9
S04	150549,30	441574,20	5,840	32,8
S05	150751,00	441649,80	4,590	37,5

Bij de sonderingen type CPT (cone penetration test) zijn gemeten de conusweerstand, mantelwrijving en waterspanning. Sondering S04 is wat eerder gestopt (helling te hoog). De overige sonderingen zijn voldoende diep voor een goede beoordeling.

Aan het wrijvingsgetal is te zien of de betreffende laag uit klei of zand (niet-cohesief sediment) bestaat. De waterspanningsmeting geeft een lokale (tijdelijke) verhoging te zien ten opzichte van de hydrostatische grondwaterdruk in stoorlagen zoals klei of leem tijdens het inbrengen van de sondeerconus. Te zien is dat over de gehele diepte genomen de hydrostatische grondwaterdruk gelijkmatig oploopt, er is dus geen sprake van over- (of onder-)spannen grondwater zoals soms voorkomt onder afsluitende kleilagen.



Figuur 2 Situatie Bosscherwaarden met de uitgevoerde sonderingen (GeoDelft, 2007) (ingetekend de voormalige, gedeeltelijk weer aangevulde zandwinput) en eerder genomen boringen (Fugro, 2001)

Boringen in de Bosscherwaarden zijn al in een eerder stadium uitgevoerd (Fugro 2001, zie tabel 2). Hieruit blijkt dat de ondergrond na een toplaag van klei met variabele dikte bestaat uit matig grof tot uiterst grof zand. De onderkant van het grove Pleistocene zand zit ongeveer op 25 m - NAP. De kleilaag aan de oppervlakte strekt zich uit tot ongeveer 4 m - NAP maar is niet aaneensluitend. De locatie van de boringen staan eveneens in figuur 1 vermeld. Boring B1 is in de aangevulde voormalige zandwinning gezet.

Tabel 2 Uitgevoerde boringen in Bosscherwaarden (Fugro, 2001)

Diepte van m + NAP	tot m + NAP	Dikte m	Omschrijving	Coördinaten	
				X	Y
B1 +5.12 -6.88 -8.38 Totaal	-6.88 -8.38 -21.38	12 1.50 13 26.5	KLEI matig vast GRIND fijn tot matig grof ZAND matig grof tot uiterst grof	150360	441160
B2 +5.40 +4.30 -2.10 -3.60 Totaal	+4.30 -2.10 -3.60 -21.60	1.10 6.40 1.50 18 27	KLEI vast tot matig vast ZAND matig grof tot zeer grof KLEI slap tot matig vast ZAND matig fijn tot zeer grof	150779	441489
B3 +5.79 +3.29 Totaal	+3.29 -21.21	2.50 24.50 37	KLEI matig vast ZAND matig grof tot uiterst grof	150845	441112
B4 +6.45 +3.95 +0.95 -1.05 Totaal	+3.95 +0.95 -1.05 -23.55	2.50 3 2.50 22.50 30.5	KLEI matig vast ZAND matig fijn tot zeer grof KLEI matig vast ZAND matig tot uiterst grof	149906	441210

Evaluatie grondonderzoek

Om te zorgen dat de kans op een oeverinschaling door bresvloeiing tijdens of na de zandwinning voldoende klein is in het betreffende zand, dient een taludhelling te worden aangehouden die verloopt van minimaal 1:2 over de bovenste 5 m gerekend vanaf onderzijde kleilaag en vervolgens verflauwend per 5 m tot 1:6 aan de teen, zie figuur 3, tot een diepte van maximaal 25 m – NAP. Dit conform de aanbeveling CUR C130, waarbij uitgegaan wordt van matig fijn tot grof zand. Ter vergelijking is de ontwerphelling van 1:3 aangegeven. De werkwijze, namelijk gelijkmatig in horizontale lagen verdiepen en de controle van de positie van de zuigmond en de gezogen dichtheid tijdens de zandwinning, moeten dan ook conform CUR C130 uitgevoerd worden.

De kans op oeverinschaling door verwekingsvloeiing is voldoende klein indien uit de sonderingen blijkt dat er geen lagen dikker dan 1 m voorkomen, waarvan de relatieve dichtheid minder dan 50% bedraagt. Het merendeel van de sonderingen laat vastgepakte zandlagen zien, maar 3 van de 5 sonderingen laten plaatselijk toch één of twee tamelijk losgepakte lagen zien:

- S01 (meest westelijk): een 7 m dikke laag rond NAP – 28 m met een relatieve dichtheid iets boven 40%
- S02: een 1,5 m dikke laag rond NAP – 20 m met een relatieve dichtheid ongeveer gelijk aan 40% en een 4 m dikke laag rond NAP – 27 m met een relatieve dichtheid ongeveer gelijk aan 35%
- S04: een 3 m dikke laag rond NAP – 22 m met een relatieve dichtheid ongeveer gelijk aan 35%

Het ontwerp van de put gaat tot 25 m diepte beneden maaiveld. Uitgaande van maaiveld op NAP + 5 m zou dat zijn een putbodem op NAP – 20 m. Het betreffende zand is niet zeer losgepakt, maar bevindt zich wel op een gevaarlijke diepte, namelijk vlak onder de toekomstige putbodem. Lokaal zijn dan taludhellingen nodig van gemiddeld 1:4 tot 1:6 om verwekingsvloeiing met voldoende zekerheid uit te kunnen sluiten.

Aanleiding voor verwekingsvloeiing in een losgepakte zandlaag kan zijn de zandwinactiviteit of bodemtrillingen ten gevolge van aardbeving.

Bosscherwaarden aanbevolen taludhellingen zandwinning

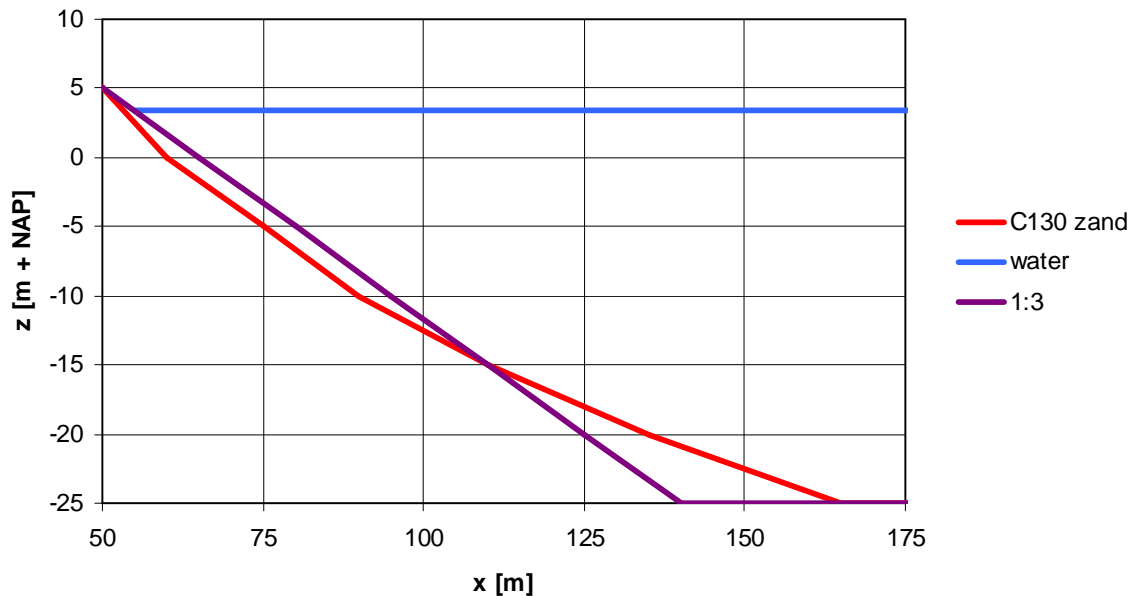


Fig. 3 Aanbevolen taludhellingen Bosscherwaarden (*vertrokken schaal*)

