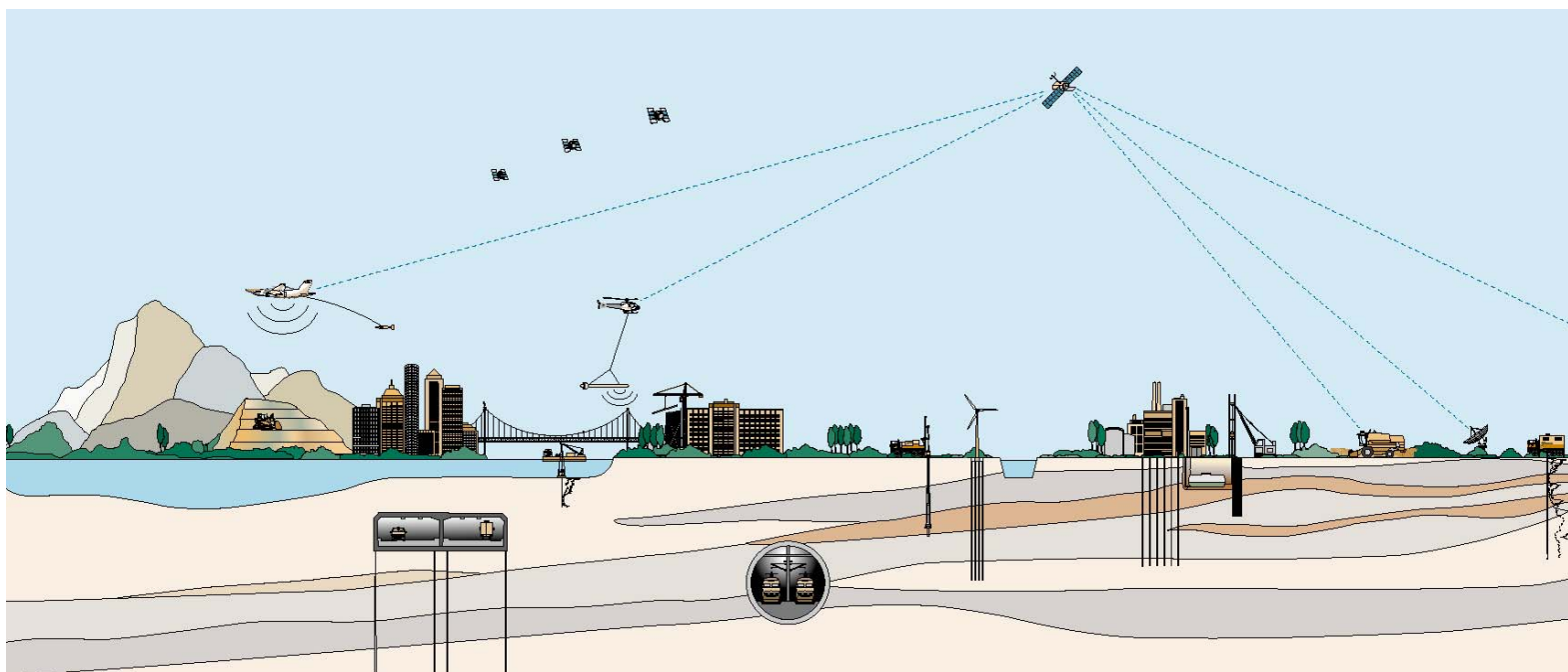


GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN ADVIES
ZETTING EN STABILITEIT
betreffende

**PROJECT NOORDAKKER TE
ROELOFARENDVEEN - FASE 2**

Opdrachtnummer: 4014-0016-010



GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN ADVIES
ZETTING EN STABILITEIT
betreffende

**PROJECT NOORDAKKER TE
ROELOFARENDSDVEEN - FASE 2**

Opdrachtnummer: 4014-0016-010

Opdrachtgever : Braassemerland V.O.F.
Postbus 9043
3430 RA Nieuwegein

Datum grondonderzoek : 23 juli 2014

Projectleider : ir. F.C.M. Seignette
Senior Adviseur Geotechniek

Opgesteld door : ing. A.O. Aparicio Sáez
Adviseur Geotechniek

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	28 augustus 2014	eerste versie	

FILE: 4014-0016-010_31.R01

INHOUDSOPGAVE

Blz.

1. INLEIDING	1
2. PROJECTOMSCHRIJVING	3
3. GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN BODEMGESTELDHEID	4
3.1 Algemeen	4
3.2 Globale bodemgesteldheid	4
3.3 Grondwaterstand	4
3.4 Grondparameters	5
4. GEOTECHNISCHE ANALYSES	6
4.1 Algemeen	6
4.2 Uitgangspunten	6
4.3 Zettingsberekeningen	7
5. UITVOERING	12
5.1 Algemeen	12
6. Lijst van begrippen en definities	13

BIJLAGEN

Nr.

Geotechnisch onderzoek

- Rapportage Geotechnisch Veldwerk	4014-0016-010_21_KR01
------------------------------------	-----------------------

Advies

- Bijlage zettingsanalyse	1
---------------------------	---

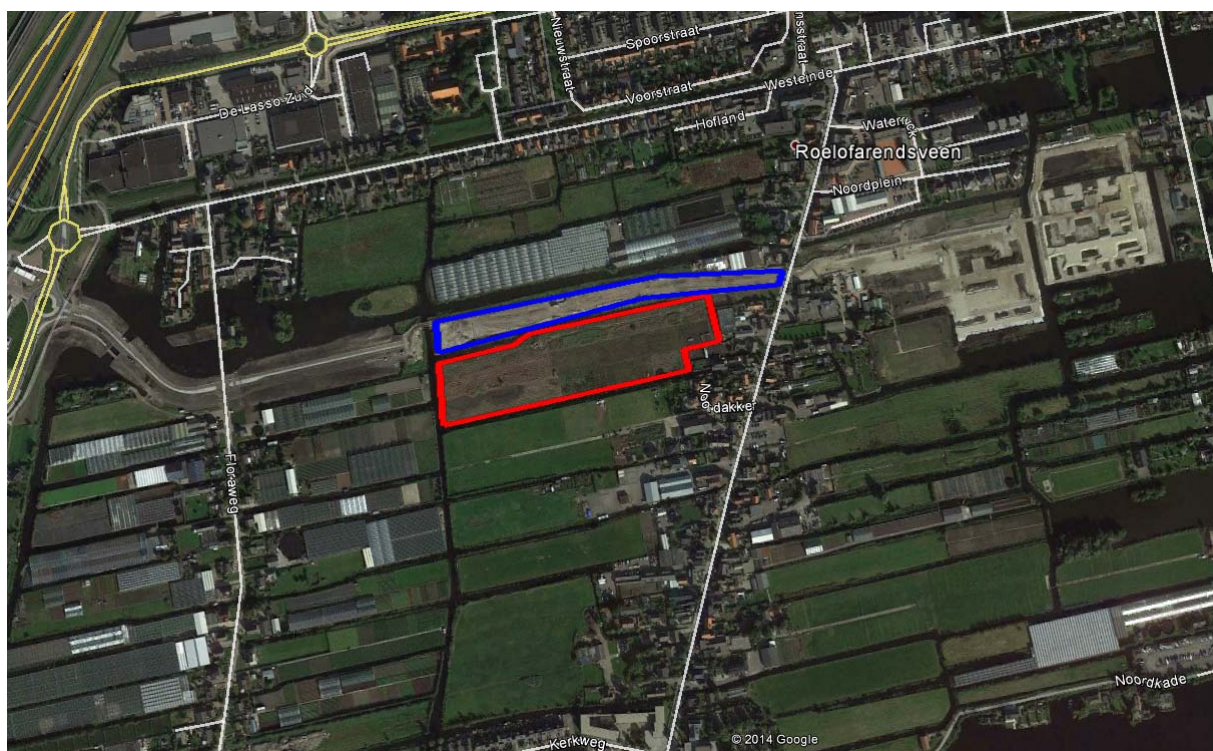
1. INLEIDING

Op 2 juli 2014 ontving Fugro GeoServices B.V. te Amsterdam van Braassemerland VOF te Nieuwegein, de opdracht voor het uitvoeren van een geotechnisch onderzoek alsmede het uitbrengen van een ophogings- / zettingsanalyse voor het project Noordakker te Roelofarendsveen - fase 2.

