

Behoort bij beschikking

d.d. 08-02-2017

nr.(s) ZK16003975

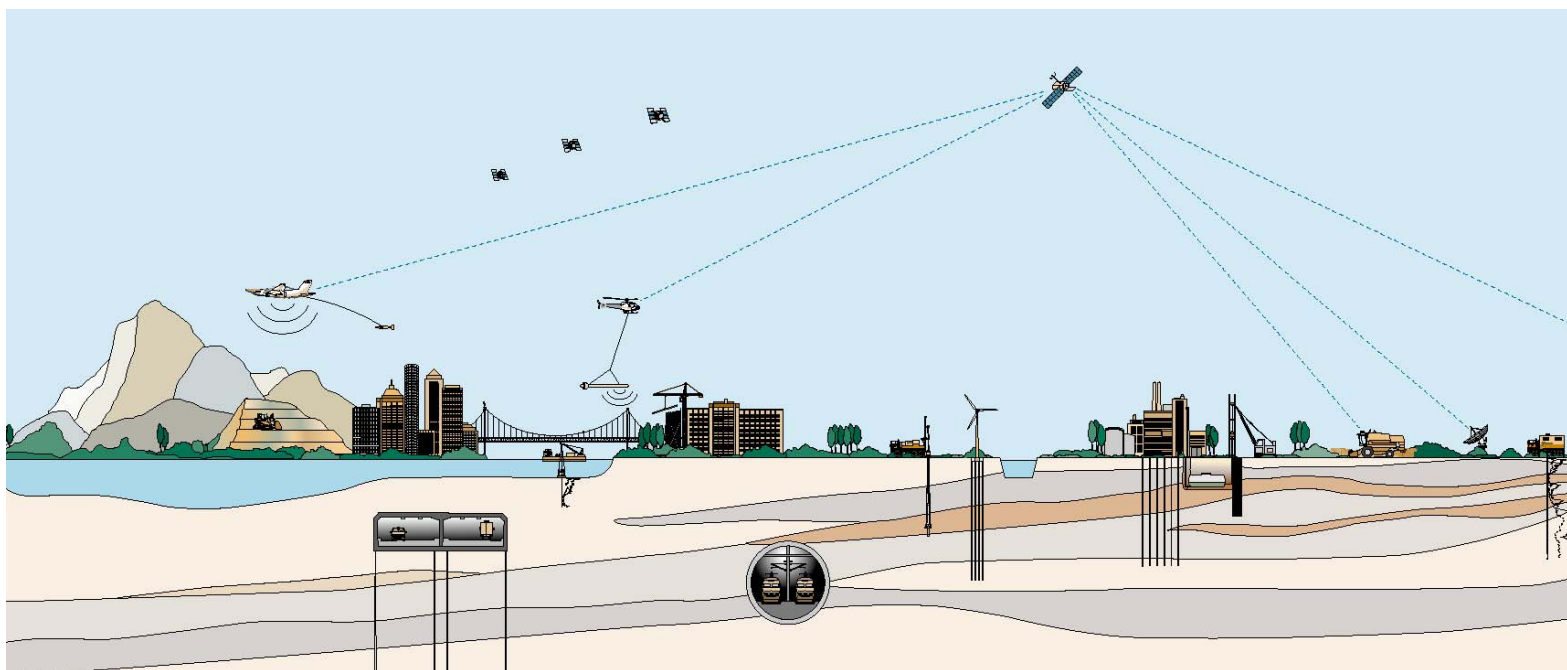
Beleidsmedewerker
Publiekszaken / vergunningen



RAPPORT
betreffende

WATERKERINGSANALYSES FORT HENRICUS

Opdrachtnummer: 1213-0089-000



RAPPORT
betreffende

**WATERKERINGSANALYSES
FORT HENRICUS**

Opdrachtnummer: 1213-0089-000

Opdrachtgever : GKB Visie B.V.
Middelweg 1
2992 SP Barendrecht

Opgesteld door : Adviseur Waterbouw

Gecontroleerd door : Projectleider Waterbouw

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	15-02-2014	eerste versie	
2	05-03-2014	Opmerkingen Waterschap Brabantse Delta verwerkt - Definitief	
3			

FILE: 1213-0089-000.R01v2

<u>INHOUDSOPGAVE</u>	<u>Blz.</u>
1. INLEIDING	2
2. SITUATIESCHRIJVING	3
2.1. Aanleiding	3
2.2. Beschikbare informatie	4
3. GRONDONDERZOEK	5
3.1. Algemeen	5
3.2. Handboringen	5
3.3. Sonderingen	5
4. UITGANGSPUNTEN	6
4.1. Richtlijnen en leidraden	6
4.2. Normering en hydraulische randvoorwaarden	6
4.3. Bodemopbouw	6
4.4. Grondparameters	7
4.5. Schematisatie dwarsprofiel	8
4.6. Freatisch vlak en stijghoogten	8
4.7. Vereiste veiligheidsfactor (macrostabiliteit)	9
4.8. Verkeersbelasting	10
4.9. Werkzaamheden fort Henricus	10
5. BEOORDELING EFFECTEN OP WATERKERENDE VEILIGHEID	11
5.1. Binnenwaartse stabiliteit waterkering (STBI)	11
5.2. Piping (STPH)	12
5.3. Profiel van vrije ruimte	13
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	14
7. LITERATUUR	15

BIJLAGEN

- Bijlage 1 - Overzichtskaart grondonderzoek
- Bijlage 2 - Rapportage geotechnisch veldwerk
- Bijlage 3 - Boringen archief waterschap Brabantse Delta
- Bijlage 4 - Dwarsprofiel '1961' (oostzijde)
- Bijlage 5 - Resultaten stabiliteitsberekeningen
- Bijlage 6 - Ontwerptekeningen Fort Henricus

1. INLEIDING

Op 28 november 2013 ontving Fugro GeoServices B.V. te Nieuwegein van GKB Visie B.V. te Barendrecht, opdracht voor het uitvoeren van geotechnisch onderzoek en het opstellen van een advies omtrent de geplande werkzaamheden aan fort Henricus.

Doel van onderhavige rapportage is een geotechnische onderbouwing te leveren voor de aanvraag van een watervergunning bij het waterschap Brabantse Delta. Door middel van de uitgevoerde analyses is de invloed van de voorgenomen werkzaamheden op de stabiliteit van de waterkering en de hiermee samenhangende veiligheid tegen overstromen onderzocht.

In dit rapport zijn enkel de resultaten opgenomen van de analyses voor het oostelijk deel van de waterkering langs het fort. Dat is de waterkering direct langs het buitenwater van de Steenbergse Haven. Omdat de realisatie van het project nog onzeker is, heeft de opdrachtgever besloten de analyses op dit moment te beperken tot dit dwarsprofiel.

Voor een ontvankelijke vergunningsaanvraag heeft het Waterschap aangegeven dat tevens een analyse moeten worden gemaakt voor de waterkering ten noorden van het projectgebied, en wel om de volgende redenen:

- afwijkende bodemopbouw (hooggelegen tussenzandlaag noordelijk deel);
- werkzaamheden in het noordelijk deel zijn ingrijpender (meer grondverzet);
- de afstand van het fort tot de waterkering verschilt.

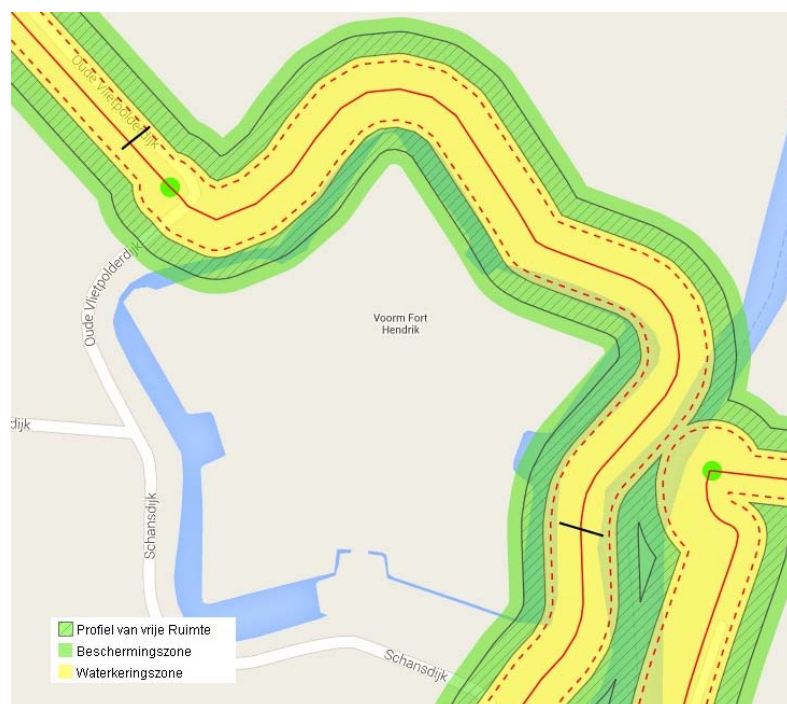
2. SITUATIESCHRIJVING

2.1. Aanleiding

Ten noordwesten van de gemeente Steenberghe ligt het voormalig fort Henricus. Er is het voornemen om de verdedigingswallen rondom fort Henricus (ook wel fort Hendrik genoemd) te herprofilen. De aarden wallen worden hiertoe met name aan de buitenzijde deels afgegraven en aan de binnenzijde opgehoogd. Op deze manier ontstaat een profiel waarin de verdedigingswallen als zodanig duidelijk herkenbaar zullen zijn in het landschap.

In het verleden heeft reeds ophoging plaatsgevonden. Destijds zijn grondvervormingen geconstateerd, mogelijk als gevolg van squeezing (wegpersen slappe grondlagen). De werkzaamheden zijn stilgelegd. Nu wordt overwogen de werkzaamheden weer te hervatten.

Omdat een deel van de werkzaamheden binnen de beschermingszone van de waterkering zijn voorzien, dient een watervergunning te worden aangevraagd bij de beheerder. De beschermingszone van de waterkering is in groen weergegeven in *figuur 1*.



Figuur 1: Ligging beschermingszone waterkering ten opzichte van contouren fort Henricus (bron: legger waterschap Brabantse Delta)

De beheerder van de waterkering is het waterschap Brabantse Delta. Uitgangspunt is dat de waterkerende veiligheid niet negatief mag worden beïnvloed door de werkzaamheden aan het fort. Ook moeten de werkzaamheden geen belemmering vormen voor het uitvoeren van eventuele toekomstige versterkingswerkzaamheden.

In dit onderzoek is de invloed van deze werkzaamheden op de stabiliteit van de waterkering onderzocht. Omdat de werkzaamheden binnendijs worden uitgevoerd en niet direct tegen de waterkering zelf plaatsvinden is het effect van de werkzaamheden op de volgende faalmechanismen onderzocht:

- binnenwaartse stabiliteit (STBI);
- piping (STPH).

Enig effect op overige faalmechanismen zoals buitenwaartse stabiliteit, microstabiliteit en hoogte zijn uit te sluiten. Dit is afgestemd met waterschap Brabantse Delta.

2.2. Beschikbare informatie

Door de opdrachtgever is de volgende informatie beschikbaar gesteld:

- overzichtstekeningen van de nieuwe situatie met dwarsprofielen waarop de afgravingen en ophogingen zijn aangegeven (opgenomen in bijlage 6).

Door het waterschap Brabantse Delta is onderstaande informatie beschikbaar gesteld:

- dwarsprofielen van de regionale waterkering rondom het fort;
- toetsrapportage van de regionale waterkeringen (Grontmij, 2013);
- een tweetal boorstaten van boringen in de kruin en buitenteen van de waterkering aan de oostzijde van het fort, en
- proevenverzameling voor regionale keringen in het beheergebied van waterschap Brabantse Delta (sterkteparameters grondlagen).

3. GRONDONDERZOEK

3.1. Algemeen

Het grondonderzoek voor dit project heeft bestaan uit:

- 3 handboringen tot 5 m diepte in de binnenteen van de waterkering;
- 3 sonderingen, inclusief plaatselijke kleefmeting, tot een diepte van circa 15 meter op de kruin van de waterkering;
- 1 sondering, inclusief plaatselijke kleefmeting, tot een diepte van circa 25 meter ter plaatse van een toekomstige brug over de fortgracht.

De resultaten van het grondonderzoek zijn gecombineerd met de gegevens uit de boorstaten die door het waterschap zijn aangeleverd. Een overzichtskaart met daarop de locaties van het grondonderzoek is opgenomen in bijlage 1, daarop zijn ook de locaties weergegeven van de aangeleverde boringen.

De resultaten van het grondonderzoek zijn weergegeven in bijlage 2. De boorstaten uit het archief van het waterschap zijn opgenomen in bijlage 3.

3.2. Handboringen

De handboringen zijn tot een diepte van 5 m beneden het maaiveld uitgevoerd. De onderzoekslocaties zijn ingemeten ten opzichte van NAP (hoogte) en RD (x-y coördinaten). Alle handboringen zijn in de binnenteen van de waterkering uitgevoerd. De boorgaten zijn afgedicht met zwelklei.

3.3. Sonderingen

Een drietal sonderingen (DKM1/2/3) zijn uitgevoerd op de kruin van de kering. De gemeten conusweerstand geeft samen met de gemeten wrijvingsweerstand inzicht in de bodemopbouw onder de kruin van de waterkering tot een diepte van ca. 15 m. Sondering DKM4 is uitgevoerd tot een diepte van ca. 25 m. Deze sondering kan later wellicht worden gebruikt in het kader van een funderingsadvies voor de toekomstig aan te leggen brug over de slotgracht. De sondeergaten zijn over een lengte van 3 meter afgedicht. De sondeerlocaties zijn ingemeten ten opzichte van NAP en RD.

4. UITGANGSPUNTEN

4.1. Richtlijnen en leidraden

De analyses zijn uitgevoerd conform onderstaande richtlijnen en leidraden:

- leidraad toetsen op Veiligheid Regionale waterkeringen (STOWA, 2007);
- addendum op bovenstaande leidraad (STOWA, 2010);
- Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen 2006 (VTV2006, Ministerie V&W, 2007).

4.2. Normering en hydraulische randvoorwaarden

De waterkering rondom het Fort Henricus betreft een regionale waterkering met een norm van 1/100 jaar. De aanwijzing als regionale kering en de normering is vastgesteld door de provincie Noord-Brabant in de Verordening water (Provincie Noord-Brabant, 2009).

De regionale waterkering ligt langs de Steenbergsche Vliet en de Steenbergsche Haven. Deze wateren maken deel uit van het Mark-Vlietsysteem, dat afwatert op het Volkerak-Zoommeer. Als onderdeel van het Programma Ruimte voor de Rivier zal vanaf eind 2015 het Volkerak-Zoommeer kunnen worden ingezet als tijdelijke waterberging voor water uit de grote rivieren. Dit heeft tot gevolg, dat de waterstand in het Volkerak-Zoommeer zodanig kan stijgen (tot circa NAP +2,30 m), dat hierdoor de afwatering van het Mark-Vlietsysteem wordt belemmerd. Daardoor kunnen ook in het Mark-Vlietsysteem (aanzienlijk) hogere waterstanden optreden dan de waterstanden die bij de norm van 1:100 per jaar worden verwacht. Hoewel de waterstanden voor de regionale waterkeringen bij waterberging op het Volkerak-Zoommeer nog niet formeel zijn vastgesteld (de procedure hiervoor loopt), moeten deze wel worden gehanteerd bij het beoordelen van plannen (van derden), zoals bij het Fort Henricus. De waterstanden bij waterberging op het Volkerak-Zoommeer (die de T2000-combi waterstanden worden genoemd) zijn benedenstrooms van Breda maatgevend ten opzichte van de T100-waterstanden.