Risicobeschouwing

Gezien de zeer hoge veiligheid die van een waterkering wordt geëist, zou een eerste, globale faalkansbeschouwing uitkomen op de eis dat gezorgd moet worden dat de kans op een verwekingsvloeiing of bresvloeiing klein is en vervolgens dat de kans op een inscharing die de dijk bereikt ook weer klein is. Dan wordt een afstand van maximaal 3 maal de reken-putdiepte verkregen, in overeenstemming met de bevindingen van een analyse van alle putten in Nederland (zie figuur 3). Dat wordt dan iets meer dan 75 m. De uitkomst van een echt kwantitatieve faalkansanalyse kan zijn dat een kleinere afstand acceptabel is. In een dergelijke analyse dient de kans op overstroming berekend te worden door voor ieder stuk oever de volgende kansen te kwantificeren: de kans op een vloeiing, de kansverdeling van de inscharing (voor als die onverhoopt optreedt) met de bijbehorende kansverdeling van de schade aan de dijk, de kans op het samenvallen van vloeiing en hoogwater en de kansverdeling van de hoogte van dat hoogwater.

Bij de dijkverzwaring uitgevoerd in de tachtiger jaren is de dijk overgedimensioneerd om rekening te houden met toekomstige zandwinning in de uiterwaarden. Het uitgangspunt daarbij was een permanente diepe zandwinning met een voorland van 50 meter. De situatie in de Bosscherwaarden wordt dus niet ongunstiger dan waar rekening mee is gehouden bij het ontwerp van de dijkverzwaring. Ook bij de dichtbij gelegen zandwinning Tull en 't Waal is een voorland van 50 m tot de rivierdijk aangehouden. In de aan Bosscherwaarden grenzende Moerbergse Waard zijn er (ondiepe) ontgravingen uitgevoerd waarbij een voorland van ca. 10 meter is aangehouden.

De aanleiding voor een oeverinscharing bij de geconstateerde oeverinscharingen bij zandwinputten, zie figuur 4, is vrijwel steeds de zandwinactiviteit zelf geweest. De kans op een oeverinscharing tijdens de zandwinning is gering als de aangehouden taludhellingen en de werkwijze voldoen aan de eerder genoemde CUR richtlijnen. Door De Ingensche Waarden BV is toegezegd aan het

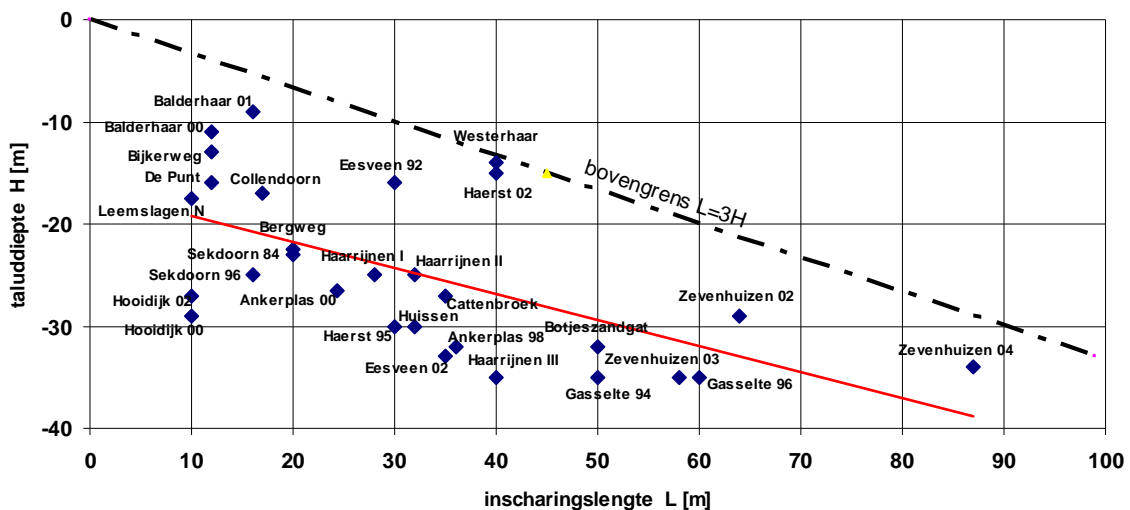
Hoogheem-raadschap De Stichtse Rijnlanden dat er tijdens een hoogwater, gedefinieerd als een rivierhoogte gelijk aan of hoger dan de hoogte van de teen van de dijk, niet aan het noordelijke talud langs de Lekdijk gezogen zal worden. Dit betekent dat de kans dat er een oeverinscharing van meer dan 50 m optreedt tegelijkertijd met een hoogwater op de Lek vrijwel uitgesloten kan worden.

Mocht tijdens de reguliere zandwinning een oeverinscharing optreden van meer dan 50 m, waarvan de kans dus minimaal is zolang de richtlijnen van CUR C130 worden gehandhaafd, dan is er voldoende tijd voor dijkherstel alvorens er een hoogwater optreedt. De kans op overstroming wordt dus niet verhoogd met deze werkwijze.

Het terugstortproces van baggerspecie kan ook een risico voor bresvloeiing vormen, als het mengsel over het onderwatertalud stroomt. Om dit te voorkomen dient het terugstorten met een verticale diepe pijp in het midden van de plas uitgevoerd te worden.