Fugro GeoServices B.V. heeft in het verleden een grondonderzoek (met laboratoriumproeven), zettingsberekeningen en monitoringswerkzaamheden uitgevoerd voor het project Ontsluitingsweg Infra 1B (projectnummer 4011-0171-000), gelegen ten noorden van de huidige projectlocatie.

Voor dit project is naast het uitgevoerde grondonderzoek, gebruik gemaakt van het grondonderzoek en laboratoriumonderzoek van het project Ontsluitingsweg Infra 1B (4011-0171-000).

Op figuur 1-1 is het projectgebied met rood gearceerd en het project Ontsluitingsweg Infra 1B (projectnummer 401-0171-000) met blauw.



figuur 1-1: Projectlocatie (bron: google earth)

De resultaten van dit onderzoek zijn gebaseerd op de opdracht en de in het rapport beschreven uitgangspunten. Fugro neemt geen verantwoordelijkheid voor de juistheid van andere dan door ons gerapporteerde conclusies en interpretaties. De gerapporteerde resultaten van het geotechnisch onderzoek mogen slechts worden gehanteerd voor het doel zoals in de opdracht is beschreven.

Dit rapport bevat:

- Een projectomschrijving (hoofdstuk 2);
- een beschrijving van het uitgevoerde geotechnisch onderzoek en de bodemgesteldheid (hoofdstuk 3);
- een geotechnische analyse van de zetting (hoofdstuk 4);
- aanbevelingen voor de uitvoering (hoofdstuk 5);

3. GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN BODEMGESTELDHEID

3.1 Algemeen

Het geotechnisch onderzoek voor dit project heeft bestaan uit:

- 8 diepsonderingen met meting van de plaatselijke wrijving (code DKM) tot circa 20 m diepte.
- 2 handboringen (code HB) tot circa 3 m diepte ter verkenning van de toplagen.

De resultaten hiervan, eventuele afwijkingen van de opdracht en opmerkingen zijn gepresenteerd in de bijlagen "Rapportage Geotechnisch Veldwerk".

Daarnaast is gebruik gemaakt van het geotechnisch onderzoek wat is uitgevoerd voor de Ontsluitingsweg Infra 1B (4011-0171-000) ten noorden van het projectgebied.

Dit geotechnisch onderzoek heeft bestaan uit:

- 6 diepsonderingen met meting van de plaatselijke wrijving (code DKM) tot circa 20 m diepte.
- 1 mechanische boring (code B) tot circa 12 m diepte inclusief het steken van ongeroerde monsters en laboratoriumonderzoek.

3.2 Globale bodemgesteldheid

De maaiveldniveaus ter plaatse van de sondeerlocaties varieerden ten tijde van het onderzoek van NAP -1,05 tot NAP -1,23 m. In de berekeningen is uitgegaan van een gemiddeld maaiveldniveau van NAP -1,2 m.

Op basis van het grondonderzoek kan de bodemgesteldheid globaal worden geschematiseerd zoals in tabel 3-1 is weergegeven. Sondering DKM 1 is als representatief gesteld. De globale bodemgesteldheid is tevens naast de sondeergrafieken en op de handboorstaten in de bijlagen weergegeven.

tabel 3-1: Globale bodemgesteldheid (representatieve sondering DKM 1)

Diepte in m t.o.v. NAP			Bodembeschrijving	
gem. -1,2	tot	-1,7	ZAND	licht kleihoudend, toplaag
-1,7	tot	-2,5	KLEI	siltig
-2,5	tot	-4,75	VEEN	
-4,75	tot	-5,0	KLEI	
-5,0	tot	-6,0	KLEI	zandig
-6,0	tot	-11,0	KLEI	siltig
-11,0	tot	-11,5	VEEN	basis holocene afzetting
-11,5	tot	ca. -21,0	ZAND	vast gepakt
ca. -21,0			Maximaal verkende diepte	

3.3 Grondwaterstand

Het peil van de nabijgelegen sloot is gedurende het grondonderzoek ingemeten op NAP -1,5 m, overeenkomend met het streefpeil van de sloot. Deze grondwaterstand is in de berekeningen als uitgangspunt gehanteerd.

3.4 Grondparameters

Op basis van de resultaten van het grondonderzoek, tabel 2b uit de NEN 9997-1, een laboratoriumonderzoek op de genomen monsters van de mechanische boring uit project Ontsluitingsweg Infra 1B (projectnummer 4011-0171-000) en ervaring met vergelijkbare projecten zijn de stijfheidsparameters voor de verschillende grondlagen afgeleid (tabel 3-2).

Daarnaast is in de berekeningen uitgegaan dat het terrein in het verleden enigszins is voorbelast. Zodoende is uitgegaan van een grensspanning t.o.v. korrelspanning (σ_v') van +4,0 kN/m².

tabel 3-2: globale bodemgesteldheid en stijfheidsparameters (representatieve sondering DKM 1)

Grondlaag	Bovenkant laag [m NAP]	$\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	C_p' [-]	C_s' [-]	C_v [m ² /s]
ZAND, licht kleihoudend, top laag	gem. -1,2	18,0 / 18,0	100	400	$1,0 * 10^{-03}$
KLEI, siltig	-1,7	15,0 / 15,0	15	85	$8,0 * 10^{-08}$
VEEN	-2,5	10,5 / 10,5	6	35	$5,0 * 10^{-07}$
KLEI	-4,75	13,5 / 13,5	9	70	$8,5 * 10^{-08}$
KLEI, zandig	-5,0	16,5 / 16,5	19	130	$2,1 * 10^{-07}$
KLEI, siltig	-6,0	15,0 / 15,0	12	78	$8,0 * 10^{-08}$
VEEN, basis holocene afzetting	-11,0	12,0 / 12,0	9	45	$5,0 * 10^{-07}$
ZAND, vast gepakt	-11,5	18,0 / 20,0	500	10.000	$1,0 * 10^{-03}$

Opmerkingen:

- $\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ = volumiek gewicht; sat = verzadigd.
- C_p' = primaire samendrukkingcoëfficiënt na de grensspanning (de spanning voor de grensspanning is 4x zo hoog).
- C_s' = secundaire samendrukkingcoëfficiënt na de grensspanning (de spanning voor de grensspanning is 4x zo hoog).
- C_v = consolidatiecoëfficiënt.
- POP = 4,0 kN/m², grensspanning t.o.v. terreinspanning.

4. GEOTECHNISCHE ANALYSES

4.1 Algemeen

Het project betreft het bouwrijp maken van het terrein voor het project Noordakker te Roelofarendsveen. Het terrein wordt deels met zand (ter plaatse van de toekomstige wegdelen) en deels met kleigrond (ter plaatse van de woningen) opgehoogd.

4.2 Uitgangspunten

In de berekeningen zijn de volgende, mede door de opdrachtgever verstrekte, uitgangspunten gehanteerd:

- Er is gebruik gemaakt van het door Fugro GeoServices B.V. uitgevoerde grondonderzoek (4014-0016-010-DKM1 t/m -DKM9 en 4014-0016-010-HB1 en -HB2).
- Daarnaast is gebruik gemaakt van het grondonderzoek van een project Ontsluitingsweg Infra 1B (projectnummer 4011-0171-000) gelegen ten noorden van het projectgebied (4011-0171-000-DKM2 t/m -DKM7 en 4011-0171-000-B1).
- Sondering 4014-0016-010-DKM1 is als representatief voor de bodemopbouw van het terrein aangehouden.
- De grondwaterstand is aangehouden op NAP -1,5 m.
- Het huidige maaiveld is aangehouden op NAP -1,2 m.
- Ter plaatse van de toekomstige woningen wordt het terrein netto met 0,6 m met kleigrond (tot NAP -0,6 m) opgehoogd. Voor kleigrond is een volumiek gewicht aangehouden van $14 / 14 \text{ kN/m}^3 (\gamma / \gamma_{\text{sat}})$.
- Om het zettingsproces te versnellen wordt ter plaatse van de toekomstige woningen een tijdelijke extra overhoogte van kleigrond tot NAP -0,2 m toegepast.
- Ter plaatse van de toekomstige wegverharding wordt het terrein netto met 0,8 m zand (tot NAP -0,4 m) opgehoogd. Voor zand is een volumiek gewicht aangehouden van $18 / 20 \text{ kN/m}^3 (\gamma / \gamma_{\text{sat}})$.
- Om ook hier het zettingsproces te versnellen wordt het terrein met een tijdelijke extra overhoogte van zand tot NAP +1,4 m toegepast.
- Tevens wordt ter plaatse van de zandophoging verticale drainage h.o.h. 1,5 m geïnstalleerd om de consolidatietijd te verkorten.
- Voor de nieuwe wegdelen wordt, conform de opdrachtgever, een restzettingseis van 0,15 m in 30 jaar gehanteerd.
- Aangezien ter plaatse van de ophoging met kleigrond voor aanvang van de woningbouw het maaiveld verder wordt ontgraven is aan de kleigrond ophoging geen restzettingseis gesteld.
- In de berekeningen is uitgegaan van een voorbelastperiode van 1 jaar.
- Om het grondwater van de verticale drainage af te voeren naar de naastgelegen sloot wordt uitgegaan van de toepassing van horizontale drainage, conform de aangeleverde tekeningen.