De hydraulische randvoorwaarden zijn aangeleverd door het Waterschap Brabantse Delta:

T2000-combi waterstand (maatgevend hoogwater)	NAP +1,47 m
Binnenwaterstand	NAP -0,8 m

4.3. Bodemopbouw

De bodemopbouw is geschematiseerd aan de hand van het beschikbare grondonderzoek. Tot een diepte van 5 meter onder het maaiveld is de bodembeschrijving op basis van de handboringen gebruikt. De diepere lagen zijn geschematiseerd aan de hand van de sondeerresultaten. De globale bodemopbouw is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Globale bodemopbouw regionale waterkering Fort Henricus

Diepte bovenkant laag [m t.o.v. NAP]	Bodembeschrijving (grondsoort, bijmenging)
Kruin	ZAND, kleiig
1,0	KLEI, matig siltig, zwak tot matig zandig
-1,0	<i>ZAND, matig siltig, wisselend kleiig (enkel aangetroffen ten noorden van fort)</i>
-3,0	VEEN
-4,8	ZAND
-7,0	KLEI, zwak tot sterk siltig
-15,5	Pleistoceen zandpakket
-24,0	Maximaal verkende diepte

Uit de resultaten van het grondonderzoek, aangevuld met de boringen uit het archief van het waterschap, blijkt dat de bodemopbouw ten oosten van het fort, direct langs het buitenwater van de Steenbergse Haven, afwijkt van die ten noorden van het fort. Ten noorden van het fort is een ca. 2 m dikke tussenzandlaag aangetroffen tussen ca. NAP -1,0 m en NAP -3,0 m. De opbouw van de dijk en de ondergrond ten oosten van het fort kent een vrij homogene opbouw bestaande uit klei met een zandige bijmenging die zich tot het veenpakket, gelegen op ca. NAP -3,0 m, uitstrekt. Ten oosten van het fort bevindt de eerste tussenzandlaag zich onder het veenpakket vanaf een diepte van ca. NAP -4,8 m.

4.4. Grondparameters

De schuifsterkte van de grond is herleid uit de proevenverzameling zoals die beschikbaar is gesteld door waterschap Brabantse Delta. De hierboven beschreven bodemopbouw is gebruikt om een koppeling te maken tussen de aanwezige grondlagen en de grondparameters. De rekenwaarden voor het volumiek gewicht en de schuifsterkte van verschillende grondlagen zijn weergegeven in *tabel 2*.

Tabel 2: Grondparameters uit proevenverzameling regionale waterkeringen Brabantse Delta

Grondlaag	$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Veen, ondiep, teen	10,5/10,5	1,1	26,7
Veen, ondiep, kruin	10,8/10,8	0,6	26,7
Veen, diep	12,0/12,0	3,1	11,6
Klei, humeus	14,1/14,1	0	27,3
Klei, siltig	17,6/17,6	1,2	27,1
Klei, zandig	18,1/18,1	0	25,0
Zand	18,0/20,0	0	26,1
Leem	20,0/20,0	0,6	26,1
Pleistoceen zand	19,0/21,0	0	26,1

Opmerkingen:

- γ en γ_{sat} = volumiek gewicht; sat = verzadigd
- c' = effectieve cohesie
- ϕ' = effectieve hoek van inwendige wrijving

De waarden in tabel 2 wijken af van de waarden die gebruikelijk voor Nederlandse gronden worden gevonden. Met name de hoek van inwendige wrijving voor ondiep veen is aan de hoge kant. Fugro is niet verantwoordelijk voor de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de proevenverzameling.

In het geval van opdrijven en opbarsten van grondlagen is conservatief aangenomen dat deze lagen geen samenhang meer vertonen. Dit resulteert in nul-waarden voor de sterkteparameters (c en ϕ) van de betreffende lagen.

4.5. Schematisatie dwarsprofiel

De analyse beperkt zich op dit moment alleen tot de oostelijk gelegen waterkering, direct langs het buitenwater van de Steenbergsche Haven.

Dwarsprofielen van de regionale kering rondom het fort zijn door Waterschap Brabantse Delta aangeleverd. Profiel 'dwp 1961', ten oosten van het fort, is als maatgevend profiel voor de beoordeling van de macrostabiliteit genomen. Dit vanwege de relatief steile taluds van de waterkering. De breedte van de dijk ter plaatse van 'dwp 1961' en daarmee de aanwezige kwelweglengte, is relatief smal. Met betrekking tot de beoordeling van het pipingrisico is dit profiel dan ook representatief voor de oostelijk gelegen waterkering. De locatie van 'dwarsprofiel 1961' en de geometrie zijn opgenomen in bijlage 4.

De min of meer horizontale delen uit het dwarsprofiel zijn representatief voor de gemeten waterstand in de gracht rondom het fort (rechterzijde dwarsprofiel) en in de Steenbergsche Haven (linkerzijde). De diepte van de waterbodem van de gracht en de Steenbergsche haven zijn overgenomen vanuit de toetsing (bijlage 18 bij toetsrapport). De waterbodem van de gracht ligt op een niveau van NAP -1,49 m en die van de Steenbergsche Haven op NAP -3,30 m. Het verloop van het onderwaterprofiel van de bodem is geschat.

Uit de ontwerptekeningen aangeleverd door GKB Visie is een bodemniveau van NAP -1,25 aangegeven. Een hoger bodemniveau zou gunstig zijn voor de beoordeling van de stabiliteit van de waterkering. Het is echter onduidelijk waar de bodemhoogte in de ontwerptekeningen op zijn gebaseerd en of de dikte van eventueel aanwezige sliblagen is meegerekend. Uit conservatief oogpunt is daarom het bodemniveau uit de toetsing aangehouden.

De gracht is, van waterlijn tot waterlijn, 15 m breed geschematiseerd. Dit is de minimale breedte van de gracht aan de oostzijde van het fort zoals is bepaald aan de hand van de geleverde overzichtstekeningen.

4.6. Freatisch vlak en stijghoogten

Freatisch vlak

Het verloop van het freatisch vlak is bepaald aan de hand van het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken (TAW, 2004) voor een dijk met een kleikern op een samendrukbare ondergrond. Omdat onvoldoende informatie beschikbaar is om de indringingsdiepte met voldoende nauwkeurigheid vast te stellen, is het freatisch vlak tot aan de binnenkruin van de waterkering gelijk genomen aan het maatgevende buitenwaterstand. Dit is een zeer conservatieve aanname omdat in werkelijkheid, als gevolg van de geringe doorlatendheid van de kleiige opbouw van de kering, het effect van de buitenwaterstand op het freatisch vlak geringer zal zijn. Dat het freatische vlak ter plaatse van de kruin wordt begrensd op de maatgevende buitenwaterstand is in lijn met de veiligheidstoetsing (Grontmij, 2013).

Vanaf de binnenkruin is het freatisch vlak lineair geschematiseerd tot aan het binnentalud op een hoogte die overeenkomt met het maatgevend peil in de fortgracht op NAP -0,8 m. Ter plaatse van het fort is, als mogelijk gevolg van neerslag, een opbolling van het freatisch vlak geschematiseerd van 0,5 m.

Stijghoogten watervoerende lagen

Hydraulische kortsluiting kan leiden tot een toename van waterspanningen in watervoerende (tussen)zandlagen. De bodem van de Steenbergse Haven is aangenomen op NAP -3,3 m. De bovenkant van de tussenzandlaag ten oosten van het fort ligt op ca. NAP -4,8m. Het bovenliggende veenpakket is daarmee ca. 1,5 m dik. Volgens de LTR (STOWA, 2007) dient rekening te worden gehouden met kortsluiting wanneer de waterremmende laag dunner is dan 2 m. Kortsluiting is daarom aangenomen. Aangenomen wordt dat het buitenwater ter plaatse van de bodem van de Steenbergse Haven kan toetreden tot de tussenzandlaag. Wanneer opdrijven van de deklagen ter plaatse van de binnenteen van de waterkering niet is uit te sluiten, is de stijghoogte in de tussenzandlaag daar gelijk genomen aan de grensspanning van het bovenliggend pakket. Deze grenspotential blijft constant over de oprijfzone die gedefinieerd is als twee maal de deklaagdikte (2x3,3 m; zie TAW, 2004). De stijghoogte loopt daarna onder een flauwe helling af richting het achterland.

Indien opbarsten van de deklaag niet is uit te sluiten, is eveneens de situatie beoordeeld waarbij de deklaag opbarst. Omdat de deklaag in dat geval geen samenhang meer vertoont is de stijghoogte vanaf de opbarstzone gelijk genomen aan de binnenwaterstand (NAP -0,8 m).

4.7. Vereiste veiligheidsfactor (macrostabiliteit)

Voor de beoordeling van macrostabiliteit binnenwaarts is de vereiste veiligheidsfactor (F_s) als volgt bepaald:

$$F_s = \gamma_n \times \gamma_d \times \gamma_b$$

met:

γ_n	schadefactor (-)
γ_d	modelfactor (-)
γ_b	schematiseringsfactor (-)

De schadefactor is gerelateerd aan de normering van de regionale waterkering. De normfrequentie is vastgesteld op 1/100 jaar waarbij de schadefactor 0,9 bedraagt, conform LTR (STOWA, 2007).

In het geval een cirkelvormig glijvlak wordt berekend middels de methode Bishop bedraagt de modelfactor 1,0. Horizontale glijvlakken zijn berekend met de methode Uplift Van, de modelfactor bedraagt in dat geval 1,05¹.

Op basis van het addendum op het LTR (STOWA, 2010) is de schematiseringsfactor gelijk genomen aan de maximale waarde van 1,2. Er zijn geen inspanningen gepleegd om deze schematiseringsfactor te reduceren. Dit met name omdat het relatieve effect van de

¹ Ook conform het addendum TRWG: $\gamma_d = 1,5 - 0,5 \times \text{opbarstveiligheid}$ (=0,9, zie uitwerking hoofdstuk 5)

werkzaamheden aan het fort op de waterkerende veiligheid ten opzichte van de huidige situatie dient te worden beoordeeld. Daarnaast zou meer grondonderzoek benodigd zijn om de schematiseringsfactor onderbouwd te kunnen reduceren.

De vereiste stabiliteitsfactor (F) is op basis van bovenstaande bepaald op 1,08 (Bishop) en 1,13 (Uplift Van).

4.8. Verkeersbelasting

In de stabiliteitsberekeningen is rekening gehouden met een verkeersbelasting van 13,0 kN/m² over een breedte van 2,5 meter op de kruin van de boezemkade. De spreidingshoek van de belasting is gelijk genomen aan 45°. Conservatief is er vanuit gegaan dat de slappe grondlagen ongedraineerd zullen reageren (0% aanpassingspercentage ten gevolge van de verkeersbelasting). Deze uitgangspunten zijn in overeenstemming met de vigerende leidraden. Optimalisatie van het aanpassingspercentage ten gevolge van de verkeersbelasting en de spreidingshoek van de belastingen in de ondergrond, vereist aanvullend onderzoek.

4.9. Werkzaamheden fort Henricus

In de stabiliteitsberekeningen is rekening gehouden met een afgraving van de verdedigingswallen tot aan het polderpeil op NAP -0,8 m. Dit is een conservatief uitgangspunt omdat de ontgravingen in het oostelijk deel van het projectgebied beperkt zijn en niet tot onder het polderpeil zullen plaatsvinden. Het freatisch vlak is daarbij aangepast tot op maaiveld.

Aan de oostzijde van het fort wordt het talud van de verdedigingswallen deels beperkt opgehoogd. In de stabiliteitsanalyse is de uitvoeringsstabiliteit bepaald door uit te gaan van 100% wateroverspanningen in de onderliggende lagen als gevolg van een ophoging met een 1:1 talud vanaf de waterlijn. De daadwerkelijke ophogingen zijn beperkter.

5. BEOORDELING EFFECTEN OP WATERKERENDE VEILIGHEID

Het effect van de werkzaamheden op de volgende faalmechanismen onderzocht:

- binnenwaartse stabiliteit (STBI);
- piping (STPH).

5.1. Binnenwaartse stabiliteit waterkering (STBI)

De binnenwaartse stabiliteit is beoordeeld door stabiliteitsberekeningen uit te voeren in het programma D-GeoStability (versie 10.1).

In onderstaande tabel zijn de berekende stabiliteitsfactoren in de huidige en nieuwe situatie gegeven. In de 'nieuwe' situatie is rekening gehouden met de ontgravingen bij het fort. Het effect van een ophoging van het talud is bepaald tijdens de uitvoeringssituatie.

Tabel 3: Berekende stabiliteitsfactoren

	Beschrijving scenario	Berekende stabiliteitsfactor	Vereiste stabiliteitsfactor
Huidig	STBI, bishop	0,95	1,08
Nieuw	STBI, bishop	0,95	1,08
Uitvoering	STBI, bishop (ophoging, 100% wateroverspanning)	0,95	1,08
Huidig	STBI, opdrijven (Uplift Van)	0,99	1,13
Nieuw	STBI, opdrijven (Uplift Van)	0,99	1,13
Huidig	STBI, opbarsten (bishop)	1,07	1,08
Nieuw	STBI, opbarsten (bishop)	1,07	1,08

De berekende glijvlakken zijn in bijlage 5 opgenomen.

Omdat in de berekening waar rekening is gehouden met opbarsten, is aangenomen dat de stijghoogte ter plaatse van de binnentoevoer wordt beperkt tot het waterpeil in de fortgracht. Dit werkt dit gunstig voor de binnenwaartse stabiliteit. Daardoor worden in dat geval relatief hoge stabiliteitsfactoren bepaald.

Op basis van de conservatieve uitgangspunten en aannames die in deze analyses zijn gehanteerd wordt niet voldaan aan de vereiste stabiliteitsfactoren. De berekende stabiliteitsfactor in de huidige situatie (Bishop) ligt 0,02 hoger dan volgt uit de veiligheidstoetsing. Ook in de veiligheidstoetsing luidde het oordeel 'onvoldoende' op binnenwaartse stabiliteit. Hoewel de binnenwaartse stabiliteit als onvoldoende is beoordeeld gaat het hier echter om het relatieve effect van de geplande werkzaamheden op de stabiliteit van de waterkering. Uit de resultaten volgt dat de werkzaamheden aan het fort geen negatief effect zullen hebben op de binnenwaartse stabiliteit van de waterkering aan de oostzijde van het fort.

5.2. Piping (STPH)

Het risico op piping beoordeeld op basis van het stappenplan zoals is opgenomen in het VTV2006. De verschillende rekenregels zijn nader beschreven in het technisch rapport Zandmeevoerende Wellen (TAW, 1999).

Stap 1: opbarstveiligheid

De opbarstveiligheid is berekend door de stijghoogte in de tussenzandlaag gelijk te nemen aan de maatgevende buitenwaterstand. De minimaal vereiste opbarstveiligheid dient in dat geval, conform het LTR (STOWA, 2007) 1,0 te bedragen.

$$\sigma_g / \sigma_w > 1,0 \text{ (opbarstcriterium)}$$

waarin,

σ_g neerwaartse gronddruk aan bovenkant tussenzandlaag

σ_w waterdruk aan bovenzijde tussenzandlaag

De bovenkant van de tussenzandlaag ligt op NAP -4,8 m.

$$\sigma_g = 1,5 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 \text{ (zand)} + 1,8 \times 10,5 \text{ kN/m}^3 \text{ (veen)} + 0,7 \times 10 \text{ kN/m}^3 \text{ (water)}$$

$$\sigma_g = 56 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_w = (1,47 \text{ m} - -4,8 \text{ m}) \times 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\sigma_w = 63 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g / \sigma_w = 0,9 < 1,0$$

Er wordt niet voldaan aan het opbarstcriterium, waardoor het opbarsten van de deklaag ter plaatse van de binnenteen en daarmee piping, niet op voorhand kan worden uitgesloten.

Stap 2: kwelweganalyse

Omdat opbarsten van de deklaag ter plaatse van de binnenteen van de waterkering niet kan worden uitgesloten is een kwelweganalyse uitgevoerd op basis van de methode Bligh. Bij een voldoende lange kwelweg is er geen risico op piping.

De minimaal benodigde kwelweglengte met Bligh te bepalen volgens:

$$L_{\text{benodigd}} = (\Delta H - 0,3 \cdot d) \cdot C_{\text{CREEP}}$$

waarin,

L_{benodigd} minimaal benodigde kwelweglengte

ΔH verval over de waterkering (2,27 m)

d dikte deklaag ter plaatse van binnenteen (3,3 m)

C_{creep} creepfactor (-) (conservatief bepaald op 18)

Een creepfactor van 18 komt overeen voor zeer fijn zand. Het zand op locatie is in het veld geclassificeerd als matig fijn zand. Een creepfactor van 18 is dus een conservatieve aanname.

De benodigde kwelweglengte is op basis van bovenstaande bepaald op 23,0 m.