Conclusie

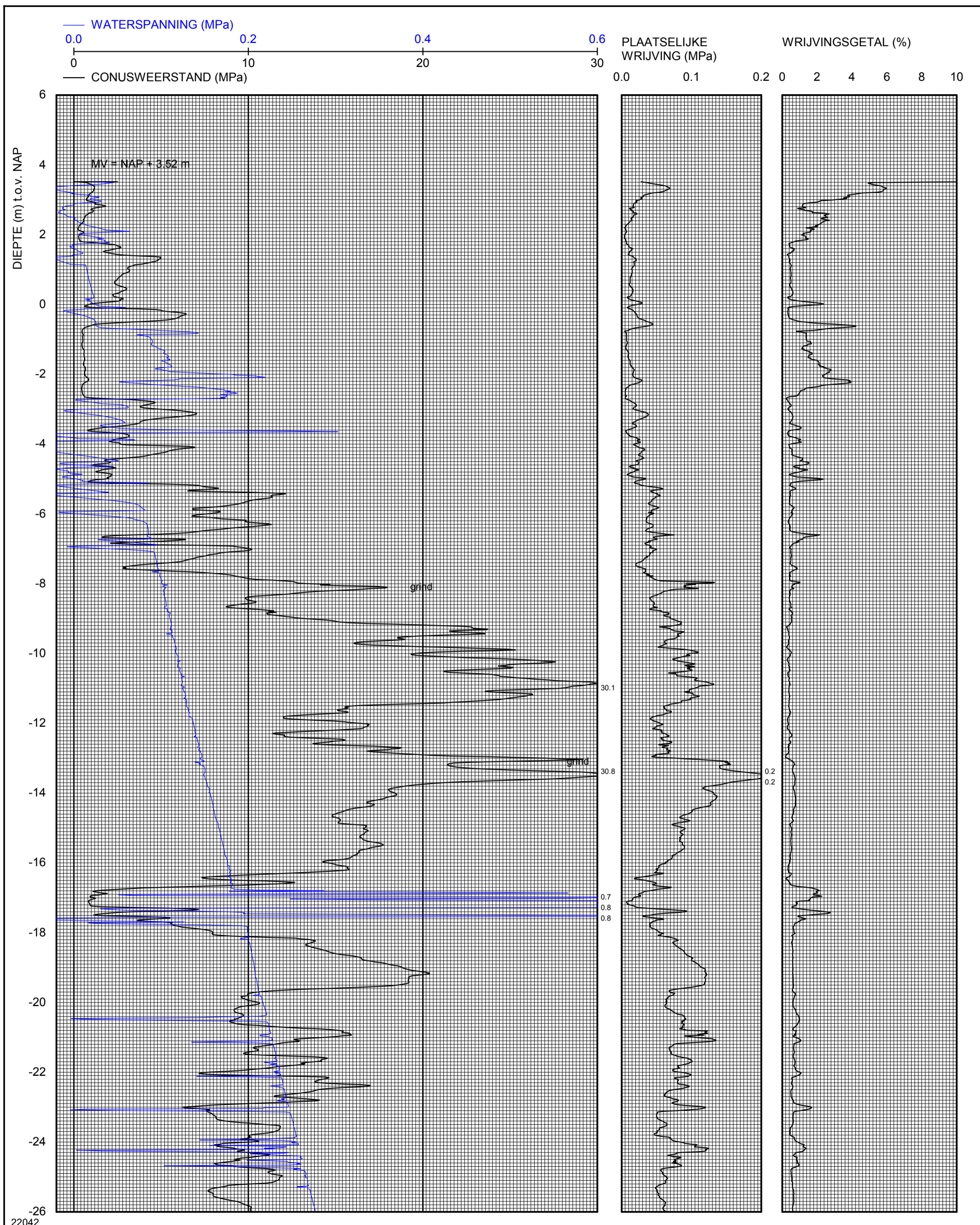
Er kan geconcludeerd worden dat in combinatie met het advies ten aanzien van de werkwijze, diepte en taludhelling van de zandwinning zoals hiervoor omschreven en het afzien van activiteiten in de uiterwaard tijdens hoogwater, een minimale afstand van de insteek van de zandwininput tot de waterkering van 50 m voldoende veiligheid biedt tegen overstroming.



Figuur 4 Inscharingslengte als functie van de putdiepte (bron: CUR Aanbeveling C130, concept)

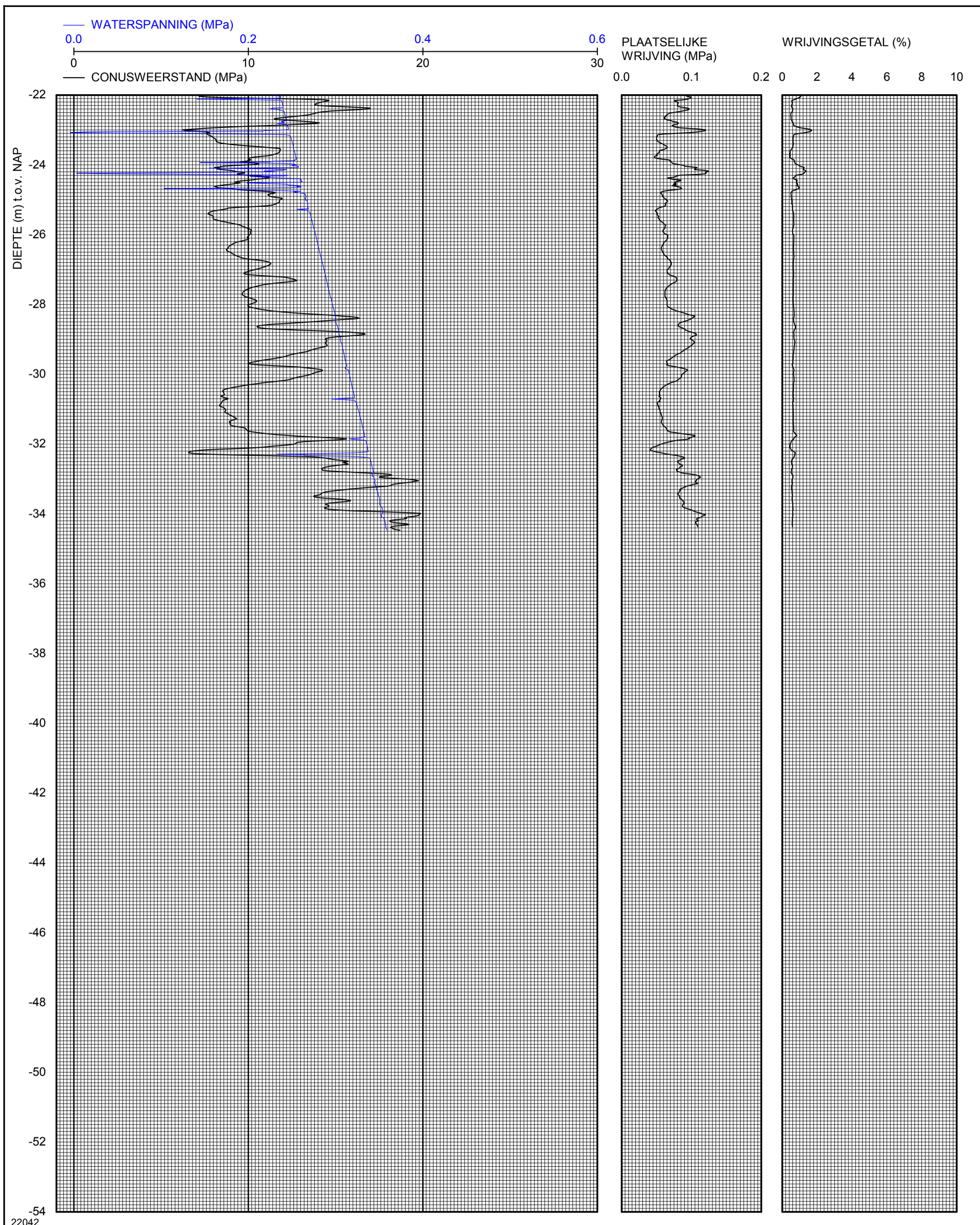
Bijlagen 1 t/m 5

Sonderingen GeoDelft, 2007



	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2007-10-19	get. Lws	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-479, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.
			CO-412453/378	gez.	
Sonderen Bosche Waarden Wijk bij Duurstede SONDERING S01 [Blad 1 / 2]			BIJL. CS1	form. A3	Geodetische bijzonderheden: MV = NAP + 3.52 m X = 149599.50 m Y = 441500.60 m
					Meetbereiken: Conusweerstand: 50 MPa Plaatselijke wrijving: 0.7 MPa Waterspanning: 1 MPa Conushelling: 350 mRad

