

BEM1604399
gemeente Steenbergen

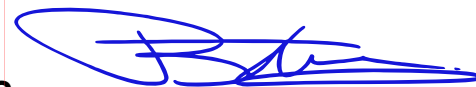
Behoort bij beschikking

d.d. 08-02-2017

nr.(s) ZK16003975

Beleidsmedewerker
Publiekszaken / vergunningen

RAPPORT
betreffende



WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

Oprachtnummer: 1213-0089-010

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

Datum grondonderzoek : 23 tot en met 29 maart 2016

Projectleider :
Senior Projectleider Waterbouw

Opgesteld door :
Adviseur Hydrologie en Waterbouw

Gecontroleerd door :
Adviseur Waterbouw

| VERSIE | DATUM | OMSCHRIJVING WIJZIGING | PARAAF PROJECTLEIDER |
|--------|---------------|--|-------------------------|
| 1 | 26 april 2016 | Concept versie | |
| 2 | 19 mei 2016 | Definitieve rapportage | |
| 3 | 7 juni 2016 | Toevoegen toelichtingen verticale drainage en stabiliteit boezemkade | |

FILE: 1213-0089-010.R01.docx

| <u>INHOUDSOPGAVE</u> | <u>Blz.</u> |
|---|----------------|
| 1. INLEIDING | 1 |
| 1.1. Projectbeschrijving | 1 |
| 1.2. Doelen van dit document | 2 |
| 1.3. Beschikbare informatie | 2 |
| 2. UITGANGSPUNTEN | 4 |
| 2.1. Normen en richtlijnen | 4 |
| 2.2. Geometrie | 4 |
| 2.3. Bodemopbouw | 4 |
| 2.4. Grondparameters | 5 |
| 2.5. Hydraulische belastingen | 6 |
| 2.6. (Grond)waterstanden en stijghoogtes | 7 |
| 2.7. Bovenbelastingen | 9 |
| 2.8. Partiële factoren | 9 |
| 2.9. Wateroverspanning fort Henricus | 10 |
| 3. ANALYSES | 11 |
| 3.1. Fort Henricus | 11 |
| 3.1.1. <i>Keuze representatieve profielen</i> | 11 |
| 3.1.2. <i>Macrostabieliteit eindsituatie</i> | 11 |
| 3.1.3. <i>Macrostabieliteit direct na ophoging</i> | 12 |
| 3.1.4. <i>Zettingen</i> | 14 |
| 3.1.5. <i>Squeezing</i> | 15 |
| 3.2. Boezemkade | 16 |
| 3.2.1. <i>Macrostabieliteit binnenwaarts eindsituatie</i> | 16 |
| 3.2.2. <i>Piping</i> | 18 |
| 3.3. Uitvoeringsaspecten | 18 |
| 3.3.1. <i>Aanbrengen verticale drainage</i> | 18 |
| 3.3.2. <i>Klei buitentalud grondfort</i> | 18 |
| 3.3.3. <i>Monitoring</i> | 19 |
| 4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN | 20 |
| <u>BIJLAGEN</u> | <u>Nr.</u> |
| <u>Geotechnisch onderzoek</u> | |
| - Rapportage geotechnisch veldwerk 2016 | 1 |
| - Rapportage laboratoriumonderzoek 2016 | 2 |
| <u>Uitgangspunten</u> | |
| - Overzichtstekening projectgebied (GKB, juni 2016) | 3 |
| <u>Advies</u> | |
| - Resultaten stabiliteitsberekeningen | A1 |
| - Opbarstberekeningen | A2.1 en A2.2 |

1. INLEIDING

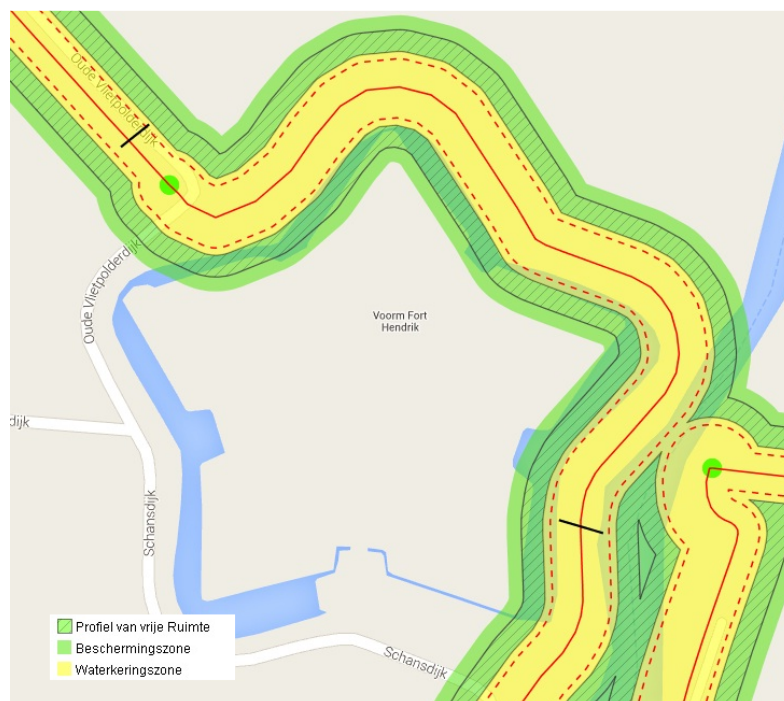
Op 2-3-2016 ontving Fugro GeoServices B.V. te Nieuwegein van GKB Visie B.V. te Barendrecht, de opdracht voor het uitvoeren van een geotechnisch onderzoek en het opstellen van een geotechnisch advies omtrent een boezemkade en grondwerkzaamheden bij een grondfort te Steenbergen.

1.1. Projectbeschrijving

Ten noordwesten van de gemeente Steenbergen ligt het voormalig Fort Henricus (ook wel Fort Hendrik genoemd). Er is het voornemen om de verdedigingswallen rondom fort Henricus te herprofilen. De aarden wallen worden hiertoe met name aan de buitenzijde deels afgegraven en aan de binnenzijde opgehoogd.

In een eerdere fase is deze reconstructie ten dele uitgevoerd, maar is het werk gestaakt wegens verzakkingen en het omhoog komen van de slootbodembodem (mondelijke informatie). Ook treden in het gebied forse zettingen op.

Het ontwerp is nu aangepast. Hierdoor komt het werk in de beschermingszone van de regionale waterkering te liggen. De kering is in beheer bij Waterschap Brabantse Delta (zie figuur 1-1). Voor de voorgenomen werkzaamheden is daarom een watervergunning vereist. Als onderbouwing bij de aanvraag van de watervergunning dient te worden aangetoond dat de stabiliteit van de waterkering tijdens en na de ingreep gewaarborgd blijft.



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

Tevens is er, als gevolg van de eerder opgetreden instabiliteit en zettingsverschillen, behoefte aan advies over de bodemstabiliteit en zettingen tijdens en na uitvoering.

1.2. Doelen van dit document

Het doel van dit document is tweeledig. Enerzijds wordt met geotechnische berekeningen een onderbouwing gegeven voor watervergunningsaanvraag. Hierbij wordt gekeken naar de geotechnische effecten van de grondwerkzaamheden op de nabijgelegen regionale waterkering. Anderzijds wordt een beschouwing gedaan van de geotechnische risico's bij het grondfort Henricus. In dit deel van het rapport worden handreikingen gegeven voor de maximaal te hanteren talud hellingen en snelheid van de ophoofphasering.

Deze rapportage voorziet niet in het maken van een geotechnisch ontwerp voor het grondfort of een volledige toetsing van de aanwezige regionale kering.

1.3. Beschikbare informatie

Aangeleverde informatie

Door de opdrachtgever is de volgende informatie beschikbaar gesteld:

- overzichtstekeningen van de nieuwe situatie met dwarsprofielen waarop de afgravingen en ophogingen zijn aangegeven (GKB, feb 2016). Deze zijn opgenomen in bijlage 3.

Door het waterschap Brabantse Delta (WBD) 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;
- proevenverzameling voor regionale keringen in het beheergebied van waterschap Brabantse Delta (sterkteparameters grondlagen), zie bijlage 4.

Fugro staat niet in voor de juistheid en/of volledigheid van de door derden verstrekte informatie en gegevens.

Geotechnisch onderzoek

Fugro heeft in een eerdere fase grondonderzoek uitgevoerd bij de waterkering, wat is gerapporteerd onder 1213-0089-000_21.KR01 (d.d. 13 januari 2014).

Voor dit project is door Fugro aanvullend geotechnisch onderzoek uitgevoerd. Het geotechnisch onderzoek heeft bestaan uit veldwerkonderzoek en laboratoriumonderzoek. De resultaten hiervan zijn gepresenteerd in de bijlagen "Rapportage geotechnisch veldwerk" (bijlage 1) en "Rapportage laboratoriumonderzoek" (bijlage 2).

Het veldwerkonderzoek heeft bestaan uit:

- 5 handboringen tot MV -5 m, teneinde de bodemopbouw te verkennen;
- 1 extra handboring tot MV -3 m (NVO zone);
- 4 sonderingen met kleefmeting (DKM) tot MV -15 m, teneinde de bodemopbouw te verkennen en relatie te kunnen leggen met grondeigenschappen o.b.v. proevenverzameling WBD;
- 2 sonderingen met kleefmeting (DKM) tot MV -30 m voor brug (1x) en uitkijktoren (1x).

Bij dit onderzoek zijn 2 sonderingen minder uitgevoerd dan gepland i.v.m. reeds beschikbare gegevens uit de eerste fase van het grondonderzoek.

Het laboratoriumonderzoek heeft bestaan uit:

- 30 classificaties van geroerde grondmonsters
- 10 classificaties van ongeroerde grondmonsters
- 10 Torvane en Pocket Penetrometer proeven
- 3x bepaling van de Atterbergse grenzen
- 3x bepaling van de korrelverdeling inclusief aerometerproef
- 10x bepaling volume gewicht en watergehalte.

In verband met het grote aantal ongeroerde monsters zijn 3 extra classificaties uitgevoerd.

2. UITGANGSPUNTEN

Voor het uitvoeren van de analyse zijn de verschillende uitgangspunten en aannamen gedaan. Deze worden in dit hoofdstuk beschreven en toegelicht.

2.1. Normen en richtlijnen

Doordat zowel sprake is van een regionale waterkering (boezemkade in beheer van Brabantse Delta) als een grondlichaam (Fort Henricus), zijn verschillende combinaties van richtlijnen van toepassing. Bij de toetsing van een regionale kering zijn strengere toetsingseisen van toepassing dan een grondlichaam.

Regionale kering

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).

Grondlichaam

Voor het opstellen van het advies is de volgende norm in acht genomen:

- Geotechnisch ontwerp van constructies [NEN 9997-1, 2011] – Deel 1, algemene regels, december 2011.

2.2. Geometrie

De geometrie van de waterkering is gebaseerd op een leggerprofiel dat beschikbaar is gesteld door waterschap:

- Kering B66A Voormalige Fort Hendrik, profielnummer 1963, Waterschap Brabantse Delta, 21 februari 2012.

De geometrie van het grondlichaam Fort Henricus is gebaseerd op een leggerprofiel dat beschikbaar is gesteld door Natuurmonumenten:

- Doorsnede DP4, Tekeningnummer nm-steenb-01, GKB Visie Bv, 15 februari 2016.

2.3. Bodemopbouw

Op basis van het grondonderzoek en de overige verzamelde informatie kan de bodemgesteldheid globaal worden geschematiseerd zoals in tabel 2.1 is weergegeven. Per profiel is de lokale bodemopbouw op basis van het dichtstbijzijnde grondonderzoek bepaald. De locatie specifieke uitgangspunten van de bodemopbouw bij de onderzochte locaties zijn weergegeven in hoofdstuk 3.

Tabel 2.1: Globale bodemgesteldheid

| Diepte bovenkant laag [m t.o.v. NAP] | Bodembeschrijving (grondsoort, bijmenging) |
|---|--|
| Kruin | ZAND, matig siltig, wisselend kleilig |
| 1,0 | ZAND, zeer fijn OF KLEI, zwak tot sterk zandig |
| -1,0 | KLEI, matig tot uiterst siltig |
| -3,0 | VEEN |
| -4,8 | ZAND, met kleilaagjes |
| -6,0 | KLEI, zwak tot sterk siltig |
| -10,0 | KLEI, uiterst zandig/ LEEM |
| -14,5 | ZAND, pleistoceen/ LEEM |
| -27,5 | Maximaal verkende diepte |

Opgemerkt wordt dat de bodemopbouw sterk varieert over de projectlocatie. In vrijwel al het onderzoek werd een veenlaag aangetroffen rond NAP -4 m. Opvallend is dat alle grondlagen boven en onder dit niveau sterk variëren qua samenstelling.

2.4. 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 2-2. De volumieke gewichten liggen in dezelfde orde grootte als de in het laboratorium bepaalde waarden voor de projectlocatie.

Tabel 2-2: 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 | 1,1 | 26,7 |
| Veen, ondiep, kruin | 10,8/10,8 ¹ | 0,6 | 26,7 |
| Veen, diep | 12,0/12,0 | 3,1 | 11,6 |
| Klei, humeus | 14,1/14,1 ² | 0 | 27,3 |
| Klei, siltig | 17,6/17,6 ³ | 1,2 | 27,1 |
| Klei, zandig | 18,1/18,1 ³ | 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 bij de tabel:

¹ Laboratorium waarde voor veen op locatie is gemiddeld 9,1 kN/m³ (3 monsters).

² Laboratorium waarde voor humeuze klei op locatie is 15,3 kN/m³ (1 monster).

³ Laboratorium waarde voor zandige/ siltige klei op locatie is 18,4 kN/m³ (5 monsters).

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

De waarden in tabel 2-2 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. Indien risico's in de uitvoering uitgesloten dienen te worden, kan worden overwogen de sterkte van de ondiepe veenlaag op de projectlocatie te verifiëren met sterktetesten in het laboratorium (triaxiaaltesten).

In de berekeningen voor de buitenwaartse stabiliteit (paragraaf 3.1.2) is het effect beschouwd van het aanbrengen van een deklaag van klei met een hoge cohesie op het bastion. Hiervoor is gebruik gemaakt van parameters van zwak zandige matig vaste klei uit tabel 2.b van NEN 9997-1 (karakteristieke waarden $\phi'=22,5$ kPa en $c'=5$ kPa).

In het geval van opdrijven en opbarsten van grondlagen is aangehouden dat deze lagen in de opbarstzone geen sterkte meer hebben ($c= \phi=0$). Dit is een conservatief uitgangspunt. Voor Fort Henricus moet bij de grondparameters in principe gerekend worden met de materiaalfactoren uit de NEN 9997-1, RC1. De rekenwaarden uit tabel 2-3 zijn gebaseerd op dijkontwerpen, waarbij de materiaalfactoren beperkt afwijken ten opzichte van de NEN 9997-1 RC1. Aangezien de materiaalfactoren elkaar gemiddeld weinig ontlopen zijn voor het fort geen aparte rekenwaarden afgeleid.

De zettingen zijn berekend met de NEN-Bjerrum methode. Hiervoor zijn de onderstaande parameters gehanteerd, die zijn afgeleid uit NEN tabel 2.b.

Tabel 2-3: Stijfheidsparameters (conform tabel 2.b van NEN 9997-1)

| Grondlaag | Consolidatie coëfficiënt Cv [m ² /s] | Reload ratio RR [-] | Compression ratio CR [-] | Coefficient of secondary compression C _α [-] |
|-------------------------|---|------------------------|--------------------------------|--|
| Veen, ondiep, teen | 2.00E-07 | 0,10 | 0,30 | 0,015 |
| Veen, ondiep, kruin | 2.00E-07 | 0,10 | 0,30 | 0,015 |
| Veen, diep | 2.00E-07 | 0,077 | 0,23 | 0,012 |
| Klei, humeus | 1.00E-07 | 0,077 | 0,23 | 0,012 |
| Klei, siltig | 1.00E-07 | 0,038 | 0,12 | 0,0046 |
| Klei, zandig | 1.00E-06 | 0,031 | 0,092 | 0,0037 |
| Zand, matig vast gepakt | 1.00E+01 (gedraineerd) | 0,0013 | 0,0038 | 0 |
| Leem, vast gepakt | 2.00E-07 | 0,011 | 0,033 | 0,0013 |

2.5. Hydraulische belastingen

De maatgevende hydraulische belastingen die zijn aangehouden voor de waterkering wijken af van de maatgevende belasting voor de grondconstructie van het fort. Hieronder zijn beide belastingen beschreven.

Waterkering

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 |

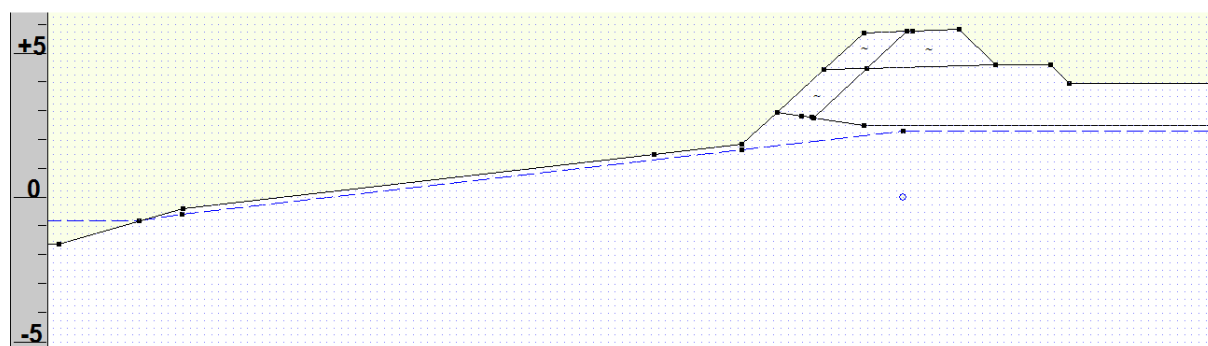
Grondfort

Bij het bezwijken van de grondconstructies van het grondfort zal er een beperkte schade zijn voor de omgeving. Hierdoor is het niet noodzakelijk om uit te gaan van extreme belastingen. Voor de waterstand in de singel/ gracht rondom het fort wordt zodoende uitgegaan van een gemiddeld waterpeil van NAP -0,60 m, wat overeenkomt met het streefpeil en de inmeting door Fugro op 7 januari 2013.

2.6. (Grond)waterstanden en stijghoogtes

Freatisch vlak

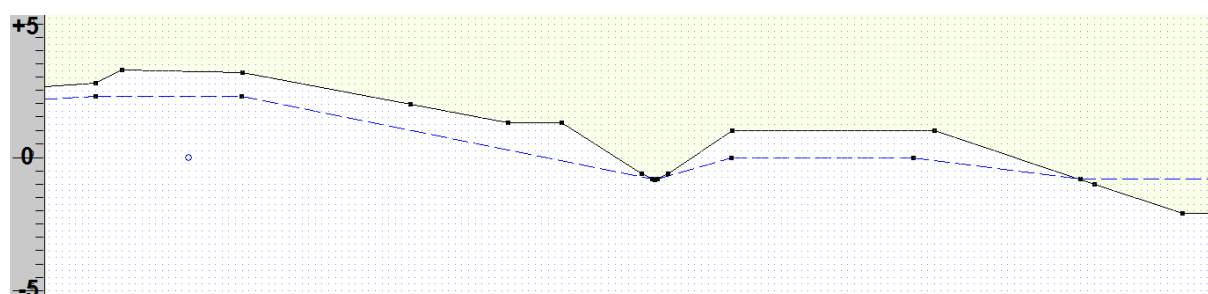
Voor het verloop van het freatisch vlak bij het grondfort is uitgegaan van de aangetroffen grondwaterstand in de handboringen als gemiddelde grondwaterstand. De hoogst aangetroffen grondwaterstand is de aangetroffen grondwaterstand in HB11, met NAP +1,3 m (enige handboring in de kruin). Voor de stabiliteitsberekeningen is conform het Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het Rivierengebied (2007) rekening gehouden met 1,0 m peilverhoging t.o.v. gemiddelde waterstand bij de kruin als gevolg van neerslag. Het grondwaterstandsverloop is tussen de kruin (NAP +2,3 m) en het open water (NAP -0,8 m) lineair geschematiseerd. Hierbij is als maximale grondwaterstand MV -0,2 m aangehouden.



Figuur 2-1: Grondwaterstandsverloop (blauw lijn) bij grondfort Henricus in meters boven NAP

De maatgevende grondwaterstand in de kruin van de dijk gelijk gesteld aan de maatgevende grondwaterstand bij het grondfort, op NAP +2,3 m. Deze grondwaterstand ligt hoger (conservatiever) dan het freatische vlak dat is aangehouden 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. In het grondlichaam tussen de greppel (middenin figuur 2-2) en de fortgracht is gerekend met een opbolling van het grondwater tot NAP +0,0 m.

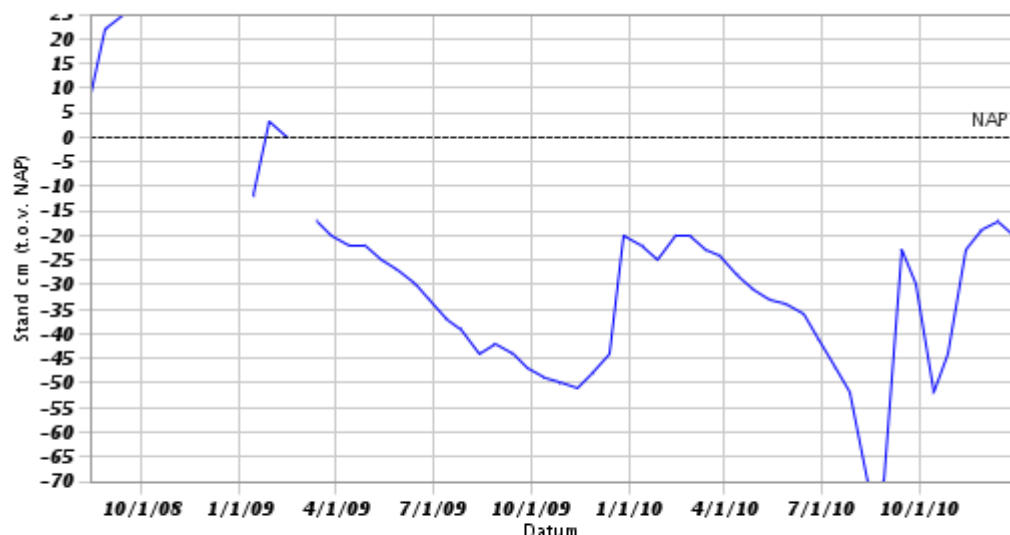


Figuur 2-2: Grondwaterstandsverloop (blauw lijn) bij boezemkade in meters boven NAP

Stijghoogten watervoerende lagen

De maatgevend hoge stijghoogte in de watervoerende zandlagen beneden NAP -10 m is aangehouden op NAP -0,2 m. Dit volgt uit peilbuis B43G1177 van DINOloket, op ca. 200 m vanaf de projectlocatie (nabij A4).

Grondwaterstanden



Identificatie: B43G1177
 Identificatie buis: B43G1177002
 Coördinaten: 80272, 401572
 Maaiveld: 0,27 m [t.o.v. NAP]

Figuur 2-3: Peilbuis B43G1177

Nabij de boezemkade is in sondering DKM3 en DKM12 een tussenzandlaag aangetroffen tussen NAP -5 en -6 m. Om een indicatie te krijgen van de waterdruk in deze bodemlaag is

met de formule van Mazure de stijghoogte berekend bij de binnenteen van de boezemkade. Hierbij is uitgegaan van een waterpeil van NAP +1,47 m in de boezem en NAP -0,6 m in de polder. Op basis van conservatieve uitgangspunten (waarbij onder meer de deklaag weerstand in het voorland 10x hoger is aangenomen dan in de polder) wordt een maatgevende stijghoogte berekend van NAP +0,05 m.

Onder dagelijkse omstandigheden, voor een boezempeil van NAP +0,55 m of lager, is de stijghoogte maximaal NAP -0,35 m of lager.

2.7. Bovenbelastingen

Waterkering

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 26,6°. 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.

Grondlichaam

Voor het fort Henricus wordt gezien de beperkte mogelijkheden voor toegang geen rekening gehouden met zware bovenbelastingen. Wel kunnen lichte bovenbelastingen voorkomen; conform de LTVRW (STOWA, 2007) is uitgegaan van een belasting van 5 kN/m² over een breedte van 2,5 m. Op basis van het LTVRW (module B) is voor de spreiding van bovenbelastingen een helling van 2:1 aangehouden (26,6°).

2.8. Partiële factoren

Waterkering

Voor de beoordeling van macrostabiliteit binnenwaarts is de vereiste veiligheidsfactor (Fs) 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 (IPO-III) 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.

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

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 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).

Grondlichaam

De te realiseren grondconstructie wordt ingeschaald in RC1 conform NEN-EN 1990, waarbij een algehele stabiliteitsfactor geldt van 1,0 (NEN 9997-1 tabel A.14).

2.9. Wateroverspanning fort Henricus

Het fort wordt enkele meters opgehoogd. In de stabiliteitsanalyse is de uitvoeringsstabiliteit bepaald door uit te gaan van maximaal 80% wateroverspanningen in de onderliggende lagen als gevolg van een ophoging.