De kwelweglengte is de afstand tussen het intredepunt van het buitenwater tot de (tussen)zandlaag en het uittredepunt. Wanneer wordt aangenomen dat het water halverwege het buitentalud toetreedt tot de zandlaag en de binnenteen als uittredepunt wordt gekozen is de aanwezige kwelweglengte circa 35 m. In bijlage 4 is te zien dat het dwarsprofiel van waterlijn tot waterlijn (horizontale delen in het dwarsprofiel) al circa 30 m breed is. De aanwezige kwelweglengte is voldoende lang waardoor wordt voldaan aan de eis ten aanzien van het pipingrisico.

Het afgraven van een deel van het talud nabij het fort zal overigens geen invloed hebben op het pipingrisico. Het uittredepunt zal ter plaatse van de fortgracht liggen omdat daar de deklaagdikte het geringst is. De werkzaamheden beperken zich maximaal tot aan de waterlijn van de fortgracht waardoor het pipingrisico niet zal toenemen. Ook eventuele ophogingen van het talud van de verdedigingswallen zullen geen invloed hebben op het pipingrisico.

5.3. Profiel van vrije ruimte

Het daadwerkelijk aanwezige dijklichaam ligt langs het gehele traject meer dan 0,5 m hoger dan het leggerprofiel (zie ook bijlage 4). Volgens de 'legger regionale keringen: regionale keringen langs regionale rivieren en boezemkades' (Waterschap Brabantse Delta, 2012) omvat het profiel van vrije ruimte dan ook het gehele werkelijk aanwezige dijklichaam. Het profiel van vrije ruimte is een reservering voor toekomstige verbetering van de waterkering. Het profiel van vrije ruimte dient er toe ruimte naast en boven de waterkering vrij te houden van ontwikkelingen die een toekomstige verbetering van de kering zouden kunnen belemmeren of onmogelijk zouden maken.

De voorgenomen werkzaamheden verhinderen of belemmeren geenszins eventuele verbetermaatregelen.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De effecten van de voorgenomen werkzaamheden op de waterkerende veiligheid van de regionale kering aan de oostzijde van het fort is beoordeeld op de volgende faalmechanismen:

- binnenwaartse stabiliteit (STBI), en
- piping (STPH).

Uit de analyse volgt dat de werkzaamheden geen negatief effect hebben op de waterkerende veiligheid van de oostelijk gelegen waterkering.

Het grondlichaam van het fort heeft geen invloed op de maatgevende glijcirkels zoals deze zijn bepaald in de stabiliteitsanalyse. Zelfs wanneer het grondlichaam volledig wordt afgegraven tot op het niveau van het waterpeil in de fortgracht, blijft de berekende stabiliteitsfactor onveranderd. Een eventuele verhoging van de verdedigingswallen rond het fort zal enkel een positieve bijdrage kunnen leveren aan de stabiliteit van de waterkering in de eindsituatie. Zoals is aangetoond zal ook een beperkte ophoging tijdens de uitvoeringssituatie niet leiden tot een afname van de stabiliteit van de waterkering.

Het uittredepunt voor piping ligt ter plaatse van de fortgracht. Het afgraven of ophogen van het talud van de verdedigingswallen zal niet leiden tot een verkorten van de kwelweg.

Opgemerkt wordt dat voor het een complete beoordeling ook de situatie ten noorden van het fort beoordeeld dient te worden.

In voorliggend onderzoek is niet gekeken naar de stabiliteit van de ophoging, omdat dit geen directe implicaties heeft voor de stabiliteit van de waterkering. Wel blijkt uit de berekeningen dat bij de relatief gunstige sterkteparameters uit de proevenverzameling van het Waterschap de ontworpen ophoging waarschijnlijk op de rand van stabiliteit zit (metastabiel). Dit wordt bevestigd door in het verleden gesignaleerde vervormingen van slappe grondlagen. Aanbevolen wordt daarom om voorafgaand aan het daadwerkelijk uitvoeren van de ophoging dit risico in kaart te brengen en eventueel uitvoeringsmaatregelen te treffen.

De voorgenomen werkzaamheden verhinderen of belemmeren geenszins eventuele verbetermaatregelen. Wel kan een eventuele verbetering gepaard gaan met bijvoorbeeld het dempen van de fortgracht, wat implicaties heeft voor de landschappelijke inpassing. Dit is echter in de huidige situatie ook al een aandachtspunt. De werkzaamheden aan de verdedigingswallen van Fort Henricus voldoen daarmee in principe aan de eisen die worden gesteld aan ontwikkelingen binnen het profiel van vrije ruimte.

7. LITERATUUR

Grontmij. (2013). Toets regionale waterkeringen. Veiligheidstoetsing regionale waterkeringen in het beheergebied van waterschap Brabantse Delta. Definitief.

Ministerie V&W. (2007). Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV).

Provincie Noord-Brabant. (2009). Verordening water Noord-Brabant. 24 december 2009.

STOWA. (2010). Addendum op de leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen betreffende de boezemkaden.

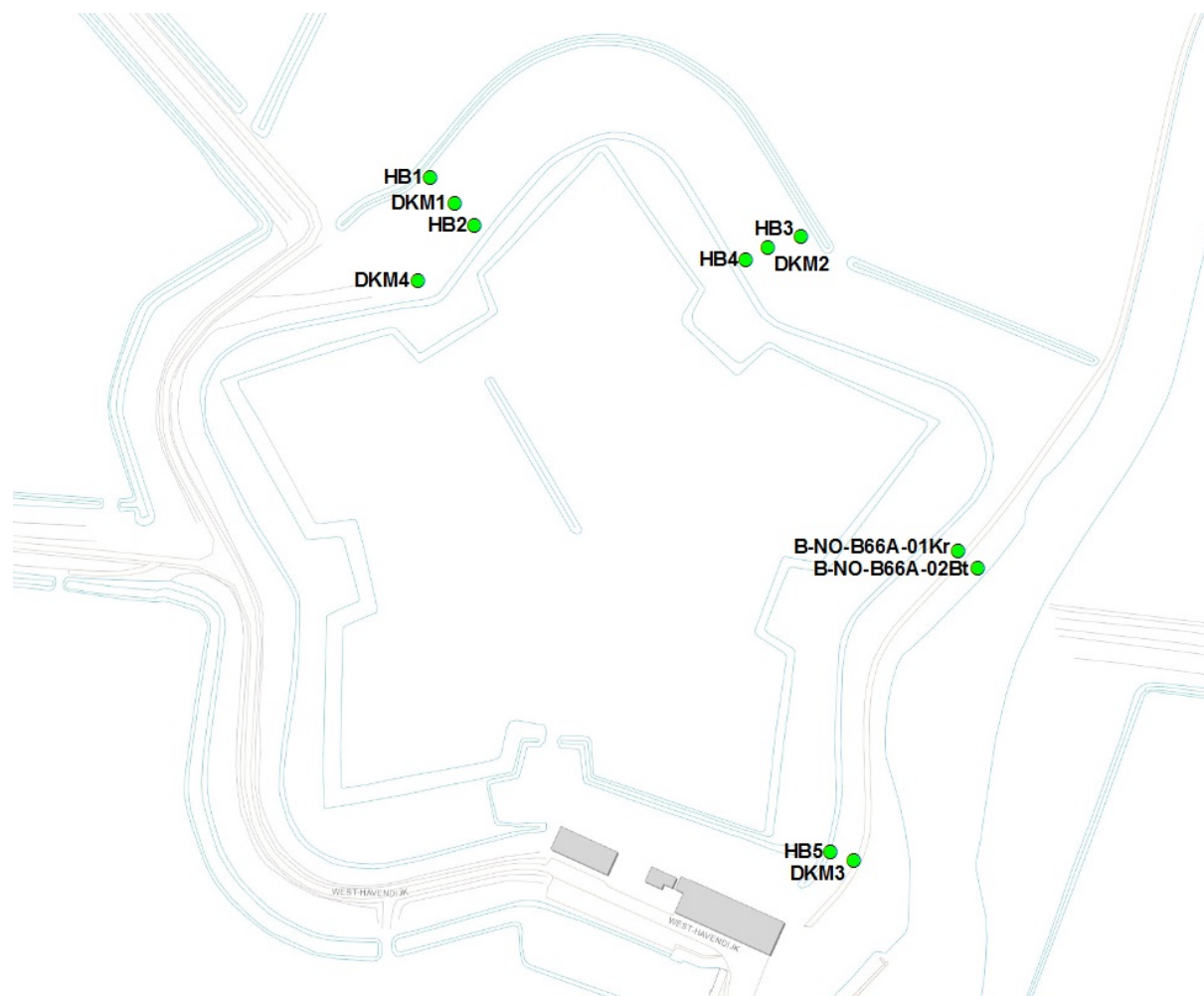
STOWA. (2007). Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.

RAW. (1999). Technisch rapport Zandmeevoerende Wellen. Maart 1999.

TAW. (2004). Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken. TAW: Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. 1 september 2004.

Waterschap Brabantse Delta. (2012). Legger regionale keringen: regionale keringen langs regionale rivieren en boezemkades.

Bijlage 1 – Overzichtskaart grondonderzoek



Figuur 2: Overzicht grondonderzoek (B-NO-xx uit het archief van het waterschap)

Bijlage 2 – Rapportage geotechnisch veldwerk

RAPPORTAGE GEOTECHNISCH VELDWERK

Project	Waterkeringsanalyses grondfort te Steenberg	Opdrachtnummer	1213-0089-000
Opdrachtgever	GKB Visie B.V. Middelweg 1 2992 SP Barendrecht	Datum rapportage	13 januari 2014
		Uitvoeringsperiode	7 januari 2014
Opgesteld door			
Gecontroleerd door			
Projectleider			
Documentnaam	1213-0089-000_21.KR01.doc		

Deze rapportage bevat de resultaten van het geotechnisch veldwerk dat ten behoeve van bovengenoemd project door Fugro GeoServices B.V. is uitgevoerd. De gerapporteerde resultaten van dit onderzoek mogen slechts worden gehanteerd voor het doel zoals in de opdracht is beschreven.

Tot deze rapportage behoren de volgende bijlagen:

- | | |
|--|---------------|
| - Situatiekening | 1 |
| - Sonderingen | DKM1 t/m DKM4 |
| - Veldboorstaten | HB1 t/m HB5 |
| - Continu Elektrisch Sonderen | |
| - Legenda Terreinproeven en Grondsoorten | |

1. GEOTECHNISCH VELDWERK

Het geotechnisch veldwerk voor dit project heeft bestaan uit:

- 4 sonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand;
- 5 handboringen.

Voor een verklaring van de op de situatietekening gebruikte tekens en symbolen wordt verwezen naar de bijlage "Legenda Terreinproeven en Grondsoorten".

2. COORDINATEN EN HOOGTE VAN ONDERZOEKSPUNTEN

De hoogte en de coördinaten van de onderzoekslocaties zijn bepaald in NAP en RD.

De maximale afwijking van de meting van de coördinaten bedraagt 10 cm, de maximale afwijking van de meting van de hoogte bedraagt 5 cm.

De bijgevoegde situatietekening is gebruikt voor het aangeven van de onderzoekslocaties.

De hoogtebepaling van de onderzoekslocaties is uitgevoerd met als doel de bodemopbouw te refereren aan een vaste referentiehoogte. Deze gegevens zijn niet geschikt voor andere doeleinden dan dit onderzoek.

3. SONDEREN

Het sonderen is uitgevoerd conform de vigerende richtlijnen en de NEN-EN-ISO 22476-1. Een beschrijving van de gevolgde meet- en registratiemethode is gegeven in de bijlage "Continu Elektrisch Sonderen".

Sondering DKM5 was tijdens de uitvoering met het ingezette materieel niet bereikbaar. In overleg met de opdrachtgever is deze sondering vervallen.

4. BOREN

Het boorwerk is handmatig uitgevoerd. Bij het handboren wordt doorgaans gebruik gemaakt van een edelmanboor (cohesieve gronden, klei, veen) en een handpuls (niet cohesieve grond, zand).

De werkzaamheden zijn uitgevoerd conform de NEN-EN-ISO 22475-1.

5. (GROND)WATERSTAND

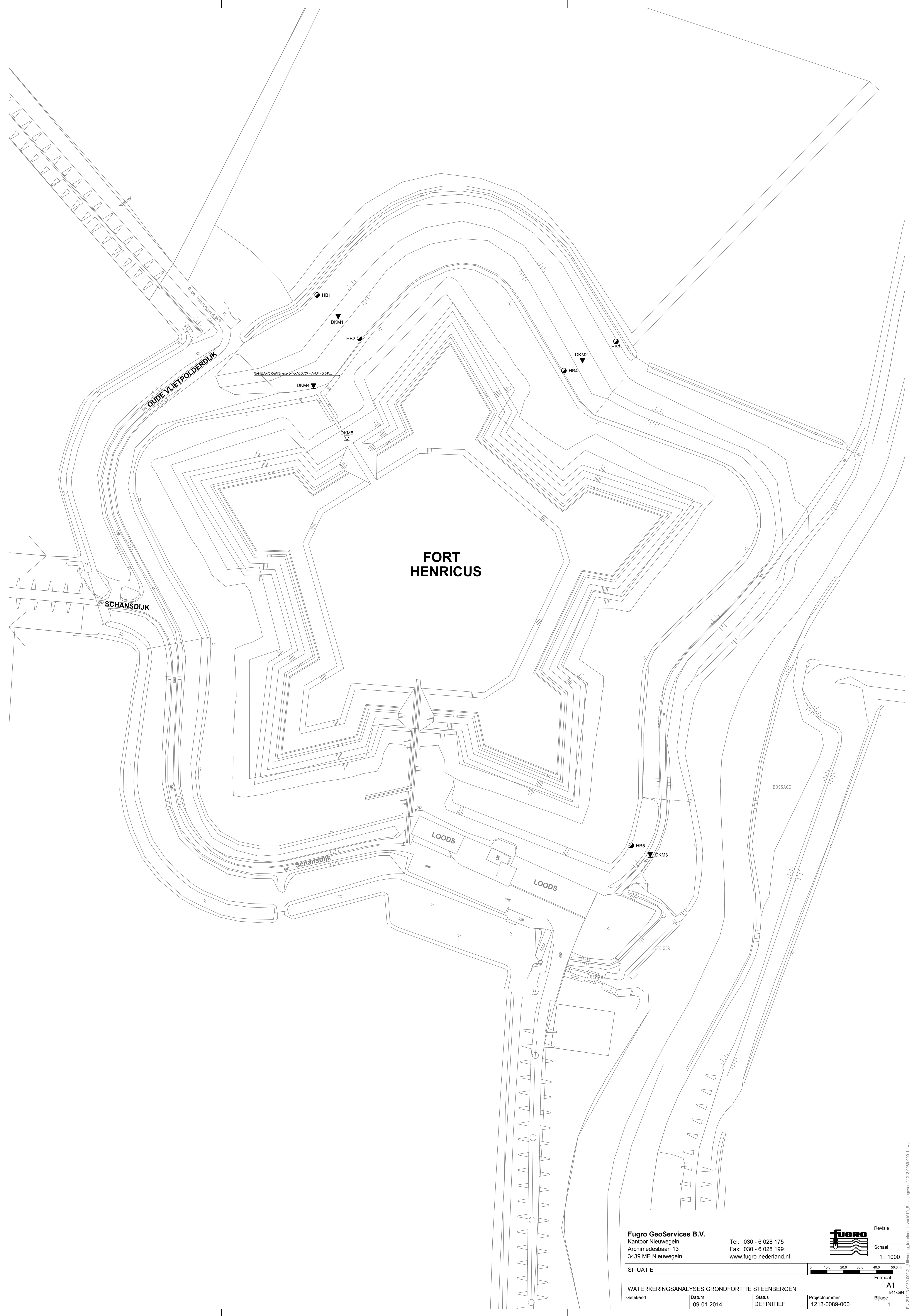
Het peil van een nabijgelegen open water is gedurende het grondonderzoek bepaald op NAP -0,59 m en is vermeld op de situatietekening.

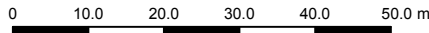
Deze waterstand is een eenmalige opname en bedoeld als een oriënterend gegeven.

Tijdens de uitvoering van het grondonderzoek is de grondwaterstand in de boorgaten aangetroffen op 1,0 m tot 2,3 m beneden maaiveld, hetgeen overeenkomt met circa NAP -0,1 m tot NAP -1,2 m. Deze grondwaterstand is een eenmalige opname en bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd fluctueren onder invloed van de weersgesteldheid en de seizoenen.