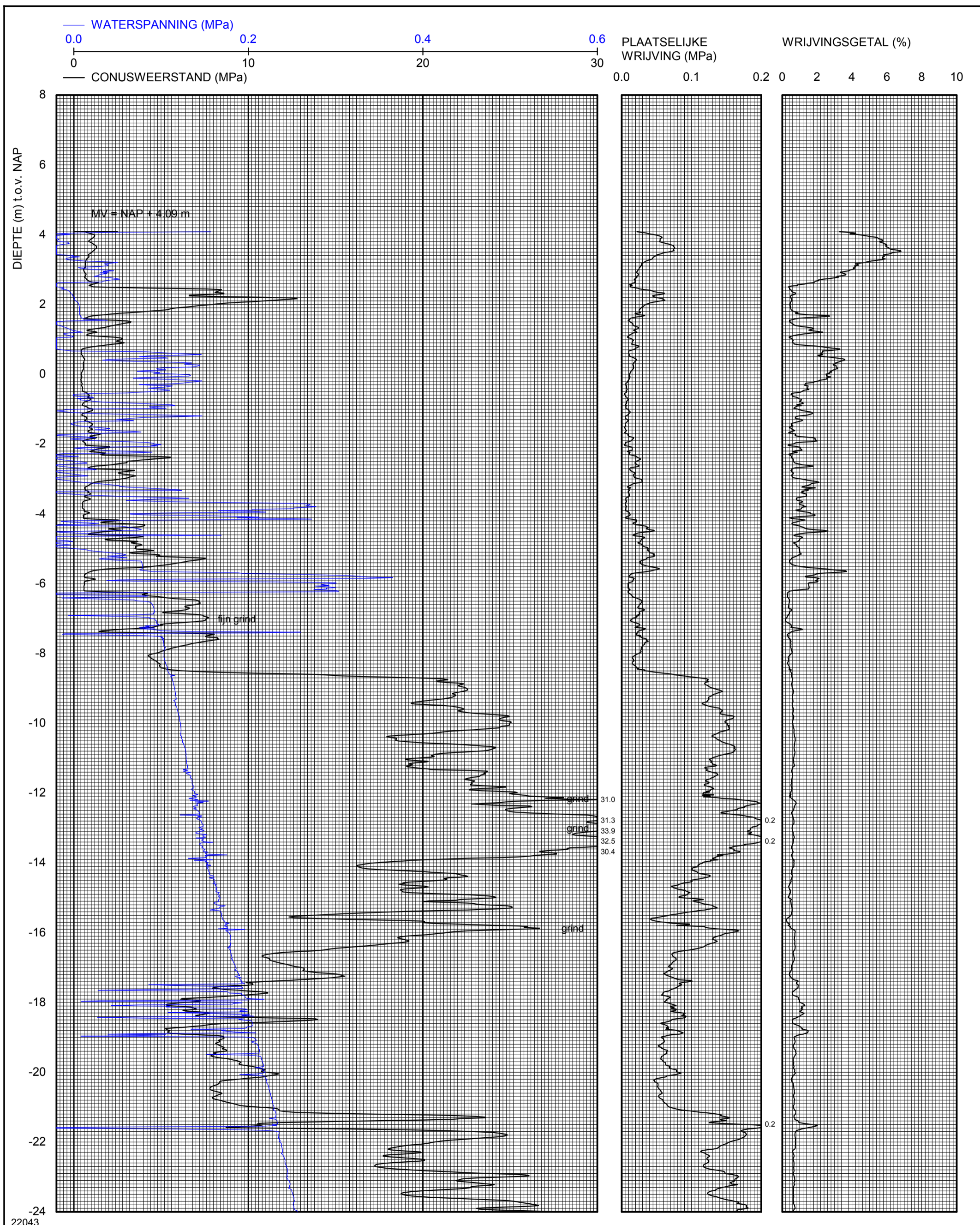
*) Vrijgegeven door Vin op 2007-10-24 11:49



22042

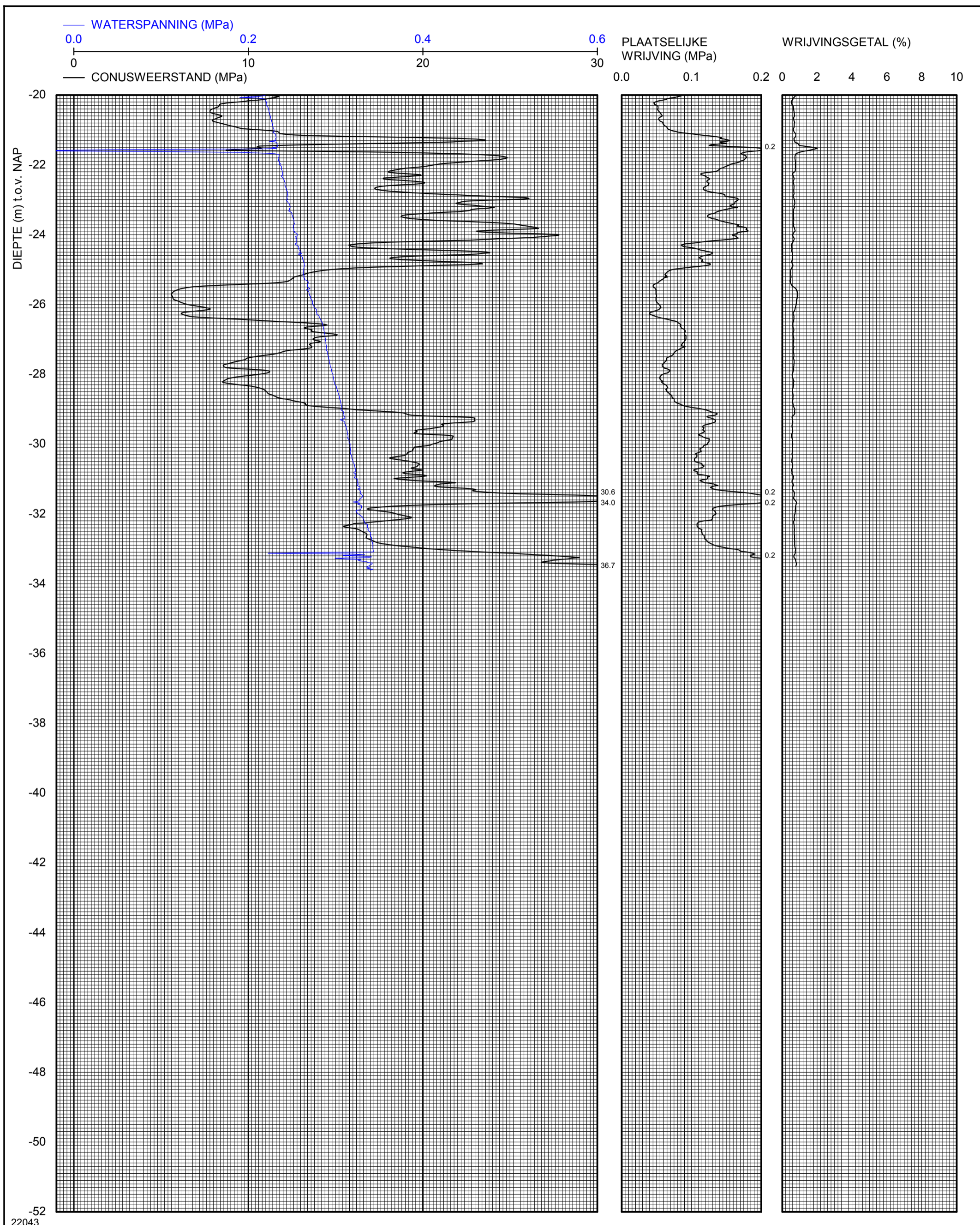
	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2007-10-19	get. Lws	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-479, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.
			CO-412453/378	gez.	
Sonderen Bosche Waarden Wijk bij Duurstede SONDERING S01 [Blad 2 / 2]			BIJL. CS1	form. A3	