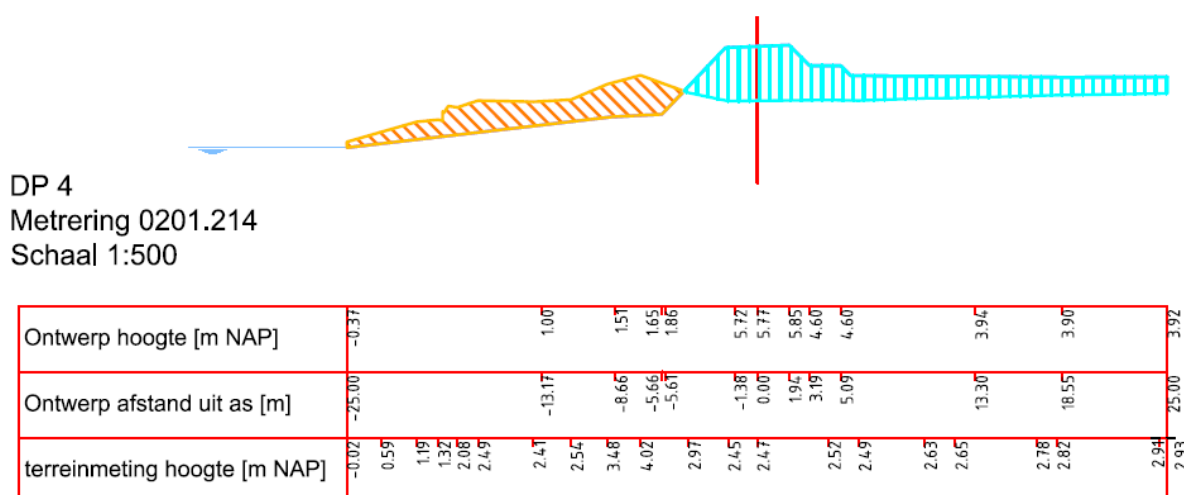
3. ANALYSES

In dit hoofdstuk worden alle berekeningsresultaten en bijbehorende conclusies gepresenteerd. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen berekeningen aan het fort, berekeningen aan de boezemkade en aandachtspunten voor de uitvoering. Een overzicht van alle stabiliteitsberekeningen is weergegeven in bijlage A1. De berekeningen zijn uitgevoerd met de programma's D-geoStability (macro-stabiliteit) en D-Settlement (zakkingen).

3.1. Fort Henricus

3.1.1. Keuze representatieve profielen

De zettings- en stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd voor profiel DP4 van Fort Henricus (zie figuur 3-1). Bij dit profiel is de ophoging het grootst en de bodemopbouw ongunstig. In het nabij gelegen grondonderzoek worden tot ca. NAP -10 m hoofdzakelijk samendrukbare lagen aangetroffen. Voor de uitgevoerde berekeningen is gekozen voor de maatgevende bodemopbouw op basis van sondering DKM14 en handboring HB11 en HB14.



Figuur 3-1: Doorsnede DP4 van Fort Henricus. De maximale ophoging bedraagt ca. 3,3 m.

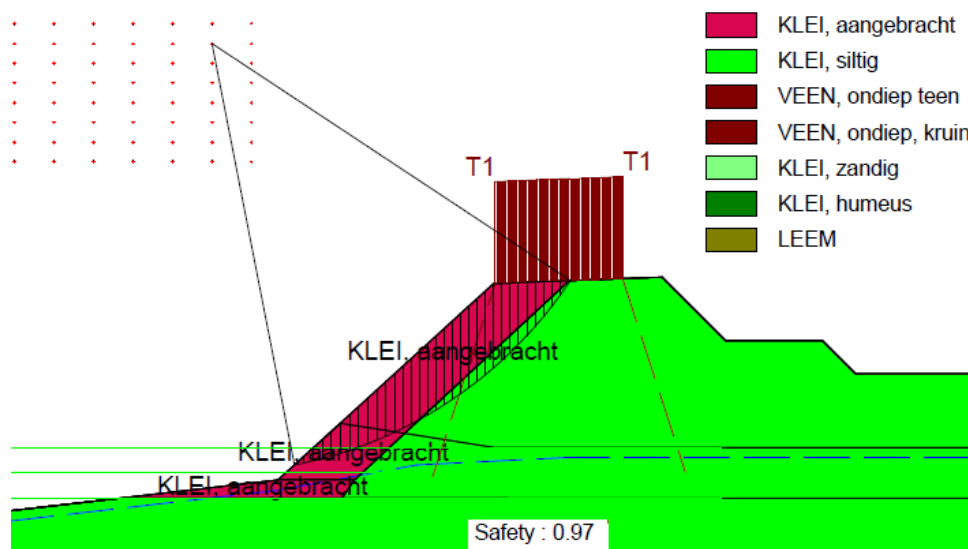
3.1.2. Macrostabiliteit eindsituatie

In eerste instantie zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd voor de eindsituatie. Doordat in de eindsituatie de wateroverspanningen zijn gedissipeerd, is deze situatie gunstiger dan tijdens het aanbrengen van de ophoging.

In eerste instantie zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd op basis van het aanwezige dijkmetaal, zonder verdere maatregelen. Hierbij is op basis van de handboringen HB12 t/m 15 aangenomen dat het ophoogmetaal zal bestaan uit siltige klei. Door een combinatie van het steile talud (1:1) ontstaan ondanks de gunstige dijkparameters van het waterschap ondiepe glijvlakken. De berekende stabiliteit komt uit op 0,87 (zie figuur B1, bijlage A1), dit ligt beduidend lager dan de benodigde veilige waarde van 1,0.

Tevens is gekeken of dit probleem verholpen kon worden door het aanbrengen van kleiiger materiaal aan de buitenzijde van het talud. Door het aanbrengen van 1,5 m goede (coesieve) klei kan de veiligheid verhoogd worden tot 0,97. Hiermee is het talud

rekenkundig net onstabiel (<1). Voor een hogere stabiliteit zijn andere maatregelen nodig dat een kleibekleding op het buitentalud.



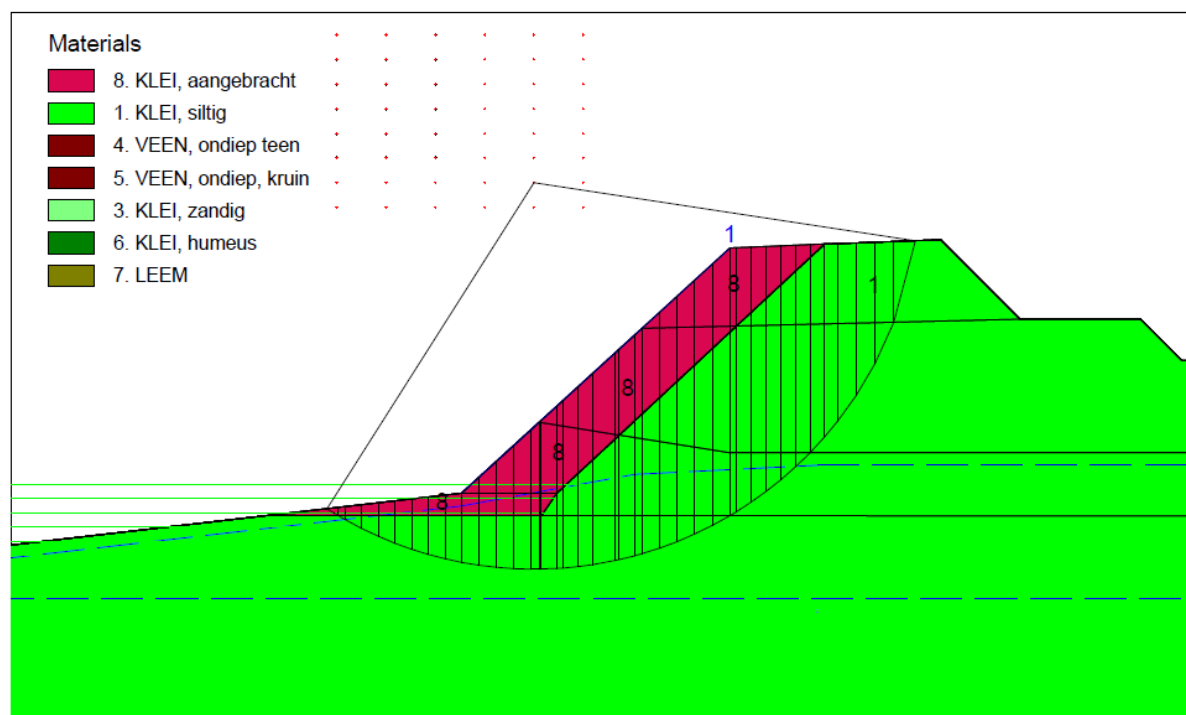
Figuur 3-2: Doorsnede DP4 van Fort Henricus. Aan de buitenzijde van het talud is 1,5 m klei aangebracht.

De macrostabiliteit van het binnentalud voldoet wel. De hiervoor berekende veiligheid is 1,12 (zie figuur B2, bijlage A1). Dit is ruim voldoende.

3.1.3. Macrostabiliteit direct na ophoging

Tijdens de ophoging ontstaan wateroverspanningen in de ondergrond, waardoor er tijdelijk een verhoogd risico is op het afschuiven van het talud. Het gaat hierbij om afschuiving waarbij het glijvlak loopt door reeds aanwezige grondlagen.

Ondiepe glijvlakken worden niet significant beïnvloed door de toename van de waterspanning in de diepere bodemlagen. Doordat de ondiepe glijvlakken maatgevend zijn, geldt dit eveneens voor de situatie na ophoging. In aanvulling hierop is er tijdens de ophoging echter ook een risico op een diepere afschuiving van het buitentalud, aangezien in diepe glijvlakken wel hogere waterdrukken optreden.



Figuur 3-3: Doorsnede DP4 van Fort Henricus, bij 1 ophoogslag, stabiliteit 0.81.

Wanneer alle grond in één keer aangebracht wordt, ligt de taludstabiliteit tijdelijk op 0,81, en voldoet daarmee niet (zie figuur 3-3). Zodoende zal gewerkt moeten worden met 2 ophoogslagen. Bij deze analyse voor de tijdelijke situatie is niet uitgegaan van een bovenbelasting. Om hieraan te voldoen moet materieel met hoge as-lasten tenminste 2-3 m uit de buitenkruin blijven in verband met de stabiliteit.

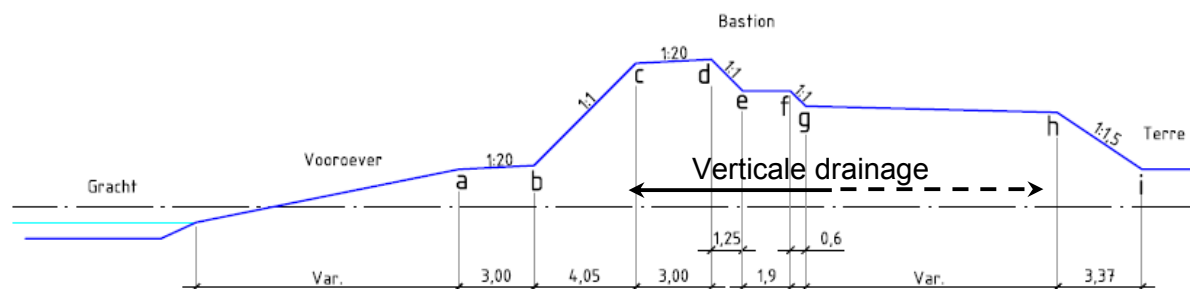
Uit de stabiliteitsberekeningen volgt dat bij een eerste ophoogslag van maximaal 2 m geen afschuiving diepe optreedt (zie figuur B5, bijlage A1), buiten de afschuiving van het aan te brengen talud zelf (zie paragraaf 3.1.2). De 2^e ophoogslag kan pas worden aangebracht na voldoende consolidatie van de eerste ophoogslag. Dit duurt ca. 2 jaar.

Naar verwachting past de bovenstaande uitvoeringsperiode niet in de planning van de opdrachtgever. Er zijn 2 mogelijkheden om de 2^e ophoogslag te versnellen:

- Monitoring: De zettingen zijn sterk afhankelijk van de consolidatiecoëfficiënt van de klei- en veenlagen (c_v -waarde). Deze parameter is zonder gedetailleerd laboratoriumonderzoek niet eenvoudig in te schatten. Op basis van monitoring tijdens de uitvoering met waterspanningsmeters kan bepaald worden of de wateroverspanningen eerder onder de 40% daalt, dan kan de tweede ophoogslag vervroegd aangebracht worden. De ervaring leert dat de wateroverspanning doorgaans sneller afneemt dan in de berekeningen;
- Plaatsen van verticale drainage: Voor zekerheid omtrent de uitvoeringsperiode wordt geadviseerd om verticale drainage aan te brengen nabij de buitentaluds. Uit berekeningen met D-Settlement volgt dat, met verticale drainage, de 2^e ophoogslag na 4 maanden opgebracht kan worden. Hiervoor zijn bij ophogingen groter dan 2 m, verticale drains nodig over een afstand van tenminste 9 m. De verticale drains worden geplaatst tussen de buitenkruin (punt c van figuur 3-4) en 9 m richting het midden van het Fort. De benodigde hart op hart afstand is 1,5 m. De zone waarin verticale drainage wordt

toegepast is tevens afhankelijk van de zettingsanalyse, deze wordt in paragraaf 3.1.4 behandeld.

In aanvulling op de overzichtstekening (GKB, feb 2016) is door GKB gevraagd te kijken naar mogelijkheden om de gracht te verbreden. Hierbij wordt beoogd het talud links van punt a (zie figuur 3-4) steiler te maken.



Figuur 3-4: Principedoorssnede taluds, en ligging verticale drainage (GKB, feb 2016)

Fugro heeft deze vraag onderzocht uitgaande van een bodemdiepte van de gracht op NAP -1,6 m. Er zijn berekeningen uitgevoerd voor 3 taludhellingen waarvan de resultaten zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Tabel 3.1: Stabiliteitsberekeningen bij het uitbreiden van de gracht

| Talud helling | Stabiliteitsfactor |
|-------------------------|--------------------|
| Referentie situatie DP4 | 1,00 |
| Talud 1:6 | 1,00 |
| Talud 1:4,5 | 0,96 |
| Talud 1:3 | 0,85 |

Uit de berekeningen volgt dat bij een talud steiler dan 1:6 een verhoogd risico is op afschuiving (zie figuur B6, bijlage A1). Hierbij worden diepe glijvlakken berekend waarbij de slootbodem omhoog komt.

3.1.4. Zettingen

Bij de start van deze opdracht is vastgesteld dat de restzetting minder dan 30 cm mag bedragen in 30 jaar, gezien vanaf de opleverdatum. Binnen dit onderzoek is aangenomen dat het fort 6 maanden na de eerste ophoogslag wordt opgeleverd.

De zettingen zijn berekend voor de ophogingen bij DP4, voor 3 verschillende ophoogniveaus (zie tabel 3.2).

Tabel 3.2: Overzicht zettingen bij verschillende ophoogniveaus ter plaatse van DP 4

| Locatie en netto ophoging | Zetting totaal [cm] | Restzetting na 6 mnd [cm] | Restzetting bij vert. drainage na 6 mnd [cm] |
|---------------------------|---------------------|---------------------------|--|
| DP4 -3,3 m | 65 à 75 | ca. 40 – te hoog | ca. 25 |
| DP4 - 2,0 m | 60 à 75 | ca. 35 – te hoog | ca. 20 |
| DP4 - 1,4 m | 50 à 65 | ca. 30 | ca. 30 |

Uit de berekeningen volgt een eindzetting van maximaal 75 cm. Ter plaatse van DP4 zijn in de nabijgelegen sonderingen weinig zandlagen aangetroffen, waardoor de

wateroverspanningen als gevolg van de ophoging zeer langzaam dissiperen. Hierdoor duurt de primaire zetting relatief lang en wordt de bovengenoemde zettingseis niet gehaald binnen 6 maanden. Om aan de restzettingseis te voldoen adviseren wij verticale drainage toe te passen bij ophogingen van tenminste 1,7 m. Wanneer de hart op hart afstand van de drainage gelijk wordt genomen aan de benodigde afstand voor de stabiliteit (h.o.h. 1,5 m) wordt voldaan aan de restzettingseis (zie paragraaf 3.1.3).

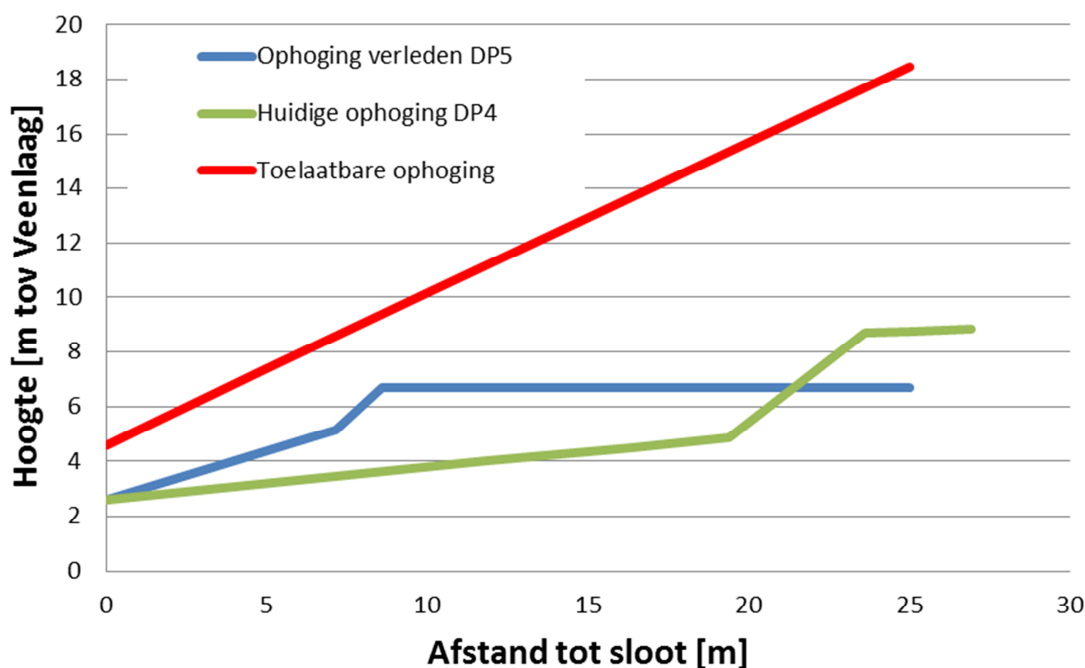
Bij de bovenstaande zettingen is aangenomen dat de ontwerphoogtes refereren aan de hoogte ten tijde van oplevering. Als gevolg van de zettingen moet rekening gehouden worden met het aanbrengen van extra grond. De hoeveelheid komt overeen met het verschil tussen de totaalzetting en de restzetting (ca. 0,3 m).

3.1.5. Squeezing

Voor doorsnede DP4 van het fort zijn analyses uitgevoerd om na te gaan of er een risico is op squeezing (ijswafeffect), waarbij een slappe grondlaag (veen) horizontaal wordt weggedrukt. Deze analyse wordt uitgevoerd aangezien bij een eerdere ophoging de slootbodembodem omhoog is gekomen. Dit kan mogelijk het gevolg zijn geweest van squeezing.

De analyse is uitgevoerd met de methode Matar-Salencon, waaruit volgt tot welke hoogte veilig is in het kader van squeezing. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in de onderstaande figuur. Hierbij zijn de onderstaande parameters aangehouden:

- Ongedraineerde schuifsterkte van veen $c_u = 20$ kPa (laagste waarde torvane op veen);
- Dikte veenlaag $h = 2$ m;
- Gemiddeld volumiek gewicht ophoogmateriaal $\gamma = 18$ kN/m³.



Figuur 3-5: Analyse squeezing voor huidige ophoging en eerder uitgevoerde ophoging.

Uit de analyse blijkt dat zowel voor de huidige situatie, als de in het verleden uitgevoerde ophoging, het horizontaal uitpersen van de veenlaag niet de oorzaak is geweest voor het

omhoog komen van de slootbodem. De verwachting is dat, gezien het gebrek aan stabiliteit voor glijcirkels, de eerdere problemen door macroinstabiliteiten zijn veroorzaakt.

3.2. Boezemkade

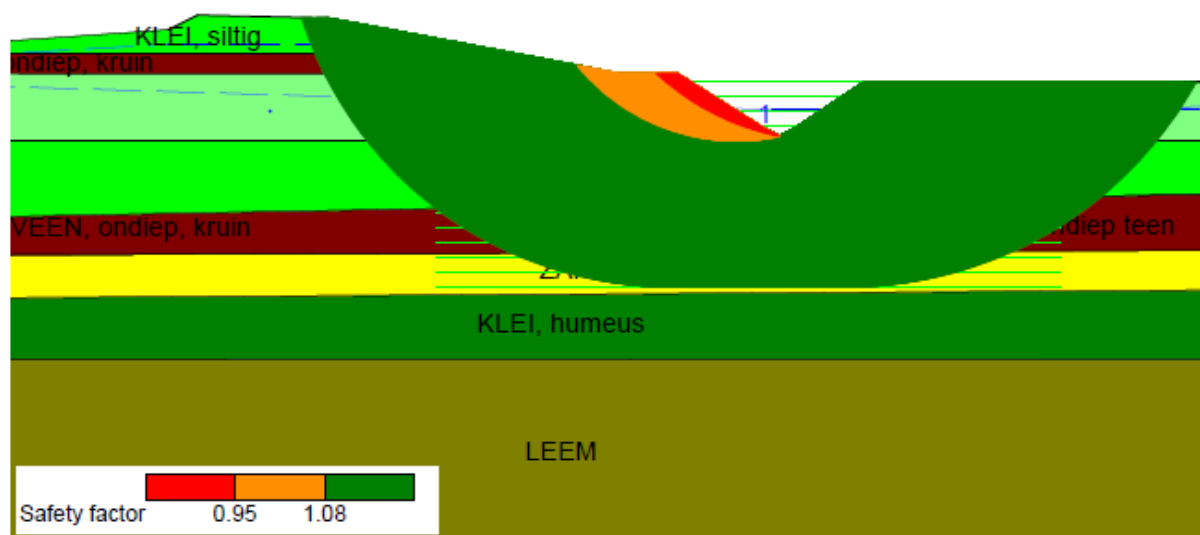
De boezemkade is getoetst op macrostabiliteit binnenwaarts en piping. Voor beide elementen is een toetsing uitgevoerd voor de huidige situatie en de eindsituatie, zodat het effect van de werkzaamheden bij het fort kan worden bepaald. De bodemopbouw voor deze berekeningen is bepaald aan de hand van de sonderingen DKM3 en DKM12 en de handboringen HB5, HB12 en HB16.

3.2.1. Macrostabiliteit binnenwaarts eindsituatie

In een eerdere analyse uit 2014 heeft Fugro (rapport 1213-0089-000.R01) de boezemkade getoetst op macro-stabiliteit ter hoogte van (het door Waterschap Brabantse Delta aangeleverde) dwarsprofiel 'dwp 1961'. Uit deze eerdere analyse volgde dat de werkzaamheden geen negatief effect zullen hebben op de binnenwaartse stabiliteit van de Waterkering.

Voor het uitbreiden van de waterpartij bij de nieuwe natuurvriendelijk oever zone (zuid-oost zijde fort) worden in deze rapportage aanvullende berekeningen uitgevoerd. Als basis wordt het maaiveldniveau van het waterschapsprofiel 'dwp 1963' aangehouden, waarbij aan de binnenzijde van de dijk is gekeken naar het maaiveldverloop bij de toekomstige natuurvriendelijke oever.

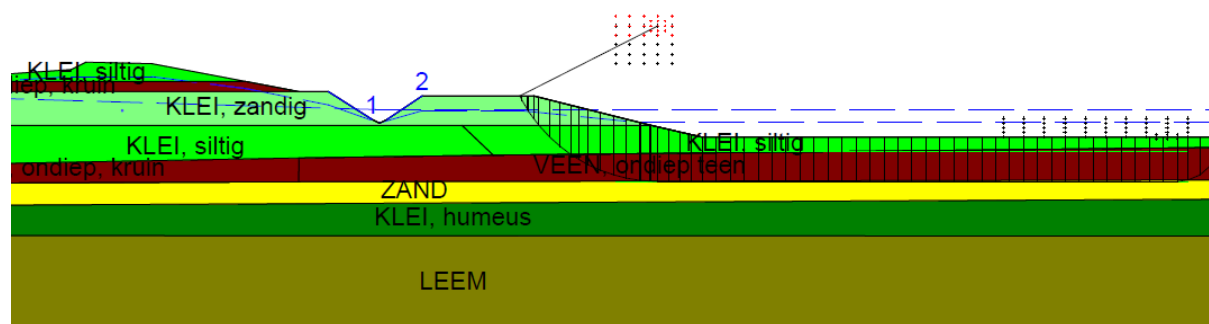
Uit de berekeningen volgt dat de huidige waterkering niet voldoet op binnenwaartse stabiliteit. Er is in de huidige situatie sprake van onvoldoende veiligheid tegen ondiep(e) glijvlak/ afschuiving (zie figuur 3-6). De veiligheid voor glijvlakken dieper dan 3 m is voldoende. Bij de toetsing van de ingreep dient de dijkstabiliteit in de nieuwe situatie groter of gelijk te zijn dan in de huidige situatie.



Figuur 3-6: Stabiliteitsfactor in de huidige situatie. Nabij de greppel is het talud te stijl en bestaat het risico op afschuiving.

In de huidige situatie, voordat de waterpartij wordt uitgebreid, is er geen risico op het opbarsten van de waterbodem (zie bijlage A2.1). Bij het uitbreiden van de waterpartij zal de bodem worden afgegraven tot een niveau van NAP -1,6 (minimaal) à -2,1 m (maximaal). Voor deze ontgravingsdieptes zijn opbarstberekeringen uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de veiligheid voor opbarsten varieert tussen 1,00 en 1,08 (zie bijlage A2.2). Bij een dergelijke opbarstveiligheid dient de dijkstabiliteit aanvullend gecontroleerd te worden met de methode Uplift Van.