6. KWALITEITSBORGING

Alle werkzaamheden zijn verricht in overeenstemming met het managementsysteem van Fugro GeoServices B.V. dat voldoet aan de NEN-ISO 9001:2008 en VCA ** 2008/05.



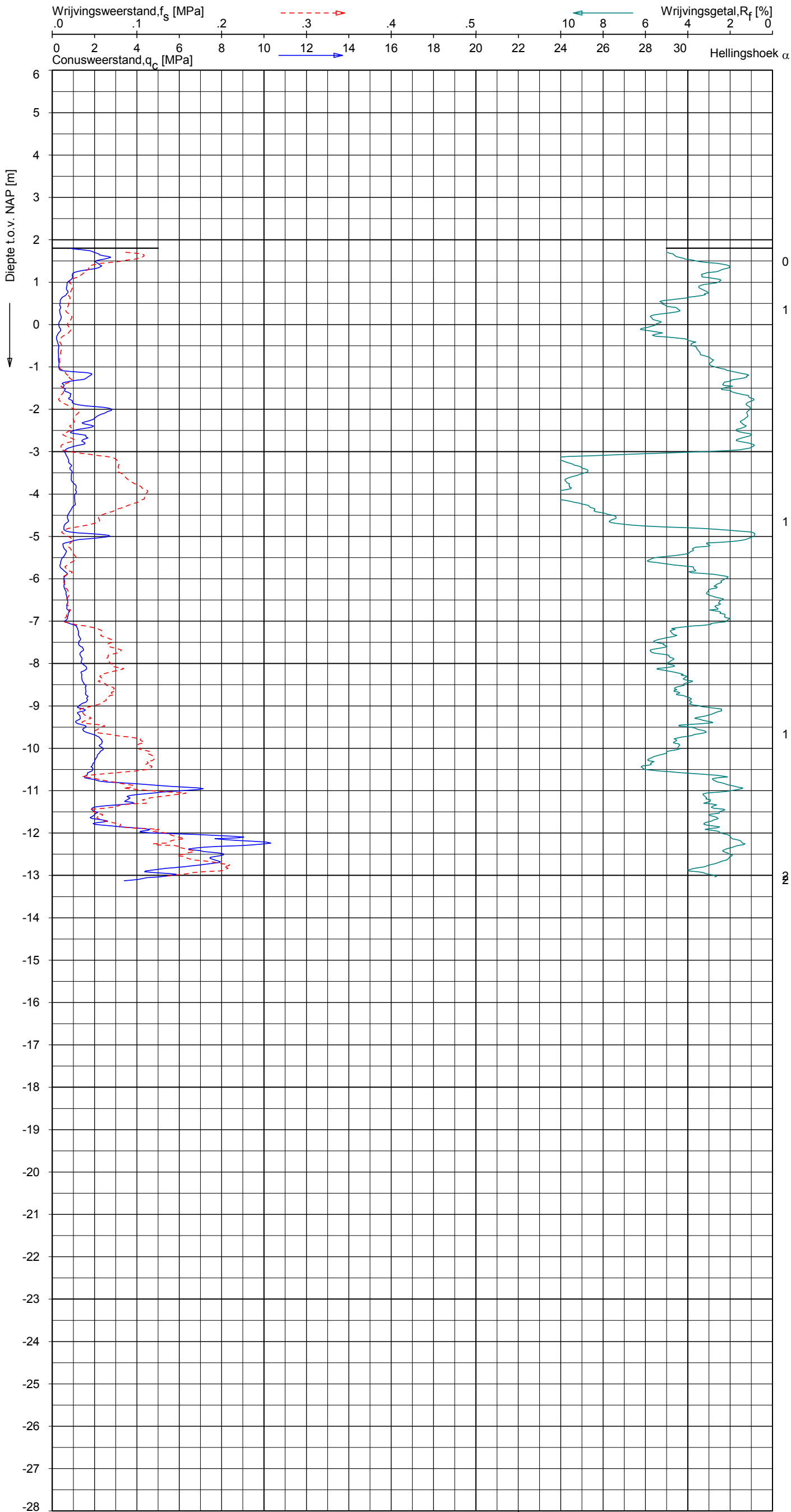
Fugro GeoServices B.V. Kantoor Nieuwegein Archimedesbaan 13 3439 ME Nieuwegein				 Revisie Schaal 1 : 1000	
SITUATIE					
WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN				Formaat A1 841x594	
Getekend	Datum 09-01-2014	Status DEFINITIEF	Projectnummer 1213-0089-000	Bijlage 1	

P:\1213-0089-000\1_Boorlog_kenmerkend\1213-0089-000-1.dwg

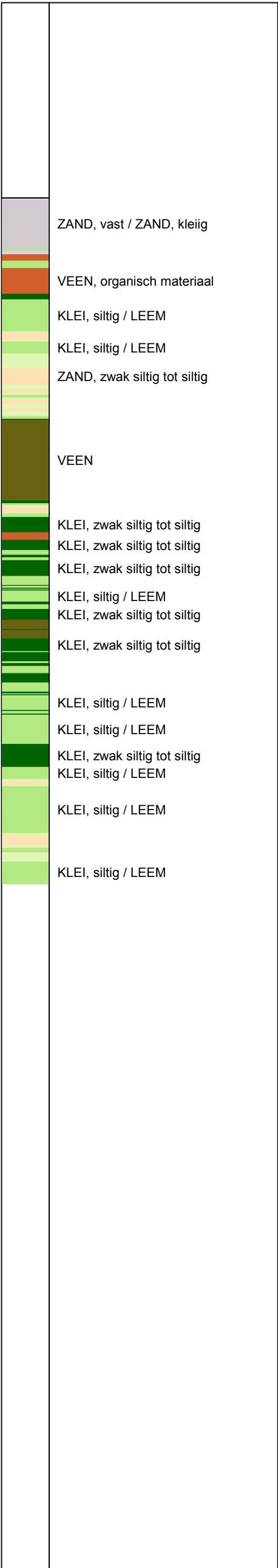
UNIPLOT 05.24.nl / QcfClass-N3.cmd / 2014-01-13 16:38:31

1213-0089-000

DKM1 - 1



Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering, geldig onder
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg. : d.d. 07-jan-2014 Coord.: X= 80043.7 m Y= 402081.7 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : d.d. 09-jan-2014 MV = NAP +1.80 m Conus: F7.5CKE2HA/B 1701-2649 Toepassingsklasse 3. Test type TE1
Conustype: $A_c = 1500 \text{ mm}^2$; $A_s = 19956 \text{ mm}^2$

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

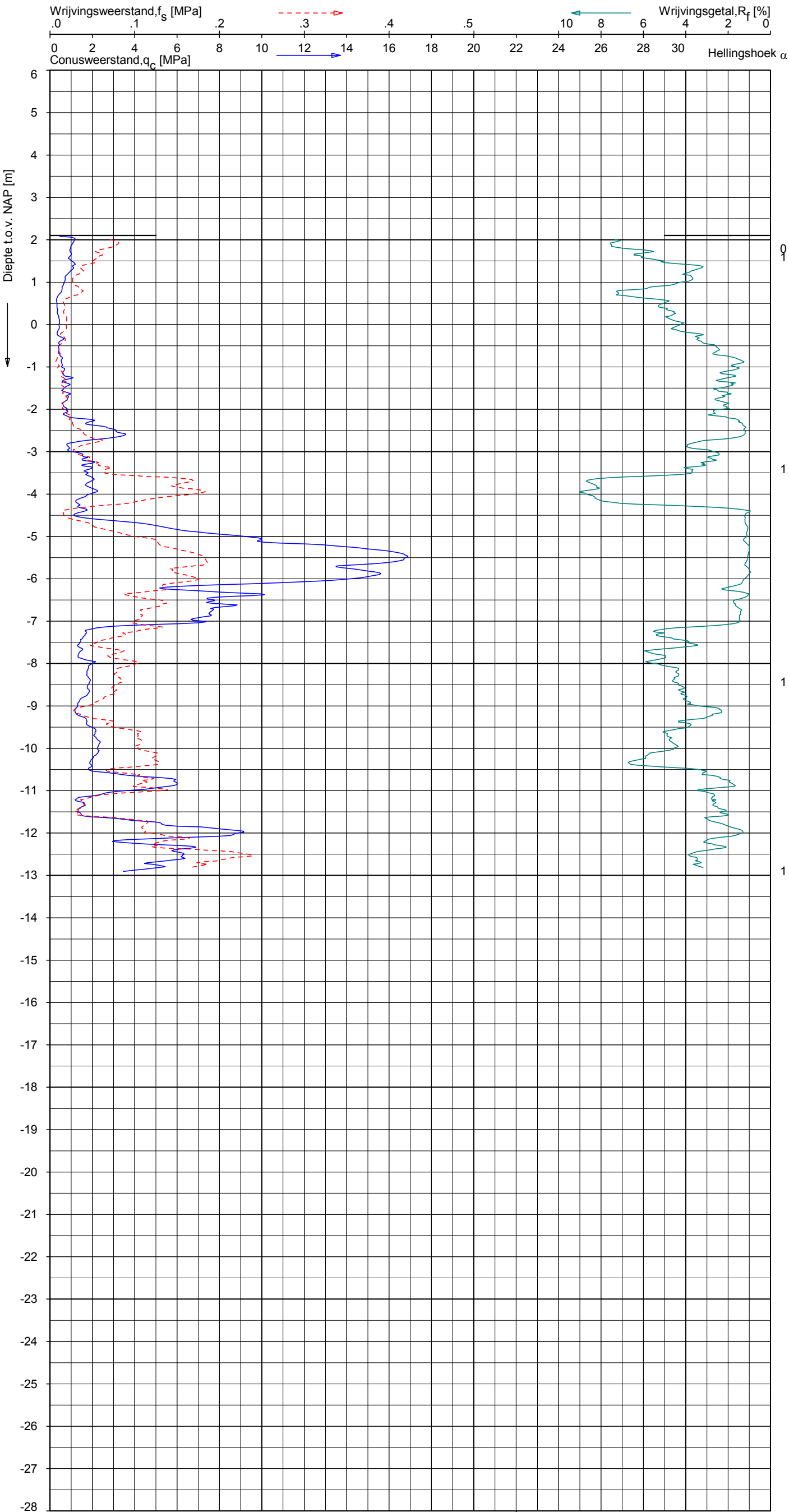
Opdr. 1213-0089-000
Sond. DKM1

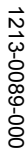


UNIPLOT 05.24.nl / QcfSClass-N3.cmd / 2014-01-13 16:38:34

1213-0089-000

DKM2 - 1

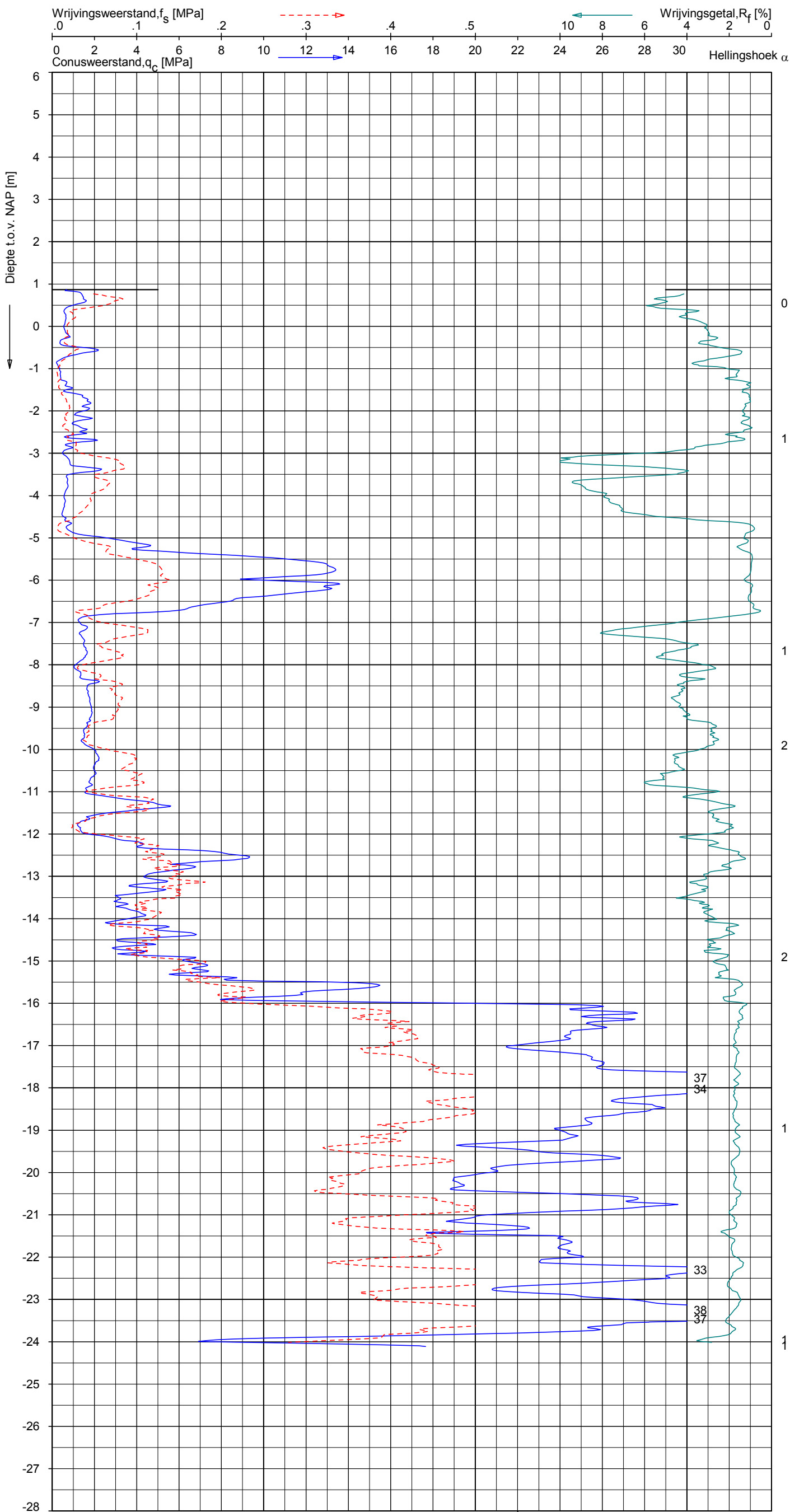




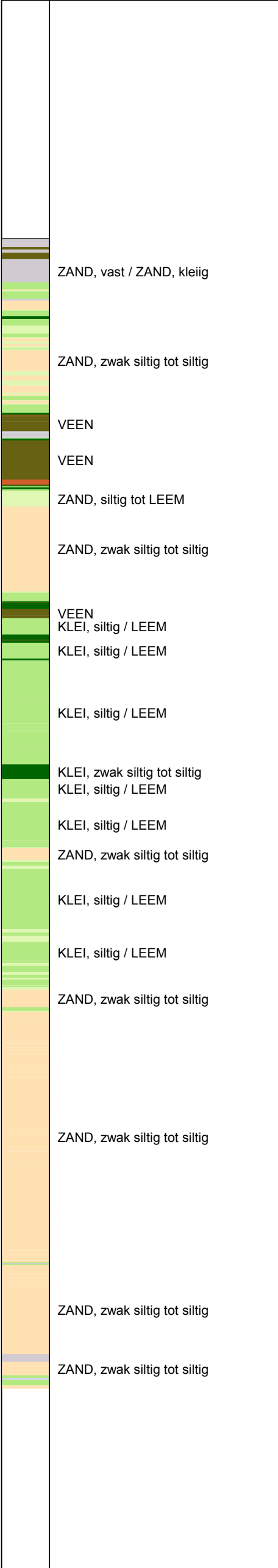
UNIPLOT 05.24.nl / QcfClass-N3.cmd / 2014-01-13 16:38:39

1213-0089-000

DKM4 - 1



Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering, geldig onder
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg. : d.d. 07-jan-2014 Coord.: X= 80028.7 m Y=402039.6 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : d.d. 09-jan-2014 MV = NAP +0.87 m Conus: F7.5CKE2HA/B 1701-2649 Toepassingsklasse 3. Test type TE1
Conustype: $A_c = 1500 \text{ mm}^2$; $A_s = 19956 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