*) Vrijgegeven door Vin op 2007-10-24 11:49



	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-479, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.
			2007-10-19	Lws	
Sonderen Bosche Waarden Wijk bij Duurstede SONDERING S02 [Blad 1 / 2]			CO-412453/378	gez.	Geodetische bijzonderheden: MV = NAP + 4.09 m X = 149916.30 m Y = 441447.70 m
			BIJL. CS2	form. A3	

*) Vrijgegeven door Vin op 2007-10-24 11:49



Stieltjesweg 2
2628 CK Delft

Telefoon +31-15-2693500
Telefax +31-15-2610821

datum
2007-10-19

get.
Lws

Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2
Conus nr. CKR10/1-479, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.

Sonderen Bosche Waarden
Wijk bij Duurstede
SONDERING S02 [Blad 2 / 2]

CO-412453/378

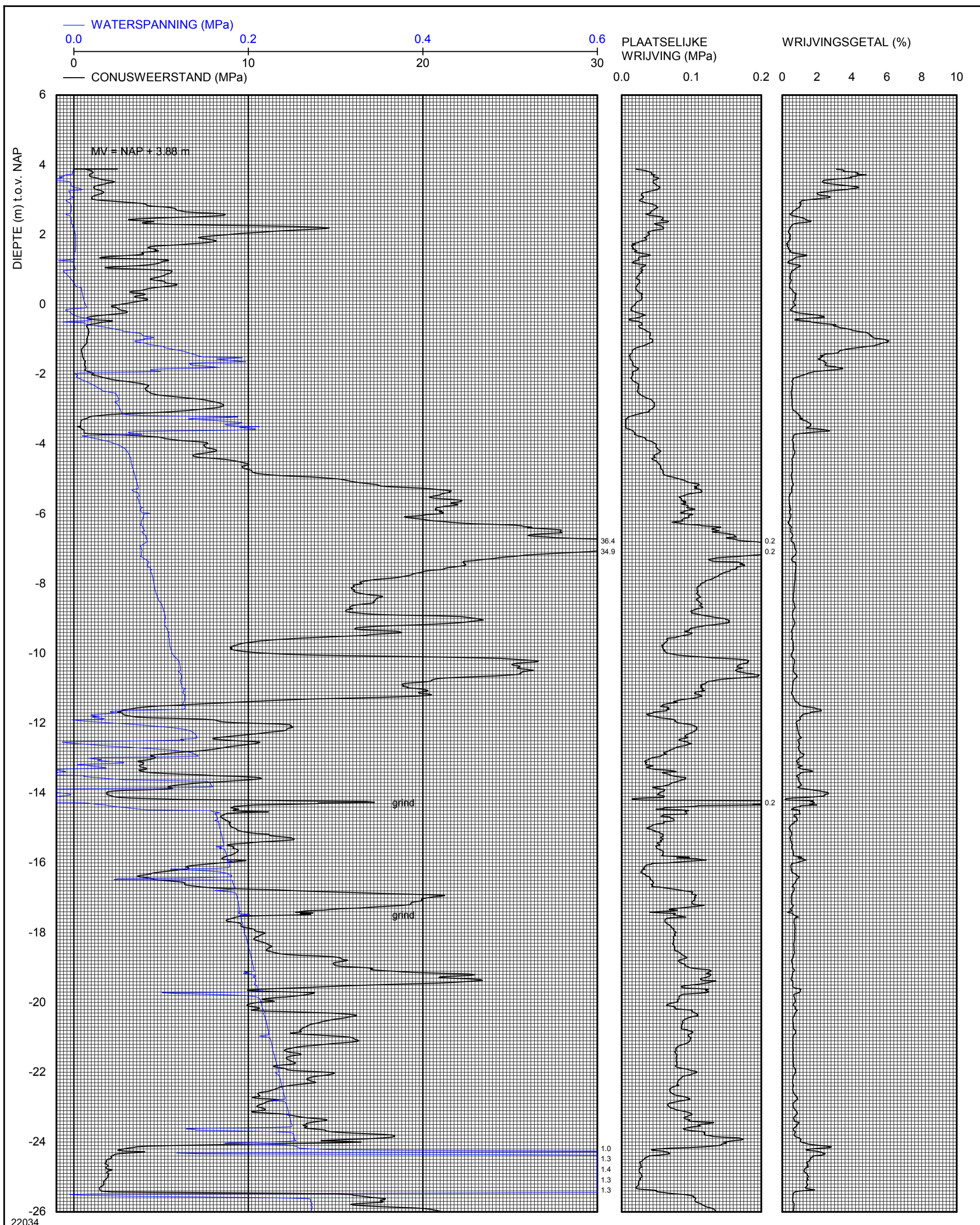
BIJL. CS2

form.
A3

Geodetische bijzonderheden:
MV = NAP + 4.09 m
X = 149916.30 m
Y = 441447.70 m

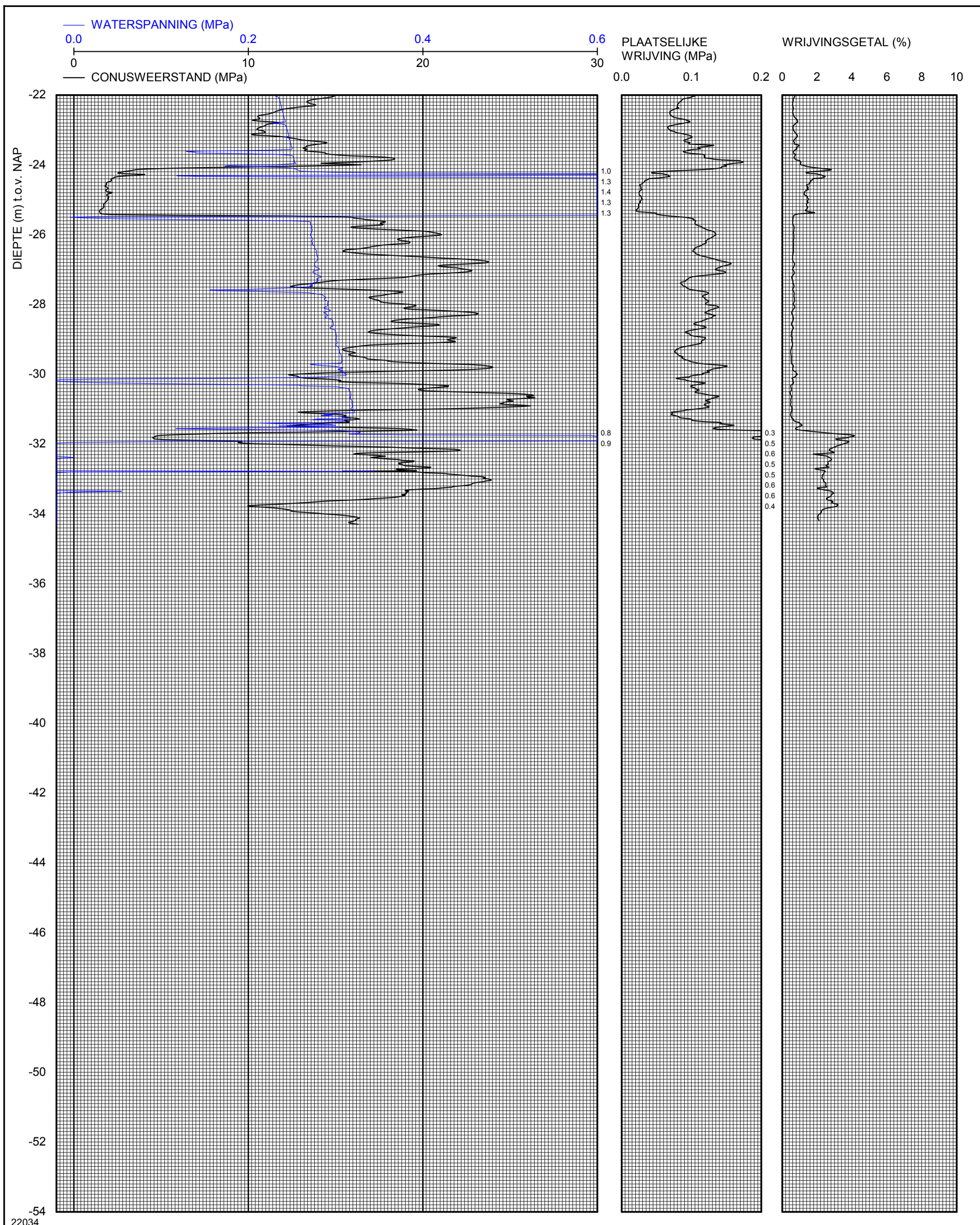
Meetbereiken:
Conusweerstand: 50 MPa
Plaatselijke wrijving: 0.7 MPa
Waterspanning: 1 MPa
Conushelling: 350 mRad

*) Vrijgegeven door Vin op 2007-10-24 11:49



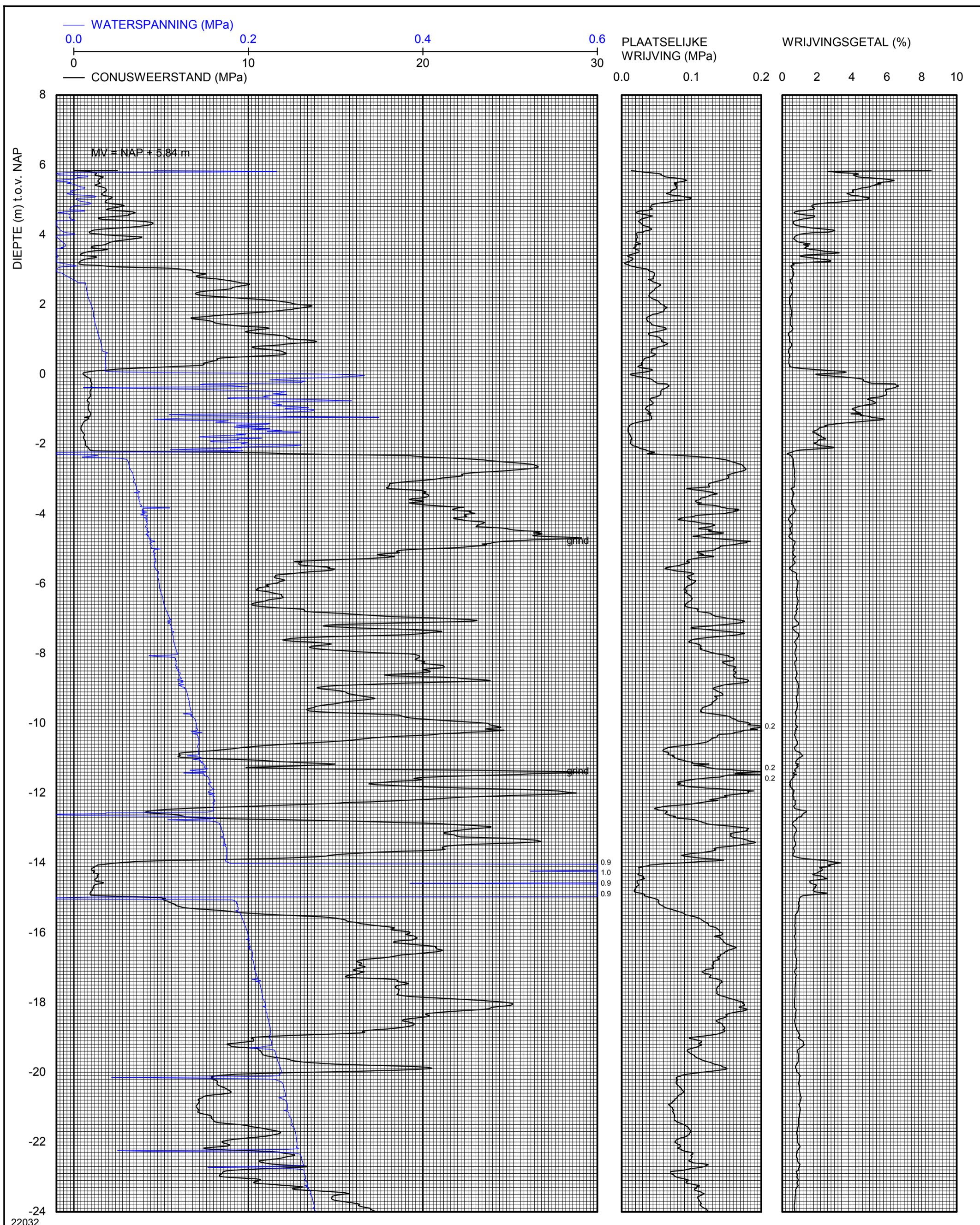
	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-479, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.	
			2007-10-18	Lws		
Sonderen Bosche Waarden Wijk bij Duurstede SONDERING S03 [Blad 1 / 2]			CO-412453/378	gez.	Geodetische bijzonderheden: MV = NAP + 3.88 m X = 150233.70 m Y = 441395.70 m	
			BIJL. CS3	form. A3		