De ophoging, inclusief tijdelijke voorbelasting, dient over de volle lengte aaneensluitend en met vloeiende overgangen te worden aangelegd om te voorkomen dat te grote zettingsverschillen ontstaan door een verschil in voorbelastingsduur en ophogingen.

Gezien de gelijkmatigheid van de bodemopbouw is één bodemprofiel opgesteld en doorgerekend, echter aangezien het terrein met twee grondsoorten wordt opgehoogd zijn diverse zettingsberekeningen uitgevoerd.

4.3 Zettingsberekeningen

4.3.1 Zetting

Door het aanbrengen van ophogingen zal een zettingsproces op gang worden gebracht. De zettingen worden veroorzaakt door verhogingen van de korrelspanningen. Deze korrelspanningen worden beïnvloed door het aanbrengen of weghalen van ophogingen en veranderingen in de grondwaterstanden. De zettingen treden tijdsafhankelijk op. Enerzijds is sprake van het uitdrijven van water (consolidatie gedurende de hydrodynamische periode), anderzijds treedt kruip op (ook wel secundaire zakking genoemd). De berekende zettingen betreffen theoretische eindzettingen en zullen pas na geruime tijd worden bereikt. Hiervoor is een periode van 30 jaar in acht genomen. Het zettingsproces gedurende de consolidatiefase kan in het algemeen worden versneld door het aanbrengen van drains in de samendrukbare lagen en het eventueel aanbrengen van een tijdelijke overhoogte.

De zettingen zijn berekend met de formule van Koppejan (gecombineerde formule Terzaghi-Buisman), die in grote lijnen als volgt kan worden geschreven:

$$s = d \cdot \left(\frac{1}{C_p} + \frac{\log t}{C_s} \right) \cdot \ln \left(\frac{\sigma'_{v;z} + \Delta\sigma'_{v;z}}{\sigma'_{v;z}} \right)$$

waarin:

s	= zetting, samendrukking in m
d	= laagdikte in m
C_p	= primaire samendrukkingscoëfficiënt
C_s	= secundaire samendrukkingscoëfficiënt
t	= tijd in dagen; voor 30 jaar, $\log t =$ circa 4
$\sigma'_{v;z}$	= oorspronkelijke verticale korrelspanning in kN/m ²
$\Delta\sigma'_{v;z}$	= verticale korrelspanningsverhoging in kN/m ²

De berekeningen zijn onder andere uitgevoerd met het computerprogramma DSettlement. Dit programma, voor de berekening van zettingen in een semi-driedimensionale ruimte, houdt rekening met spreiding van de belasting(en) in de ondergrond, van zowel bestaande als nieuwe ophogingen.

De stijfheidseigenschappen van de bodem zijn bepaald aan de hand van een interpretatie van het uitgevoerde grond- en laboratoriumonderzoek alsmede op basis van ervaring. Bij de analyses is rekening gehouden met het onder water zakken van de grondlagen, waardoor het effectief gewicht van de ophoging vermindert. De berekeningen geven het verloop van de zetting in de tijd en de zogenaamde eindzettingen, dat wil zeggen de zettingen die over een periode van ca. 30 jaar optreden. De onnauwkeurigheid in de berekende zetting bedraagt circa + en - 30%.

4.3.2 Tijd-zettingsverloop

Het optreden van zettingen is een tijdsafhankelijk proces. In eerste instantie zal een ophoging een wateroverspanning veroorzaken in de samendrukbare lagen. Het hierdoor ontstane potentiaalverschil geeft een grondwaterstroming, waardoor de wateroverspanning geleidelijk afneemt en de korrelspanning toeneemt, hetgeen zetting veroorzaakt. De tijdsduur van dit proces wordt de hydrodynamische periode genoemd. De lengte van deze periode (t_e) is afhankelijk van de laagdikte, de doorlatendheid van de samendrukbare lagen en de

afstromingsmogelijkheden van het uit te persen water. De hydrodynamische periode is met de volgende formule berekend:

$$t_e = \frac{T \cdot (a \cdot d)^2}{c_v}$$

waarin: t_e = hydrodynamische periode in seconden
 d = laagdikte samendrukbaar pakket in m
 c_v = consolidatiecoëfficiënt in m²/s
 T = tijdfactor; praktisch einde van de consolidatie bij $T=2$
 a = constante; bij tweezijdige afstroming $a = 0,5$; bij eenzijdige afstroming $a = 1$

Het verband tussen de consolidatiegraad U en de tijdfactor T is benaderd volgens:

$$U_v(\Delta t) = \left(\frac{T^3}{0,5 + T^3} \right)^{1/6}$$

waarin: $U_v(\Delta t)$ = consolidatiegraad na tijdsduur Δt bij alleen verticale afstroming (-)

De zetting die in de hydrodynamische periode optreedt bestaat deels uit primaire en deels uit secundaire zetting. Na het verstrijken van de hydrodynamische periode treden alleen nog secundaire zettingen op. In geval van een dik pakket slappe lagen bepaalt de lengte van de hydrodynamische periode in belangrijke mate de grootte van de restzettingen na ingebruikname.

Bij toepassing van verticale drainage is de consolidatietijd berekend met de formule van Barron/Kjellman.

Voor de gecombineerde werking van verticale en horizontale consolidatie is gebruik gemaakt van de formule van Carillo:

$$U_{vh}(\Delta t) = 1 - (1 - U_v(\Delta t)) \cdot (1 - U_h(\Delta t))$$

waarin: $U_{vh}(\Delta t)$ = consolidatiegraad na tijdsduur Δt door gecombineerd effect van verticale en horizontale afstroming (-)
 $U_h(\Delta t)$ = consolidatiegraad na tijdsduur Δt bij alleen horizontale afstroming (-)

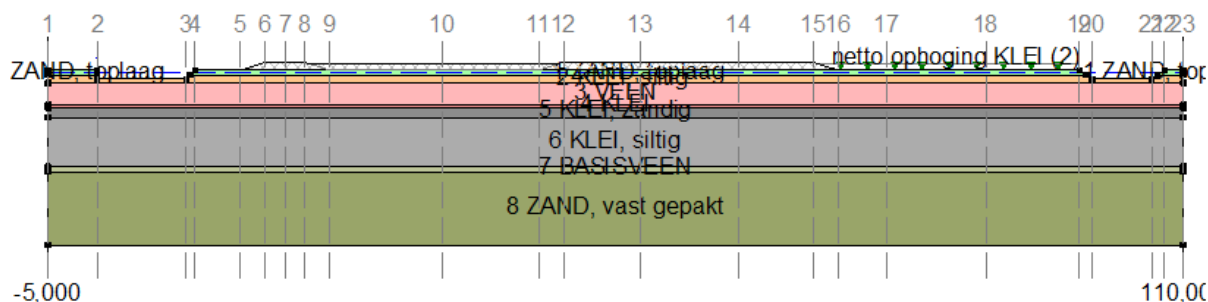
4.3.3 Berekenende zetting

De zetting is berekend voor de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) zodat alle partiële factoren de waarde 1,0 hebben. De zettingen treden tijdsafhankelijk op.

4.3.4 Netto ophoging van het terrein

In eerste instantie is de situatie doorgerekend waarbij het huidige maaiveld wordt opgehoogd tot het toekomstige maaiveldniveau. Zodoende wordt de totaal verwachte zetting als gevolg van de ophoging bepaald.

Op figuur 4-1 is de maatgevende doorsnede B – B (conform tekening Noord Akker – fase, SSK raming 2013, Doorsnede B - B, tekeningnummer 7443BR-DSN02-VAR01) met de netto ophoging in de eindsituatie weergegeven.



figuur 4-1: Doorsnede B - B, netto ophoging van het terrein

Aangezien het terrein met zowel zand als kleigrond wordt opgehoogd zijn diverse zettingsberekeningen uitgevoerd om de zettingen per grondophoging individueel en in combinatie te berekenen. Zodoende wordt de invloed van de ophoging op de bodemopbouw nauwkeuriger in kaart gebracht.