Opdr. 1213-0089-000
Sond. DKM4

Boring: HB1

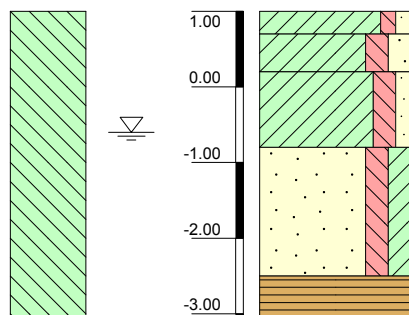
Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Afdichting Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



1.00 tot 0.70 Klei, zwak siltig, zwak zandig bruin

0.70 tot 0.20 Klei, matig siltig, matig zandig bruin

0.20 tot -0.80 Klei, matig siltig, zwak zandig, sporen roest bruin

-0.80 tot -2.50 Zand, matig siltig, kleiig grijs

-2.50 tot -3.10 Veen

Algemene opmerking:

X: 80030.9

GWS (m tov NAP): -0.60

MV (m tov NAP): 1.00

bk PB1 (m tov NAP):

Boorvloeistof:

WS PB1 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 07-01-2013

Y: 402094.7

GHG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

Boormeester: cm

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

Geclassificeerd door:

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

1213-0089-000

Boring: HB2

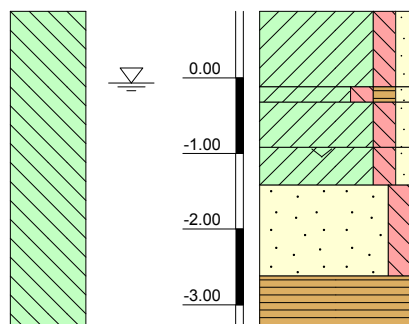
Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Afdichting Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



0.88 tot -0.12 Klei, matig siltig, zwak zandig bruin

-0.12 tot -0.32 Klei, matig siltig, matig humeus, zwak zandig bruin

-0.32 tot -0.92 Klei, matig siltig, zwak zandig, sporen roest grijsbruin

-0.92 tot -1.42 Klei, matig siltig, zwak zandig, resten schelpen grijs

-1.42 tot -2.62 Zand, zeer fijn, matig siltig grijs

-2.62 tot -3.32 Veen

Algemene opmerking:

X: 80056.6

GWS (m tov NAP): -0.07

MV (m tov NAP): 0.88

bk PB1 (m tov NAP):

Boorvloeistof:

WS PB1 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 07-01-2013

Y: 402068.3

GHG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

Boormeester: cm

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

Geclassificeerd door:

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

1213-0089-000

Boring: HB3

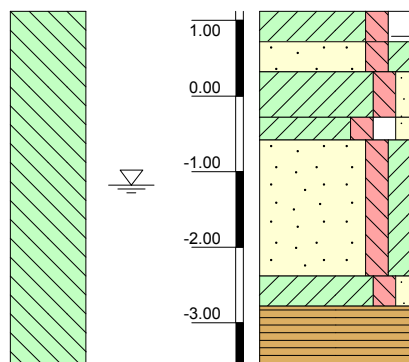
Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Afdichting Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



1.12 tot 0.72	Klei, matig siltig, resten wortels bruin
0.72 tot 0.32	Zand, matig siltig, kleiig grijsbruin
0.32 tot -0.28	Klei, matig siltig, zwak zandig, sporen roest roodbruin
-0.28 tot -0.58	Klei, matig siltig, zwak zandig, resten wortels grijs
-0.58 tot -2.38	Zand, matig siltig, kleiig grijs
-2.38 tot -2.78	Klei, matig siltig, zwak zandig grijs, gelaagd
-2.78 tot -3.58	Veen

Algemene opmerking:

X: 80212.3

GWS (m tov NAP): -1.18

MV (m tov NAP): 1.12

Boorvloestof:

Y: 402066.5

GHG (m tov NAP):

bk PB1 (m tov NAP):

WS PB1 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 07-01-2013

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

Boormeester: cm

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

Geclassificeerd door:

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

1213-0089-000

Boring: HB4

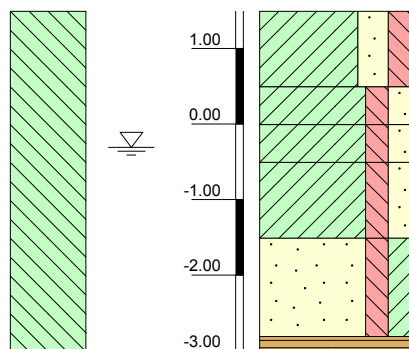
Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Afdichting Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



1.49 tot 0.49 Klei, sterk zandig, matig siltig bruin

0.49 tot -0.01 Klei, matig siltig, matig zandig bruin

-0.01 tot -0.51 Klei, matig siltig, matig zandig, sporen roest bruin

-0.51 tot -1.51 Klei, matig siltig, matig zandig grijs

-1.51 tot -2.81 Zand, matig siltig, kleiig grijs, gelaagd

-2.81 tot -3.01 Veen

Algemene opmerking:

X: 80180.7

GWS (m tov NAP): -0.31

MV (m tov NAP): 1.49

bk PB1 (m tov NAP):

Boorvloeistof:

WS PB1 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 07-01-2013

Y: 402048.7

GHG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

Boormeester: cm

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

Geclassificeerd door:

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

1213-0089-000

Boring: HB5

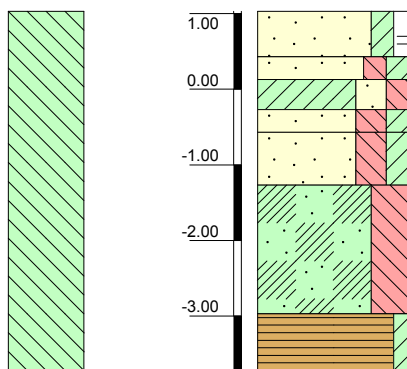
Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Afdichting Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



1.03 tot 0.43 Zand, kleiig, sporen wortels , (teelaarde)

0.43 tot 0.13 Zand, matig fijn, matig siltig, kleiig, sporen roest grijs

0.13 tot -0.27 Klei, sterk zandig, matig siltig, sporen roest grijs

-0.27 tot -0.57 Zand, zeer fijn, sterk siltig, kleiig grijs

-0.57 tot -1.27 Zand, zeer fijn, sterk siltig, kleiig

-1.27 tot -2.97 Klei, Zand, uiterst siltig grijs, gelaagd

-2.97 tot -3.77 Veen, zwak kleiig bruin

Algemene opmerking:

X: 80221.5

GWS (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 1.03

Boorvloeistof:

Y: 401760.4

GHG (m tov NAP):

bk PB1 (m tov NAP):

WS PB1 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 07-01-2013

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

Boormeester: cm

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

Geclassificeerd door:

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

1213-0089-000

Meettechniek

De standaard bij Fugro toegepaste conus is de “elektrische kleefmantelconus”, waarmee de conusweerstand, de plaatselijke wrijvingsweerstand en de helling gelijktijdig worden gemeten. Sinds februari 2013 is de nieuwe norm *NEN-EN-ISO 22476-1:2012/C1:2013 Geotechnisch onderzoek en beproeving - Veldproeven - Deel 1: Elektrische sondering met en zonder waterspanningsmeting* van toepassing als vervanging van NEN 5140, die is terug getrokken. In NEN 9997-1 wordt echter nog wel verwezen naar NEN 5140.

Bij het uitvoeren van een sondering conform *NEN-EN-ISO 22476-1:2012/C1:2013* wordt de puntweerstand gemeten, die moet worden overwonnen om een conus met een tophoek van 60° en een basisoppervlak van 1000 mm^2 met een constante snelheid van ca 20 mm/s in de bodem te drukken. Voor de meting van de wrijvingsweerstand is een mantel met een oppervlak van 15000 mm^2 boven de punt aangebracht. De druk op de conuspunt (conusweerstand in MPa) en de wrijving langs de kleefmantel (plaatselijke wrijvingsweerstand in MPa) worden door rekstroken in de conus continu digitaal gemeten. Volgens *NEN-EN-ISO 22476-1* mag het basisoppervlak van de conus tussen 500 en 2000 mm^2 variëren zonder dat correctiefactoren op de meetresultaten moeten worden toegepast. Fugro sonderingen worden standaard uitgevoerd met een sondeerconus met een basisoppervlak van 1500 mm^2 en een manteloppervlak van 20000 mm^2 .

Veelal wordt gebruik gemaakt van een conus met een korter cilindrisch deel boven de conuspunt dan in *NEN-EN-ISO 22476-1* vermelde 400 mm voor een standaard conus. Het cilindrische deel vanaf de conuspunt van de standaard door Fugro gebruikte conussen een lengte heeft van 230 mm in plaats van de genormeerde lengte. Onderzoek¹⁾ heeft aangetoond, dat de invloed van de lengte van deze conus op het sondeerresultaat verwaarloosbaar is, terwijl met een kortere conus met minder risico een grotere sondeerdiepte kan worden bereikt.

De meetsignalen worden digitaal naar een elektrische meeteenheid gestuurd en samen met de diepte en de tijd opgeslagen. Definitieve verwerking vindt daarna op kantoor plaats, waarbij de gemeten parameters tegen de diepte in grafiekvorm worden uitgewerkt. Door continue registratie van de gemeten conus- en wrijvingsweerstand wordt een nauwkeurig beeld van de gelaagdheid en de vastheid van de bodem verkregen.

Afwijking van de conus met de verticaal worden continu geregistreerd, waarmee bij de uitwerking de diepte wordt gecorrigeerd en zo een onjuiste diepte-aanduiding als gevolg van “scheef sonderen” wordt voorkomen.

Interpretatie van de sonderingen met plaatselijke wrijvingsweerstand

Meting van zowel de conusweerstand q_c als de plaatselijke wrijvingsweerstand f_s maakt het mogelijk het wrijvingsgetal R_f te berekenen. Het wrijvingsgetal wordt gedefinieerd als het quotiënt van de plaatselijke wrijving en de op gelijke diepte gemeten conusweerstand in procenten. Hierbij wordt rekening gehouden met laagscheidingen ter hoogte van de mantel.

Het wrijvingsgetal R_f geeft samen met de conusweerstand q_c een goed beeld van de bodemopbouw *beneden* de grondwaterspiegel. In de onderstaande tabel zijn enige kenmerkende waarden van het wrijvingsgetal aangegeven. *Met nadruk dient te worden gesteld dat deze waarden slechts indicatief zijn en getoetst dienen te worden aan boringen of lokale ervaring en uitsluitend gelden voor de cilindrische elektrische conus.*

grondsoort	wrijvingsgetal in %	grondsoort	Wrijvingsgetal in %
Grind, grof zand	0,2 – 0,6	Klei	3,0 – 5,0
Zand	0,6 – 1,2	Potklei	5,0 – 7,0
Silt, leem, löss	1,2 – 4,0	Veen	5,0 – 10,0

In geroerde grond en in grond boven de grondwaterspiegel kunnen grote afwijkingen ten opzichte van de genoemde waarden voorkomen en gelden deze waarden niet.

¹⁾ Lunne en Powell, A comparison of different sized piezocones in UK clays.

Presentatie sondeergegevens

Sonderingen kunnen worden uitgewerkt met interpretatie van het wrijvingsgetal voor identificatie van de bodemlagen. De identificatie van de bodemlagen is dan uitgevoerd volgens Robertson [1990]², die door Fugro is aangepast aan de Nederlandse omstandigheden. Bij deze interpretatie wordt uitgegaan van de genormaliseerde waarden van de conusweerstand nQ_c en wrijvingsgetal nR_f als ingangsparameters.

De genormaliseerde waarden van de conusweerstand nQ_c en wrijvingsgetal nR_f worden berekend, uit de gemeten wrijvingsweerstand f_s en conusweerstand q_c , indien mogelijk gecorrigeerd voor de waterspanning en de verticale effectieve - en totale grondspanning volgens de onderstaande formules.

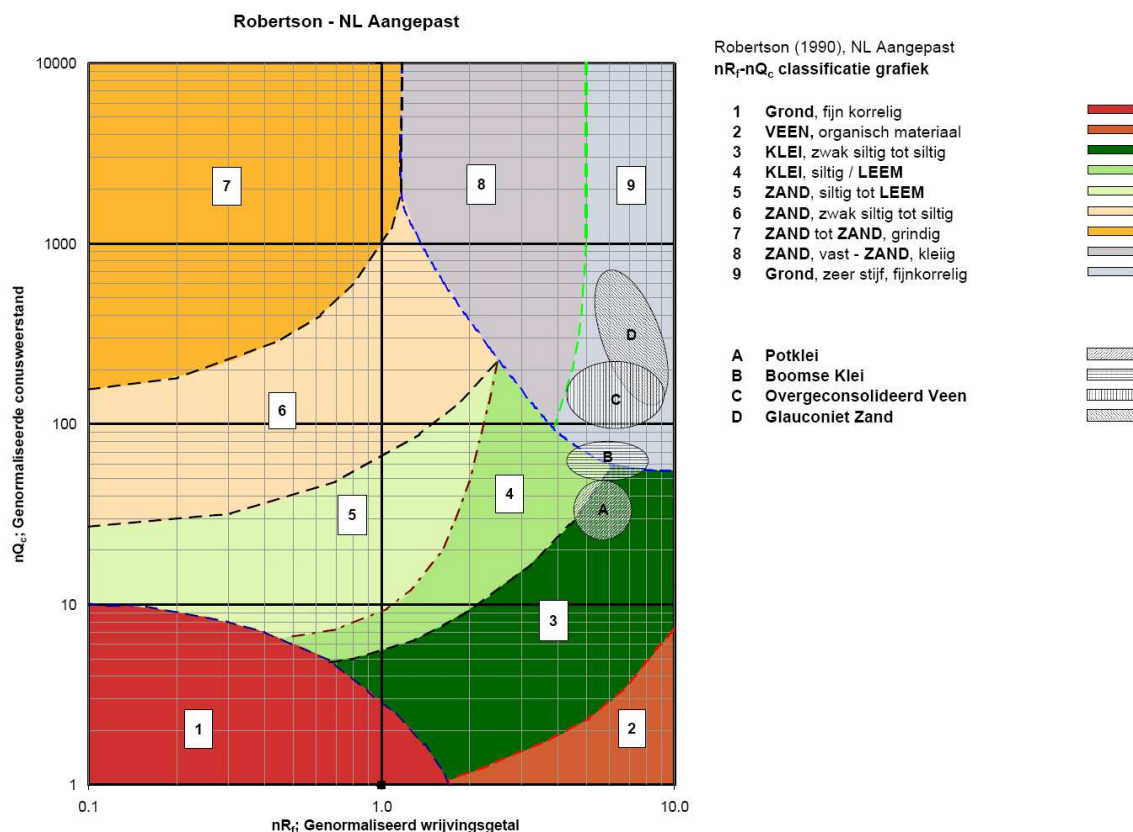
Genormaliseerde conusweerstand:
$$nQ_c = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

Genormaliseerd wrijvingsgetal:
$$nR_f = \frac{100 \cdot f_s}{q_t - \sigma_{v0}}$$

In geval er geen waterspanning is gemeten, wordt voor q_t de waarde van q_c gebruikt.

Voor de grondsoorten, die specifiek zijn voor de Nederlandse ondergrond condities, zijn in de Bodem Classificatiegrafiek van Robertson [1990] twee aanpassingen gedaan om de Nederlandse situatie beter te beschrijven:

- Gebieden 4 en 5 zijn anders ingedeeld, zodat losgepakte zanden en ondiepe kleilagen beter worden geïnterpreteerd. Deze aanpassingen zijn in onderstaande figuur weergegeven.
- Bovendien is een extra voorwaarde ingebracht om Holocene veenlagen goed te kunnen classificeren. Voor $q_c < 1,5$ MPa en $R_f > 5$ % wordt de grond als veen geclassificeerd.



² Robertson, P.K. [1990] "Soil Classification using the cone penetration test". Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151-8²

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

Voor een aantal specifieke grondtypen, zoals bijvoorbeeld Potklei, Boomse klei, overgeconsolideerd veen en glauconiethoudend zand is tevens het classificatie gebied aangegeven. Deze stemmen niet direct overeen met de benamingen van gebieden 1 tot en met 9.

De identificatie is indicatief en alleen geldig voor lagen onder de grondwaterstand. De resultaten dienen te worden geverifieerd met boringen of geologische informatie. Uitgedroogde cohesieve toplagen geven een te hoge waarde worden voor het wrijvingsgetal, waardoor bijvoorbeeld uitgedroogde kleilagen mogelijk onterecht worden geïnterpreteerd als veenlagen. Ook is de correlatie voor de toplagen minder betrouwbaar vanwege het lage effectieve spanningsniveau in deze lagen.