De dijkstabiliteit is getoetst voor het uitbreiden van de waterpartij vanaf de projectgrens met een talud van 1:3 en een bodemdiepte van maximaal NAP -2,1 m. Bij de berekening met de methode Uplift Van, worden glijvlakken berekend met een stabiliteitsfactor van 0,87 (zie figuur 3-7). Deze stabiliteitsfactor zit beneden de vereiste stabiliteitsfactor van 1,13. De berekening volgens Bishop komt uit op een veiligheid van 1,05 (eis 1,08) en de glijcirkel is kleiner. De berekende glijcirkels hebben echter betrekking op een maatgevende situatie en liggen ver buiten de kruin van de waterkering. Onder dagelijkse omstandigheden, met een lager stijghoogte in de tussenzandlaag, ligt de stabiliteitsfactor op 1,20 (zie figuur B10 uit bijlage A1). Diepere glijvlakken, die de boezemkade zelf doorsnijden, hebben onder maatgevende omstandigheden een stabiliteitsfactor van 2,0 of hoger (zie figuren B11 en B12 uit bijlage A1). Zodoende wordt de waterkerende veiligheid door deze vergravingen niet beïnvloed.



Figuur 3-7: Glijcirkel na vergraving in de NVO-zone (methode Uplift Van). Door het opdrijven van de deklaag zijn lange glijcirkels maatgevend. Berekende stabiliteitsfactor 0,87.

Op basis van deze bevindingen kan geconcludeerd worden dat een ontgraving met een talud van 1:3 en een maximale waterdiepte van NAP -2,1 m voldoet.

3.2.2. Piping

Onder de boezemkade, beneden NAP -5 m, is een maximaal 2 m dikke zandlaag aangetroffen (DKM 3 en DKM12). Voor deze zandlaag is een toets op piping uitgevoerd met de formule van Sellmeijer (2011). De parameters voor deze formule zijn weergegeven in de onderstaande tabel 3.3. Uit de analyse blijkt dat de benodigde kwelweglengte ca. 8 m is, dit is aanzienlijk minder dan de aanwezige dijkbreedte van 30 m. Zodoende is er in de huidige en nieuwe situatie geen risico op piping.

Tabel 3.3: Overzicht zettingen bij verschillende ophoogniveaus ter plaatse van DP 4

| Parameter | Waarde |
|----------------------------------|-----------------------|
| Veiligheidsfactor dijkring y_n | 1,2 |
| Schematiseringsfactor y_p | 1,2 |
| Dikte deklaag achterland d | 2,5 m |
| Dikte zandlaag D | 2,0 m |
| Optredend verval ΔH | 2,3 m (1,47 - -0,8 m) |
| Korrelgrootte $D_{70; kar}^1$ | 67 μm |
| Doorlatendheid | 0,5 m/d |

¹ De D70 is afgeleid aan de hand van de uitgevoerde zevingen bij dit project. De waarde is vermoedelijk zeer conservatief.

3.3. Uitvoeringsaspecten

3.3.1. Aanbrengen verticale drainage

De verticale drainage dient te worden aangebracht vanaf het bestaande maaiveld. Bij het aanbrengen van de drainage is het van belang dat de drains hun water goed kwijt kunnen. Gezien het zandige karakter van de toplaag kan een deel van het water natuurlijk afwateren. Zekerheidshalve wordt echter geadviseerd om op het huidige maaiveld een 0,2 m dikke zandlaag aan te brengen (matig fijn of grover zand), voorafgaand aan de verdere ophoging.

3.3.2. Klei buitentalud grondfort

Bij het aanbrengen van klei op het buitentalud heeft het de voorkeur van de opdrachtgever om lokaal aanwezig klei aan te brengen. Aangezien relatief hoge eisen aan de klei worden gesteld (karakteristieke waarden φ' 22,5 kPa en $c'=5$ kPa) is een goede selectie van het aanwezige materiaal van belang. Dit betekent dat het vrijgekomen materiaal bij de vergravingen geïnclassificeerd moet worden en de goede klei apart moet worden bewaard.

Gezien de sterk heterogene bodemopbouw is deze selectie tijdrovend en zeer interpretatie gevoelig. Voor meer zekerheid over de kwaliteit van de vrijgekomen klei, is aanvullen onderzoek in een geotechnisch laboratorium noodzakelijk.

3.3.3. Monitoring

Tijdens de ophoging dient het zettingsverloop te worden geregistreerd met zakkbaken en waterspanningsmeters. Fugro adviseert hierbij om de onderstaande aantallen en locaties te hanteren:

- Zakkbaken: Geadviseerd wordt om 2 zakkbaken per bastillon en 1 voor de tussenliggende verhogingen te plaatsen. Hierbij kunnen de locaties van de doorsnedes worden aangehouden. De zakkbaken worden geplaatst in de kruin van de ophoging, op het bestaande maaiveld. Op locaties waar de ophoging kleiner is dan 1 m zijn geen zakkbaken nodig (DP 10 en DP11). Totaal zijn ca. 13 zakkbaken nodig welke met een frequentie van 1x/ 2 weken worden opgenomen. Vlak voor en na het aanbrengen van een ophoogslag dienen de zakkbaken wekelijks opgenomen te worden.
- Waterspanningsmetingen: Geadviseerd wordt om 1 waterspanningsmeter per bastillon te plaatsen. Het bastillon aan de noord-oostkant heeft een ophoging kleiner dan 1,7 m, waardoor een waterspanningsmeter niet noodzakelijk is. Totaal gaat het daardoor om 4 waterspanningsmeters die onder de kruin op een diepte van ca. NAP 0 m worden geplaatst. De waterspanningsmeters moeten midden tussen de verticale drains worden geplaatst. De wateroverspanning (ten opzichte van de nulmeting) moet voor het starten van de 2^e ophoogslag gedaald zijn onder de 13 kPa. Afhankelijk van de locatie komt dit neer op een absolute waterspanning van 30 à 36 kPa. De metingen moeten uitgevoerd worden met een frequentie van ca. 1 x/dag, waarbij tenminste 1 week voorafgaand aan de ophoging wordt gestart met meten.

4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Op basis van de uitgevoerde analyse worden de volgende aanbevelingen gedaan:

Stabiliteit eindsituatie talud 1:1 bastions

Uit deze analyse volgt dat een talud van 1:1 aan de buitenzijde van het grondfort zonder maatregelen rekenkundig instabiel zal zijn. De situatie kan significant verbeterd worden door het aanbrengen van 1,5 m klei (gemeten in horizontale richting) met goede sterkte-eigenschappen ($c' > 5$ kPa en $\phi > 22,5^\circ$). Aangezien de veiligheid bij deze maatregel nog steeds onvoldoende is, kan worden overwogen naar alternatieven te kijken, zoals grondwapening. Hiermee ontstaat zekerheid over het stabiel zijn van het talud. Het stabiliteitstekort (in de eindsituatie) na aanbrengen van klei met een hoge cohesie is echter beperkt (0,97 waar 1,0 vereist is). Er kan daarom ook overwogen worden om deze maatregel toe te passen en tijdens uitvoering te kijken of het talud stabiel blijft. Bij het toepassen van vrijgekomen klei bij de ontgravingen, kan de kwaliteit niet zonder een uitgebreid laboratoriumonderzoek worden gegarandeerd.

Stabiliteit tijdens uitvoering

Bij ophoging in 1 werkgang van het grondfort bestaat een behoorlijk risico op afschuiving over een bredere zone met diepere glijvlakken. Om dit te voorkomen wordt geadviseerd te werken met 2 ophoogslagen en verticale drainage. De eerste ophoogslag mag maximaal 2 m boven het bestaande maaiveld uitkomen. Wanneer verticale drainage wordt toegepast (zie alinea zettingen) kan de 2^e ophoogslag na ca. 4 maanden worden opgebracht. Bij deze ophoogslag wordt opgehoogd tot het ontwerpniveau.

Verbreiding slotgracht

De opdrachtgever heeft aangegeven dat de watergang rondom het fort bij voorkeur wordt verbreedt. Op basis van uitgevoerde berekeningen kan dit alleen wanneer de aan te houden taluds niet steiler worden gemaakt dan 1:6 (vanaf 'punt a').

Zettingen

Voor het behalen van de restzettingseis (<30 cm in 30 jaar) is bij ophogingen van meer dan 1,7 m verticale drainage nodig. Geadviseerd wordt de drains aan te brengen met een hart op hart afstand van 1,5 m en tot een diepte van NAP -5 m. Bij het aanbrengen van deze drainage ontstaat geen kortsluiting met het eerste watervoerend pakket.

Bij de tweede ophoogslag moet rekening gehouden worden met het aanbrengen van extra grond, door de reeds opgetreden zetting. De hoeveelheid extra grond is afhankelijk van de mate van ophoging en de lokale bodemgesteldheid. Gemiddeld wordt ca. 0,3 m extra ophoging verwacht.

Boezemkade

Het effect van de vergravingen in de NVO zone op de dijkstabiliteit van de boezemkade en het risico op piping is onderzocht. Er is geen risico op piping. De stabiliteitsberekeningen toonde aan dat er in extreme situaties een risico is op glijvlakken nabij de NVO zone. Aangezien deze afschuivingen ver buiten de kruin van de dijk zitten, zullen zij echter geen effect hebben op de dijkveiligheid. Derhalve acht Fugro afgraving onder een talud van 1:3 met een bodemdiepte van NAP -2,1 m niet schadelijk voor de waterkering. Hiermee kan het ontwerp (GKB, 2016) gehandhaafd blijven.

Monitoringsplan

Zowel de zettingen als de stabiliteit hangen sterk samen met waterspanningen in de ondergrond. Aanbevolen wordt daarom om tijdens de uitvoering de waterspanningen en zettingen te monitoren middels zakbaken en waterspanningsmeters. Indien de waterspanningen na het ophogen sneller afnemen, kan het werk mogelijk sneller worden afgerond.

Uitvoeringsvolgorde

Voor de aanleg van het fort wordt geadviseerd de volgende uitvoeringsvolgorde aan te houden:

- Aanbrengen zakbaken, waterspanningsmeters en verticale drainage en 0,2 m zand ter plaatse van de verticale drains;
- De eerste ophoogslag mag maximaal 2 m boven het bestaande maaiveld uitkomen.
- Wanneer verticale drainage wordt toegepast kan de 2^e ophoogslag na ca. 4 maanden worden opgebracht.

BIJLAGE 1: RAPPORTAGE GRONDONDERZOEK

RAPPORTAGE
GEOTECHNISCH VELDWERK
betreffende
**WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT
TE STEENBERGEN**

Opdrachtnummer: 1213-0089-010

| VERSIE | DATUM | OMSCHRIJVING WIJZIGING | PARAAF PROJECTLEIDER |
|--------|--------------|------------------------|-------------------------|
| 1 | 4 april 2016 | | |
| | | | |
| | | | |

FILE: 1213-0089-010_21.KRV01

RAPPORTAGE GEOTECHNISCH VELDWERK

| | | | |
|--------------------|--|--------------------|----------------------|
| Project | Waterkeringsanalyses grondfort te Steenberg | Opdrachtnummer | 1213-0089-010 |
| Opdrachtgever | GKB Visie B.V. Middelweg 1 2992 SP Barendrecht | Datum rapportage | 4 april 2016 |
| | | Uitvoeringsperiode | 23 t/m 29 maart 2016 |
| Opgesteld door | | | |
| Gecontroleerd door | | | |
| Projectleider | d | | |
| Documentnaam | 1213-0089-010_21.KR01 | | |

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:

- Situatietekening
- Sonderingen
- Veldboorstaten
- Continu Elektrisch Sonderen
- Legenda Terreinproeven en Grondsoorten

1. GEOTECHNISCH VELDWERK

Het geotechnisch veldwerk voor dit project heeft bestaan uit:

- 6 sonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand;
- 6 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".

Wanneer de sonderingen gebruikt worden voor de toetsing van geotechnische constructies dient de aard en omvang van het grondonderzoek te voldoen aan 3.2.3 van NEN 9997-1.

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.

Tijdens het boren zijn geroerde monsters genomen en in het veld geclassificeerd. Als er laboratoriumonderzoek volgt na het veldwerk, worden in het laboratorium de monsters extra gedetailleerd geclassificeerd. Bij eventuele verschillen tussen de veld- en laboratoriumclassificatie, is de laboratoriumclassificatie bepalend. De classificatie van de grond is uitgevoerd conform NEN 5104.

Op basis van de sondeerresultaten is de diepte bepaald van de ongeroerde monsters. De ongeroerde monsternamen bij het handboren heeft plaatsgevonden door met een Van der Horst steekapparaat een steekbus te slaan. De steekbussen zijn dunwandige metalen bussen met een diameter van 70 mm en een lengte van 400 mm

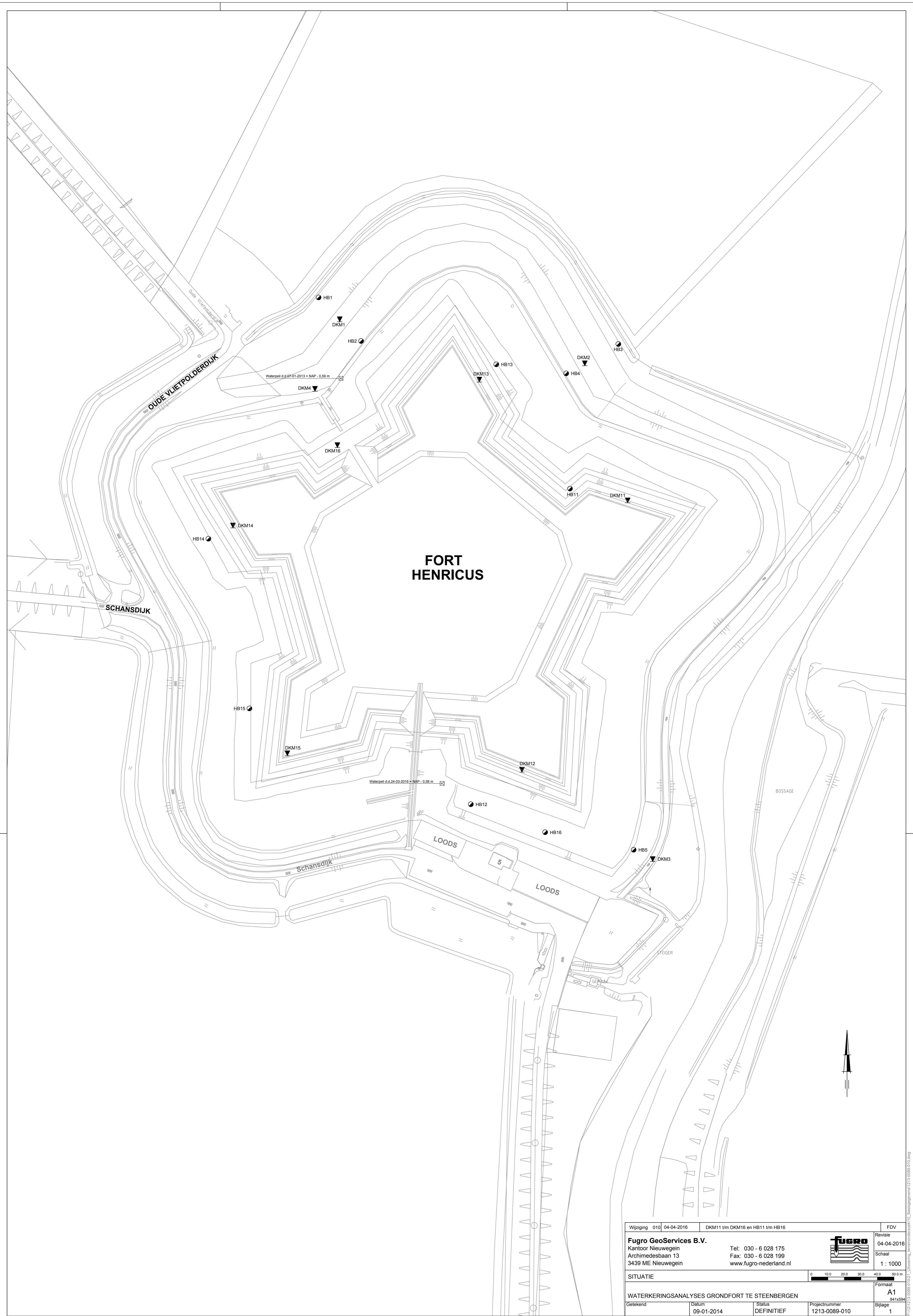
5. (GROND)WATERSTAND


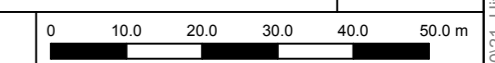
Het peil van een nabijgelegen open water is gedurende het grondonderzoek bepaald en is vermeld op de situatietekening. Deze waterstand is een eenmalige opname en bedoeld als een oriënterend gegeven.

Tijdens de uitvoering van het grondonderzoek is de grondwaterstand in de boorgaten HB11 en HB14 aangetroffen op respectievelijk 2,5 m en 2,8 m beneden maaiveld, hetgeen overeenkomt met circa NAP +1,3 m en 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.

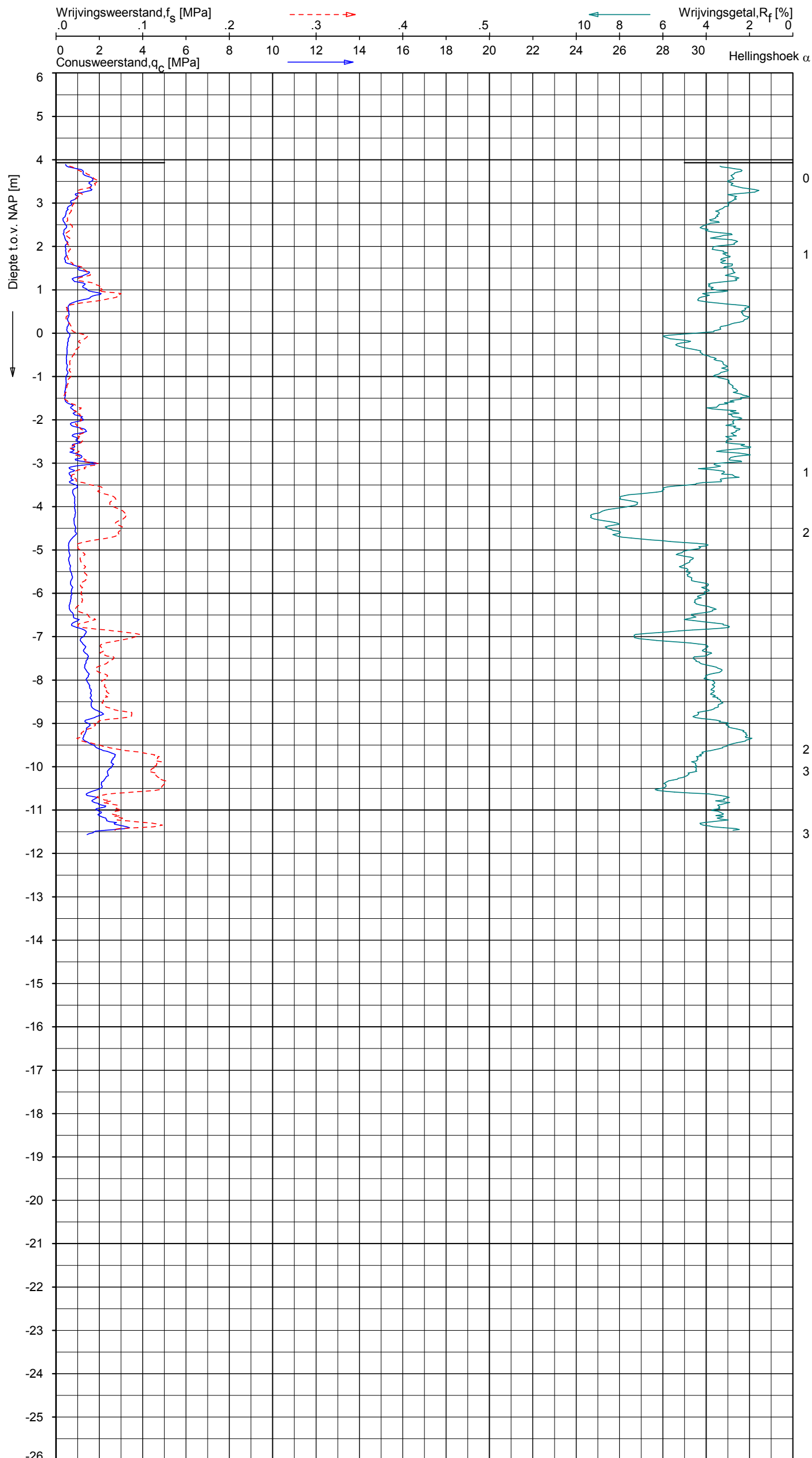
6. KWALITEITSBORGING

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.

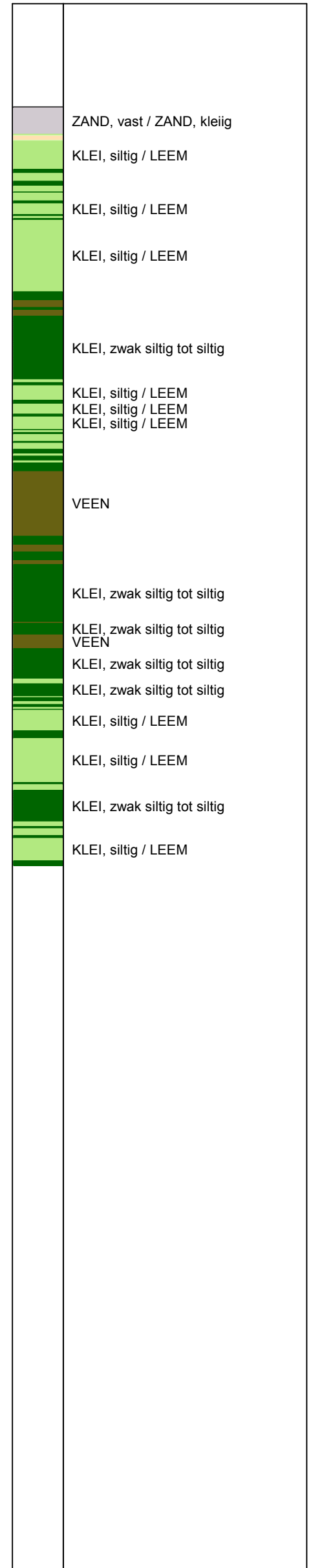


| | | | | |
|--|------------|------------|--|--|
| Wijziging | 010 | 04-04-2016 | DKM11 t/m DKM16 en HB11 t/m HB16 | FDV |
| Fugro GeoServices B.V. Kantoor Nieuwegein Archimedesbaan 13 3439 ME Nieuwegein | | | Tel: 030 - 6 028 175 Fax: 030 - 6 028 199 www.fugro-nederland.nl |  Revisie 04-04-2016 Schaal 1 : 1000 |
| SITUATIE | | | |  |
| WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN | | | | Formaat A1 841x594 |
| Getekend | Datum | Status | Projectnummer | Bijlage |
| | 09-01-2014 | DEFINITIEF | 1213-0089-010 | 1 |

P:\1213-0089-010\1213-0089-010_0089-010.dwg
 1213-0089-010_0089-010.dwg



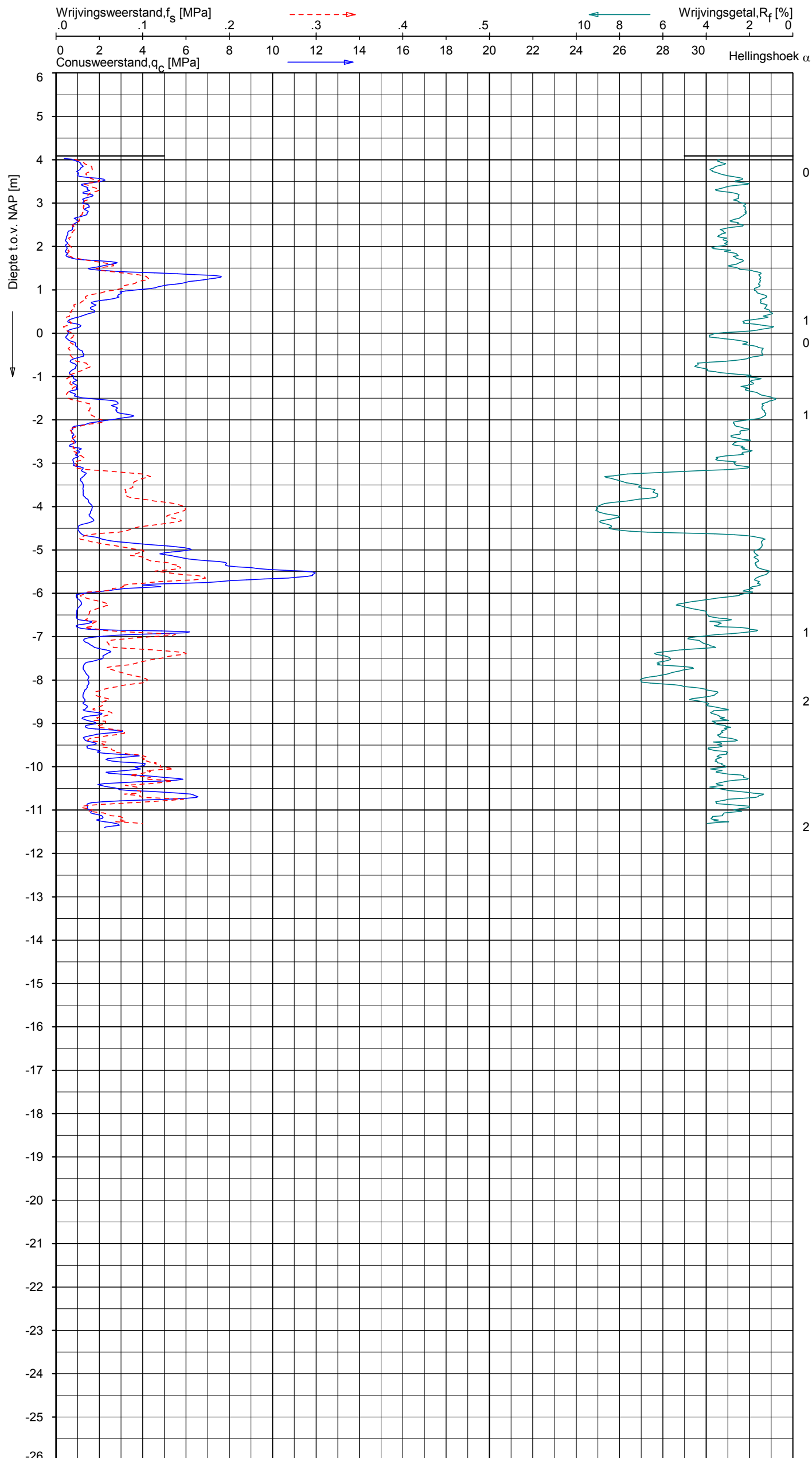
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