Ter plaatse van de wegverharding wordt het terrein netto met 0,8 m zand (tot NAP -0,4 m) opgehoogd. Om een netto ophoging van 0,8 m te verkrijgen dient het terrein bruto met 2,0 m zand te worden opgehoogd. De verwachte eindzetting bedraagt zodoende ca. 1,2 m.

Ter plaatse van de woningen wordt het terrein netto met 0,6 m kleigrond (tot NAP -0,6 m) opgehoogd. Om een netto ophoging van 0,6 m te verkrijgen dient het terrein bruto met 1,4 m kleigrond te worden opgehoogd. De verwacht eindzetting bedraagt in dat geval ca. 0,8 m.

4.3.5 Zettingsversnellende maatregelen, tijdelijke extra overhoogte en verticale drainage

Om het zettingsproces te versnellen is gekozen voor een tijdelijke extra overhoogte ter plaatse van de zandophoging en de kleiophoging. Ter plaatse van de zandophoging is tevens gebruik gemaakt van de toepassing van verticale drainage.

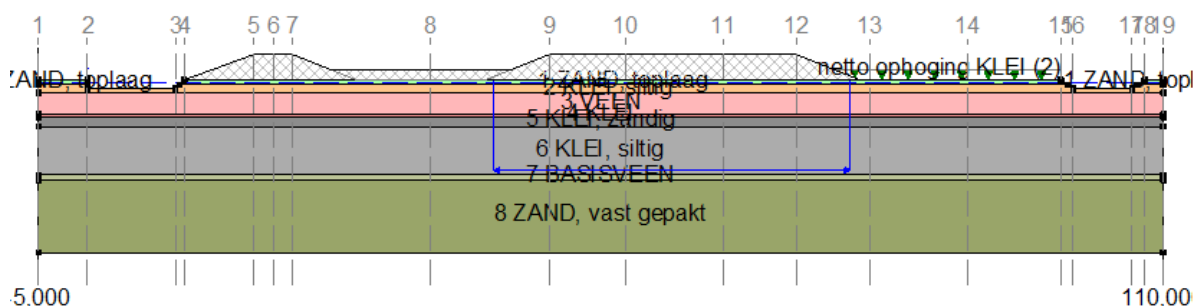
Conform de door de opdrachtgever aangeleverde tekeningen is uitgegaan van een voorbelastperiode van 1 jaar (365 dagen).

De zettingsversnellende maatregelen dienen zodanig te worden gekozen dat de totaal verwachte eindzetting van ca. 1,2 m bij de zandophoging na 1 jaar voldoet aan de gestelde restzettingseis van 0,15 m in 30 jaar.

Ter plaatse van de zandophoging zal het terrein, inclusief tijdelijke extra overhoogte, worden opgehoogd tot NAP +1,4 m. Daarnaast zal gebruik worden gemaakt van de toepassing van verticale drainage om het zettingsproces te versnellen.

Ter plaatse van de toekomstige woningen wordt het terrein met klei opgehoogd tot NAP -0,6 m. Hiervoor is een bruto ophoging van 1,4 m (tot NAP +0,2 m) noodzakelijk. Conform de aangeleverde tekening wordt het terrein slechts tot NAP -0,4 m opgehoogd. Voor aanvang van de bouw van de woningen wordt het maaiveld ter plaatse echter verder ontgraven tot NAP -1,35 m. Gezien de verdere ontgraving en de functie van dit gebied zijn geen restzettingseisen gesteld aan de kleiophoging.

Op figuur 4-2 is de totale bruto ophoging, inclusief tijdelijke extra overhoogte en verticale drainage, weergegeven.



figuur 4-2: Tijdelijke extra overhoogte en toepassing van verticale drainage

In het rekenprogramma DSettlement kan slechts over één deel verticale drainage worden toegepast. Er is voor gekozen de verticale drainage te modelleren ter plaatse van de grootste zandophoging, waar ook de grootste zettingen zijn te verwachten.

Uit de berekeningen volgen de zettingen zoals opgenomen in tabel 4-1.

tabel 4-1: verwachte zettingen als gevolg van de voorbelasting en toepassing van verticale drainage

Ophoging	Toekomstig maaiveld niveau [m NAP]	Netto ophoging [m]	Bruto ophoging [m]	Verwachte eindzetting [m]	Bruto ophoging, inclusief tijdelijke extra overhoogte, gedurende 1 jaar		
					ophoging [m]	Verwachte zetting [m]	Restzetting na de voorbelastperiode [m / 30 jaar]
ZAND	-0,4	0,8	2,0	1,2	2,6 *	1,2	≤ 0,15
KLEI	-0,6	0,6	1,4	0,8	---	---	---
KLEI	-0,6	---	1,0	0,6	1,0	0,4	0,20

Opmerkingen:

* = ter plaatse van de zandophogingen is tevens gebruik gemaakt van de toepassing van verticale drainage.

4.3.6 Zandophoging

Indien de zandophoging wordt aangebracht conform de door de opdrachtgever verstrekte tekeningen, tot NAP +1,4 m en met toepassing van verticale drainage, zal na 1 jaar naar verwachting 1,4 m zetting zijn opgetreden en worden theoretisch geen zettingen meer verwacht. In de berekeningen is echter geen rekening gehouden met natuurlijke zetting. Verwacht wordt dat deze zettingen voldoen aan de restzettingseis van ≤ 0,15 m in 30 jaar.

4.3.7 Kleiophoging

Conform de aangeleverde tekeningen wordt een deel van het terrein (ter plaatse van de toekomstige woningen) met kleigrond tot NAP -0,6 m (netto 0,6 m) opgehoogd. Hiervoor is een ophoging van bruto 1,4 m noodzakelijk, wat een verwachte eindzetting van 0,8 m betekent.

Het terrein wordt echter met slechts 1,0 m (tot NAP -0,2 m, conform de aangeleverde tekening) opgehoogd. De ophoging van 1,0 m kleigrond geeft een eindzetting van ca. 0,6 m. Na de voorbelastperiode van 1 jaar is naar verwachting ca. 0,4 m zetting opgetreden en

bedraagt het maaiveldniveau NAP -0,6 m (gewenst toekomstig peil). De restzetting bedraagt dan nog wel 0,2 m in 30 jaar. Aangezien voor aanvang van de bouw van de woningen het terrein verder wordt verlaagd is geen restzettingseis gesteld ten aanzien van de kleigrond ophoging.

5. UITVOERING

5.1 Algemeen

Verticale drainage

Aangeraden wordt kunststof drains met een breedte van 0,15 m categorie III te gebruiken, zie CROW-publicatie 77. Om kortsluiting tussen het freatische water en het diepe grondwater te voorkomen, dient de onderkant van de verticale drains niet dieper dan circa 1 m boven het Pleistocene zand te worden geplaatst (op ca. NAP -10,5 m). De aangegeven h.o.h.-afstanden van de drains zijn gebaseerd op plaatsing in een driehoekstramien.

Horizontale drainage

Geadviseerd wordt om h.o.h. 10 m horizontale drainage onder de ophoging aan te brengen.

Overwogen kan worden enkele peilbuizen in de ophoging te plaatsen ter verificatie van de grondwaterstand.

Metingen

Om het zakkingsproces te kunnen volgen wordt aangeraden zakbaken aan te brengen. De hoogte van de zakbaken dient tijdens het ophogen wekelijks te worden gemeten. Na het bereiken van de eindhoogte is eenmaal á tweemaal per maand voldoende.