Andere conustypen

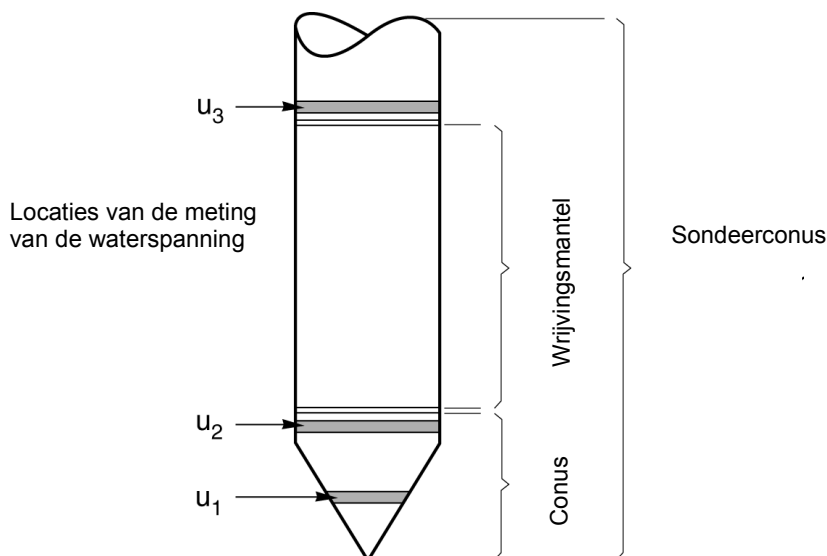
Naast de meting van conusweerstand en plaatselijke wrijving is het mogelijk extra (combinaties van)

type meting	Meetresultaten	toepassingsmogelijkheden
waterspanning	waterspanning ter plaatse van de punt	registreren waterremmende lagen indicatie stijghoogte grondwater classificatie / gelaagdheid bodem
magnetometer	Magnetische veldsterkte in 3 orthogonale richtingen (X,Y,Z)	Blindganger onderzoek, onderzoek ligging obstakels (stalen leidingen, grondankers), onderzoek paalpunt niveau / schoorstand funderingspalen, onderzoek ligging onderzijde stalen damwanden
geleidbaarheid	elektrische geleiding grond en grondwater	indicatie waterkwaliteit / zoet - zout water grens onderzoek verspreiding verontreiniging
temperatuur	temperatuurmeting op verschillende diepten	warmteoverdracht in de bodem bepaling temperatuurgradiënt
schuifgolfsnelheid (seismisch)	dynamische bodemparameters op verschillende diepten	machinefunderingen, windturbinefunderingen
versnelling	versnellingen op verschillende diepten	heitrillingen / verkeerstrillingen
MIP (membrane interface probe)	verticale verspreiding van vluchtige (gechloreerde) koolwaterstoffen	bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met vluchtige (gechloreerde) koolwaterstoffen
ROST (rapid optical screening tool)	verticale verspreiding van (aromatische) koolwaterstoffen	bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met (aromatische) koolwaterstoffen

metingen uit te voeren. In onderstaand schema zijn enkele mogelijkheden aangegeven. Indien gewenst kan nadere informatie over metingen en toepassingsmogelijkheden worden verschaft.

Waterspanningssonderingen

Naast registratie van conusweerstand en plaatselijke wrijvingsweerstand wordt bij een groot deel van de sonderingen waterspanning geregistreerd. Een waterspanningsconus is voorzien van een ingebouwde druksensor, waarmee de waterdruk tijdens het sonderen wordt gemeten. Een filter voorkomt het contact van grond met de druksensor. De waterdruk kan op drie locaties in de conus worden gemeten waarbij de posities u_1 en u_2 veelvuldig voorkomen. Positie u_3 wordt zelden toegepast. Slechts een kleine hoeveelheid water ($0,2 \text{ mm}^3$) is nodig om een nauwkeurige waterdruk te meten. Het meetbereik kan worden gekozen afhankelijk van de te verwachten wateroverspanning. In stijve kleien kan deze oplopen tot meer dan 3 MPa.



Figuur 1 Principe piëzo-conus

Uitvoeringswijze

Om een juiste meting van de waterspanning te verkrijgen, dient het gehele meetsysteem volledig ontlucht en gevuld te zijn met een weinig samendrukbare vloeistof. Om te voorkomen dat de vloeistof tijdens het sonderen in de onverzadigde lagen boven de grondwaterstand wegvloeit zijn een juiste keuze van vloeistof, het gebruik van een rubber membraan, een goede uitvoering en de poriëngrootte van het filter belangrijk.

Indien het grondwater relatief ondiep aanwezig is, wordt bij voorkeur voorgeboord tot het niveau van de grondwaterspiegel teneinde luchttoetreding te voorkomen. Hiermee wordt ook de kans op beschadiging en in de grond achterblijven van het rubber membraan verkleind.

Interpretatie

De resultaten van de piëzo-sonderingen bestaan uit de gemeten conusweerstand (q_c), de plaatselijke wrijvingsweerstand (f_s), het wrijvingsgetal (R_f), de gemeten waterspanning (u_1 of u_2 respectievelijk in de punt en achter de punt) en de wateroverspanningindex B_q .

De resultaten van de waterspanningsmeting tijdens het sonderen vormen uit grondmechanisch en geohydrologisch oogpunt een belangrijke extra informatiebron voor de interpretatie van de bodemopbouw. Door combinatie van de meting van de conusweerstand en de waterspanning, bij voorkeur samen met de plaatselijke wrijvingsweerstand, wordt optimaal gebruik gemaakt van de sondeertechniek en kan het benodigde aanvullend grondonderzoek efficiënter worden gepland.

Bij de interpretatie speelt met name de wateroverspanning een rol, dat wil zeggen de verhoging van de waterspanning die door het indrukken van de conus ontstaan is.

Dunne cohesieve laagjes in een zandpakket en dunne zandlaagjes in een kleipakket, die in de conusweerstand en de plaatselijke wrijvingsweerstand door uitmiddeling niet of slecht zichtbaar zijn, kunnen goed worden gedetecteerd aan de hand van de water(over)spanningen, die door het sonderen ontstaan. Deze laagjes kunnen van groot belang zijn voor het zettingsgedrag van funderingen en voor de verticale (on)doorlatendheid van de grond.

Verder kunnen met de piëzo-conus, met name via de u_1 -meting, sterk gelaagde structuren van zand en klei onderscheiden worden van homogene lagen hetgeen op basis van conusweerstand en plaatselijke

wrijving in de meeste gevallen niet lukt. Aangetoond is dat het detectievermogen van de u_1 -meting veel hoger is dan van de u_2 -meting.

Wateroverspanningindex B_q

Met de wateroverspanningindex B_q kan een meer nauwkeurige classificatie van de grondsoort worden verkregen. Deze index is de verhouding van de wateroverspanning en de netto conusweerstand q_{net} , zijnde de gemeten conusweerstand q_c gecorrigeerd voor de waterspanning op het netto oppervlak van de sondeerconus, rekeninghoudend met de heersende effectieve verticale spanning op het betreffende niveau. De wateroverspanningindex B_q wordt als volgt berekend:

$$B_q = \beta \cdot (u_1 - u_0) / q_{net} \text{ of } B_q = (u_2 - u_0) / q_{net}$$

waarin:

- β = factor voor de verschillende grondsoorten voor omrekening van u_1 naar u_2 ; standaard wordt hiervoor aangehouden 0,8, zijnde normaal geconsolideerde kleien (zie hierna volgende tabel);
- q_{net} = $q_t - \sigma_{v0}$ = netto conusweerstand;
- q_t = $q_c + (1-a) \cdot \{\beta \cdot (u_1 - u_0) + u_0\}$ voor een filter in de conuspunt;
 = $q_c + (1-a) \cdot u_2$ voor een filter direct achter de conuspunt;
- σ_{v0} = de verticale grondspanning; standaard wordt hierbij uitgegaan van een gemiddeld volumiek gewicht van de bodemlagen van 14 kN/m³ en een grondwaterstand op 1 m beneden maaiveld;
- a = netto oppervlakteverhoudingscoëfficiënt van de conus i.v.m. de spleet achter de conuspunt;
- u_1 = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing *in* de punt;
- u_2 = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing *achter* de punt;
- u_0 = de hydrostatische stijghoogte; standaard wordt hiervoor in de berekening een niveau uitgegaan van 1 m beneden maaiveld.

Voor andere grondsoorten zijn de β -factoren in onderstaande tabel gegeven.

Grond gedrag	β -factor
Normaal geconsolideerde klei	0,6 - 0,8
Licht overgeconsolideerde klei	0,5 - 0,7
Sterk overgeconsolideerde klei	0 ¹⁾ - 0,3
Leem samendrukbaar	0,5 - 0,6
Leem, vast en dilatant gedrag	0 ¹⁾ - 0,2
Zand siltig, los gepakt	0,2 - 0,4

¹⁾ Bij meting van de waterspanning achter de conuspunt worden in bepaalde gevallen negatieve waterspanningen gemeten. Deze waarden geven nauwelijks een indicatie van de doorlatendheid, doch alleen over het materiaalgedrag.

Dissipatietest

Het is ook mogelijk het sondeerproces op een bepaalde diepte tijdelijk te stoppen en de afname van de wateroverspanning (dissipatie) als functie van de tijd te registreren. Daarna kan het sondeerproces worden voortgezet.

In doorlatende gronden geeft de dissipatietest een goed beeld van de heersende hydrostatische waterspanning en daarmee van de stijghoogte. Het betreft slechts een indicatie aangezien de meetnauwkeurigheid beperkt is. Door het uitvoeren van meerdere metingen in een grondlaag en de gemiddelde waarde van de stijghoogte te bepalen kan een beduidend hogere nauwkeurigheid worden behaald. Ervaring leert dat de onnauwkeurigheid circa 0,5 m bedraagt.

Voor een meer nauwkeurige bepaling en de optredende fluctuaties zijn peilbuismetingen over een langere waarnemingsperiode nodig, afhankelijk van het doel.

In slecht doorlatende, cohesieve lagen kan met behulp van de dissipatietest een indicatie van de consolidatiecoëfficiënt en daarmee van de verticale (on)doorlatendheid worden verkregen. Hierbij dient

de dissipatietest te worden voortgezet totdat de wateroverspanning tenminste met 50 % is afgenomen. In de praktijk komt dat overeen met circa 1/2 uur à 3/4 uur.

Uit berekeningen en kwalitatieve vergelijking van de metingen wordt inzicht verkregen in het consolidatiegedrag van de grond.

Voor het vaststellen van de heersende hydrostatische waterspanning in kleilagen is de dissipatietest in de meeste gevallen weinig geschikt, vanwege de benodigde lange aanpassingstijd en de onnauwkeurigheid.

Klassenindeling EN-ISO 22476-1

Voorafgaand aan de uitvoering diende een keuze te worden gemaakt binnen welke kwaliteitsklasse met bijbehorende toelaatbare meetonzekerheid het werk minimaal uitgevoerd moet worden. De klassenindeling heeft voornamelijk betrekking op de nauwkeurigheid van de gemeten parameters.

Door invoering van de Eurocode is op Europees niveau de internationale sondeernorm EN-ISO 22476-1 "Electrical cone and piezocone testing" ontwikkeld, welke de oorspronkelijke NEN 5140 heeft vervangen. De nieuwe elektrische sondeernorm **EN-ISO 22476-1** is in opzet vergelijkbaar met de oude Nederlandse norm NEN 5140 voor elektrische sonderingen. Een verschil tussen norm **EN-ISO 22476-1** met NEN 5140 is dat in de nieuwe norm de nauwkeurigheid van de meetresultaten wordt gekoppeld aan het toepassingsgebied met bijbehorend bodemkenmerken / geschiktheid voor interpretatie en afleiding van bodemparameters. Verder is de meting van de waterspanning genormeerd.

In de Europese tabel van sondeerklassen worden de sondeerklassen ingedeeld naar de toepassing van de sondering, zie onderstaande tabel.

Toepassing klassen volgens NEN-EN-ISO 22476-1:2012

Toepassing Klasse	Test type	Gemeten parameter	Toegestane minimum nauwkeurigheid ^a	Maximum lengte tussen metingen	Gebruik	
					Grondsoort ^b	Interpretatie ^c
1	TE 2	Conus weerstand Mantel wrijving Waterspanning Helling Sondeerlengte	35 kPa of 5 % 5 kPa of 10 % 10kPa of 2 % 2° 0,1 m of 1%	20 mm	A	G, H
2	TE1 TE2	Conus weerstand Mantel wrijving Waterspanning Helling Sondeerlengte	100 kPa of 5 % 15 kPa of 15 % 25 kPa of 3 % 2° 0,1 m of 1 %	20 mm	A B C D	G, H* G, H G, H G, H
3	TE1 TE2	Conus weerstand Mantel wrijving Waterspanning ^d Helling Sondeerlengte	200 kPa of 5 % 25 kPa of 15 % 50 kPa of 5 % 5° 0,2 m of 2 %	50 mm	A B C D	G G, H* G, H G, H
4	TE1	Conus weerstand Mantel wrijving Sondeerlengte	500 kPa of 5 % 50 kPa of 20 % 0,2 m of 1 %	50 mm	A B C D	G* G* G* G*
NOOT 1 Richtlijnen voor gebruik van Tabel 2 zijn gegeven in bijlage F.						
NOOT 2 Voor uiterst slappe gronden maken soms nog hogere nauwkeurigheden noodzakelijk.						
^a De toegestane minimum nauwkeurigheid van de gemeten parameters is de grootste van de twee genoemde. De relatieve nauwkeurigheid geldt voor de gemeten waarde en niet voor het meetbereik. ^b Volgens ISO 14688-2: A Homogene gronden bestaande uit zeer slappe tot stijve kleien (en silt) ($q_c < 3$ MPa) B Gemengde bodemprofielen met slappe tot stijve kleien ($q_c \leq 3$ MPa) en matig vaste tot vaste zanden (conusweerstand $5 \text{ MPa} \leq q_c < 10 \text{ MPa}$) C Gemengde bodemprofielen met stijve kleien (conusweerstand $1,5 \text{ MPa} \leq q_c < 3 \text{ MPa}$) en zeer dichte zanden ($q_c > 20 \text{ MPa}$) D Zeer stijve tot harde kleien ($q_c \geq 3 \text{ MPa}$) en zeer vaste grove gronden ($q_c \geq 20 \text{ MPa}$) ^c G vaststelling bodemprofiel en bepaling van grondsoort met een laag niveau van onzekerheid G* indicatieve vaststelling bodemprofiel en bepaling van grondsoort met een hoog niveau van onzekerheid H interpretatie met betrekking tot ontwerp met een laag niveau van onzekerheid H* interpretatie met betrekking tot ontwerp met een hoog niveau van onzekerheid ^d Waterspanning kan alleen worden gemeten als TE2 wordt toegepast.						

Voor projecten, waarbij parameters op basis van Tabel 2.b NEN 9997-1 worden afgeleid, is een hoge nauwkeurigheidsklasse gewenst. Het is echter in een bodemgesteldheid met zowel zeer slappe grondlagen als zeer vaste zandlagen met hoge conusweerstand onmogelijk om aan de eisen van toepassing klasse 1 voldoen zoals ook blijkt uit de bovenstaande tabel. Het bij Fugro gehanteerde

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

meetsysteem voor sonderen is bijzonder nauwkeurig door toepassing van digitale conussen, strikte kwaliteitscontroles en calibraties. In de praktijk is gebleken dat standaard Fugro sonderingen in de nieuwe norm tenminste in toepassingsklasse 3 vallen en voor een groot deel binnen klasse 2. Sonderingen volgens toepassingsklasse 3 in de nieuwe norm zijn vergelijkbaar met sonderingen volgens klasse 2 van de oude NEN 5140.

Toepassingklasse 1 sonderingen kunnen alleen met speciale gevoelige conussen met een beperkt meetbereik en een kleibodemprofiel met $q_c < 3$ MPa worden bereikt. In bodemprofielen waarin zowel zeer slappe lagen als zeer vaste lagen voorkomen kan de hoogste meetnauwkeurigheid van klasse 1 enigszins worden benaderd door aanvullende maatregelen en procedures. Toepassingklasse 2 sonderingen kunnen in bodemprofielen, waarin zowel zeer slappe lagen als zeer vaste lagen voorkomen, alleen worden verkregen door toepassing van digitale conussen met regelmatige calibraties, aanvullende uitvoeringsmaatregelen en kwaliteitscontroles. Toepassingklasse 1 is in deze bodem niet haalbaar. De enige praktische indicatie over de bereikte sondeerklasse is controle van calibraties en 0-puntsverlopen tussen het begin en eind van de sondering.