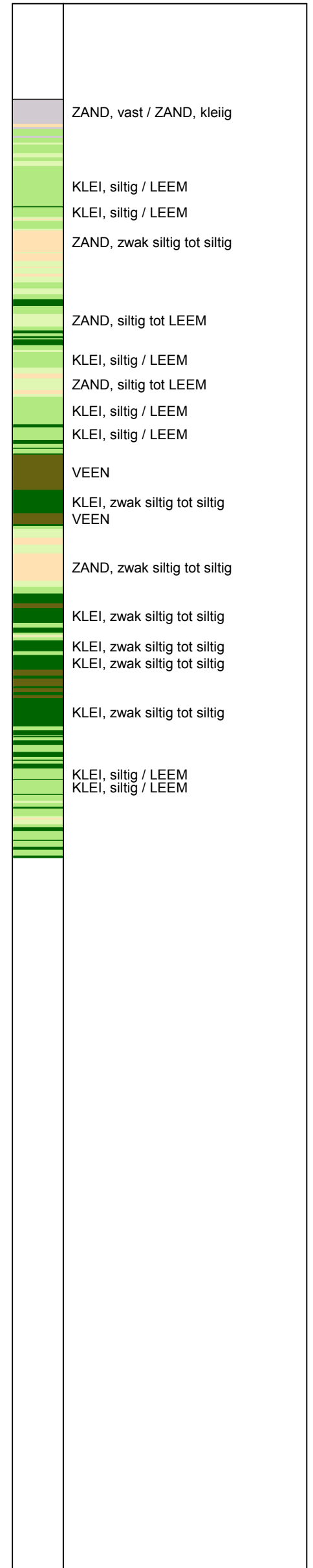
Opg. : d.d. 24-mrt-2016 Coord.: X= 80217.9m Y= 401972.1m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get. : d.d. 04-apr-2016 MV = NAP +3.93 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2614 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
 Conustype: A_c = 1510 mm²; A_s = 19895 mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

Opdr. 1213-0089-010
 Sond. DKM11



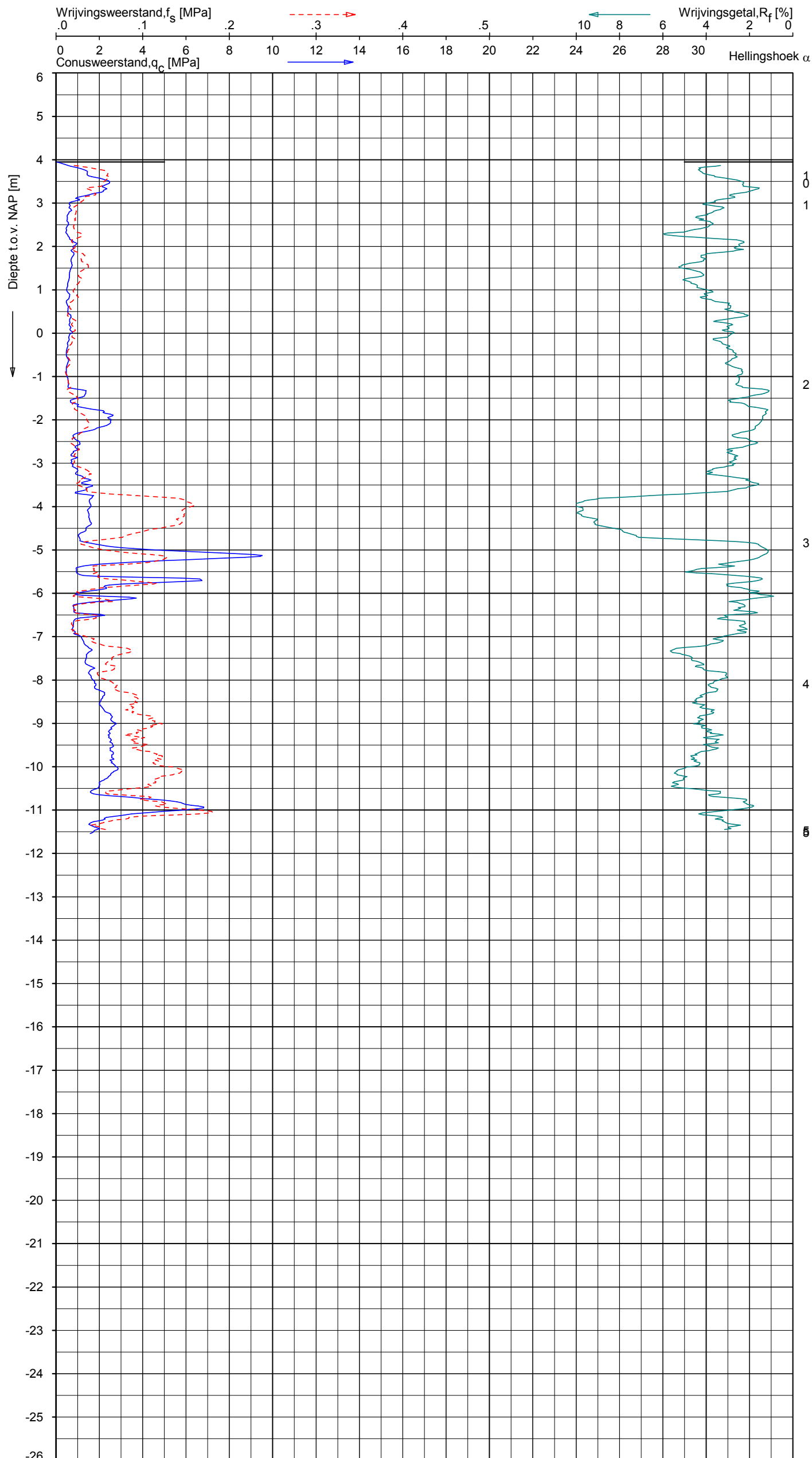
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



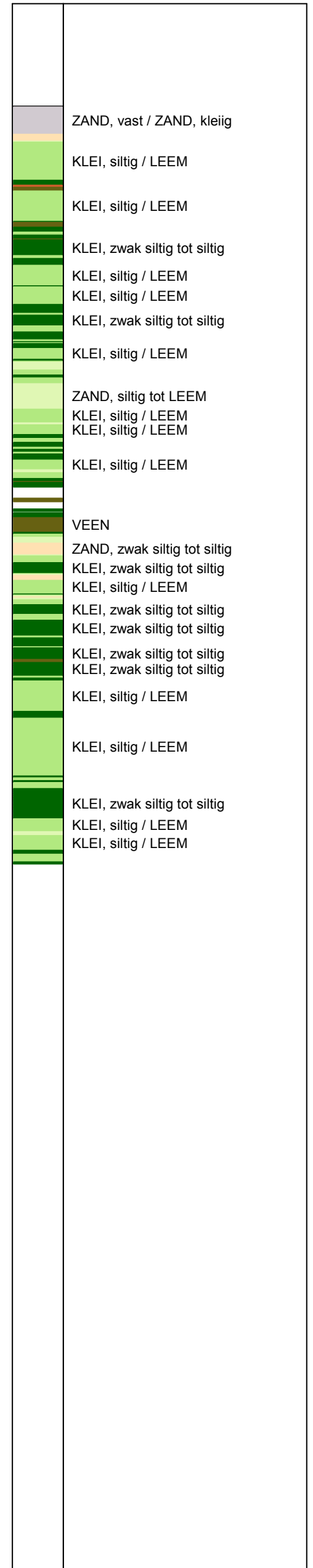
Opg. : d.d. 23-mrt-2016 Coord.: X= 80154.0m Y= 401809.1m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get. : d.d. 04-apr-2016 MV = NAP +4.09 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2614 Toepassingsklasse 2, Test type TE1
 Conustype: A_c = 1510 mm²; A_s = 19895 mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

Opdr. 1213-0089-010
 Sond. DKM12



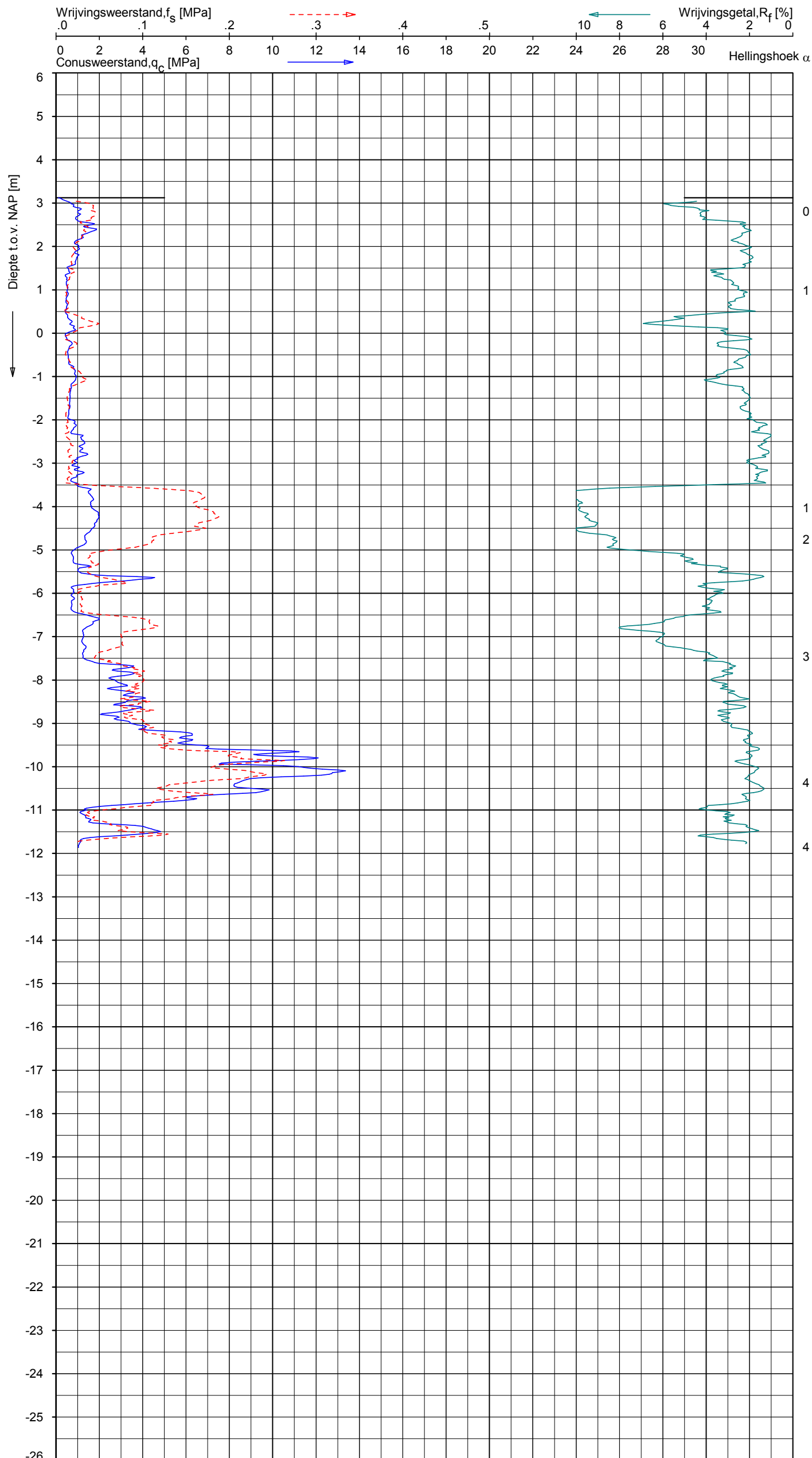
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



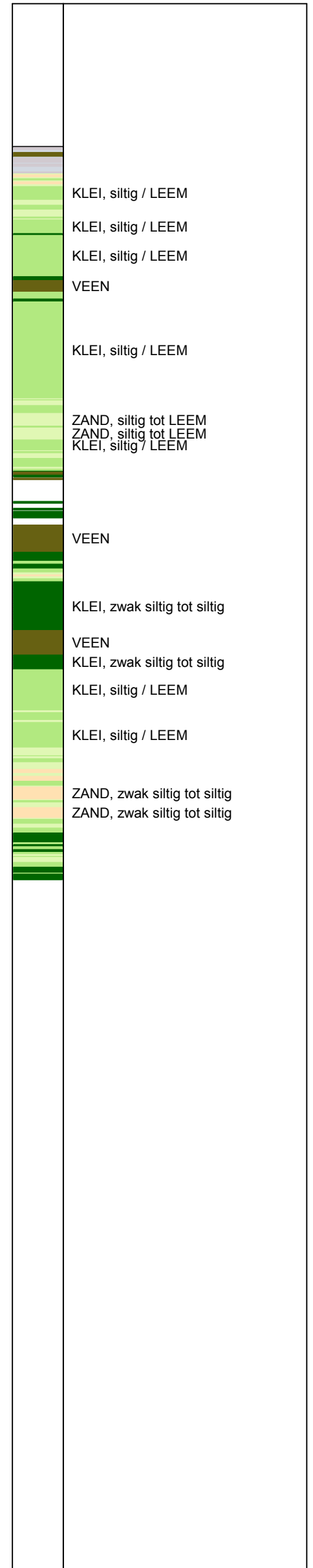
Opg. : d.d. 24-mrt-2016 Coord.: X= 80128.2m Y= 402045.1m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get. : d.d. 04-apr-2016 MV = NAP +3.95 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2614 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
 Conustype: A_c = 1510 mm²; A_s = 19895 mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

Opdr. 1213-0089-010
 Sond. DKM13



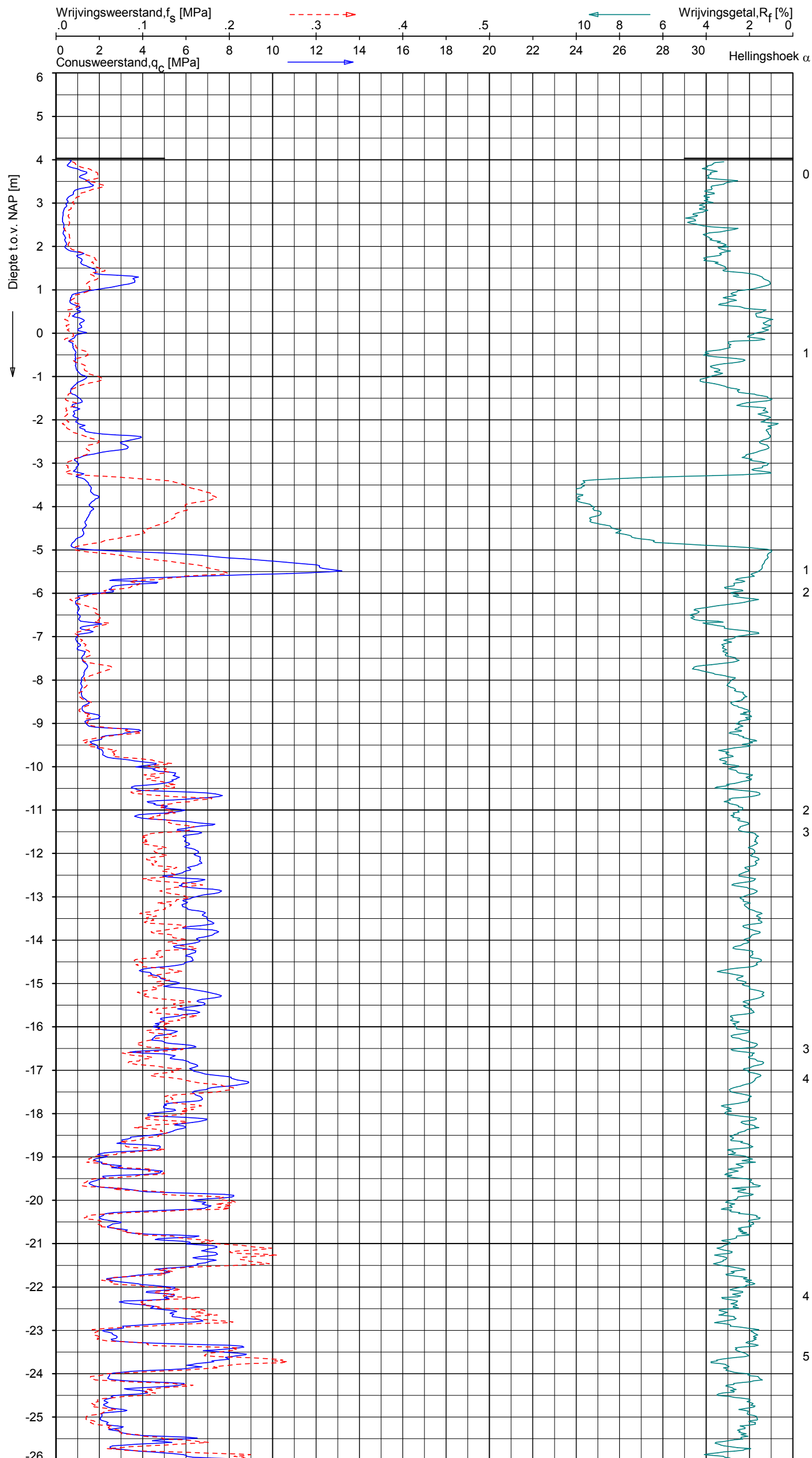
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



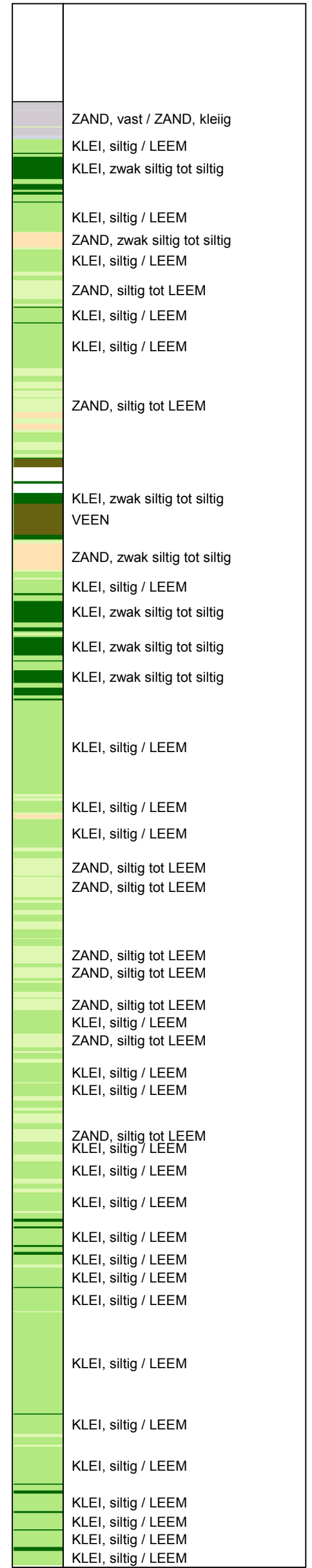
Opg. : d.d. 24-mrt-2016 Coord.: X= 79979.1m Y= 401956.9m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get. : d.d. 04-apr-2016 MV = NAP +3.12m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2614 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
 Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

Opdr. 1213-0089-010
 Sond. DKM14



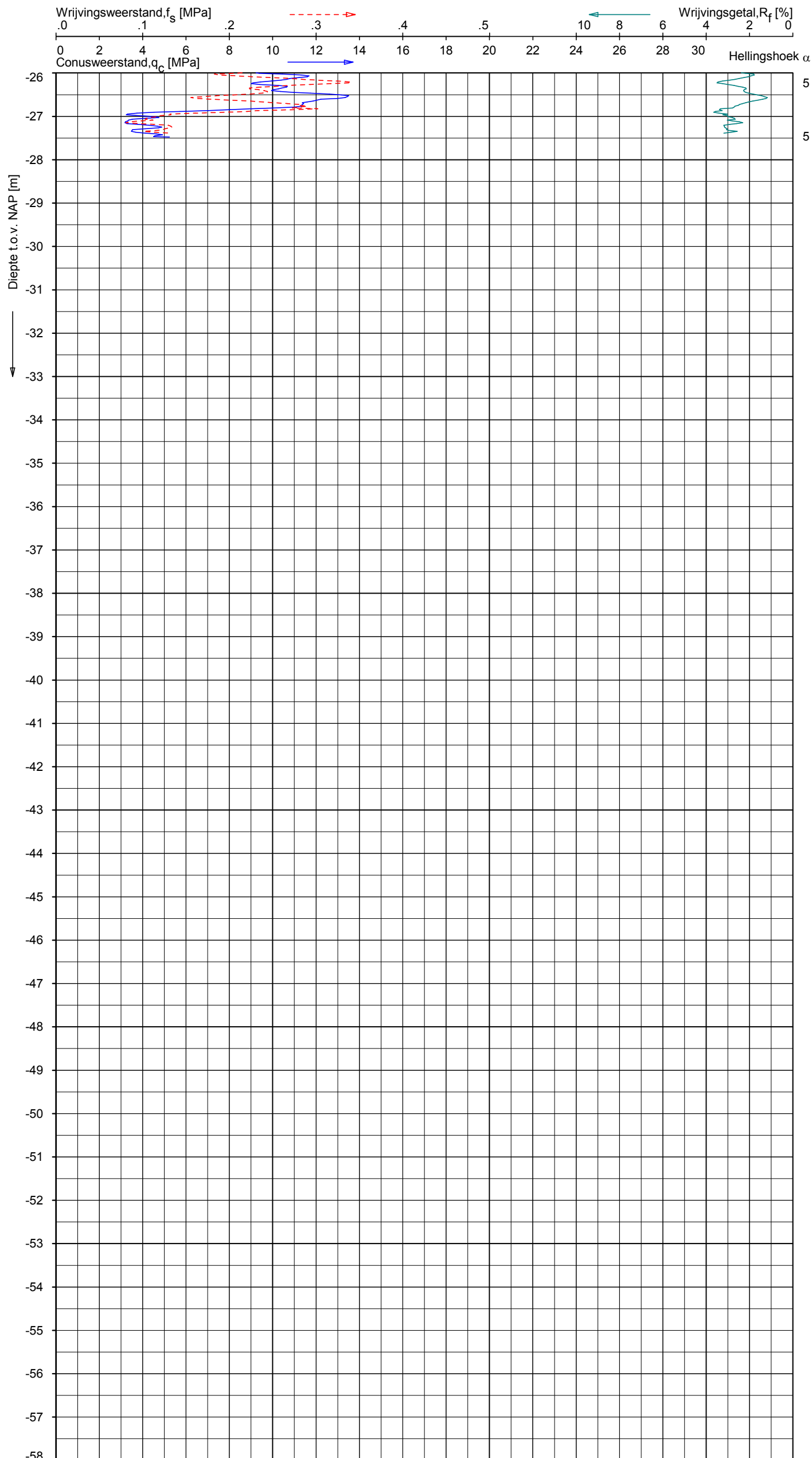
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg. : d.d. 24-mrt-2016 Coord.: X= 80012.0m Y= 401819.0m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get. : d.d. 04-apr-2016 MV = NAP +4.03 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2614 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
 Conustype: A_c = 1510 mm²; A_s = 19895 mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

Opdr. 1213-0089-010
 Sond. DKM15



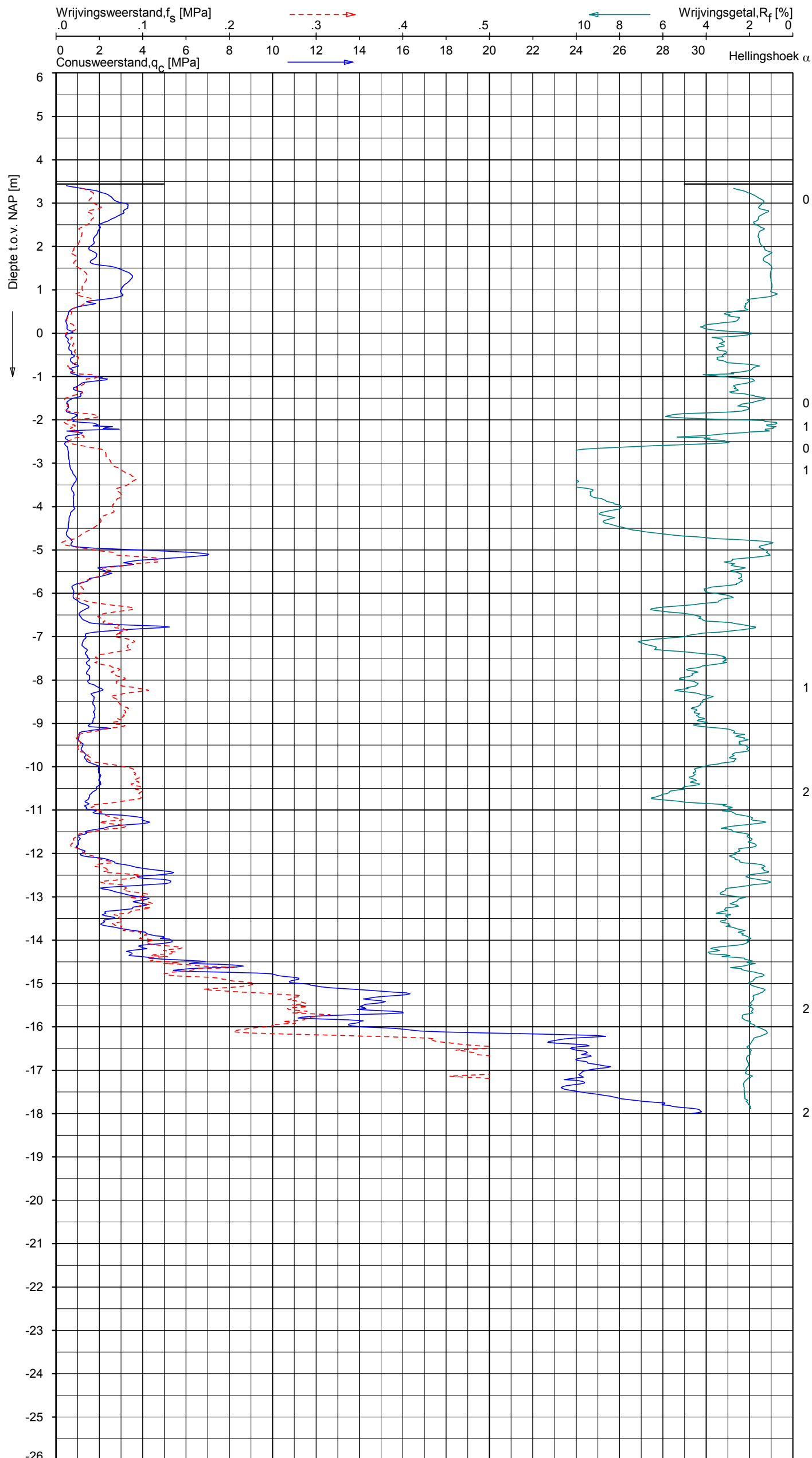
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)

| | |
|--|---------------------|
| | KLEI, siltig / LEEM |
| | KLEI, siltig / LEEM |
| | KLEI, siltig / LEEM |