*) Vrijgegeven door Vin op 2007-10-24 11:48



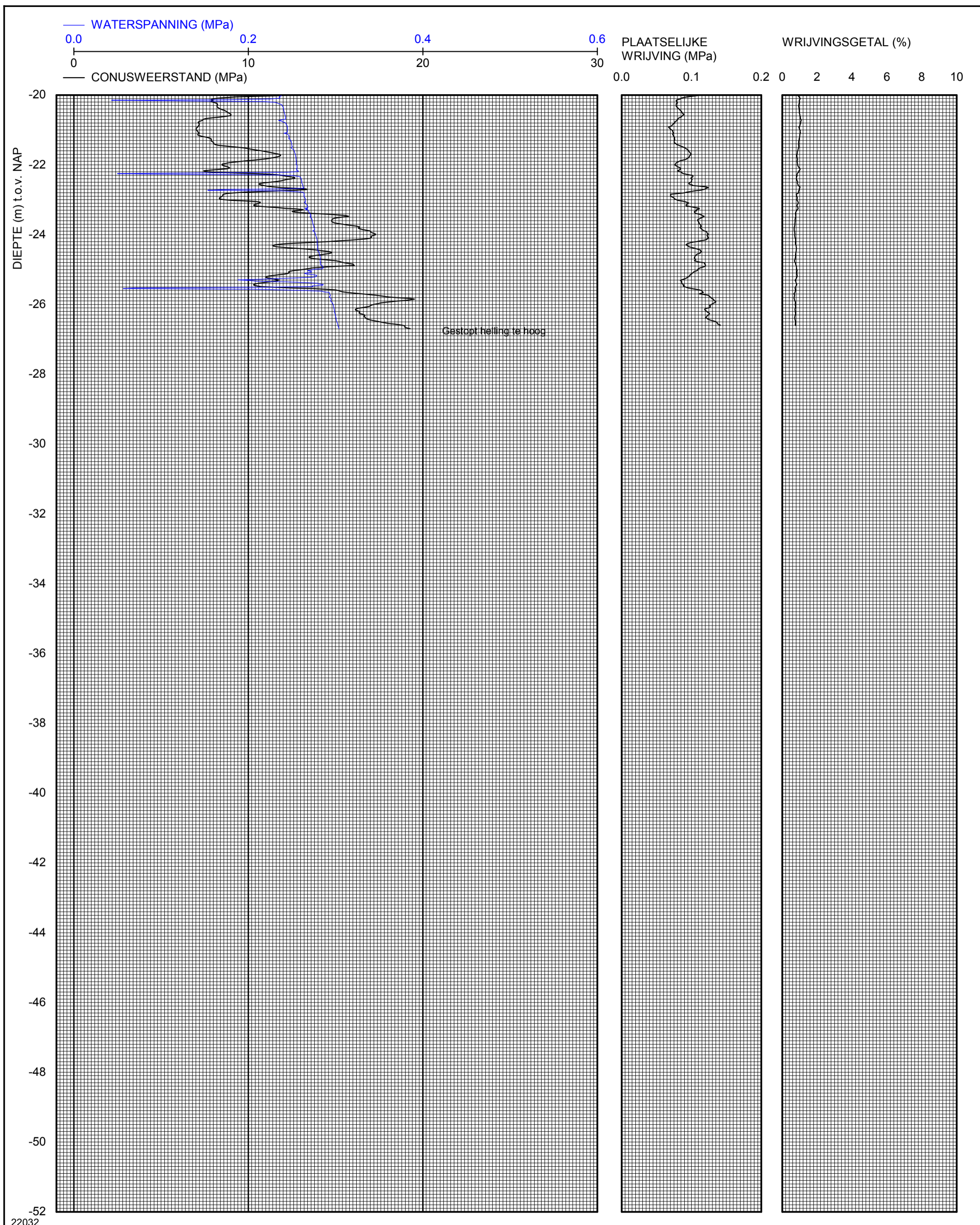
	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum	get.	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-479, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.
			2007-10-18	Lws	
Sonderen Bosche Waarden Wijk bij Duurstede SONDERING S03 [Blad 2 / 2]			CO-412453/378	gez.	Geodetische bijzonderheden: MV = NAP + 3.88 m X = 150233.70 m Y = 441395.70 m
			BIJL. CS3	form. A3	

*) Vrijgegeven door Vin op 2007-10-24 11:48



	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2007-10-18	get. Lws	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-111, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.	
			CO-412453/378	gez.		
Sonderen Bosche Waarden Wijk bij Duurstede SONDERING S04 [Blad 1 / 2]			BIJL. CS4	form. A3	Geodetische bijzonderheden: MV = NAP + 5.84 m X = 150549.30 m Y = 441574.20 m	Meetbereiken: Conusweerstand: 50 MPa Plaatselijke wrijving: 0.7 MPa Waterspanning: 1 MPa Conushelling: 350 mRad

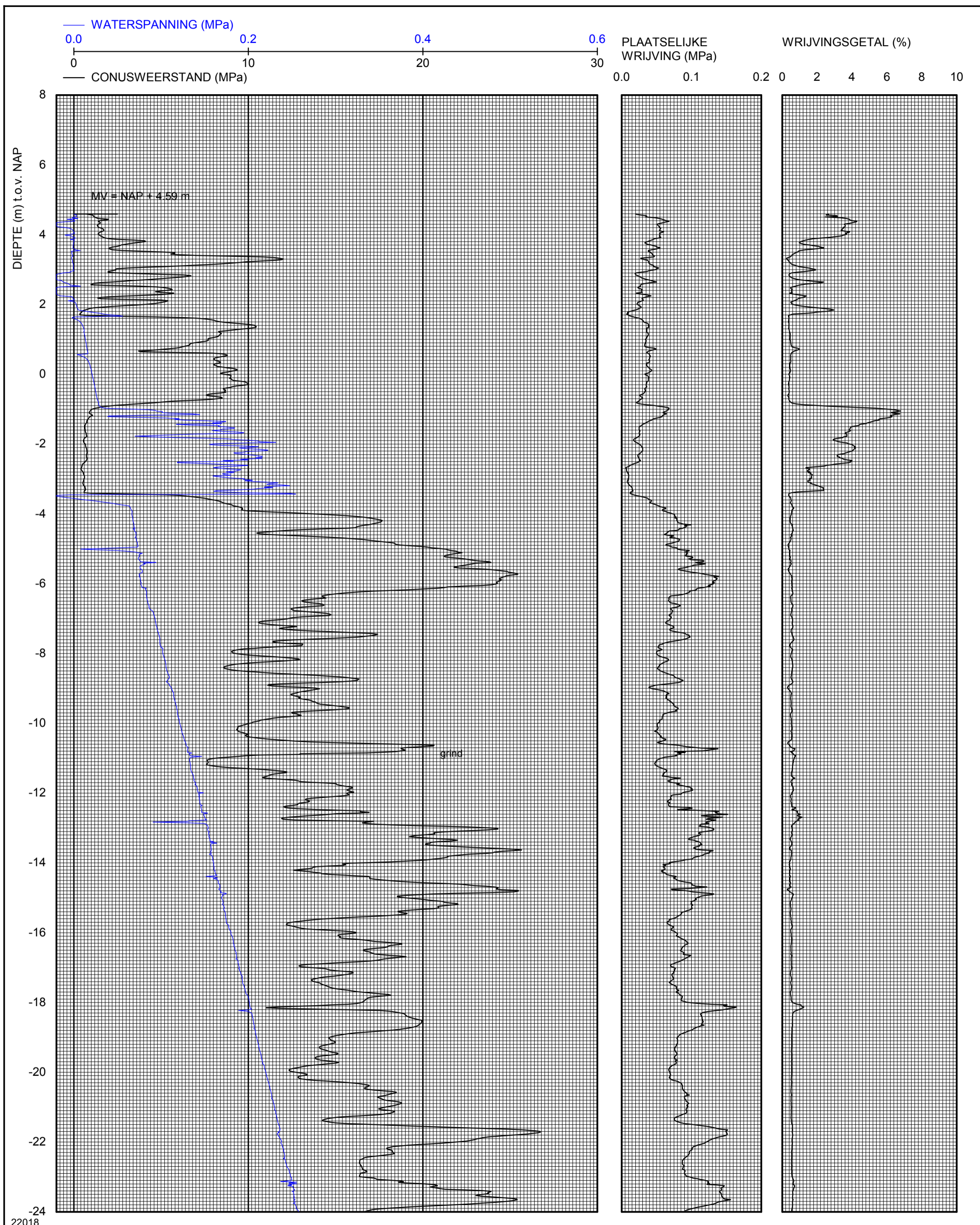
*) Vrijgegeven door Vin op 2007-10-24 11:47