In de praktijk komt het af en toe voor dat sonderingen worden uitgevoerd, waarbij door de opdrachtgever is aangegeven dat de maaiveldhoogte niet ten opzichte van een vast referentiepeil (NAP) hoeft te worden vastgelegd. Deze sonderingen voldoen derhalve op dit punt niet aan **EN-ISO 22476-1**.

Klassenindeling NEN 5140

De norm NEN 5140 ging uit van vier kwaliteitsklassen. Voorafgaand aan de uitvoering diende een keuze te worden gemaakt binnen welke kwaliteitsklasse met bijbehorende toelaatbare meetonzekerheid het werk minimaal uitgevoerd moet worden. De klassenindeling heeft voornamelijk betrekking op de nauwkeurigheid van de gemeten conusweerstand, plaatselijke wrijvingsweerstand en diepte, zoals blijkt uit de onderstaande tabel.

klasse	Meetgrootheid	toelaatbare meetonzekerheid	meetinterval
1	Conusweerstand	0,05 MPa of 3%	20 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,01 MPa of 10%	
	Helling	2°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 1 %	
2	Conusweerstand	0,25 MPa of 5%	50 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 15%	
	Helling	2°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 2 %	
3	Conusweerstand	0,5 MPa of 5%	100 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 20%	
	Helling	5°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 2 %	
4	Conusweerstand	0,5 MPa of 5%	100 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 20%	
	Sondeerlengte	0,1 m of 1%	
Opmerking: De toelaatbare meetonzekerheid is de grotere waarde van de absolute meetonzekerheid en de relatieve meetonzekerheid. De relatieve meetonzekerheid geldt voor de meetwaarde en niet voor het meetbereik.			

Vergelijking van de gespecificeerde nauwkeurigheden van de NEN 5140 en NEN-EN-ISO 22476-1 laat zien dat de nauwkeurigheid van de meest in NL gehanteerde sondeerklasse 2 volgens NEN 5140 iets hoger ligt dan die van de toepassingklasse 3 volgens de ISO norm.

LEGENDA TERREINPROEVEN EN GRONDSOORTEN

Boringen / Peilbuizen

	Handboring nog niet uitgevoerd
	Handboring uitgevoerd
	Handboring uitgevoerd met 1 peilbuis
	Handboring uitgevoerd met 2 peilbuizen
	Mechanische boring nog niet uitgevoerd
	Mechanische boring uitgevoerd
	Mechanische boring uitgevoerd met 1 peilbuis
	Mechanische boring uitgevoerd met 2 peilbuizen
	Mechanische boring uitgevoerd met 3 peilbuizen
	Boring uitgevoerd door derden
	Boring uitgevoerd met peilbuis door derden
	Gedrukte peilbuis (PB) / minifilter (MF) nog niet uitgevoerd
	Gedrukte peilbuis (PB) / minifilter (MF) uitgevoerd

Overige symbolen

	Meetpunt
	Hoogtemaat

Sonderingen

	Sondering met plaatselijke kleefmeting nog niet uitgevoerd
	Sondering met plaatselijke kleefmeting uitgevoerd
	Sondering zonder plaatselijke kleefmeting nog niet uitgevoerd
	Sondering zonder plaatselijke kleefmeting uitgevoerd
	Slagsondering uitgevoerd
	Handsondering uitgevoerd
	Multigrondwatersondering nog niet uitgevoerd
	Multigrondwatersondering uitgevoerd
	Sondering met bolconus nog niet uitgevoerd
	Sondering met bolconus uitgevoerd
	Waterspanningsmeter nog niet uitgevoerd
	Waterspanningsmeter uitgevoerd
	Sondering uitgevoerd door derden
	Sondering met plaatselijke kleefmeting uitgevoerd door derden
	Hellingmeterbuis nog niet uitgevoerd
	Hellingmeterbuis uitgevoerd

Type sonderingen

D	Diepsondering
HS	Handsondering
S	Slagsondering

Toegevoegde metingen

KM	Meting van de plaatselijke kleef
P	Meting van de waterspanning
M	Meting van de magnetische veldsterkte
G	Meting van de geleidbaarheid
S	Meting van de schuifgolfsnelheid (seismische meting)
T	Meting van de temperatuur

Legenda / Terminologie

Grind

	Grind, siltig
	Grind, zwak zandig
	Grind, matig zandig
	Grind, sterk zandig
	Grind, uiterst zandig

Zand

	Zand, kleilig
	Zand, zwak siltig
	Zand, matig siltig
	Zand, sterk siltig
	Zand, uiterst siltig

Veen

	Veen, mineraalarm
	Veen, zwak kleilig
	Veen, sterk kleilig
	Veen, zwak zandig
	Veen, sterk zandig

Klei

	Klei, zwak siltig
	Klei, matig siltig
	Klei, sterk siltig
	Klei, uiterst siltig
	Klei, zwak zandig
	Klei, matig zandig
	Klei, sterk zandig

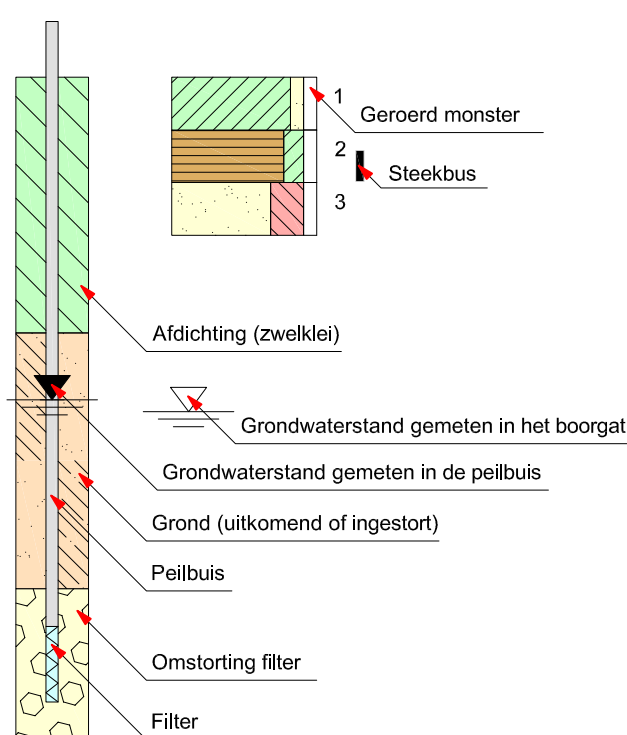
Leem

	Leem, zwak zandig
	Leem, sterk zandig

Overige toevoegingen

	Zwak humeus
	Matig humeus
	Sterk humeus
	Zwak grindig
	Matig grindig
	Sterk grindig
	Puin

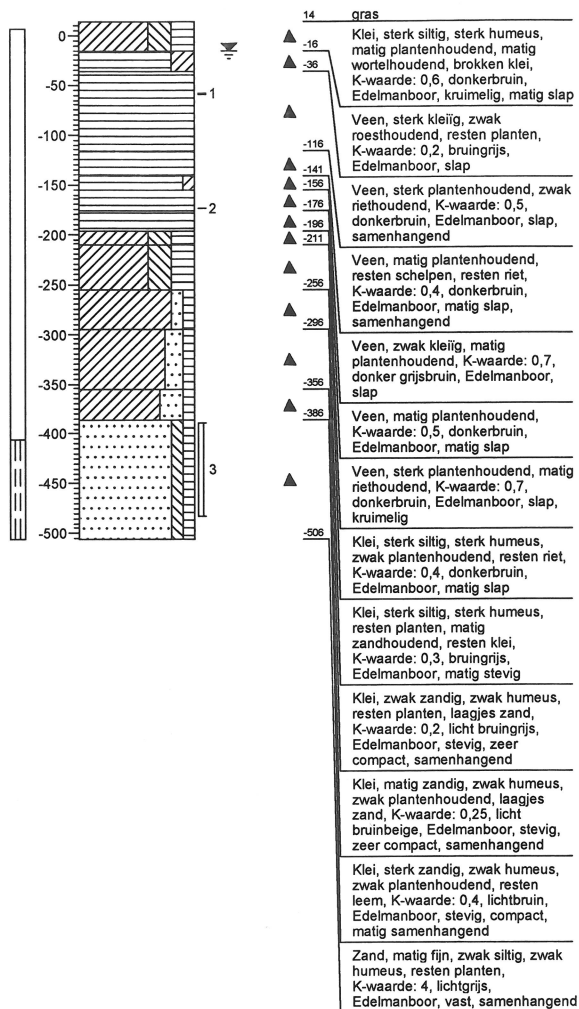
Peilbuis



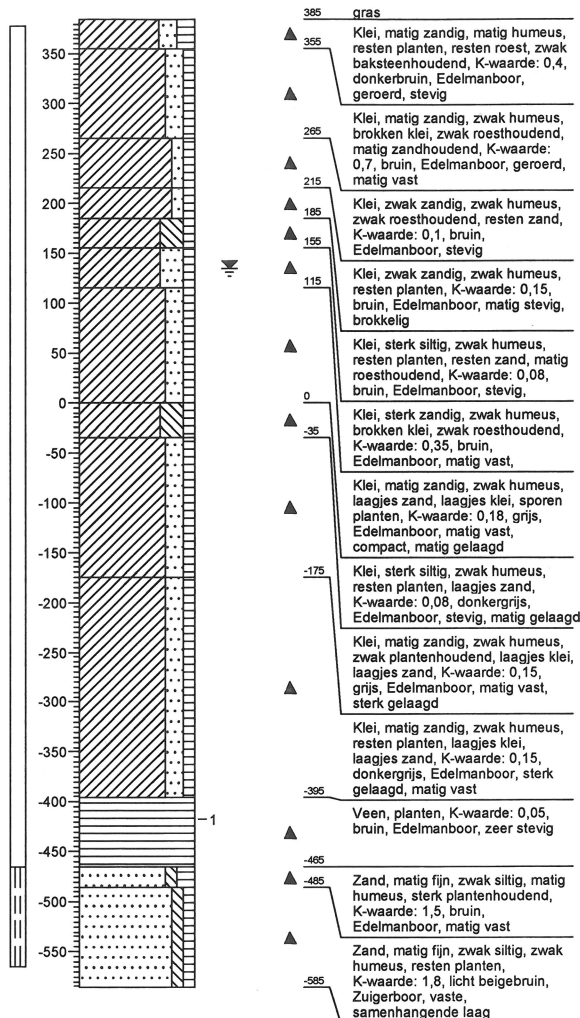
Bijlage 3 – Boringen archief waterschap Brabantse Delta

Boring: B-NO-B100b-02-Bt

X: 112002,46
Y: 404066,79
Maaiveld: 0,14
Uitvoering: 18-4-2013
GWS: 30
GHG: 30
GLG: 80


Boring: B-NO-B66A-01-Kr

X: 80284,18
Y: 401904,88
Maaiveld: 3,85
Uitvoering: 25-4-2013
GWS: 250
GHG: 180
GLG: 280


Waterschap Brabantse Delta

Projectcode: 327804_DEF

Bodembeschrijving volgens NEN 5104

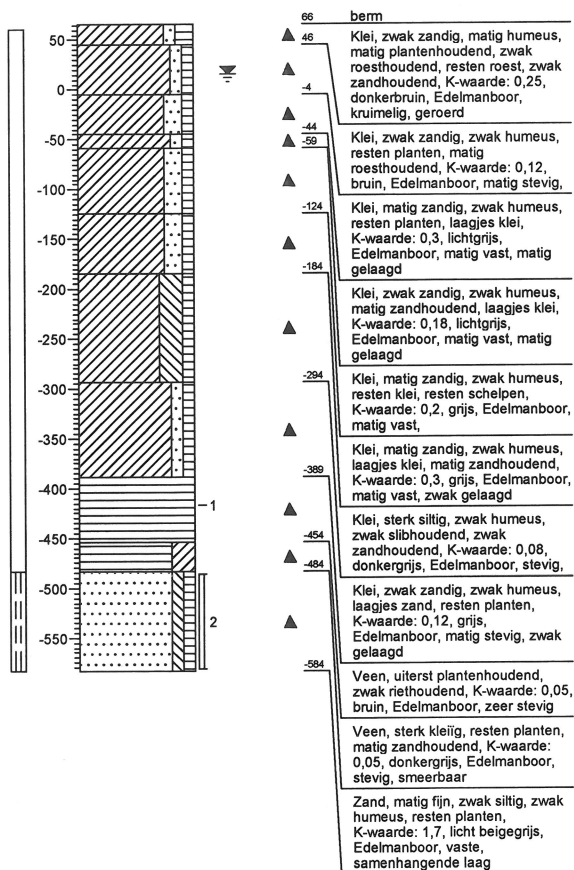
Boring volgens NEN 5119

Schaal A4: 1: 75

Pagina: 24 / 25

Boring: B-NO-B66A-02-Bt

X: 80295,66
 Y: 401894,2
 Maaiveld: 0,66
 Uitvoering: 25-4-2013
 GWS: 50
 GHG: 20
 GLG: 70