6. LIJST VAN BEGRIPPEN EN DEFINITIES

Begrip	Omschrijving
ophoging	Gedeelte van de grondconstructie dat boven het oorspronkelijk maaiveld uitsteekt.
netto ophoging	Gedeelte van de grondconstructie dat na een arbitrair gekozen periode van 10000 dagen boven het oorspronkelijk maaiveld uitsteekt.
bruto ophoging	Totale hoogte van de aangebrachte grondconstructie. bruto ophoging = netto ophoging + overhoogte
overhoogte	Zandlaagdikte (hoeveelheid grond) die wordt aangebracht met het doel na zetting van de ondergrond de gewenste hoogte van de constructie te bereiken.
extra overhoogte	Extra zandlaagdikte (hoeveelheid grond) die tijdelijk wordt aangebracht om zetting van het grondlichaam te bespoedigen.
fictieve start ophoging	Tijdstip waarop een gefaseerde ophoging geacht wordt in zijn geheel aanwezig te zijn. Dit begrip wordt gebruikt indien in de berekening een gefaseerde ophoging wordt geschematiseerd tot een eenmalige ophoging van dezelfde grootte. Dit tijdstip wordt aangeduid met $t = 0$ en wordt, bij een gelijkmatige ophoogsnelheid, doorgaans halverwege de ophoogtijd genomen; soms wordt $2/3$ aangehouden.
zetting	Geleidelijk en min of meer gelijkmatig afnemen van de hoogteligging van het maaiveld of de cunetbodem waarop de constructie is aangelegd.
eindzetting	Zetting na een arbitrair gekozen periode van 10000 dagen (= circa 30 jaar) vanaf start ophoging. Soms wordt aangehouden: 10, 50 of 100 jaar.
restzetting	Zetting die zich voordoet in een bepaalde periode vanaf de oplevering van de bovenbouw (verharding / spoorstaven).
zettingsverschil	Verschil in zetting van twee locaties.
achtergrondzetting of autonome zetting	Zetting ten gevolge van inklinking in polders door polderpeilverlaging, voortgaande zetting door vroegere ophogingen, gas- en zoutwinning en dergelijke.
bouwtijd (grondwerk)	Tijdsduur vanaf begin ophoging tot begin aanbrengen verharding of spoorstaven.
bouwtijd (bovenbouw)	Tijdsduur benodigd voor het aanbrengen van de verharding of de spoorstaven.
ophoogtijd	Tijdsduur vanaf begin ophoging tot tijdstip waarop bruto ophoging geheel aanwezig is.
Zettingstijd/ wachttijd	Tijdsduur die voor de slappe lagen beschikbaar is om te zetten (consolideren) onder het gewicht van de ophoging, voordat de verharding of bovenbouw wordt aangebracht (einde bouwtijd grondwerk).

Literatuuroverzicht

1. *Construeren met grond*, CUR rapport 162, CUR Gouda, 1992, ISBN 90-376-0024-7
2. *Verticale drainage*, CROW rapport 77, CROW Ede, 1993, ISBN 90-6628-163-4
3. *Betrouwbaarheid van zettingsprognoses*, CROW publicatie 204, CROW Ede, 2004, ISBN 90-6628-430-7

RAPPORTAGE

GEOTECHNISCH VELDWERK
betreffende

**PROJECT NOORDAKKER TE
ROELOFARENDSEVEEN - FASE 2**

Opdrachtnummer: 4014-0016-010

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	28 juli 2014		FCS

FILE: 4014-0016-010_21.KRV01.doc

RAPPORTAGE GEOTECHNISCH VELDWERK

Project	Project Noordakker te Roelofarendsveen - fase 2	Opdrachtnummer	4014-0016-010
Opdrachtgever	Braassemerland V.O.F. Postbus 9043 3430 RA Nieuwegein	Datum rapportage	28 juli 2014
		Uitvoeringsperiode	23 juli 2014
Opgesteld door	P.J.C.H. Gommer-Reniers		
Gecontroleerd door	R. Fens		
Projectleider	ir. F.C.M. Seignette		
Documentnaam	4014-0016-010_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:

- 9 sonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand;
- 2 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.

Tijdens de uitvoering van het onderzoek is een vastpunt ingemeten op NAP -1,31 m. 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.

De sondeerlocatie DKM7 en DKM9 zijn circa 3 m verplaatst i.v.m. obstakels.

4. BOREN

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

De werkzaamheden zijn uitgevoerd conform de NEN-EN-ISO 22475-1. De classificatie van de grond is uitgevoerd conform NEN 5104.

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 zijn de grondwaterstanden in de boorgaten van HB1 en HB2 aangetroffen van circa 0,6 m tot 0,7 m beneden maaiveld, hetgeen overeenkomt met circa NAP -1,7 m tot NAP -1,8 m. Deze grondwaterstanden zijn eenmalige opnames en bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd fluctueren onder invloed van de weersgesteldheid en de seizoenen.

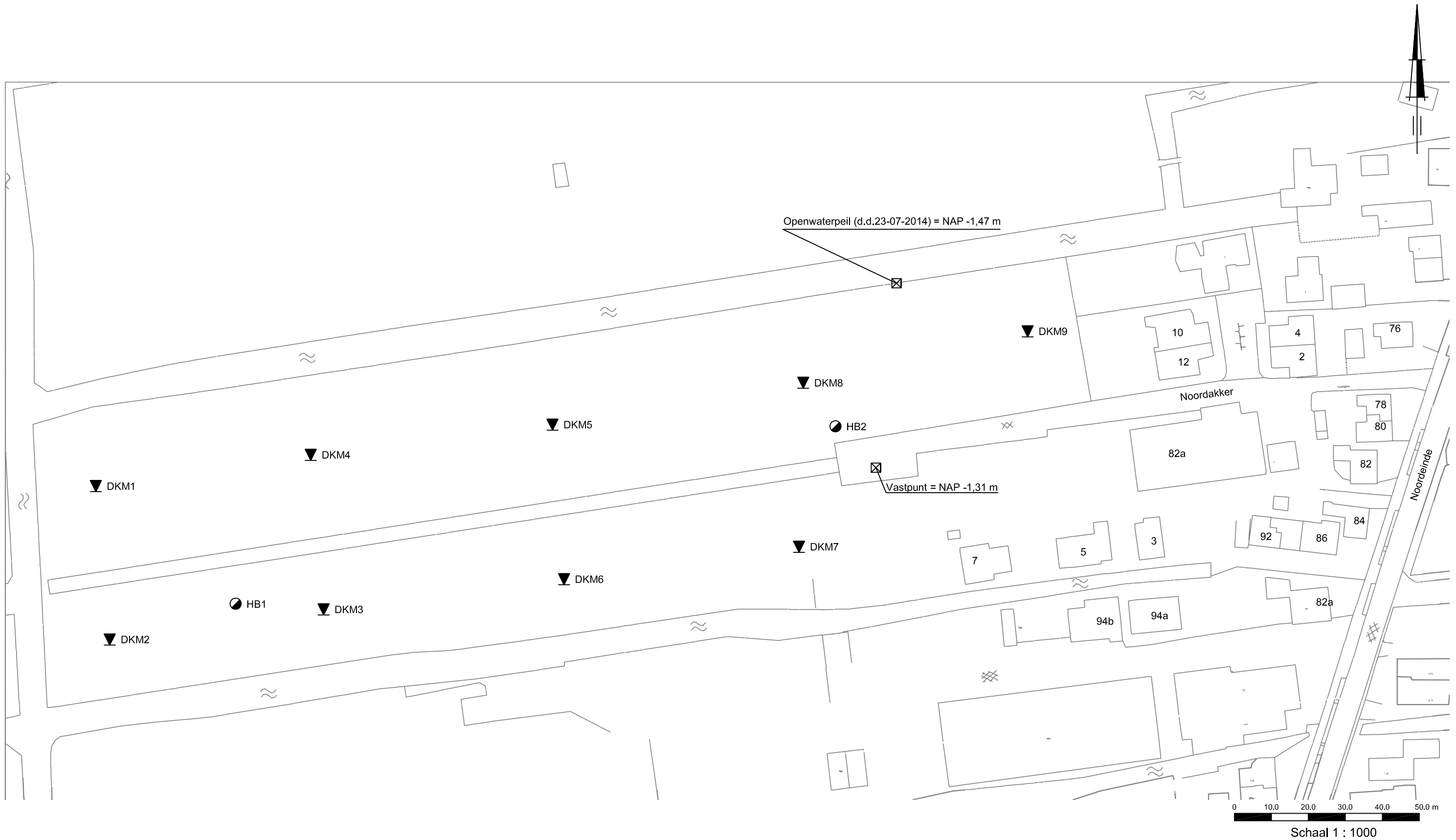
6. KWALITEITSBORGING

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.