22032

	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2007-10-18	get. Lws	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-111, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.
	Sonderen Bosche Waarden Wijk bij Duurstede SONDERING S04 [Blad 2 / 2]	CO-412453/378 BIJL. CS4	gez. form. A3	Geodetische bijzonderheden: MV = NAP + 5.84 m X = 150549.30 m Y = 441574.20 m	Meetbereiken: Conusweerstand: 50 MPa Plaatselijke wrijving: 0.7 MPa Waterspanning: 1 MPa Conushelling: 350 mRad

*) Vrijgegeven door Vin op 2007-10-24 11:47



Stieltjesweg 2
2628 CK Delft

Telefoon +31-15-2693500
Telefax +31-15-2610821

datum
2007-10-17

get.
Lws

Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2
Conus nr. CKR10/1-479, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.

Sonderen Bosche Waarden
Wijk bij Duurstede
SONDERING S05 [Blad 1 / 2]

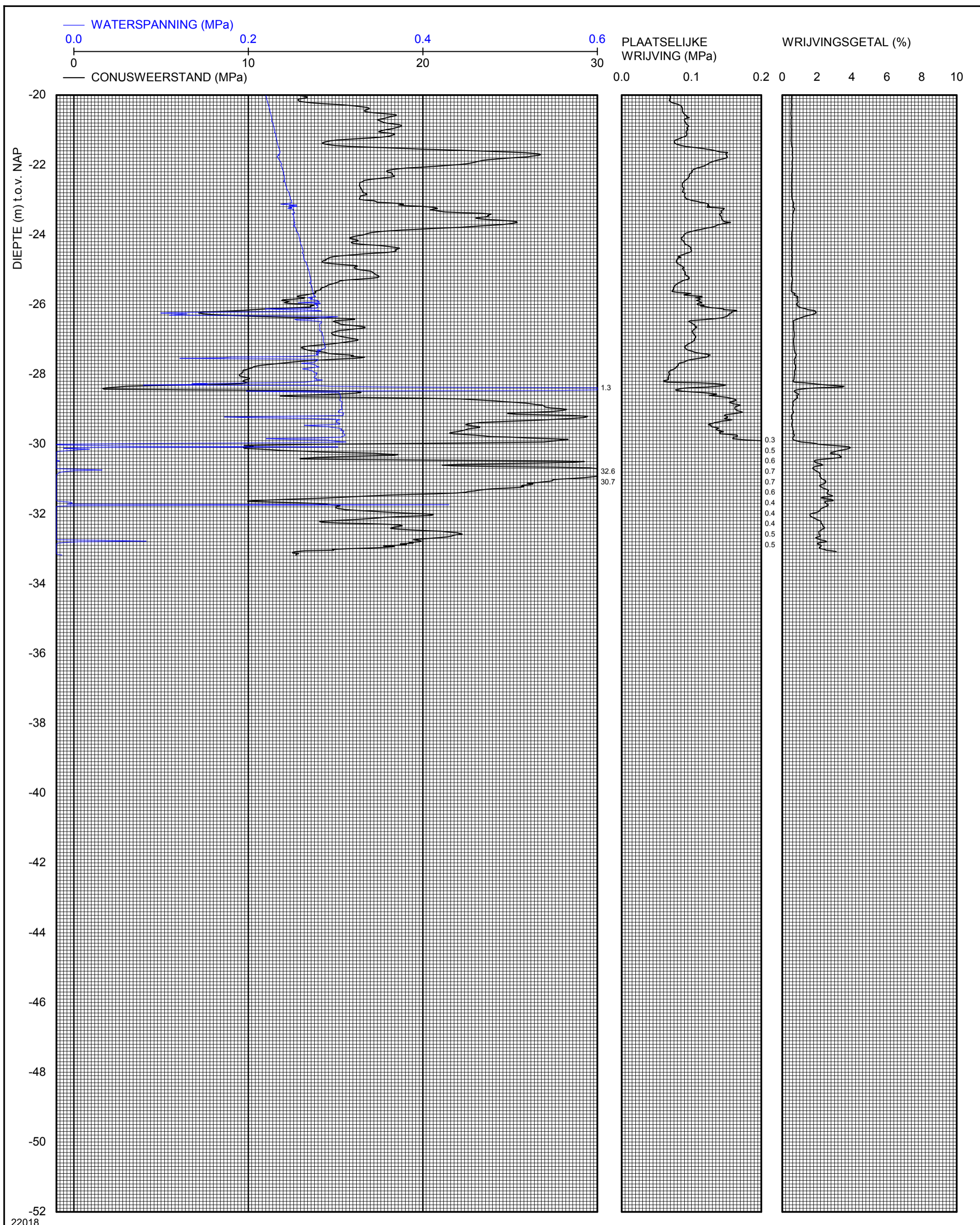
gez.
CO-412453/378

form.
BIJL. CS5 A3

Geodetische bijzonderheden:
MV = NAP + 4.59 m
X = 150751.00 m
Y = 441649.80 m

Meetbereiken:
Conusweerstand: 50 MPa
Plaatselijke wrijving: 0.7 MPa
Waterspanning: 1 MPa
Conushelling: 350 mRad

*) Vrijgegeven door Vin op 2007-10-18 14:27



	Stieltjesweg 2 2628 CK Delft	Telefoon +31-15-2693500 Telefax +31-15-2610821	datum 2007-10-17	get. Lws	Piezosondering uitgevoerd volgens NEN5140 klasse 2 Conus nr. CKR10/1-479, voorzien van elektrische opnemers voor conusweerstand, plaatselijke wrijving, waterspanning en conushelling.
			CO-412453/378	gez.	
Sonderen Bosche Waarden Wijk bij Duurstede SONDERING S05 [Blad 2 / 2]			BIJL. CS5	form. A3	

*) Vrijgegeven door Vin op 2007-10-18 14:27