Waterschap Brabantse Delta

Projectcode: 327804_DEF

Bodembeschrijving volgens NEN 5104

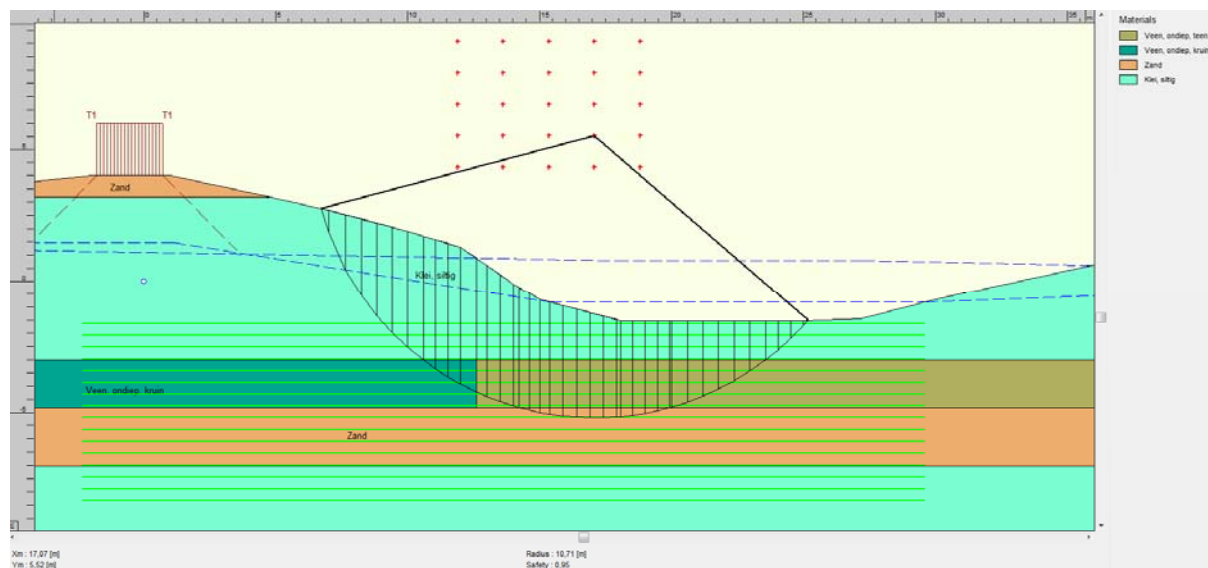
Boring volgens NEN 5119

Schaal A4: 1: 75

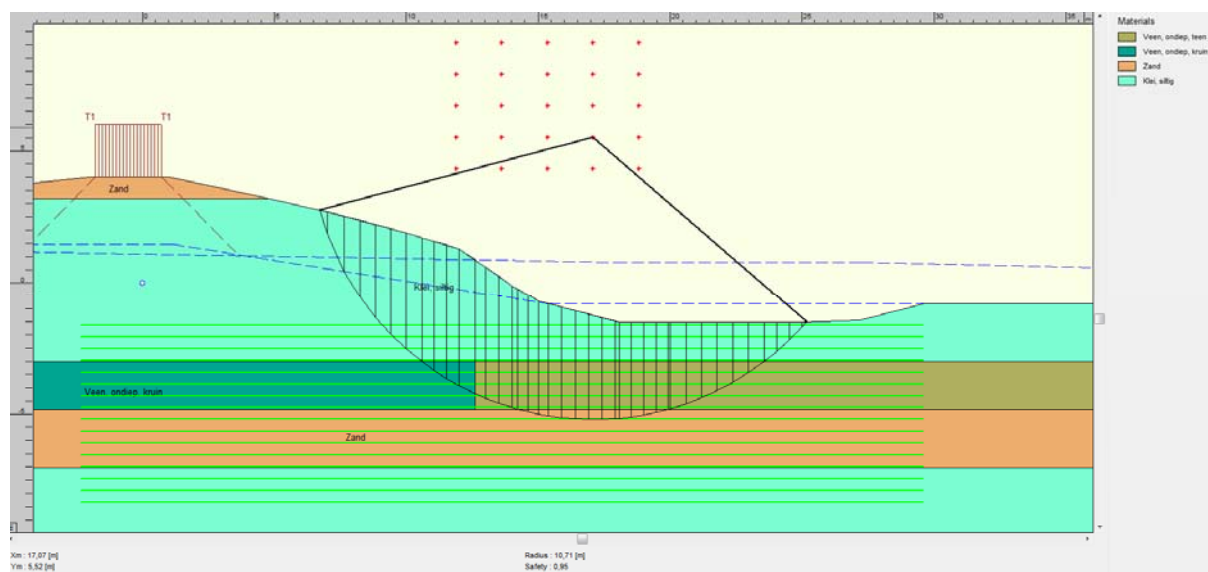
Pagina: 25 / 25

Figuur 3: Overzichtskaart dwarsprofielen

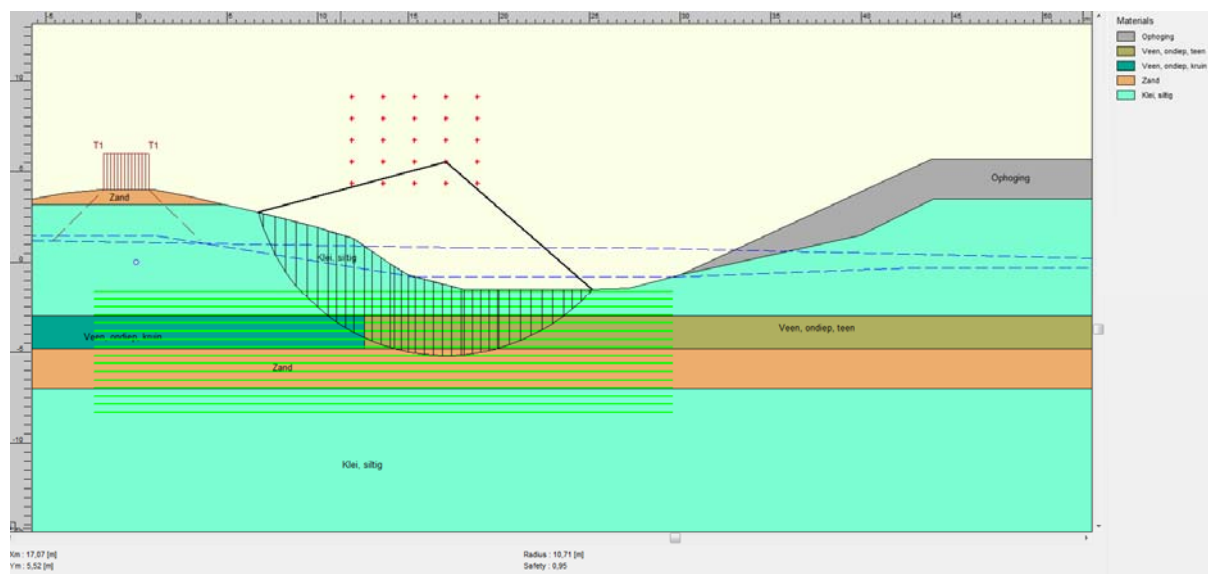
Bijlage 5 – Resultaten stabiliteitsberekeningen



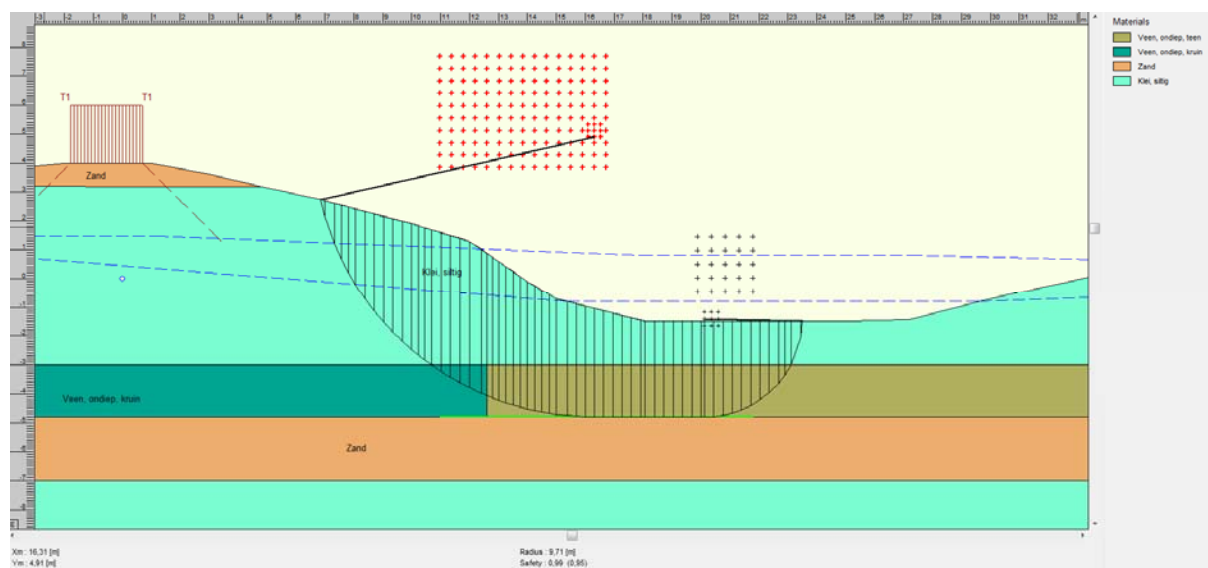
Figuur 4: Binnenwaartse stabiliteit (bishop), huidige situatie ($F = 0,95$)



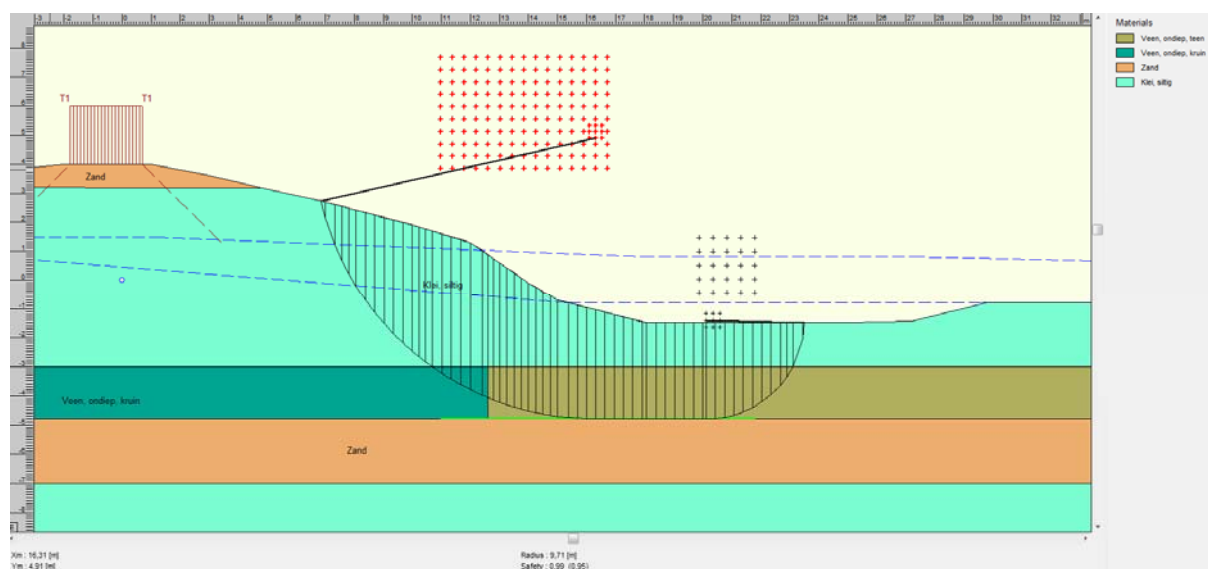
Figuur 5: Binnenwaartse stabiliteit (bishop), nieuwe situatie ($F = 0,95$)



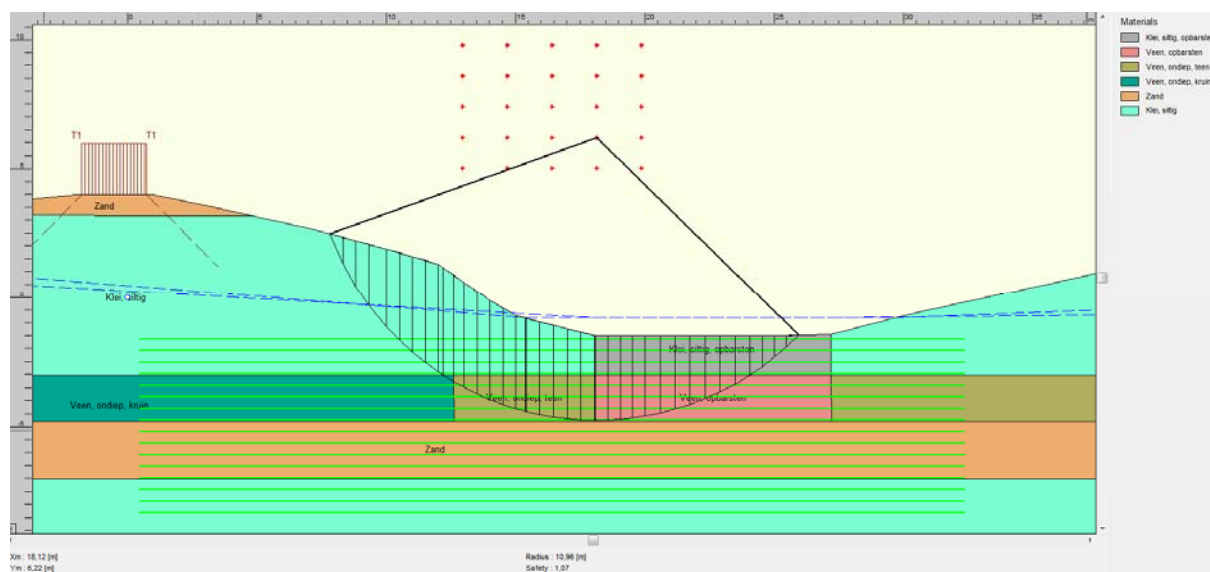
Figuur 6: Binnenwaartse stabiliteit (bishop), ophoging uitvoeringssituatie ($F = 0,95$)



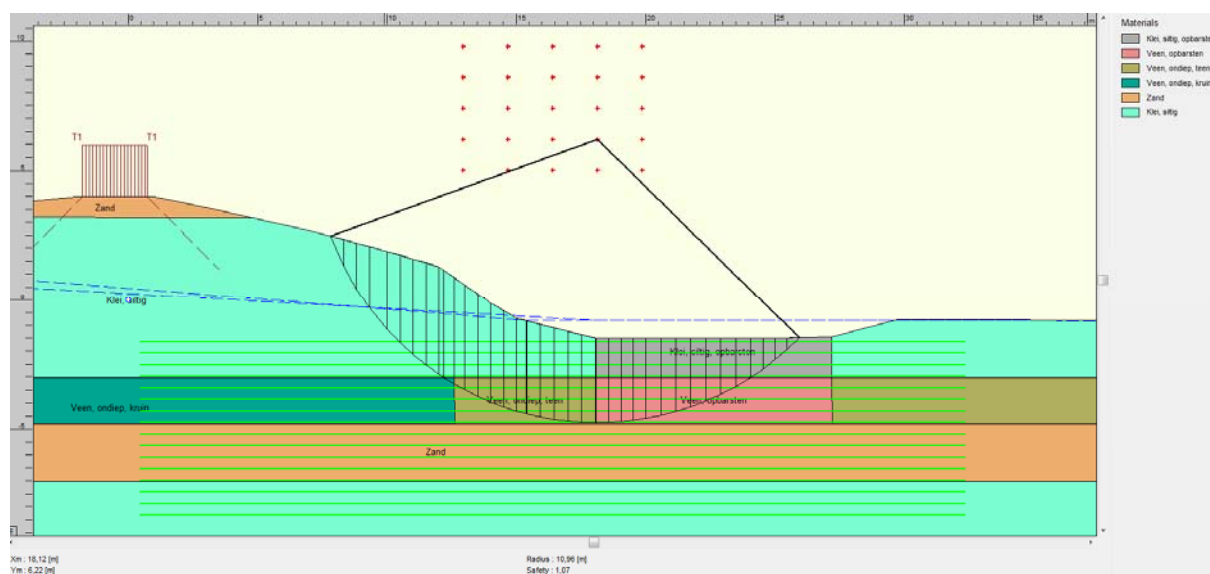
Figuur 7: Oprijven deklaag (Uplift Van), huidige situatie ($F = 0,99$)



Figuur 8: Oprijven deklaag (Uplift Van), nieuwe situatie ($F = 0,99$)

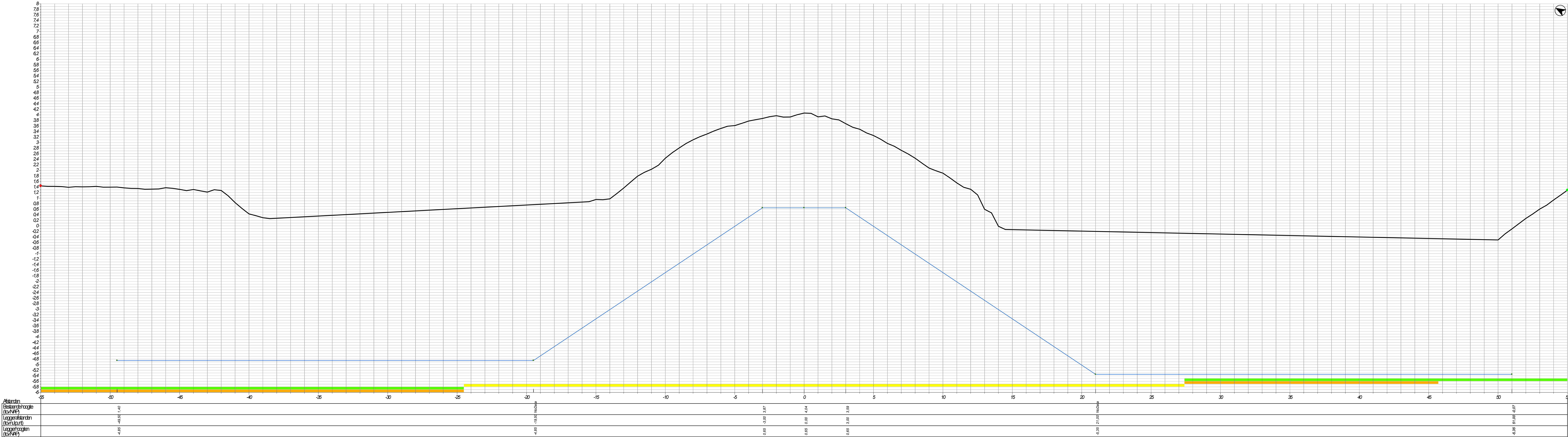


Figuur 9: Opbarsten deklaag (bishop), huidige situatie ($F = 1,07$)



Figuur 10: Opbarsten deklaag (bishop), nieuwe situatie ($F = 1,07$)

Bijlage 6 – Ontwerptekeningen Fort Henricus



Standaard dwarsprofiel

- Profiellijn waterkering (AHN2)
- Leggerprofiel
- Waterkeringszone
- Beschermingszone
- Buitenbeschermingszone
- Profiel van vrije ruimte

NB: De kruinhoogte van het leggerprofiel betreft de bovenstroomse hoogte