P:\40\4014-0016-010\21_Uitvoering_terrainonderzoek\10_Basisgegevens\4014-0016-000.dwg

Get.: PJG Datum: 28-07-2014 Versie: 1

Revisie Datum:

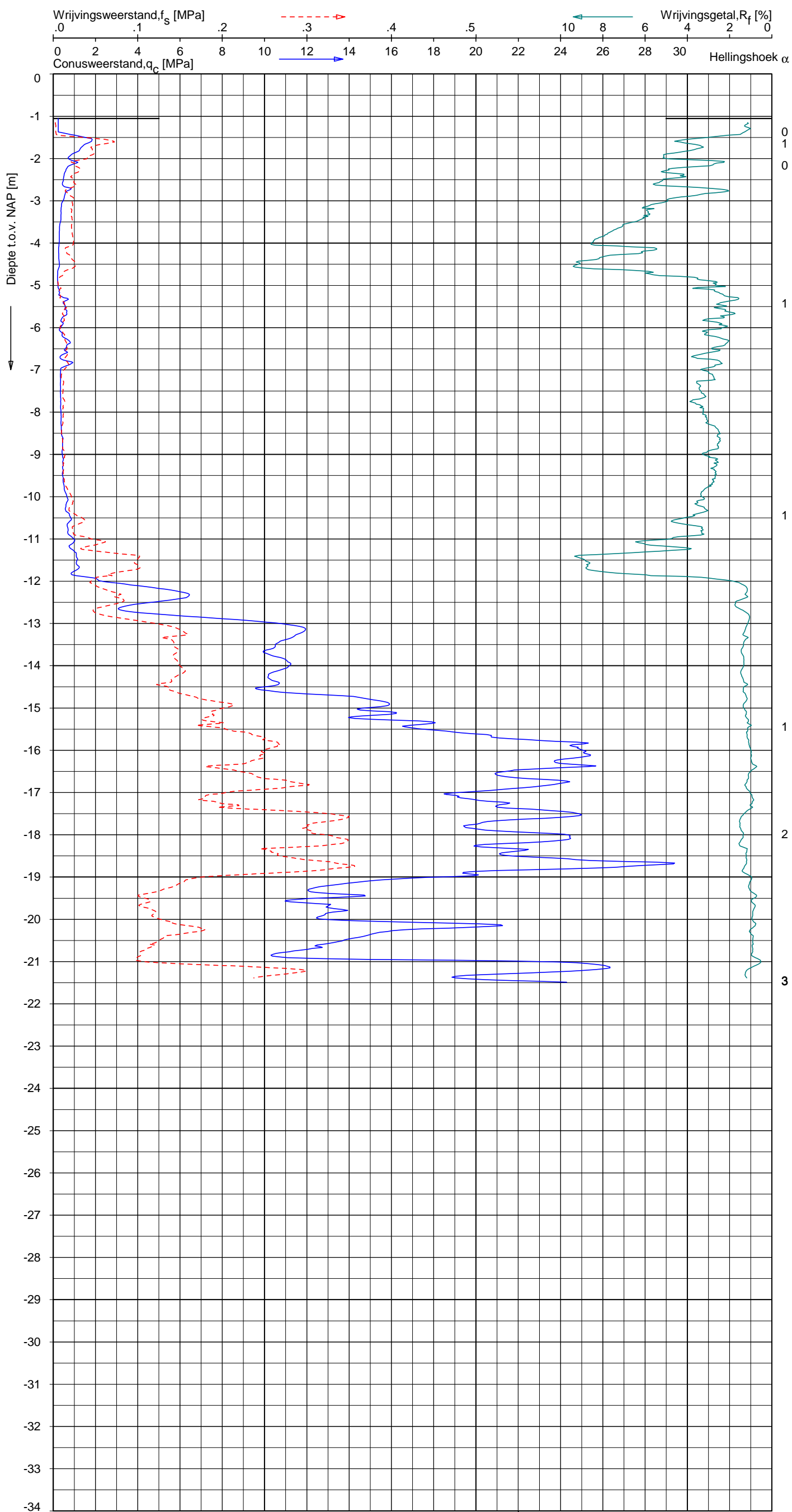


SITUATIE

PROJECT NOORDAKKER TE ROELOFSARENDSEVEEN - FASE 2

Opdr. : 4014-0016-010

Bijl. : 1



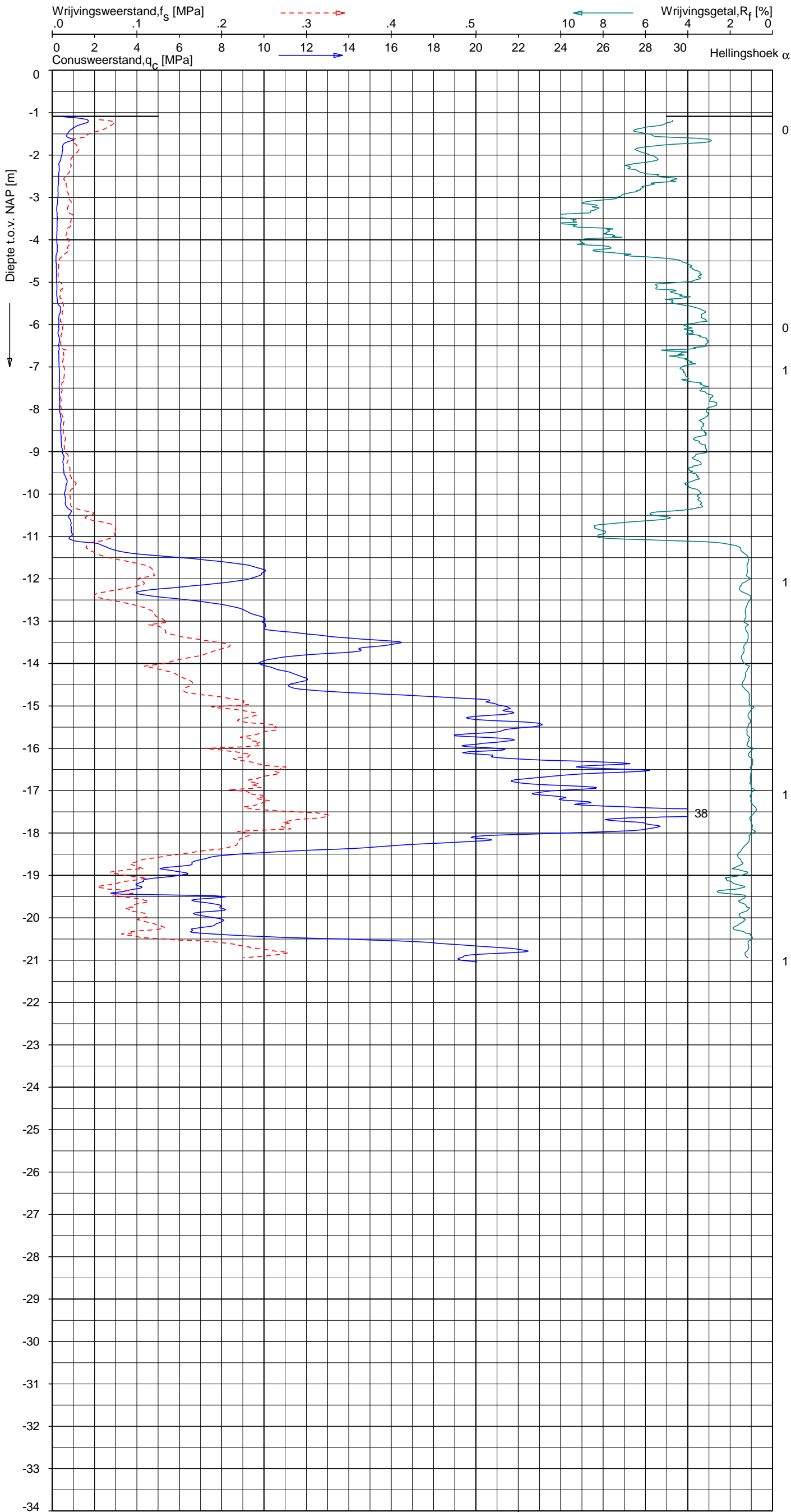
Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering, geldig onder
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