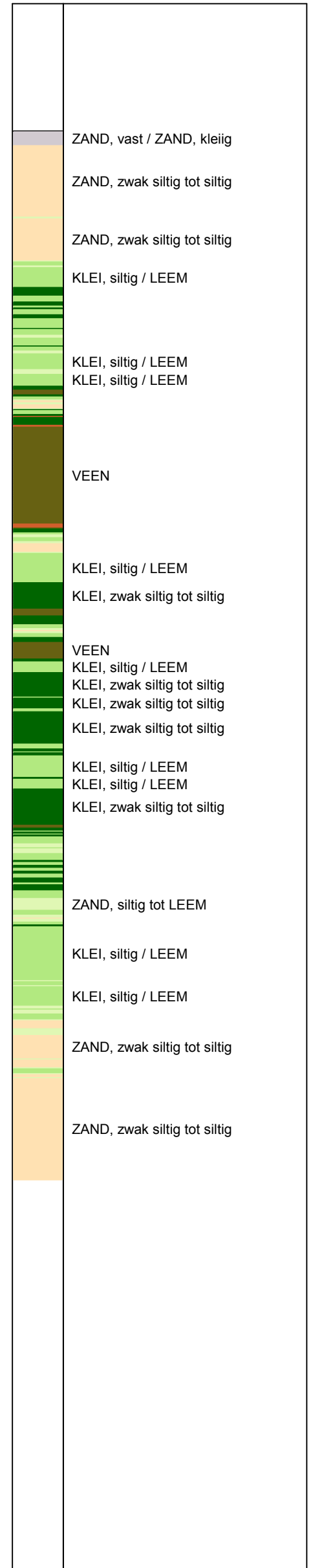
| | | | | | |
|--------|------------------|---------------------|---------------------|-------------|---|
| Opg. : | d.d. 24-mrt-2016 | Coord.: X= 80012.0m | Y= 401819.0m | Systeem: RD | Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1 |
| Get. : | d.d. 04-apr-2016 | MV = NAP +4.03 m | Conus: CP15-CF75SN2 | 1701-2614 | Toepassingsklasse 2. Test type TE1 |
| | | | | | Conustype: A _c = 1510 mm ² ; A _s = 19895 mm ² |

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

Opdr. 1213-0089-010
 Sond. DKM15



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



Opg. d.d. 24-mrt-2016 Coord.: X= 80042.3m Y= 402005.5m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: d.d. 04-apr-2016 MV = NAP +3.44 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2614 Toepassingsklasse 2, Test type TE1
 Conustype: A_c = 1510 mm²; A_s = 19895 mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

Opdr. 1213-0089-010
 Sond. DKM16

Boring: HB11

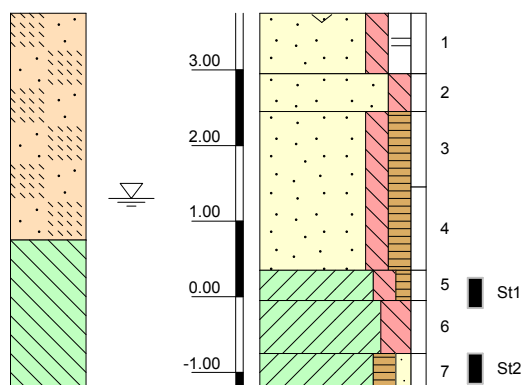
Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Afdichting Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



| | |
|-----------------|---|
| 3.75 tot 2.95 | Zand, matig fijn, matig siltig, resten wortels, sporen roest, resten schelpen bruin |
| 2.95 tot 2.45 | Zand, matig fijn, matig siltig grijs |
| 2.45 tot 0.35 | Zand, matig fijn, matig siltig, matig humeus grijs, met enkele kleibrokjes |
| 0.35 tot -0.05 | Klei, matig siltig, zwak humeus, matig stevig bruin |
| -0.05 tot -0.75 | Klei, sterk siltig, matig stevig, sporen roest grijs-bruin |
| -0.75 tot -1.25 | Klei, zwak zandig, matig humeus, matig stevig grijs |

Algemene opmerking:

X: 80183.0

GWS (m tov NAP): 1.30

MV (m tov NAP): 3.75

bk PB1 (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

bk PB3 (m tov NAP):

bk PB4 (m tov NAP):

Boorloeistof:

WS PB1 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

WS PB4 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 24-03-2016

Boormeester: jmn

Geclassificeerd door: jmn

Versie 2016-01-29

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

Waterkeringsanalyses grondfort te Steenberg

1213-0089-010

Boring: HB12

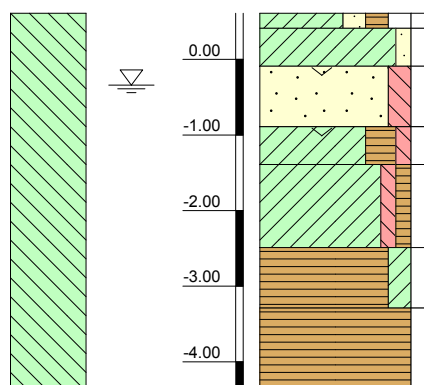
Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Afdichting Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



| Monsternr. | Bodembeschrijving volgens NEN 5104 |
|------------|--|
| 1 | 0.61 tot 0.41 Klei, matig zandig, matig humeus, matig stevig, resten wortels, donker bruin |
| 2 | 0.41 tot -0.09 Klei, zwak zandig, matig stevig, sporen roest bruin |
| 3 | -0.09 tot -0.89 Zand, zeer fijn, matig siltig, resten schelpen grijs |
| 4 St1 | -0.89 tot -1.39 Klei, zwak siltig, sterk humeus, matig stevig, resten schelpen, veen, donker bruin |
| 5 | -1.39 tot -2.49 Klei, zwak siltig, zwak humeus, matig slap grijs |
| 6 St2 | -2.49 tot -3.29 Veen, matig kleilig, matig stevig bruin |
| 7 St3 | -3.29 tot -4.39 Veen, matig slap bruin |

Algemene opmerking:

X: 80123.0

GWS (m tov NAP): -0.34

MV (m tov NAP): 0.61

bk PB1 (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

bk PB3 (m tov NAP):

bk PB4 (m tov NAP):

Boorvloeistof:

WS PB1 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

WS PB4 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 29-03-2016

Boormeester: jmn

Geclassificeerd door: jmn

Versie 2016-01-29

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

Waterkeringsanalyses grondfort te Steenberg

1213-0089-010

Boring: HB13

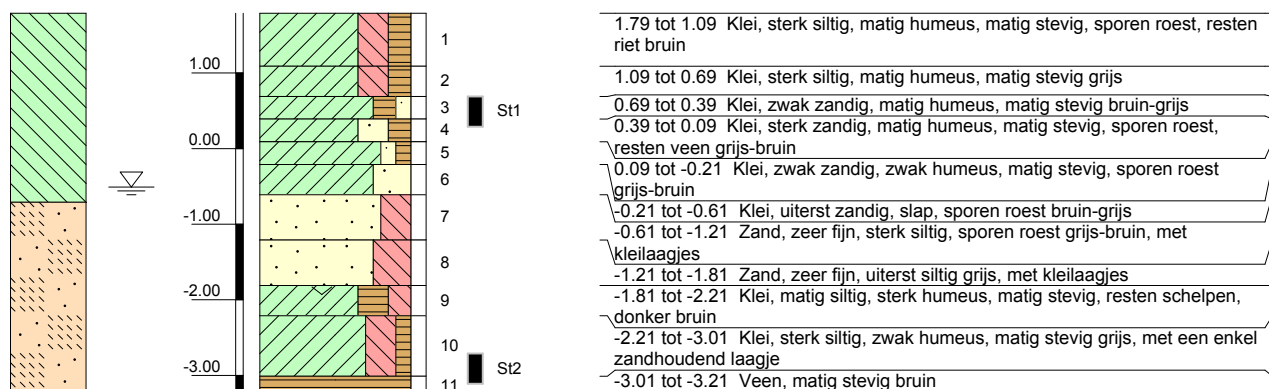
Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Afdichting Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



Algemene opmerking:

X: 80138.4

GWS (m tov NAP): -0.51

MV (m tov NAP): 1.79

bk PB1 (m tov NAP):

Boorvloeistof:

WS PB1 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 24-03-2016

Y: 402054.2

GHG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

Boormeester: jmn

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

Geclassificeerd door: jmn

bk PB4 (m tov NAP):

WS PB4 (m tov NAP):

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

Waterkeringsanalyses grondfort te Steenberg

1213-0089-010

Boring: HB14

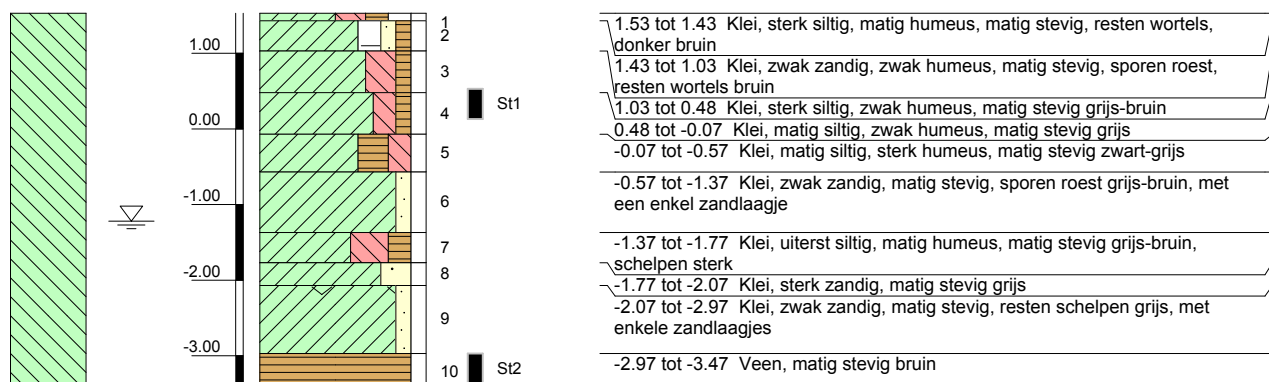
Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Afdichting Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



Algemene opmerking:

X: 79964.2

GWS (m tov NAP): -1.22

MV (m tov NAP): 1.53

bk PB1 (m tov NAP):

Boorvloeistof:

WS PB1 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 24-03-2016

Y: 401948.7

GHG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

Boormeester: jmn

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

Geclassificeerd door: jmn

bk PB4 (m tov NAP):

WS PB4 (m tov NAP):

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

Waterkeringsanalyses grondfort te Steenberg

1213-0089-010

Boring: HB15

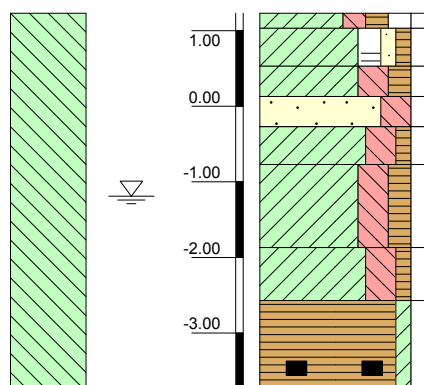
Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Afdichting Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



| Monsternr. | Bodembeschrijving volgens NEN 5104 |
|------------|--|
| 1 | 1.23 tot 1.03 Klei, matig siltig, matig humeus, matig stevig, resten wortels, donker bruin |
| 2 | 1.03 tot 0.53 Klei, zwak zandig, zwak humeus, matig stevig, sporen roest, resten wortels bruin |
| 3 | 0.53 tot 0.13 Klei, sterk siltig, matig humeus, matig stevig bruin-grijs |
| 4 | 0.13 tot -0.27 Zand, zeer fijn, sterk siltig grijs, met enkele kleilaagjes |
| 5 | -0.27 tot -0.77 Klei, sterk siltig, zwak humeus, matig stevig grijs-bruin |
| 6 | -0.77 tot -1.87 Klei, sterk siltig, matig humeus, matig slap grijs, met een enkel zandhoudend laagje |
| 7 | -1.87 tot -2.57 Klei, sterk siltig, zwak humeus, matig slap grijs, met een enkel zandlaagje |
| 8 | -2.57 tot -3.77 Veen, zwak kleilig, matig stevig, resten hout bruin |

Algemene opmerking:

X: 79989.0

GWS (m tov NAP): -1.19

MV (m tov NAP): 1.23

bk PB1 (m tov NAP):

Boorvloeistof:

WS PB1 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 24-03-2016

Y: 401846.0

GHG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

Boormeester: jmn

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

Geclassificeerd door: jmn

bk PB4 (m tov NAP):

WS PB4 (m tov NAP):

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

Waterkeringsanalyses grondfort te Steenberg

1213-0089-010

Boring: HB16

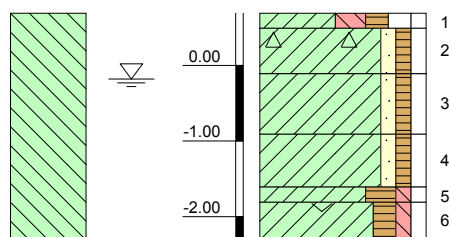
Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Afdichting Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



| | | |
|---|-----------------|--|
| 1 | 0.69 tot 0.49 | Klei, sterk siltig, matig humeus, matig stevig, resten wortels, resten riet, donker bruin |
| 2 | 0.49 tot -0.11 | Klei, zwak zandig, zwak humeus, matig stevig, sporen roest, resten puin bruin-grijs |
| 3 | -0.11 tot -0.91 | Klei, zwak zandig, zwak humeus, matig stevig grijs |
| 4 | -0.91 tot -1.61 | Klei, zwak zandig, zwak humeus, matig stevig, resten veen grijs |
| 5 | -1.61 tot -1.81 | Klei, zwak siltig, sterk humeus, matig stevig, veen bruin |
| 6 | -1.81 tot -2.31 | Klei, zwak siltig, matig humeus, matig slap, resten hout, resten veen, resten schelpen grijs-bruin |

Algemene opmerking:

X: 80168.0

GWS (m tov NAP): -0.18

MV (m tov NAP): 0.69

bk PB1 (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

bk PB3 (m tov NAP):

bk PB4 (m tov NAP):

Boorvloeistof:

WS PB1 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

WS PB4 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 29-03-2016

Boormeester: jmn

Geclassificeerd door: jmn

Versie 2016-01-29

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

Waterkeringsanalyses grondfort te Steenbergen

1213-0089-010

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 heeft een lengte 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 diepteaanduiding 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.

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

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 ingangspanparameters.

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.

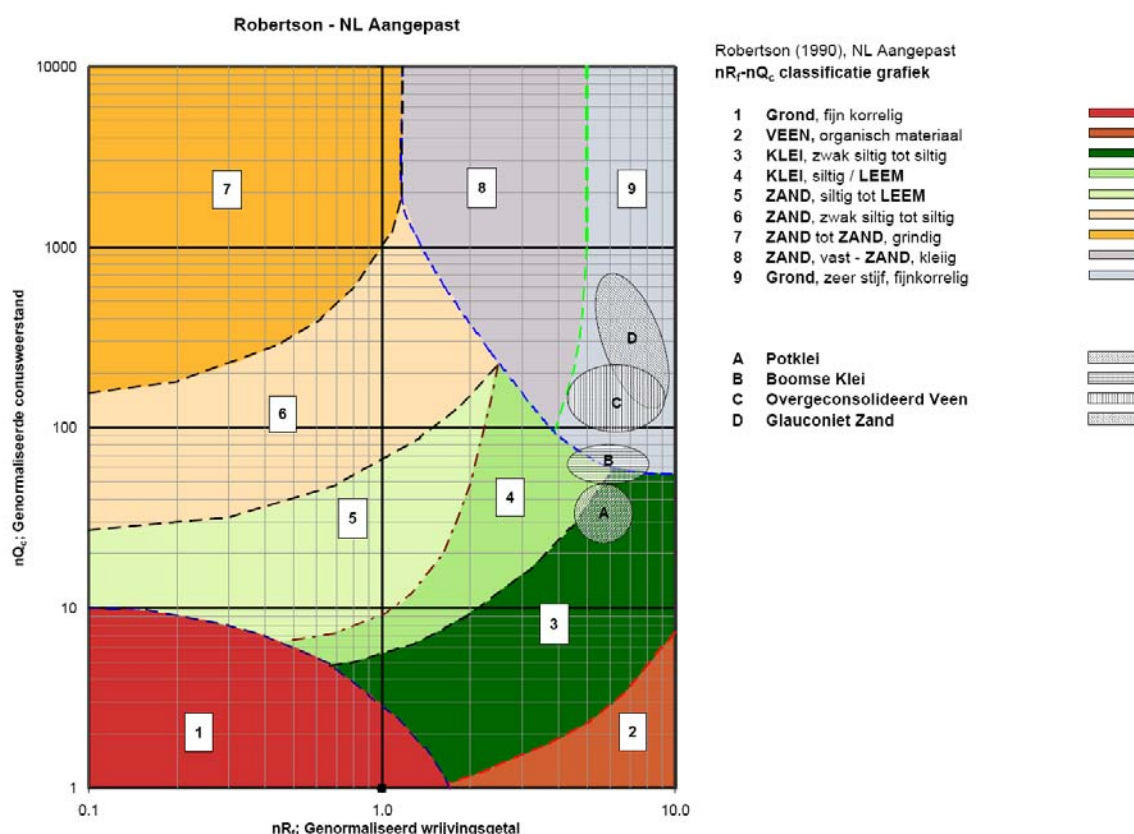
Genormaliseerde conusweerstand:
$$nQ_c = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

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 geïnterpreteerd.



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

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

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.

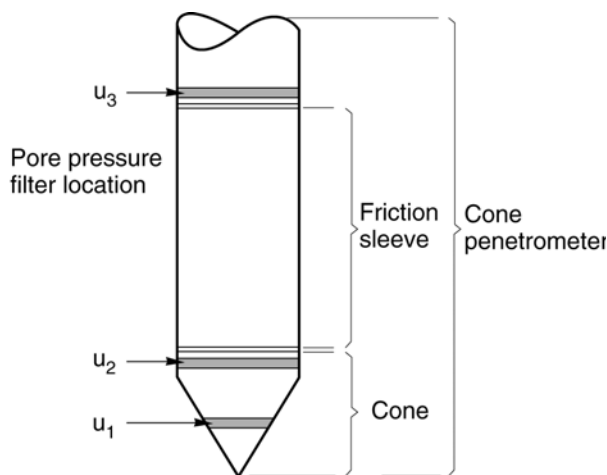
Andere conustypen

Naast de meting van conusweerstand en plaatselijke wrijving is het mogelijk extra (combinaties van) metingen uit te voeren. In onderstaand schema zijn enkele mogelijkheden aangegeven. Indien gewenst kan nadere informatie over metingen en toepassingsmogelijkheden worden verschaft.

| 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 | machiefunderingen, 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 |

Waterspanningssonderingen

Naast registratie van conusweerstand en plaatselijke wrijvingsweerstand wordt bij een groot deel van de sonderingen waterspanning geregistreerd. Een waterspanningsconus (*piëzoconus*) 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 (zie figuur 1). 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 ontluicht 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 membraam, een goede uitvoering en de poriëngrootte van het filter belangrijk.

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

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:

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

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_t = $q_c + (1-a) \cdot u_2$ 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/m^3 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 in zand 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 sondeerclassen worden de sondeerclassen ingedeeld naar de toepassing van de sondering, zie onderstaande tabel.

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

| 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 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 voor het overgrote deel (>95%) in toepassingsklasse 2 vallen. 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) behoeft 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

Type sonderingen

- D Diepsondering
- HS Handsondering
- S Slagsondering

Legenda / Terminologie

- | | |
|-----------------------|-----------------------------|
| Grind | Klei |
| Grind, siltig | Klei, zwak siltig |
| Grind, zwak zandig | Klei, matig siltig |
| Grind, matig zandig | Klei, sterk siltig |
| Grind, sterk zandig | Klei, uiterst siltig |
| Grind, uiterst zandig | Klei, zwak zandig |
| Zand | Klei, matig zandig |
| Zand, kleilig | Klei, sterk zandig |
| Zand, zwak siltig | Leem |
| Zand, matig siltig | Leem, zwak zandig |
| Zand, sterk siltig | Leem, sterk zandig |
| Zand, uiterst siltig | Overige toevoegingen |
| Veen | Zwak humeus |
| Veen, mineraalarm | Matig humeus |
| Veen, zwak kleilig | Sterk humeus |
| Veen, sterk kleilig | Zwak grindig |
| Veen, zwak zandig | Matig grindig |
| Veen, sterk zandig | Sterk grindig |
| | Puin |

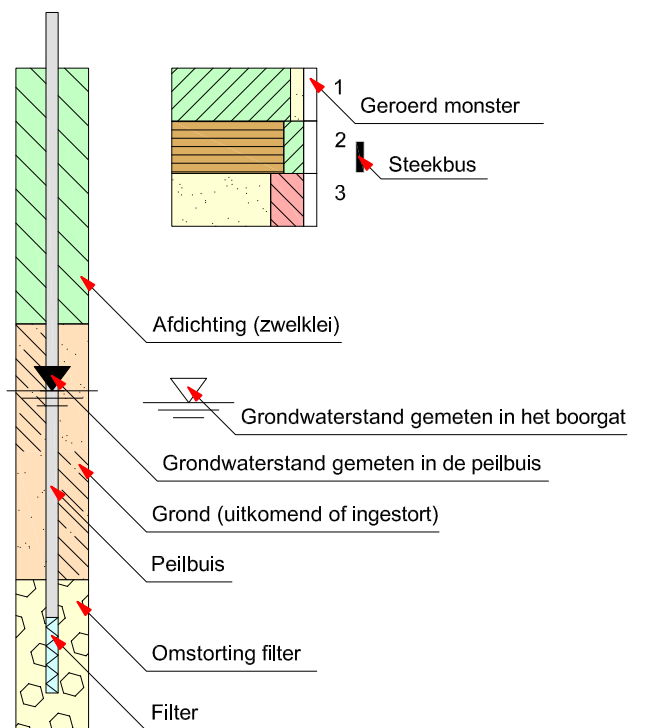
Sonderingen

- 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

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

Peilbuis



BIJLAGE 2: RAPPORTAGE LABORATORIUMONDERZOEK

RAPPORTAGE LABORATORIUMONDERZOEK

| | | | |
|---|---|--------------------|---------------|
| Project | Waterkeringsanalyses grondfort te Steenbergen | Opdrachtnummer | 1213-0089-010 |
| Opdrachtgever | GKB Visie B.V. | Datum rapport | 08-04-2016 |
| Contactpersoon | | Ontvangst monsters | 25-03-2016 |
| Monstername | Uitgevoerd door Afdeling Grondonderzoek | | |
| Dit rapport bevat de resultaten van het in-situ- en/of laboratoriumonderzoek dat ten behoeve van bovengenoemd project is uitgevoerd. Het onderzoek is uitgevoerd door Fugro GeoServices B.V. Laboratorium voor Infra- en Geotechniek te Arnhem. Eventueel uitbesteed onderzoek is duidelijk als zodanig gekenmerkt. | | | |

| INHOUDSOPGAVE | Pagina |
|---|---------|
| Voorblad onderzoeksrapport | 1 |
| Boorstaat | 2 t/m 4 |
| Laboratoriumstaat | 5 t/m 6 |
| Korrelverdelingsdiagram | 7 |
| Verklaring parameters uit korrelverdeling | 8 |
| Monsteroverzicht | 9 |
| | |

OPMERKINGEN:

Tenzij anders aangegeven hebben verwijzingen naar RAW proefnummers betrekking op de Standaard RAW Bepalingen 2010.

De met "Q" gemerkte verrichtingen zijn geaccrediteerd door RvA.

De reproduceerbaarheid van de metingen en / of proeven voldoet aan de gestelde waarde in de desbetreffende norm of in het proefvoorschrift. Gegevens over de meetonzekerheid zijn op aanvraag verkrijgbaar.

1213-0089-010.B01.doc

Wanneer u naar aanleiding van de resultaten van dit rapport nog vragen heeft verzoeken wij u contact op te nemen met
Wij vertrouwen erop u hiermee van dienst te zijn geweest en uw opdracht naar wens te hebben uitgevoerd.