UNIPLOT 05.26.nl / QcfClass-N3.cmd / 2014-07-28 09:54:51

4014-0016-010

DKM2 - 1



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

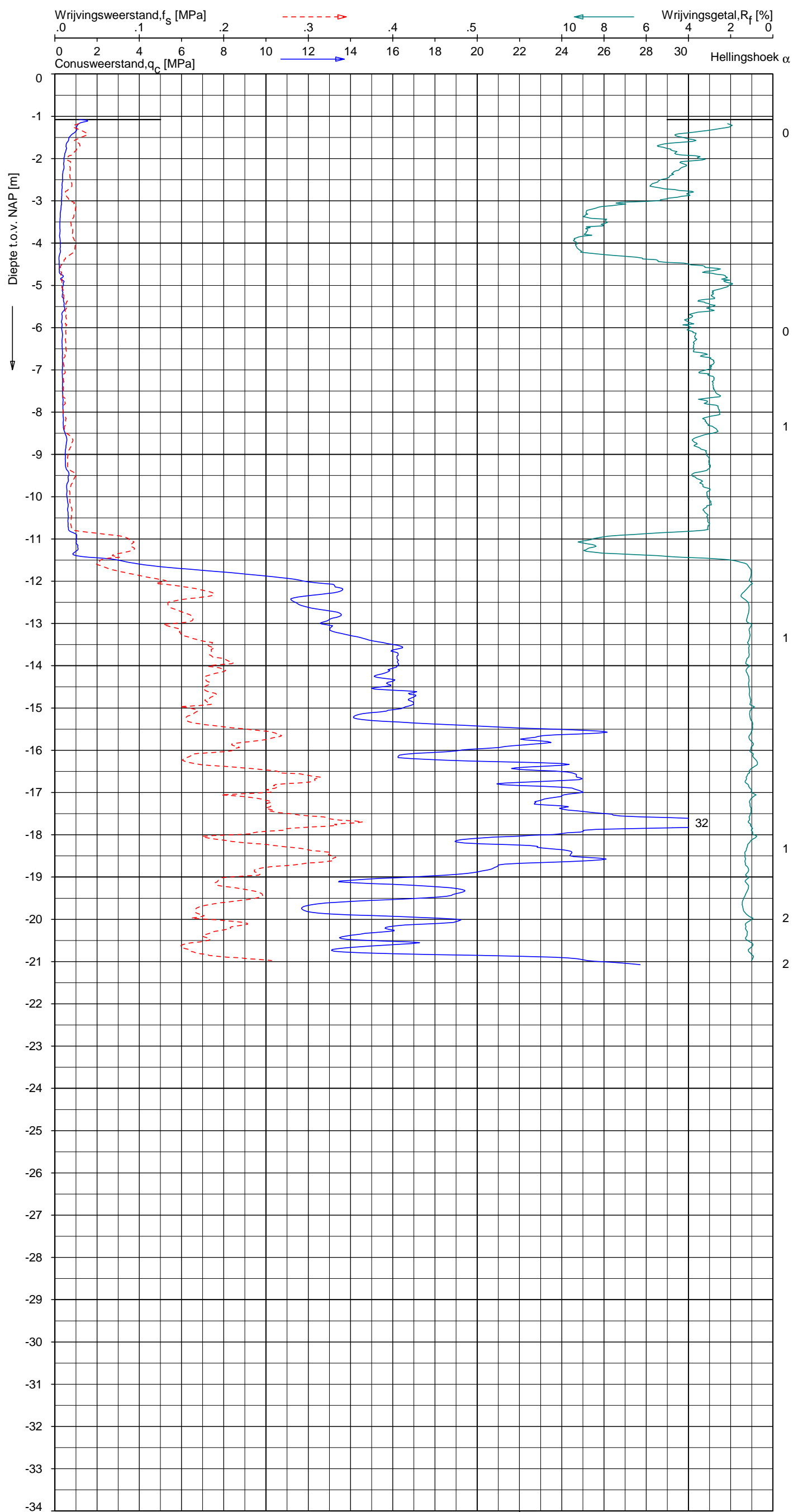


Opg. : GEV/YDL d.d. 23-Jul-2014 Coord.: X=102882.3 m Y= 468073.4 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : GOMMERP d.d. 28-Jul-2014 MV = NAP -1.09 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2424 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
Conustype: A_c = 1510 mm²; A_s = 19895 mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
PROJECT NOORDAKKER TE ROELOFARENDVEEN - FASE 2

Opdr. 4014-0016-010
Sond. DKM2





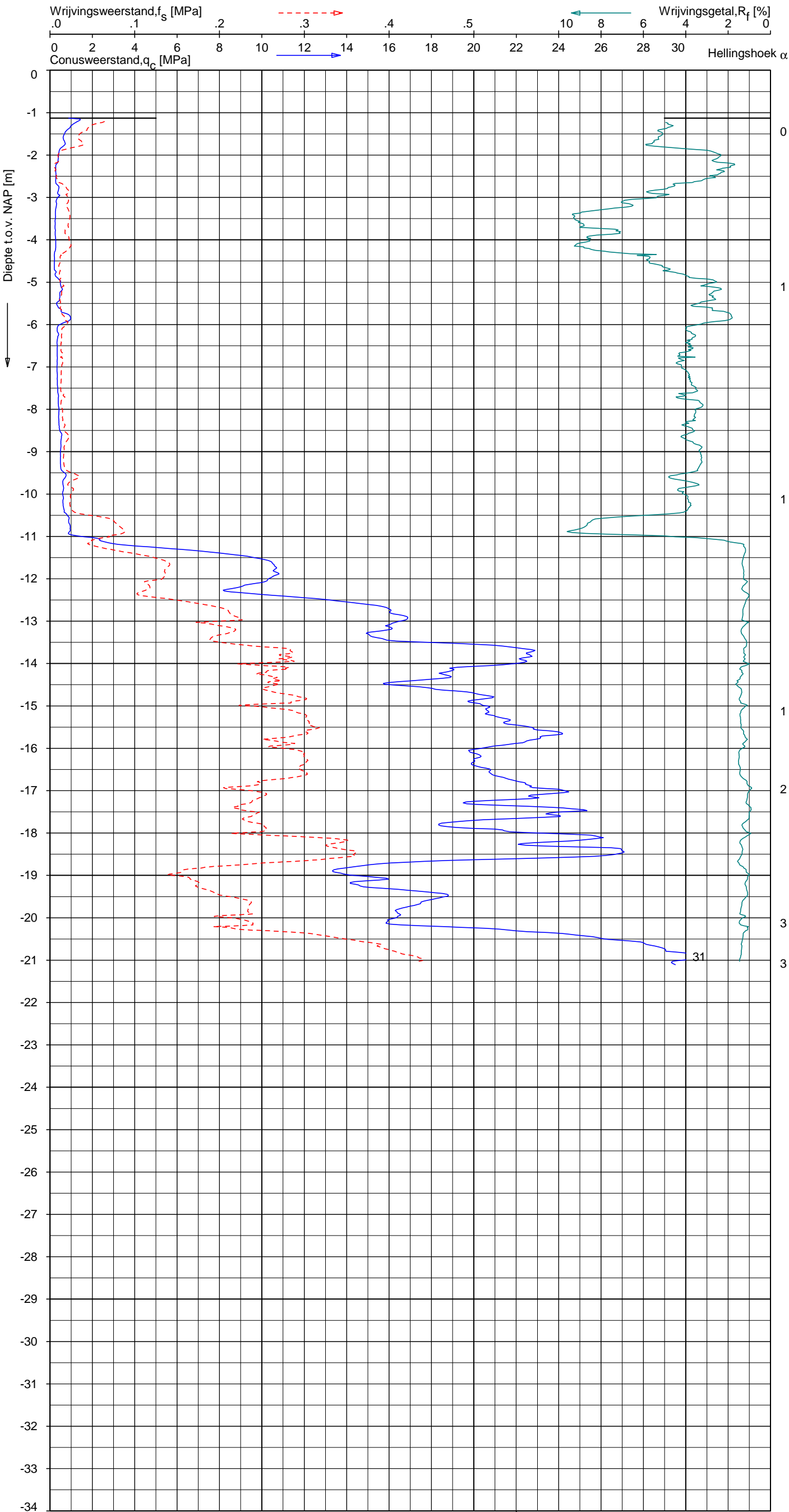
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data
 van de sondering, geldig onder
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



UNIPLOT 05.26.nl / QcfSClass-N3.cmd / 2014-07-28 09:54:56

4014-0016-010

DKM4 - 1



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



Opg. : GEV/YDL d.d. 23-Jul-2014 Coord.: X=102936.6m Y= 468123.3m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : GOMMERP d.d. 28-Jul-2014 MV = NAP -1.13m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2424 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