Fugro GeoServices B.V.
Laboratorium voor Infra- en Geotechniek



Boring: HB11

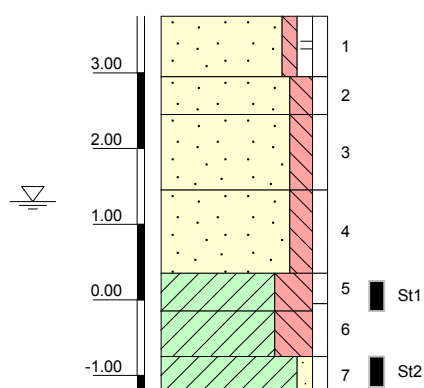
Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Laboratorium classificatie

Bodembeschrijving volgens NEN 5104 [Q]

Pagina 1 van 1



3.75 tot 2.95 Zand, zeer fijn, zwak siltig, sporen klei, sporen wortels grijs

2.95 tot 2.45 Zand, zeer fijn, matig siltig grijs

2.45 tot 1.45 Zand, zeer fijn, matig siltig, resten klei grijs

1.45 tot 0.35 Zand, uiterst fijn, matig siltig, insluitingen klei grijs

0.35 tot -0.15 Klei, uiterst siltig, lenzen zand grijs

-0.15 tot -0.75 Klei, uiterst siltig, roest, lenzen zand grijs

-0.75 tot -1.25 Klei, zwak zandig, resten kalk grijs

Algemene opmerking:

X: 80183.0

Y: 401979.0

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): 1.30

MV (m tov NAP): 3.75

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum boring: 24-03-2016

Boormeester: jmn

Datum laboratorium classificatie: 01-04-2016

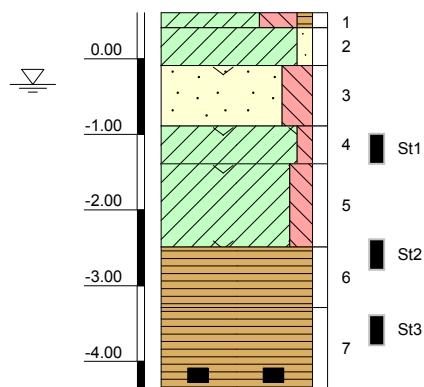
Geclassificeerd door: mlb

Boring: HB12

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104 [Q]



0.61 tot 0.41 Klei, uiterst siltig, zwak humeus, wortels grijs-bruin

0.41 tot -0.09 Klei, zwak zandig, resten riet grijs

-0.09 tot -0.89 Zand, uiterst fijn, sterk siltig, resten schelpen grijs

-0.89 tot -1.39 Klei, zwak siltig, lenzen schelpen grijs

-1.39 tot -2.49 Klei, matig siltig, sporen schelpen grijs

-2.49 tot -3.29 Veen, mineraalarm, resten klei bruin

-3.29 tot -4.39 Veen, mineraalarm, resten hout, resten riet bruin

Algemene opmerking:

X: 80123.0

Y: 401788.0

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): -0.34

MV (m tov NAP): 0.61

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum boring: 29-03-2016

Boormeester: jmn

Datum laboratorium classificatie: 01-04-2016

Geclassificeerd door: mlb

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

Waterkeringsanalyses grondfort te Steenberg

1213-0089-010

Boring: HB13

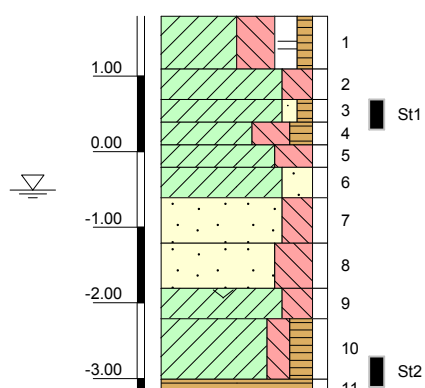
Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Laboratorium classificatie

Bodembeschrijving volgens NEN 5104 [Q]

Pagina 1 van 1



| | |
|-----------------|---|
| 1.79 tot 1.09 | Klei, uiterst siltig, zwak humeus, resten wortels grijs-bruin |
| 1.09 tot 0.69 | Klei, sterk siltig grijs |
| 0.69 tot 0.39 | Klei, zwak zandig, zwak humeus, donker grijs |
| 0.39 tot 0.09 | Klei, uiterst siltig, matig humeus, resten veen, roest bruin |
| 0.09 tot -0.21 | Klei, uiterst siltig grijs |
| -0.21 tot -0.61 | Klei, sterk zandig, roest grijs-bruin |
| -0.61 tot -1.21 | Zand, uiterst fijn, sterk siltig, roest, laagjes klei bruin-grijs |
| -1.21 tot -1.81 | Zand, zeer fijn, uiterst siltig, laagjes klei grijs |
| -1.81 tot -2.21 | Klei, sterk siltig, schelpen grijs |
| -2.21 tot -3.01 | Klei, matig siltig, matig humeus, lenzen zand grijs-bruin |
| -3.01 tot -3.21 | Veen, mineraalarm bruin |

Algemene opmerking:

X: 80138.4

Y: 402054.2

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): -0.51

MV (m tov NAP): 1.79

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum boring: 24-03-2016

Boormeester: jmn

Datum laboratorium classificatie: 01-04-2016

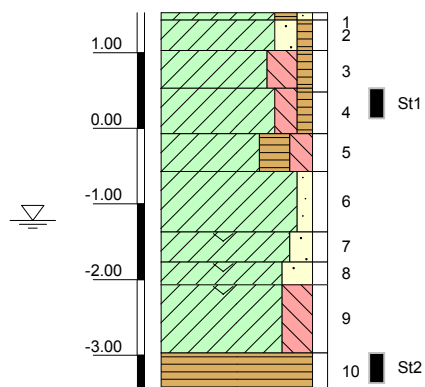
Geclassificeerd door: mlb

Boring: HB14

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104 [Q]



| | |
|-----------------|---|
| 1.53 tot 1.43 | Klei, zwak zandig, matig humeus, resten planten bruin |
| 1.43 tot 1.03 | Klei, matig zandig, zwak humeus, roest grijs-bruin |
| 1.03 tot 0.53 | Klei, sterk siltig, zwak humeus bruin |
| 0.53 tot -0.07 | Klei, matig siltig, zwak humeus grijs |
| -0.07 tot -0.57 | Klei, matig siltig, sterk humeus, resten veen bruin |
| -0.57 tot -1.37 | Klei, zwak zandig, roest grijs |
| -1.37 tot -1.77 | Klei, matig zandig, schelpen grijs |
| -1.77 tot -2.07 | Klei, sterk zandig, resten schelpen grijs |
| -2.07 tot -2.97 | Klei, sterk siltig, resten schelpen, laagjes zand grijs |
| -2.97 tot -3.47 | Veen, mineraalarm, brokken hout bruin |

Algemene opmerking:

X: 79964.2

Y: 401948.7

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): -1.22

MV (m tov NAP): 1.53

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum boring: 24-03-2016

Boormeester: jmn

Datum laboratorium classificatie: 01-04-2016

Geclassificeerd door: mlb

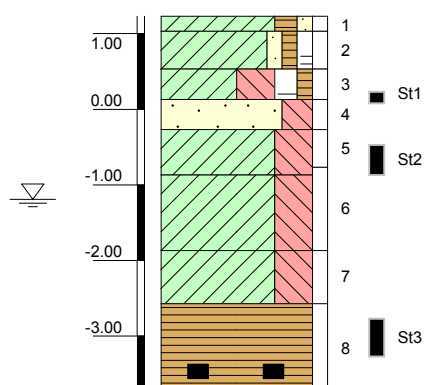
Boring: HB15

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Laboratorium classificatie

Bodembeschrijving volgens NEN 5104 [Q]



| | |
|-----------------|--|
| 1.23 tot 1.03 | Klei, zwak zandig, matig humeus, resten planten grijs-bruin |
| 1.03 tot 0.53 | Klei, zwak zandig, zwak humeus, roest, sporen wortels grijs-bruin |
| 0.53 tot 0.13 | Klei, uiterst siltig, zwak humeus, resten wortels, insluitingen zand grijs |
| 0.13 tot -0.27 | Zand, zeer fijn, sterk siltig, laagjes klei grijs |
| -0.27 tot -0.87 | Klei, uiterst siltig grijs |
| -0.87 tot -1.87 | Klei, uiterst siltig, laagjes zand grijs |
| -1.87 tot -2.57 | Klei, uiterst siltig, lenzen zand grijs |
| -2.57 tot -3.77 | Veen, mineraalarm, brokken hout bruin |

Algemene opmerking:

X: 79989.0

Y: 401846.0

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): -1.19

MV (m tov NAP): 1.23

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum boring: 24-03-2016

Boormeester: jmn

Datum laboratorium classificatie: 01-04-2016

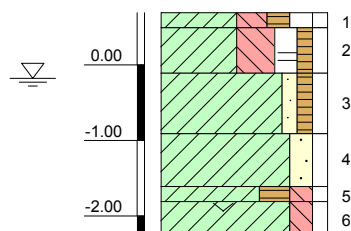
Geclassificeerd door: mlb

Boring: HB16

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104 [Q]



| | |
|-----------------|--|
| 0.69 tot 0.49 | Klei, sterk siltig, matig humeus, resten wortels grijs-bruin |
| 0.49 tot -0.11 | Klei, uiterst siltig, zwak humeus, resten wortels grijs |
| -0.11 tot -0.91 | Klei, zwak zandig, zwak humeus, donker grijs |
| -0.91 tot -1.61 | Klei, matig zandig grijs |
| -1.61 tot -1.81 | Klei, matig siltig, sterk humeus, donker grijs-bruin |
| -1.81 tot -2.31 | Klei, matig siltig, resten schelpen, resten hout grijs |

Algemene opmerking:

X: 80168.0

Y: 401771.0

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): -0.18

MV (m tov NAP): 0.69

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum boring: 29-03-2016

Boormeester: jmn

Datum laboratorium classificatie: 01-04-2016

Geclassificeerd door: mlb

| ONDERZOEKSRAPPORT | | | |
|-------------------|---|-----------------|---------------|
| Project | Waterkeringsanalyses grondfort te Steenberg | | |
| Opdrachtgever | GKB Visie B.V. | Opdrachtnummer | 1213-0089-010 |
| Contact persoon | | Datum rapport | 08-04-2016 |
| Monsternaam | Door Fugro GeoServices B.V. | Datum ontvangst | 25-03-2016 |

| ONDERZOEK MONSTERS | | |
|--------------------|--------------|------------------|
| Monster | Omschrijving | Diepte in m. NAP |
| 1 | HB12:2 | 0.41 |
| 2 | HB12:4 | -0.89 |
| 3 | HB16:4 | -0.91 |
| 4 | | |
| 5 | | |

| RESULTATEN | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---|---------|-----|----|---|---|----------|--|
| Parameter/Verrichting | | Monster | | | | | Eenheid | Methode van onderzoek |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| Watergehalte (A) | Q | | | | | | %(m/m) | NEN5112 |
| Gehalte < 63µm | Q | | | | | | %(m/m) | proef 2 Std RAW |
| Gehalte < 2µm | Q | | | | | | %(m/m) | proef 29 Std RAW |
| Gloeiverlies | Q | | | | | | %(m/m) | proef 28 Std RAW |
| Gehalte CaCO ₃ | Q | | | | | | %(m/m) | proef 28 Std RAW |
| Geleidingsvermogen | Q | | | | | | µS/cm | proef 122 Std RAW 2000 |
| Vloei grens (W _i) | Q | 34 | 108 | 73 | | | %(m/m) | proef 14 Std RAW |
| Uitrolgrens (W _p) | Q | 20 | 37 | 28 | | | %(m/m) | proef 14 Std RAW |
| Plasticiteits-index (I _p) | Q | 14 | 71 | 46 | | | -- | proef 14 Std RAW |
| A-lijn | | 10 | 64 | 39 | | | -- | berekend als 0,73*(W _i -20) |
| Zoutgehalte bodemvocht | | | | | | | NaCl g/l | 1) |
| W _{max} | | 24 | 55 | 39 | | | %(m/m) | berekend als W _p + 0,25 I _p |
| Consistentie-index (I _c) | | | | | | | -- | berekend als (W _i -A)/(W _i -W _p) |
| Vloeibaarheidsindex (I _v) | | | | | | | -- | berekend als 1-I _c |

| OPMERKINGEN |
|---|
| <p>De met "Q" gemerkte verrichtingen zijn geaccrediteerd door RvA.</p> <p>1) Uitgevoerd door Alcontrol Laboratories B.V. te Hoogvliet</p> <p>In §22.06.06 en §22.06.07 van de Standaard RAW Bepalingen is sprake van klei. Onder klei wordt volgens de classificatie norm NEN 5104 verstaan materiaal met een lutumgehalte van tenminste 8%. Alhoewel in de Standaard RAW Bepalingen niet expliciet vermeld, moeten dus alle klei categorieën aan deze eis voldoen.</p> |

| | | |
|-----------------|--------------------|--------------------------|
| Opgesteld door: | Gecontroleerd: PVV | Opdr. nr.: 1213-0089-010 |
|-----------------|--------------------|--------------------------|

| ONDERZOEKSRAPPORT | | | |
|-------------------|---|-----------------|---------------|
| Project | Waterkeringsanalyses grondfort te Steenberg | | |
| Opdrachtgever | GKB Visie B.V. | Opdrachtnummer | 1213-0089-010 |
| Contactpersoon | | Datum rapport | 08-04-16 |
| Monstername | Door Fugro GeoServices B.V. | Datum ontvangst | 25-03-16 |

| VOLUME GEWICHT - WATERGEHALTE EN ONGEDRAINEERDE SCHUIFSTERKTE (Uitgevoerd conform eigen methode) | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|-----------------------|---|---|--|---|------------------------|----------------------|----------------|-----------------------|---|
| Boring nummer | Monster nummer | Diepte t.o.v. NAP (m) | Volumieke massa vaste gronddelen (kg/m ³) | Volume gewicht nat (γ) (kN/m ³) [Q] | Volume gewicht verz (γ) (kN/m ³) | Volume gewicht droog (γ) (kN/m ³) [Q] | Watergehalte w (%) [Q] | Poriën gehalte n (%) | Poriën getal e | Verzadingsgraad S (%) | Ongedr. Schuifsterkte f _{undr} (kPa) T.V. [Q] P.P. |
| HB11 | St1 | -0.05 | 2650 | 17.9 | 18.9 | 14.7 | 22.0 | 43.6 | 0.8 | 75.3 | 29.5 - 187.5 |
| HB11 | St2 | -1.05 | 2650 | 18.7 | 18.8 | 14.5 | 28.7 | 44.2 | 0.8 | 96.1 | 24.5 - 15.1 |
| HB12 | St1 | -1.29 | | 12.9 | 12.9 | 5.7 | 125.7 | | | | 14.5 - 14.0 |
| HB12 | St3 | -3.69 | | 9.5 | 9.5 | 1.6 | 494.5 | | | | 27.5 - 38.6 |
| HB13 | St1 | 0.49 | 2650 | 19.0 | 19.6 | 15.7 | 20.9 | 39.6 | 0.7 | 84.4 | 30.5 - 82.5 |
| HB13 | St2 | -2.91 | 2650 | 14.9 | 15.3 | 8.8 | 70.0 | 66.3 | 2.0 | 94.3 | 14.5 - 28.0 |
| HB14 | St1 | 0.33 | 2650 | 15.9 | 16.0 | 10.0 | 59.2 | 61.5 | 1.6 | 98.2 | 32.6 - 110.0 |
| HB14 | St2 | -3.27 | | 9.5 | 9.5 | 1.8 | 440.7 | | | | 41.0 - 102.5 |
| HB15 | St2 | -0.77 | 2650 | 18.4 | 18.9 | 14.6 | 25.6 | 43.7 | 0.8 | 87.4 | 19.0 - 38.6 |
| HB15 | St3 | -3.07 | | 8.3 | 8.3 | 1.7 | 402.7 | | | | 20.0 - 37.5 |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |
| | | | | | | | | | | | - |

OPMERKINGEN

De met "Q" gemerkte verrichtingen zijn erkend door RvA.

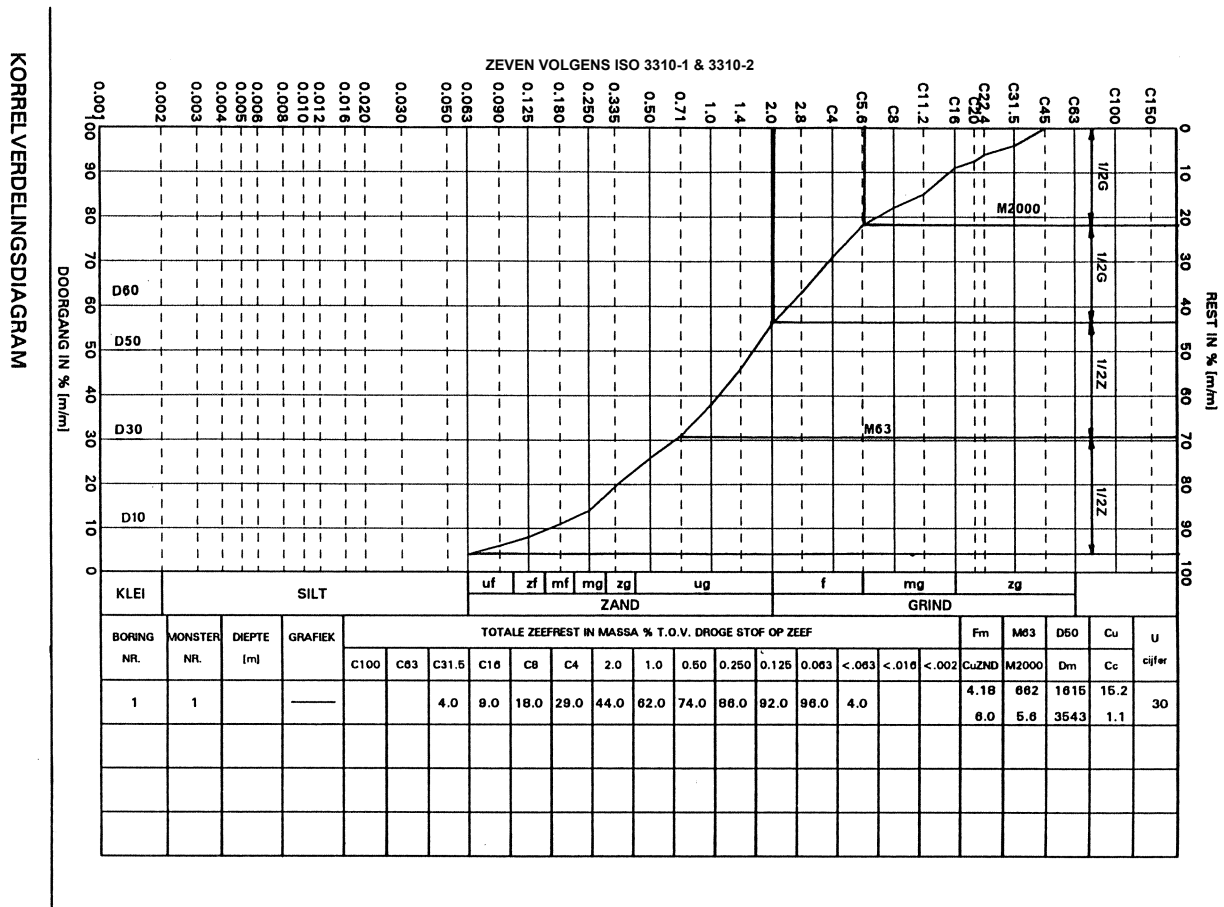
Voor de berekening van het poriëngehalte is een waarde voor de volumieke massa van vaste gronddelen aangehouden van 2650 kg/m³, tenzij anders bepaald middels een separate proef.

T.V.: Bepaald d.m.v pocket torvane

P.P.: Bepaald d.m.v pocket penetrometer

| | | | |
|-----------------|---------------------|-----|-----------------------------|
| Opgesteld door: | Gecontroleerd door: | PVV | Opdracht nr.: 1213-0089-010 |
|-----------------|---------------------|-----|-----------------------------|

VERKLARING PARAMETERS UIT KORRELVERDELING



- Fm (fijnheidsgetal) : som van de massapercentages op de zeven: C63, C31.5, C16, C8, C4, 2mm, 1mm, 500 µm, 250 µm en 125 µm, gedeeld door 100.
- M63 (zandmediaan) : gemiddelde korrelgrootte van de zandfractie in µm, waarbij 63 µm staat voor de ondergrens en 2 mm voor de bovengrens.
- M2000 (grindmediaan) : gemiddelde korrelgrootte van de grindfractie in mm, waarbij 2mm staat voor de ondergrens en 63 mm voor de bovengrens.
- D50 : de gemiddelde korrelgrootte van al het materiaal in µm.
- Dm : de som van de zeefdoorgang in µm, per massapercentage in stappen van 10 (10 t/m 90%), gedeeld door 9.
- Cu (gelijkmatigheids coëfficiënt) : D60/D10 is het quotiënt van de afmetingen van de denkbeeldige zeefopeningen, waardoor 60% en 10% van al het materiaal doorgaat.
- CuZND (gelijkmatigheids coëfficiënt van materiaal >63 µm / < 2 mm) : D60/D10 is het quotiënt van de afmetingen van de denkbeeldige zeefopeningen, waardoor 60% en 10% van het materiaal tussen 63 µm en 2mm doorgaat.
- Cc (krommingscoëfficiënt) : $[D_{30}^2 / (D_{60} \times D_{10})]$ is het quotiënt van het kwadraat van de denkbeeldige zeefopeningen, waardoor 30% van al het materiaal doorgaat en het product van de denkbeeldige zeefopeningen, waardoor 60% en 10% van al het materiaal doorgaat.
- U-cijfer : specifiek oppervlak zandfractie, berekend als:

$$\frac{\sum_{n=1}^n (m_n \times u_n) + (m_2 \times u_2) \dots (m_n \times u_n)}{\text{massa zandfractie}}$$

waarin: m₁, m₂, etc. = massa subfractie
u₁, u₂, etc. = specifiek oppervlak subfractie

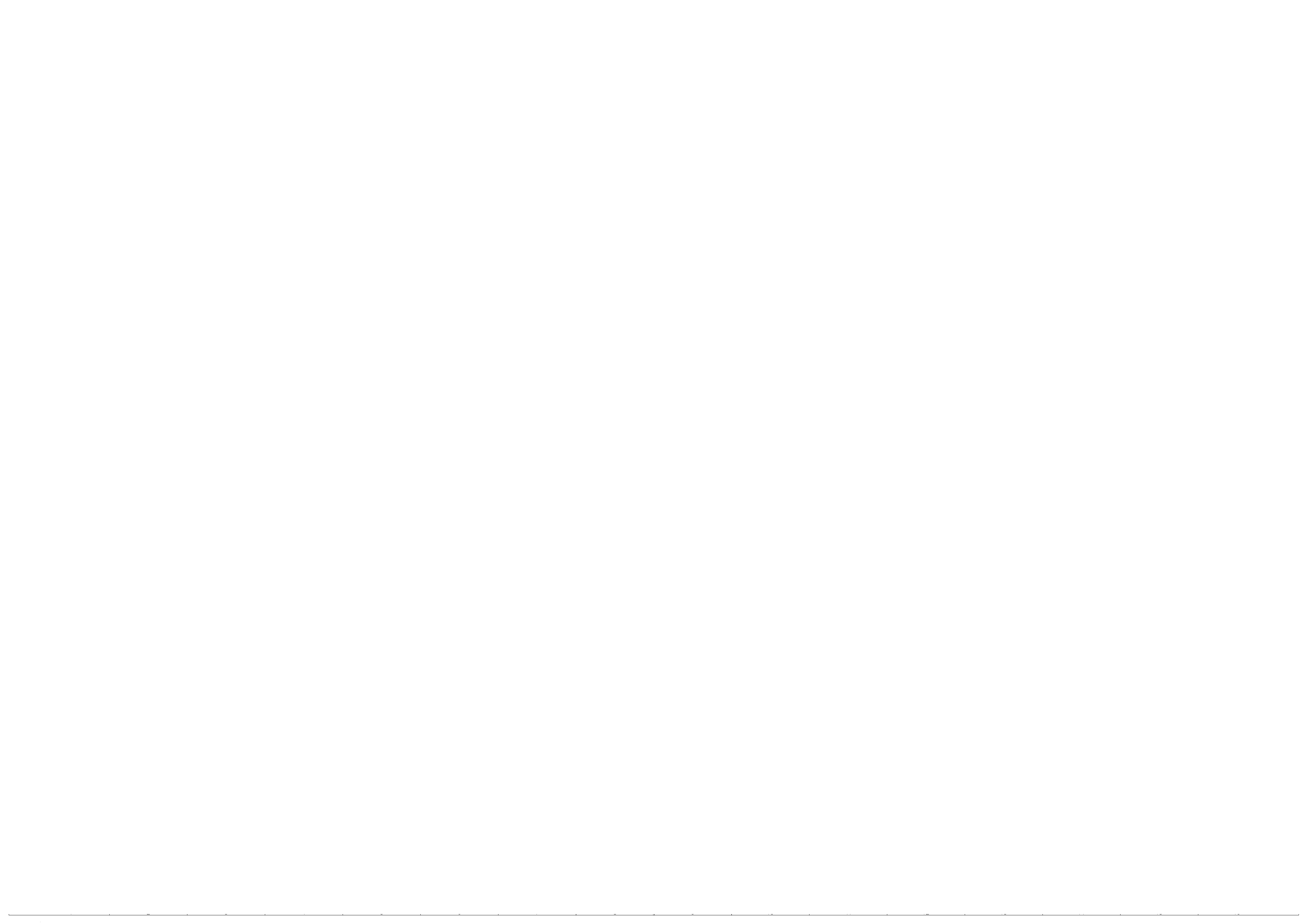
| MONSTEROVERZICHT | | | S: S1V1P3 en K1 bak 13 |
|------------------|---|------------------------------------|--|
| ALGEMEEN | | | |
| Project | Waterkeringsanalyses grondfort te Steenberg | Opdrachtnummer | 1213-0089-010 |
| Opdrachtgever | GKB Visie B.V. | Datum rapport | 08-04-2016 |
| te | Barendrecht | Vervaldatum | 08-06-2016 |
| Contactpersoon | | Datum ontvangst monsters | 25-03-2016 |
| MONSTEROVERZICHT | | | |
| Volgnummer | Type materiaal/omschrijving | Aantal/ Hoeveelheid | Monsternummer(s) |
| 1 | Geroerd monster | 7x 7x 11x 10x 8x 6x | HB11 : 1 t/m 7 HB12 : 1 t/m 7 HB13 : 1 t/m 11 HB14 : 1 t/m 10 HB15 : 1 t/m 8 HB16 : 1 t/m 6 |
| 2 | Ongeroerd monster | 2x | HB12-St2 3.00-3.40 M-MV HB15-St1 1.00-1.15 M-MV |
| 3 | Deel ongeroerd monster | 7x | HB11-St2 HB12-St1 HB12-St3 HB13-St2 HB14-St1 HB14-St2 HB15-St3 |

Bovenstaand is een overzicht gegeven van de monsters, die in het kader van onderhavig onderzoek zijn onderzocht en zich thans nog bevinden in het Laboratorium voor Infra- en Geotechniek. Met "vervaldatum" is de datum aangegeven waarna de monsters, bij geen tegenbericht uwerzijds, uit de monsteropslag zullen worden verwijderd en vernietigd. Wanneer u (een deel van) bovengenoemde monsters na de vervaldatum (eventueel onder geconditioneerde omstandigheden) tegen betaling wenst te laten bewaren, verzoeken wij u dit formulier uiterlijk 1 week vóór de vervaldatum aan ons te retourneren.

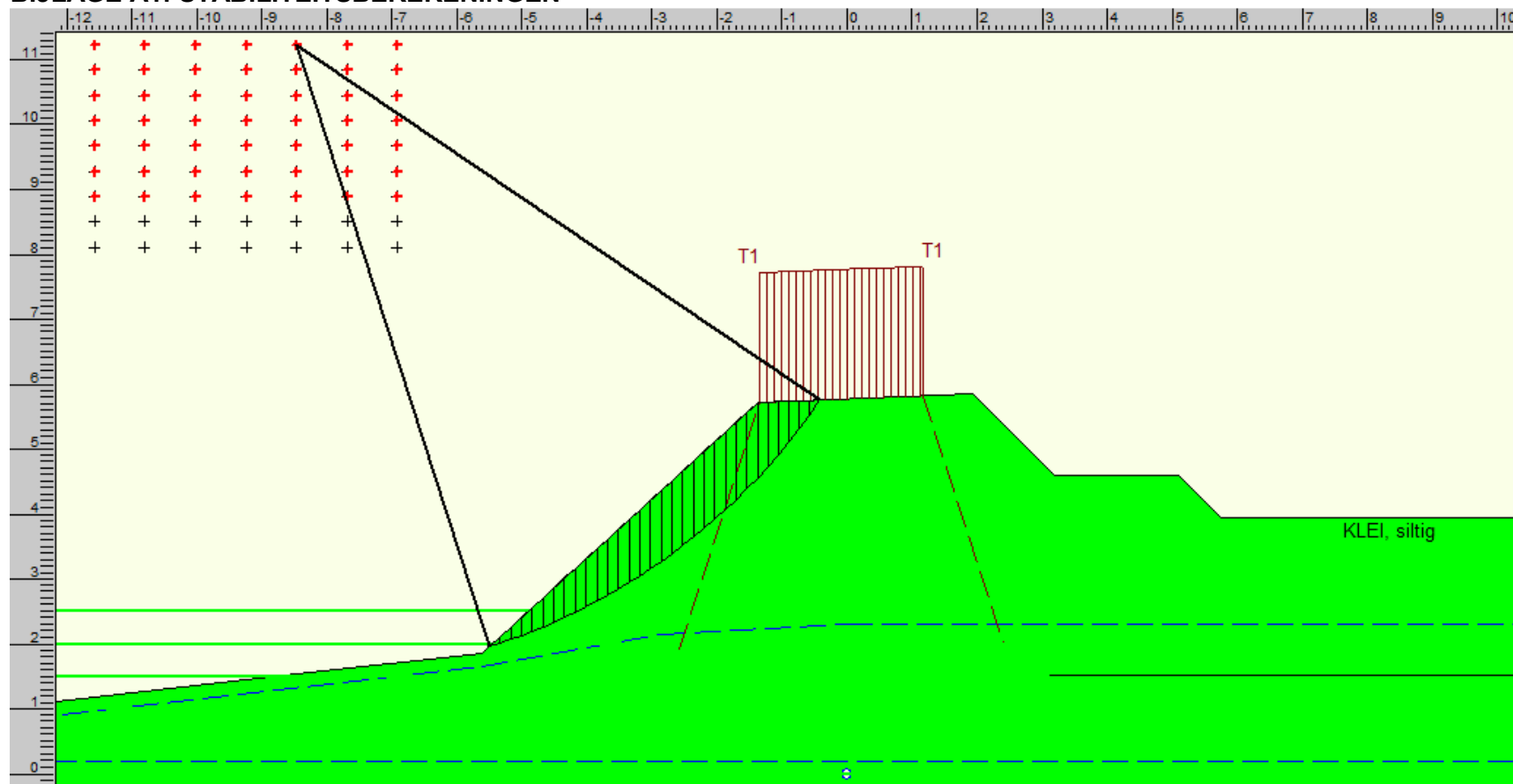
| | | |
|---|------|--------------|
| Ondergetekende verzoekt de monsters te bewaren tot: | | |
| Datum | Naam | Handtekening |
| | | |

| | |
|-----------------|----------------|
| Opgesteld door: | Gecontroleerd: |
|-----------------|----------------|

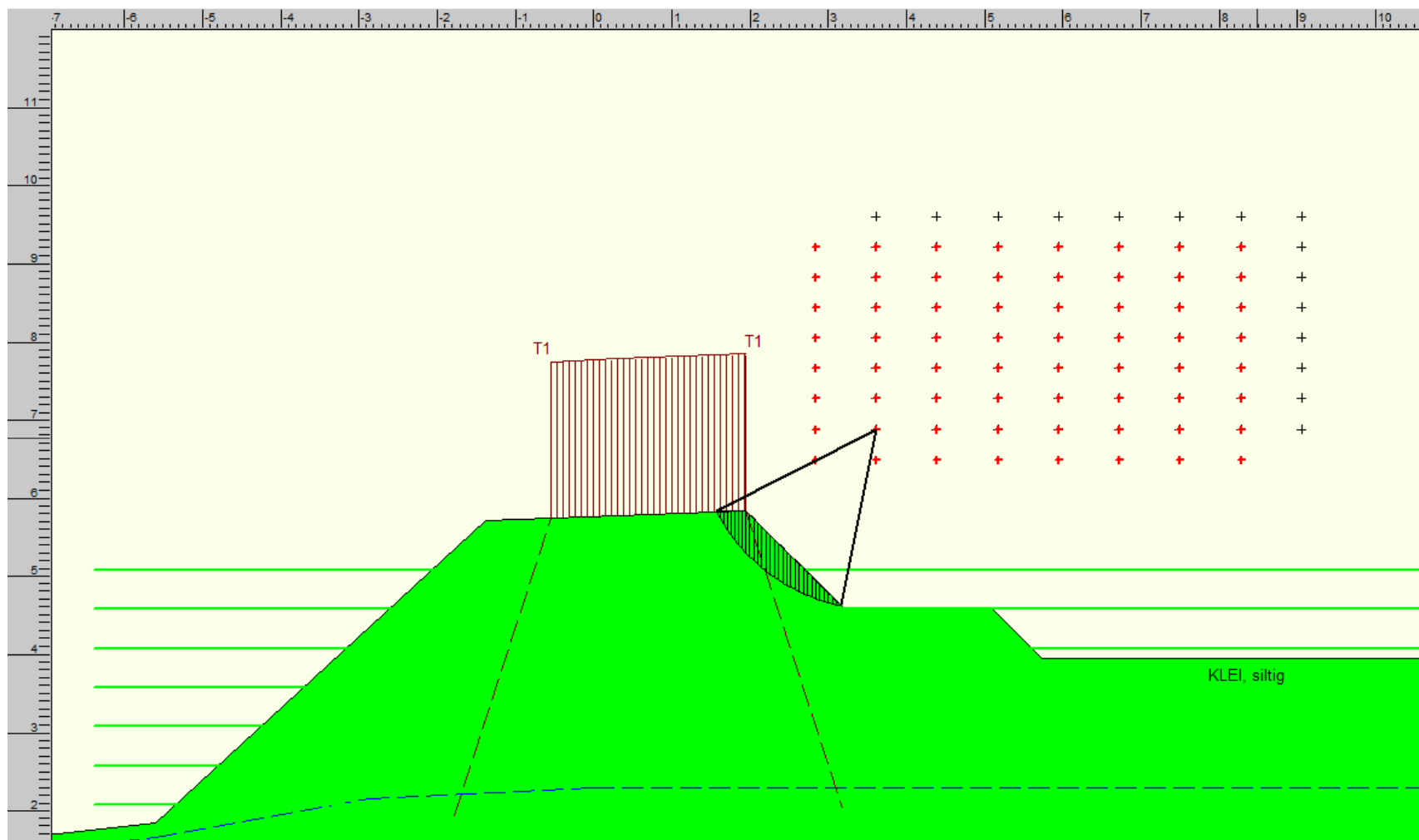
BIJLAGE 3: ONTWERP PROJECTGEBIED (GKB, juni 2016)



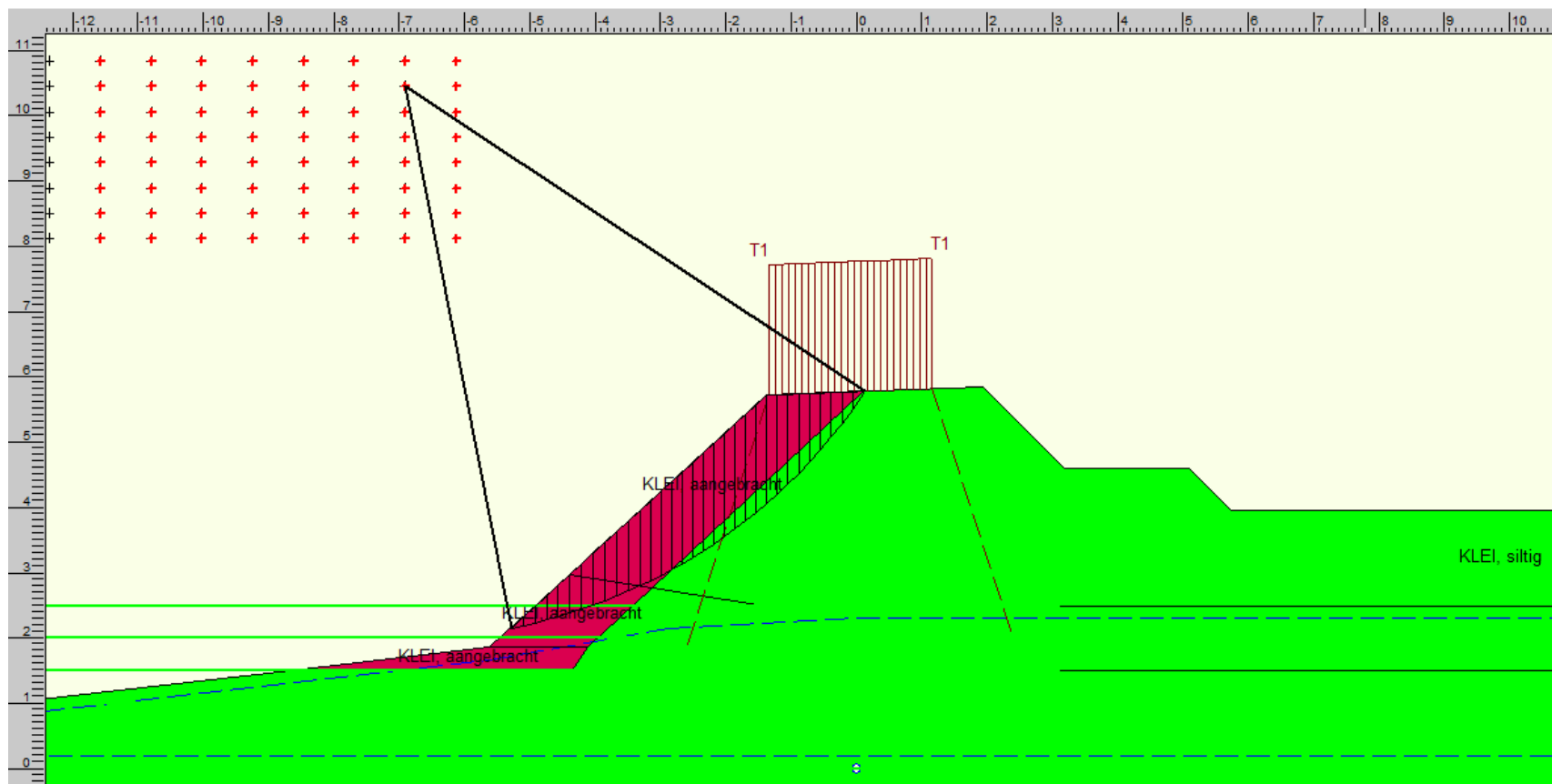
BIJLAGE A1: STABILITEITSBEREKENINGEN



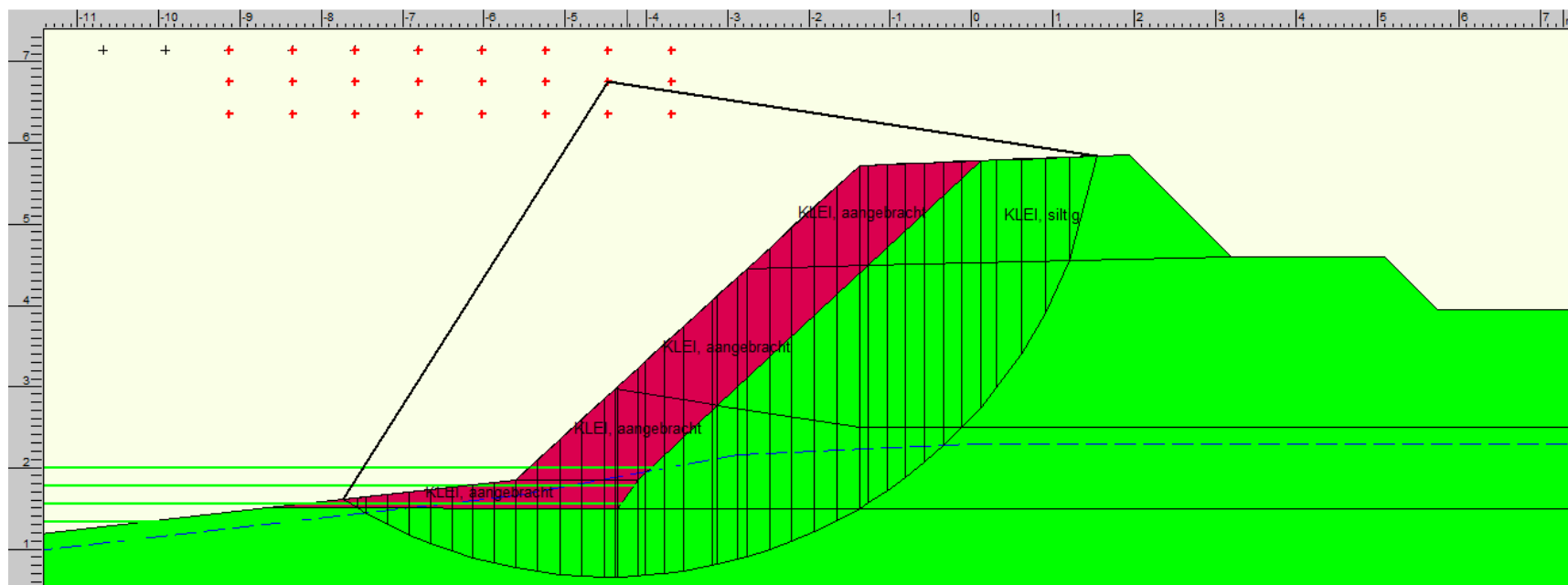
Figuur B1: Berekende glijcirkel bij fort Henricus met methode Bishop. Stabiliteitsfactor 0,87 (eis 1,00).



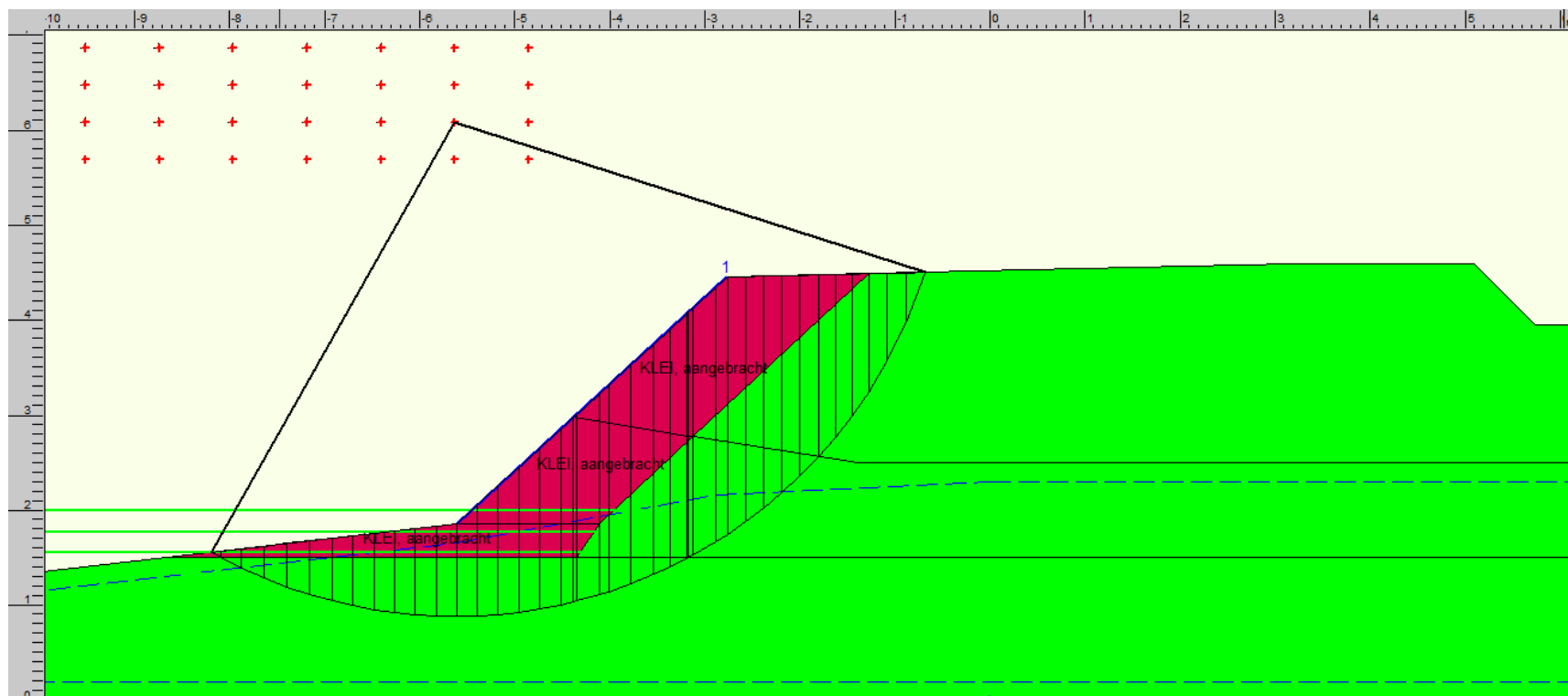
Figuur B2: Berekende maatgevende glijcirkel binnenwaarts bij fort Henricus met methode Bishop. Stabiliteitsfactor 1,12 (eis 1,00).



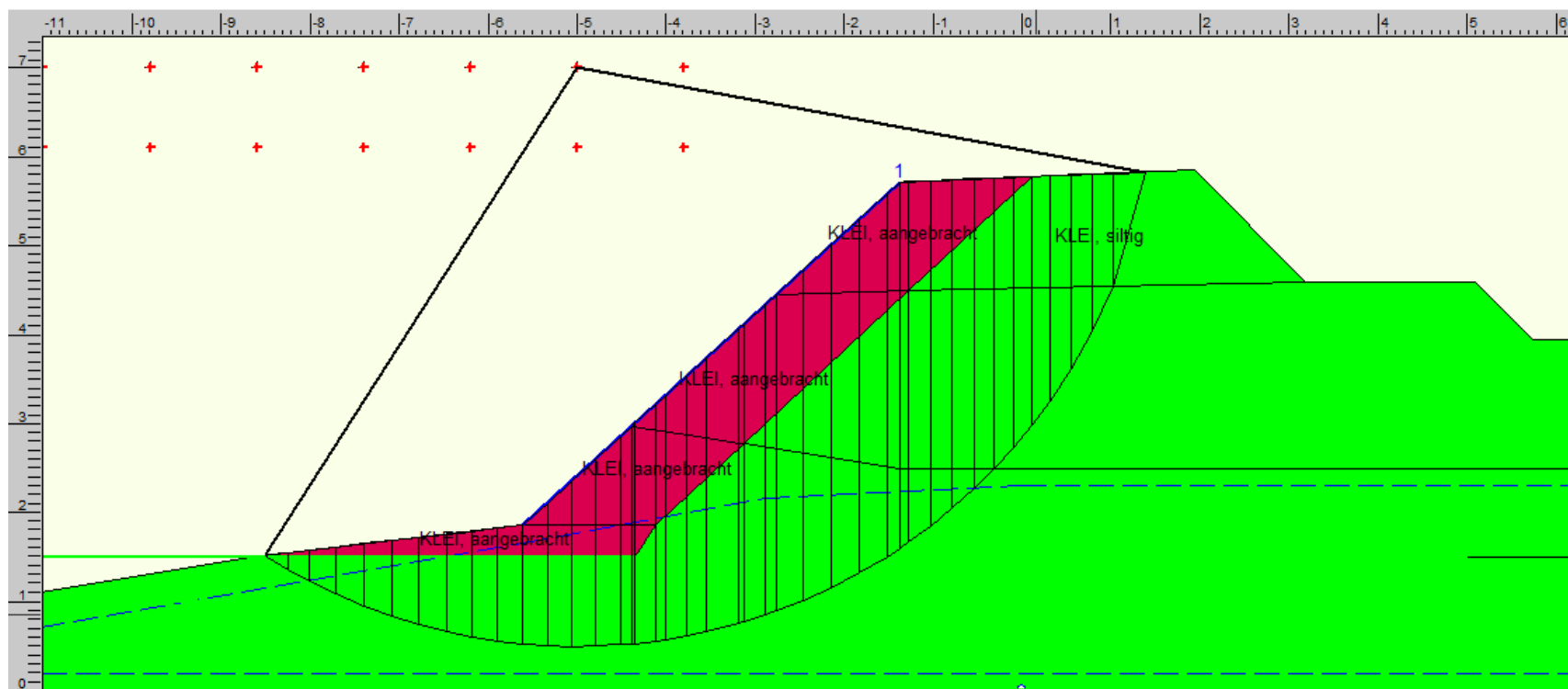
Figuur B3: Berekende glijcirkel bij fort Henricus voor 1,5 m klei bekleding met methode Bishop. Stabiliteitsfactor 0,97 (eis 1,00).



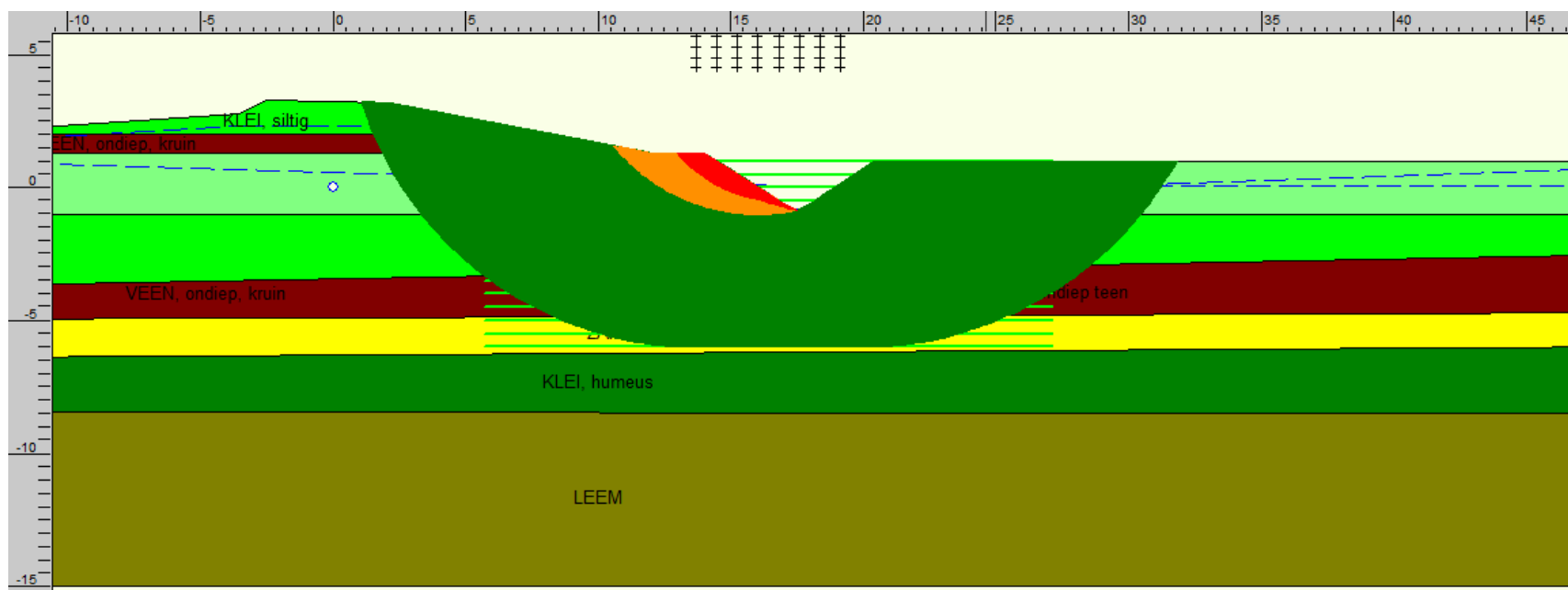
Figuur B4: Berekende glijcirkel bij fort Henricus direct na ophoging bij methode Bishop bij 1 ophoogslag. Stabiliteitsfactor 0,81 (eis 1,00).



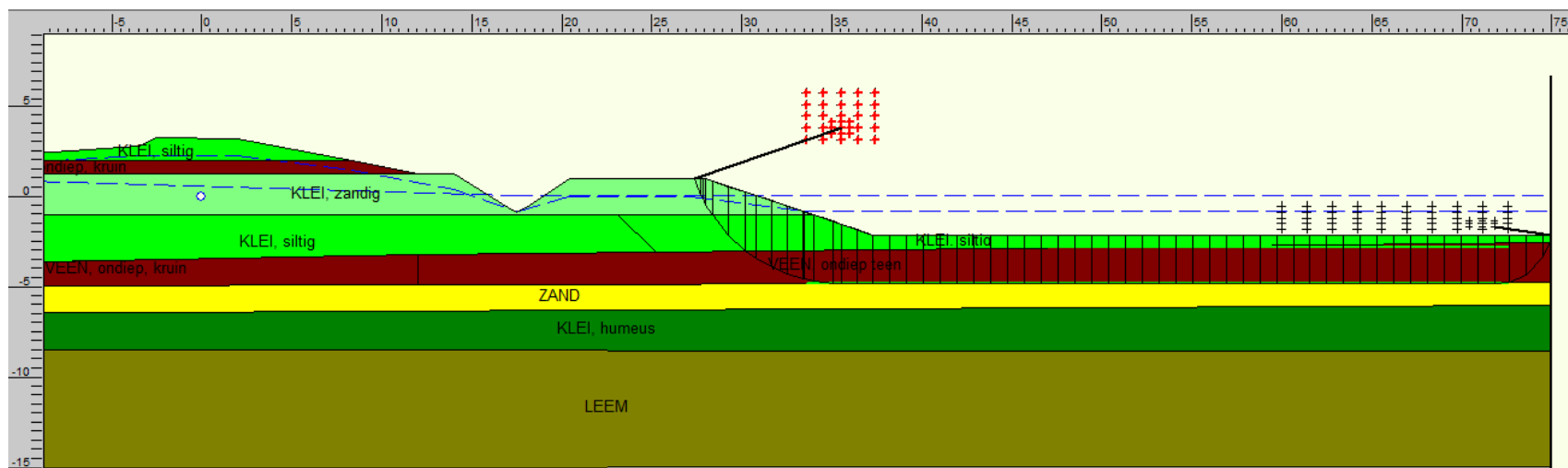
Figuur B5: Berekende glijcirkel bij fort Henricus direct na 1^e ophoogslag van 2,0 m bij methode Bishop. Stabiliteitsfactor 1,00 (eis 1,00).



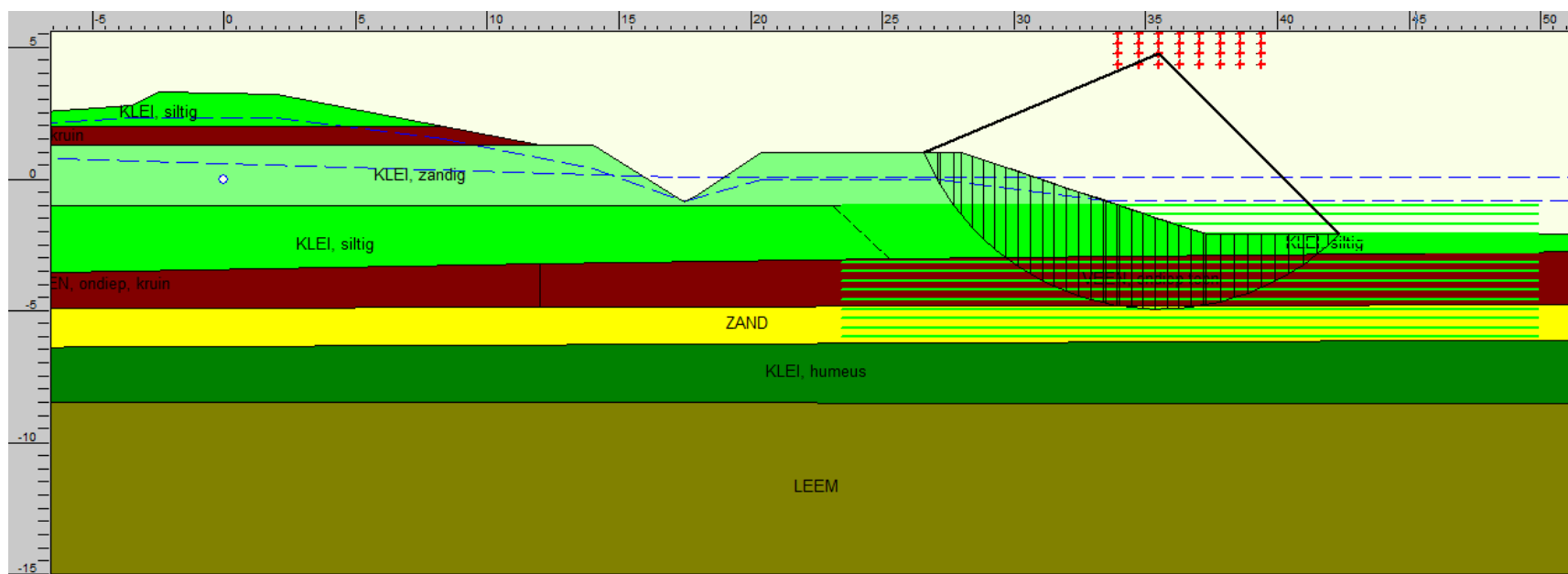
Figuur B6: Berekende glijcirkel bij fort Henricus direct na 2^e ophoogslag bij methode Bishop. Hierbij is aan de linker zijde een talud van 1:6 aangehouden. Stabiliteitsfactor 1,00 (eis 1,00).



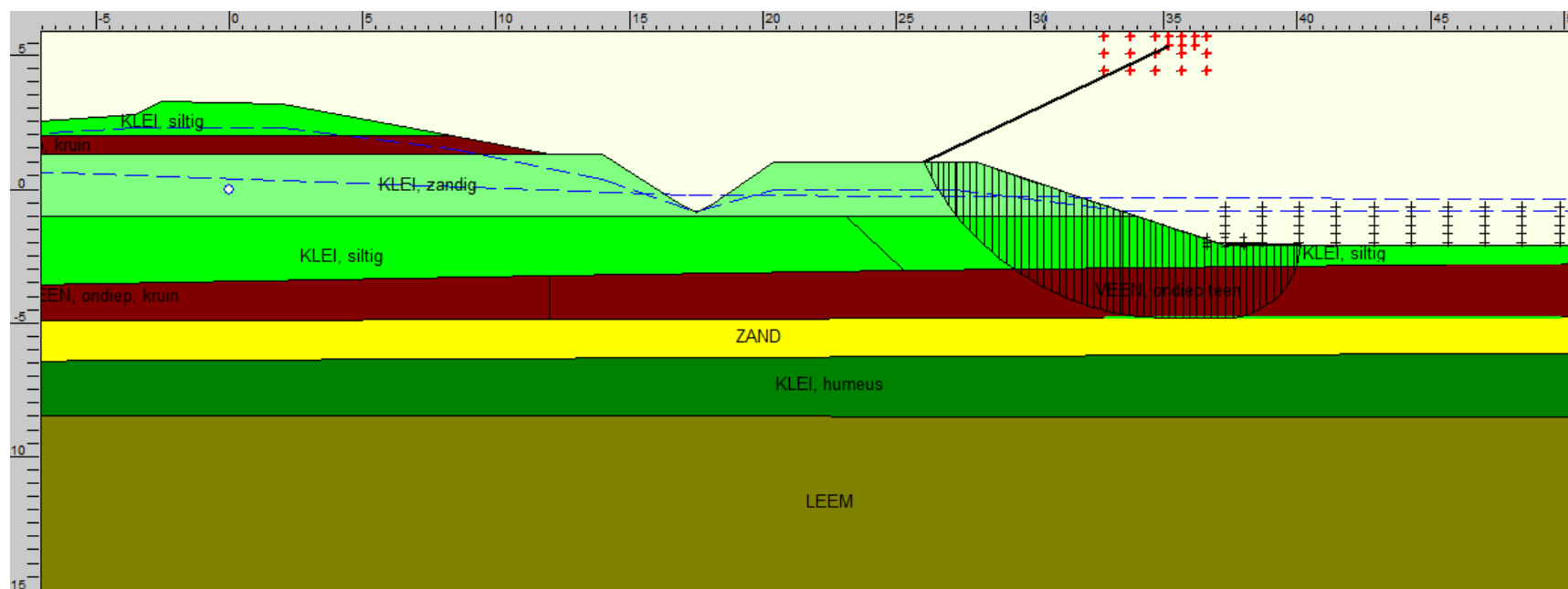
Figuur B7: Berekende glijcirkel bij boezemkade voor de huidige situatie met methode Bishop. Stabiliteitsfactor 0,81 (eis 1,08).



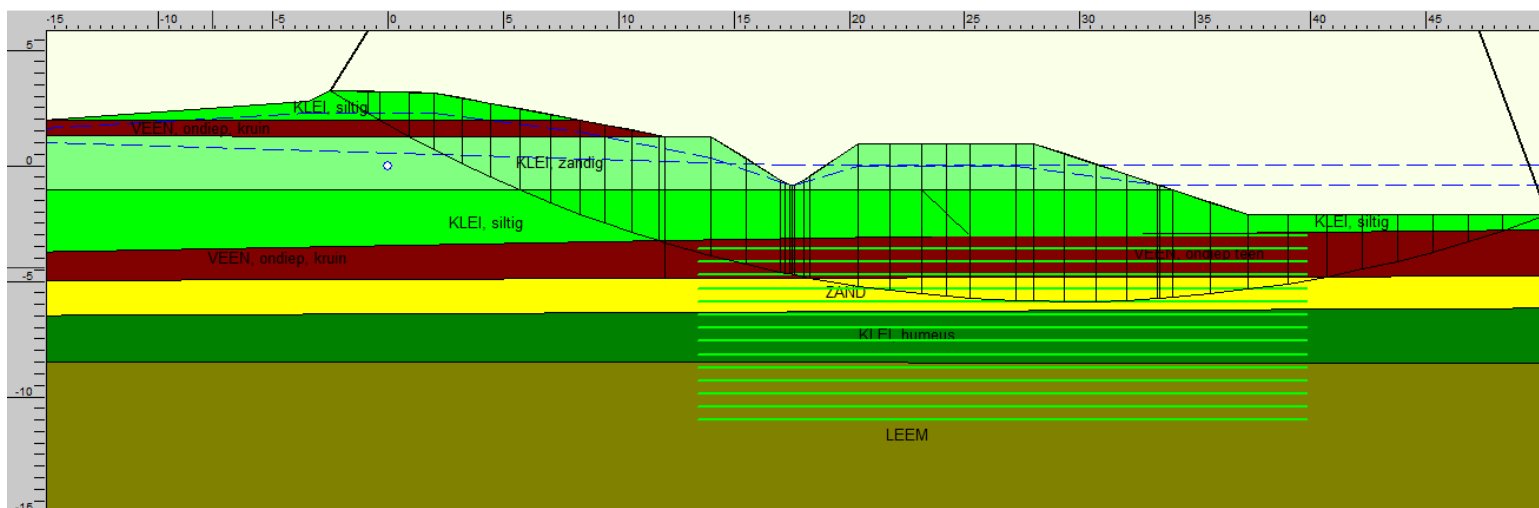
Figuur B8: Berekende glijcirkel bij boezemkade na ontgraving 1:3 en waterdiepte van NAP -2,1 m met methode Uplift Van. Stabiliteitsfactor 0,87 (eis 1,13).



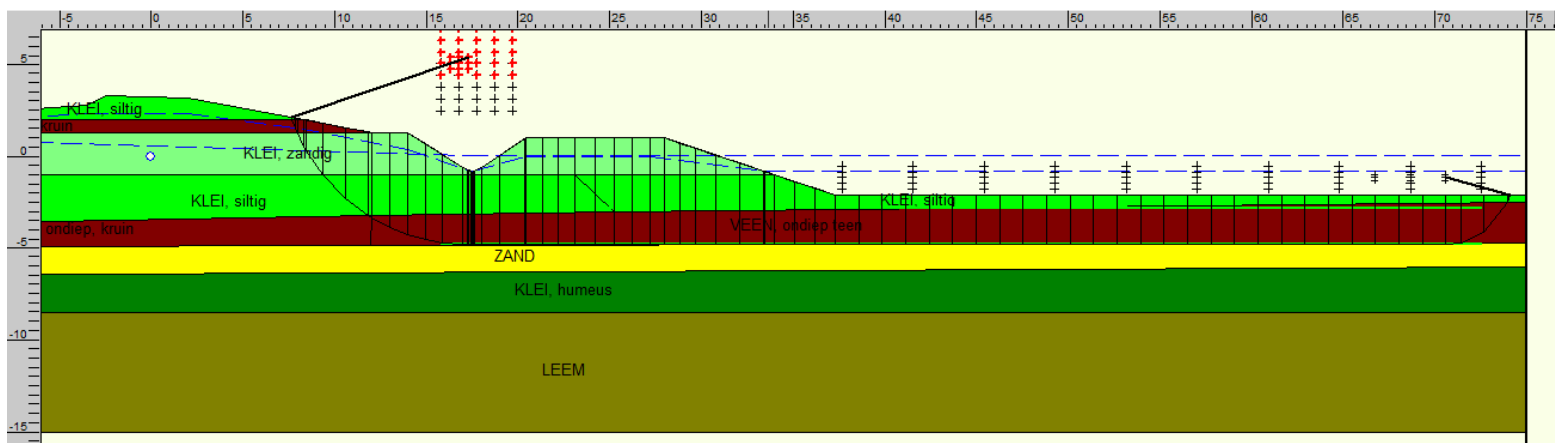
Figuur B9: Berekende glijcirkel bij boezemkade na ontgraving 1:3 en waterdiepte van NAP -2,1 m met methode Bishop. Stabiliteitsfactor 1,05 (eis 1,08).



Figuur B10: Berekende glijcirkel bij boezemkade na ontgraving 1:3 en waterdiepte van NAP -2,1 m met methode Uplift Van. Deze berekening is uitgevoerd bij een stijghoogte in tussenzandlaag van ca. NAP-0,35 m (dagelijkse omstandigheden). Stabiliteitsfactor 1,20 (eis 1,13).



Figuur B11: Berekende glijcirkel bij boezemkade na ontgraving 1:3 en waterdiepte van NAP -2,1 m met methode Bishop. Bij deze berekeningen is gekeken naar maatgevende glijvlakken die de boezemkade zelf doorsnijden. Stabiliteitsfactor 2,05 (eis 1,08).



Figuur B12: Berekende glijcirkel bij boezemkade na ontgraving 1:3 en waterdiepte van NAP -2,1 m met methode Uplift Van. Bij deze berekeningen is gekeken naar maatgevende glijvlakken die de boezemkade zelf doorsnijden. Stabiliteitsfactor 2,19 (eis 1,13).

Tabel 1: Uitgangspunten

| | | | | | |
|--------------------------------------|-------|---------|------------------|------|----------------------|
| MV of integraal ontgravingniveau (x) | 1.00 | [m NAP] | $\gamma_w =$ | 10.0 | [kN/m ³] |
| Ontgravingniveau (y) | -1.00 | [m NAP] | $\gamma_{m,d} =$ | 1 | |
| "Opbarstniveau" (z) | -4.60 | [m NAP] | | | |
| Stijghoogte watervoerende laag | 0.05 | [m NAP] | | | |
| Breedte sleufbodem (2'b) | 0.50 | [m] | | | |
| Talud ontgraving: | 1: | - | | | |
| Grondwaterstand | -0.80 | [m NAP] | | | |
| Taludwerking (1=Ja) (0=Nee) | | | 1 | | JA |

Tabel 2: Bodemopbouw

| Laagnummer | B.k.l. [m NAP] | O.k.l. [m NAP] | Dikte [m] | $\gamma_{rep,dtr}$ [kN/m ³] | $\gamma_{rep,nat}$ [kN/m ³] | $\gamma * d_2$ [kN] | $\gamma * d_1$ [kN] |
|----------------------------|----------------|----------------|-----------|---|---|---------------------|---------------------|
| MV of integraal ontgr. niv | 1.00 | -1.00 | 2.00 | 17.6 | | | 35.2 |
| | 1.00 | -1.00 | 0.00 | 0.0 | | | 0.0 |
| | -1.00 | -1.00 | 0.00 | 0.0 | | | 0.0 |
| | -1.00 | -1.00 | 0.00 | 0.0 | | | 0.0 |
| | -1.00 | -1.00 | 0.00 | 0.0 | | | 0.0 |
| | -1.00 | -1.00 | 0.00 | 0.0 | | | 0.0 |
| Ontgravingniveau | -1.00 | -3.10 | 2.10 | 17.6 | | 37.0 | |
| | -1.00 | -4.60 | 1.50 | | 10.5 | 15.8 | |
| | -3.10 | -4.60 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | |
| | -4.60 | -4.60 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | |
| | -4.60 | -4.60 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | |
| | -4.60 | -4.60 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | |
| | -4.60 | -4.60 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | |
| | -4.60 | -4.60 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | |
| | -4.60 | -4.60 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | |
| "Opbarstniveau" (z) | -4.60 | -4.60 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | |
| totaal: | | | | | | 52.7 | 35.2 |

Tabel 3: Eindresultaat inclusief taludwerking van sleuf

| | |
|--|---------------------------|
| VERTICAAL EVENWICHT VAN DE BOUWPUTBODEM MOET VOLDOEN AAN: $(\gamma_{2,d} d_{2,d} \gamma_{m,d} + f \gamma_{1,d} d_{1,d}) / P_o >$ | |
| 72.2 | > 1.1 |
| / | > 1.1 |
| 46.5 | > |
| VOLDOENDE VEILIGHEID TEGEN OPBARSTEN, VEILIGHEID > 1.0 Overall veiligheid 1.55 | |
| Benodigde maximale waterdruk t.b.v. veiligheid: | 72.2 [kN/m ²] |
| Benodigde spanningsverlaging | n.v.t. [m] |
| Maximale stijghoogte | n.v.t. [m tov NAP] |

BEREKENING VERTICAAL EVENWICHT VOLGENS NEN 9997-1
WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

Opr.dr.nr. : 1213-0089-010

Sondering : DKM12

Bijlage : A2.1

Tabel A t/m C: berekeningen
Tabel A: Grondwaterdruk onder opbarstniveau

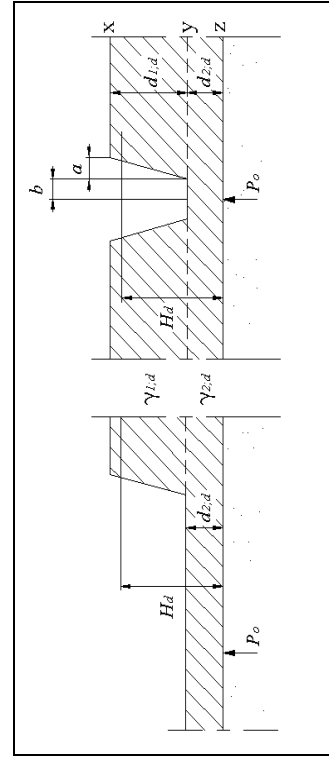
| | |
|------------------------------------|--|
| Grondwaterdruk onder opbarstniveau | Grondwaterdruk direct onder de afsluitende laag (opbarstniveau) op diepte z beneden de bouwputbodem [kN/m ²] |
| $P_{z,d}$ | 46.5 [kN/m ²] |
| $P_{z,d} = H_d \cdot \gamma_w$ | |

Tabel B: Gronddruk tussen ontgravingniveau en opbarstniveau

| | |
|---|---|
| Gronddruk lagen d_2 | Gewicht grond van de lagen vanaf de bouwputbodem tot beschouwd opbarstniveau (z). |
| $\gamma_{2,d} d_{2,d}$ | 52.7 [kN/m ²] |
| $\gamma_{2,d} d_{2,d} / \gamma_{m,d} =$ | |

Tabel C: taludwerking

| | |
|---|---|
| Spanningsverspreiding door ter weerszijde van de ontgraving aanwezige hogere grondbelasting | |
| a | breedte cunet zie NEN 6740 par 14.3 |
| 1/2b | breedte bodem |
| d_1 | ontgravingdiepte |
| d_2 | verschil tussen b.k. pleistoceen en ontgraving talud ontgraving |
| talud 1: | 1.50 |
| 1/2b/ d_2 | 0.07 |
| f | 0.50 |
| $\gamma_{1,d} d_{1,d}$ | 35.2 |
| f $\gamma_{1,d} d_{1,d}$ | 17.5 [kN/m ²] (inclusief $\gamma_{m,d} = 0.9$) |



Tabel 1: Uitgangspunten

| | | | | | |
|--------------------------------------|-------|---------|------------------|------|----------------------|
| MV of integraal ontgravniveau (x) | 1.00 | [m NAP] | $\gamma_w =$ | 10.0 | [kN/m ³] |
| Ontgravniveau (y) | -2.10 | [m NAP] | $\gamma_{m,d} =$ | 1 | |
| "Opbarstniveau" (z) | -4.60 | [m NAP] | | | |
| Stijgheighte watervoerende laag | 0.05 | [m NAP] | | | |
| Breedte sleufbodem (2'b) | 0.50 | [m] | | | |
| Talud ontgraving: | 1: | | | | |
| Grondwaterstand | -0.80 | [m NAP] | | | |
| Taludwerking (1=Ja) 0 NEE (0=Nee) | | | | | |

Tabel 2: Bodemopbouw

| Laagnummer | B.k.l. [m NAP] | O.k.l. [m NAP] | Dikte [m] | $\gamma_{rep,d}$ [kN/m ³] | $\gamma_{rep,nat}$ [kN/m ³] | $\gamma * d_2$ [kN] | $\gamma * d_1$ [kN] |
|----------------------------|----------------|----------------|-----------|---------------------------------------|---|---------------------|---------------------|
| MV of integraal ontgr. niv | 1.00 | | | | | | |
| KLEI, siltig | 1.00 | -2.10 | 3.10 | 17.6 | | | 54.6 |
| | | -2.10 | 0.00 | 0.0 | | | 0.0 |
| | | -2.10 | 0.00 | 0.0 | | | 0.0 |
| | | -2.10 | 0.00 | 0.0 | | | 0.0 |
| | | -2.10 | 0.00 | 0.0 | | | 0.0 |
| Ontgravniveau | -2.10 | | | | | | |
| KLEI, siltig | -2.10 | -3.10 | 1.00 | 17.6 | | 17.6 | |
| VEEN | -3.10 | -4.60 | 1.50 | | 10.5 | 15.8 | |
| | | -4.60 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | |
| | | -4.60 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | |
| | | -4.60 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | |
| | | -4.60 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | |
| | | -4.60 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | |
| | | -4.60 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | |
| "Opbarstniveau" (z) | -4.60 | | | | | | |
| totaal: | | | | | | 33.4 | 54.6 |

Tabel 3: Eindresultaat integrale ontgraving (zonder taludwerking bij sleuf)

| | | | | |
|--|------|----------------------|---|-----|
| VERTICAAL EVENWICHT VAN DE BOUWPUTBODEM MOET VOLDOEN AAN: $(\gamma_{2,d} d_{2,d} \gamma_{m,d}) + f \gamma_{1,d} d_{1,d} / P_{z,d} > 1.1$ | | | | |
| 46.4 | / | 46.5 | > | 1.1 |
| Resultaat ONVOLDOENDE VEILIGHEID TEGEN OPBARSTEN BODEM!! , VEILIGHEID < 1,0 Overall veiligheid 1.00 | | | | |
| Benodigde maximale waterdruk t.b.v. veiligheid: | 46.4 | [kN/m ²] | | |
| Benodigde spanningsverlaging | 0.01 | [m] | | |
| Maximale stijgheighte | 0.04 | [m tov NAP] | | |

BEREKENING VERTICAAL EVENWICHT VOLGENS NEN 9997-1
WATERKERINGSANALYSES GRONDFORT TE STEENBERGEN

Opr.dr.nr. : 1213-0089-010

Sondering : DKM12

Bijlage : A2.2

Tabellen A t/m C: berekeningen
Tabel A: Grondwaterdruk onder opbarstniveau

| | |
|------------------------------------|--|
| Grondwaterdruk onder opbarstniveau | Grondwaterdruk direct onder de afsluitende laag (opbarstniveau) op diepte z beneden de bouwputbodem [kN/m ²] |
| $P_{z,d}$ | 46.5 [kN/m ²] |
| $P_{z,d} = H_d \cdot \gamma_w$ | |

Tabel B: Gronddruk tussen ontgravniveau en opbarstniveau

| | |
|---|---|
| Gronddruk lagen d_2 | Gewicht grond van de lagen vanaf de bouwputbodem tot beschouwd opbarstniveau (z). |
| $\gamma_{2,d} d_{2,d}$ | 33.4 [kN/m ²] |
| $\gamma_{2,d} d_{2,d} / \gamma_{m,d} =$ | |

Tabel C: taludwerking

| | |
|---|--|
| Spanningsverspreiding door ter weerszijde van de ontgraving aanwezige hogere grondbelasting | |
| a | breedte cunet zie NEN 6740 par 14.3 |
| 1/2b | breedte bodem |
| d_1 | ontgravningsdiepte |
| d_2 | verschil tussen b.k. pleistoceen en ontgraving |
| talud 1: | talud ontgraving |
| 1/2b/ d_2 | 0.10 |
| f | 0.27 |
| $\gamma_{1,d} d_{1,d}$ | 54.6 |
| f $\gamma_{1,d} d_{1,d}$ | 0.0 [kN/m ²] (inclusief $\gamma_{m,d} = 0.9$) |