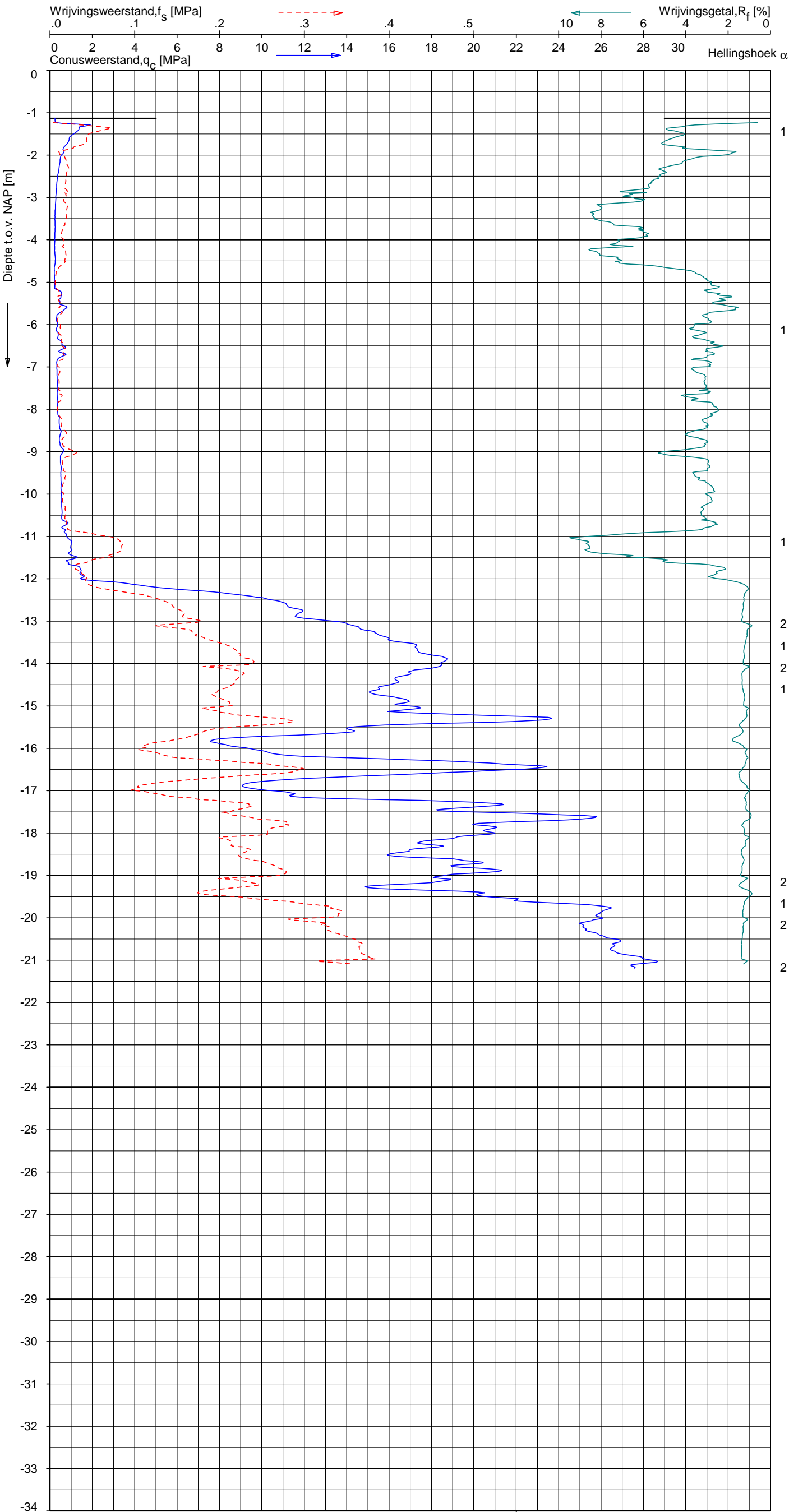
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
PROJECT NOORDAKKER TE ROELOFARENDSEVEEN - FASE 2

Opdr. 4014-0016-010
Sond. DKM4

UNIPLOT 05.26.nl / QcfClass-N3.cmd / 2014-07-28 09:54:59

4014-0016-010

DKM5 - 1



Opg. : GEV/YDL d.d. 23-Jul-2014 Coord.: X=103002.0 m Y= 468131.5 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : GOMMERP d.d. 28-Jul-2014 MV = NAP -1.13 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2424 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
Conustype: A_c = 1510 mm²; A_s = 19895 mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
PROJECT NOORDAKKER TE ROELOFARENDVSVEEN - FASE 2

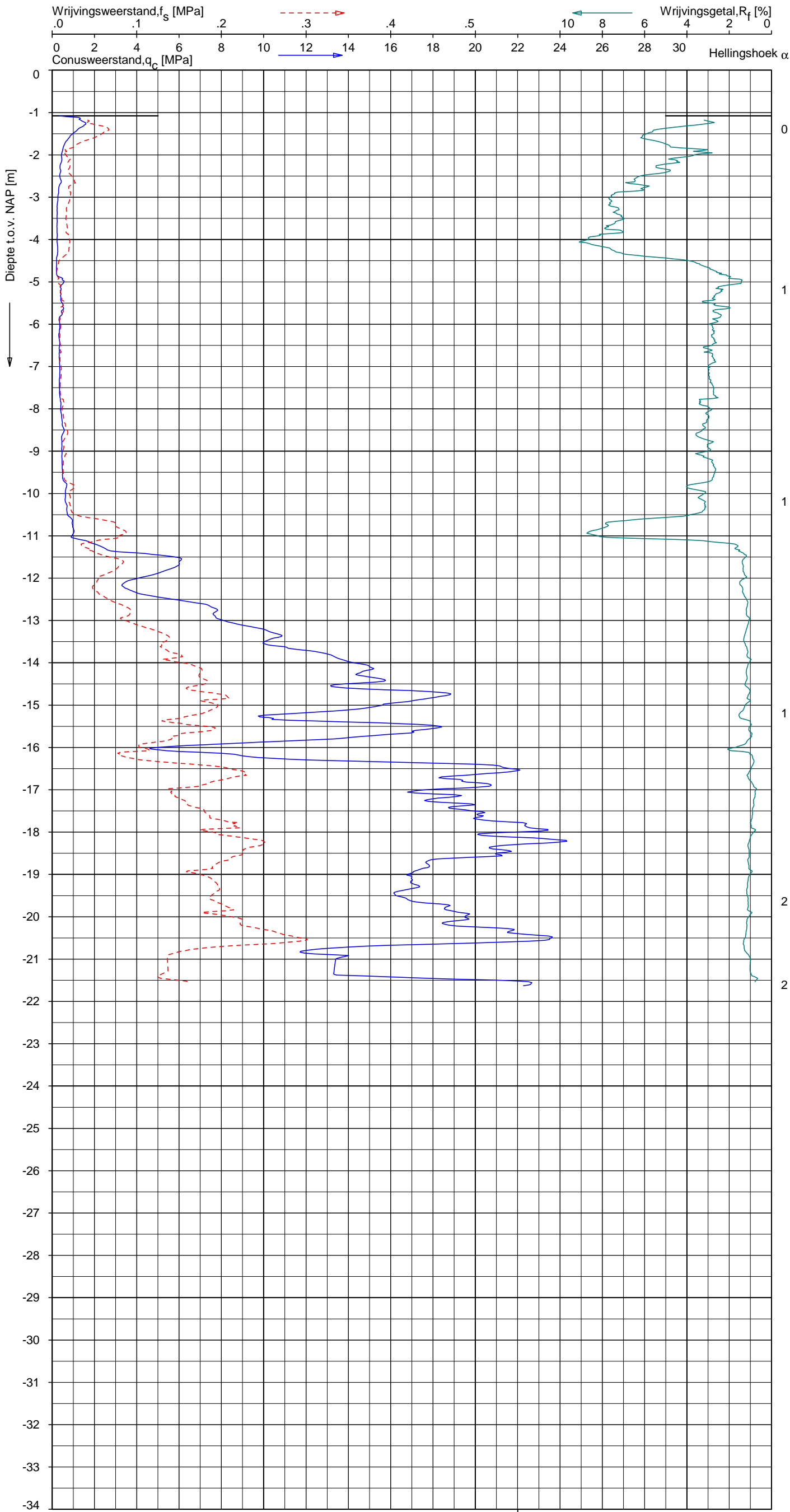
Opdr. 4014-0016-010
Sond. DKM5



UNIPLOT 05.26.nl / QcfClass-N3.cmd / 2014-07-28 09:55:01

4014-0016-010

DKM6 - 1



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



Opg. : GEV/YDL d.d. 23-Jul-2014 Coord.: X=103005.2 m Y= 468089.7 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : GOMMERP d.d. 28-Jul-2014 MV = NAP -1.08 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2424 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
Conustype: A_c = 1510 mm²; A_s = 19895 mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

PROJECT NOORDAKKER TE ROELOFARENDSEEN - FASE 2

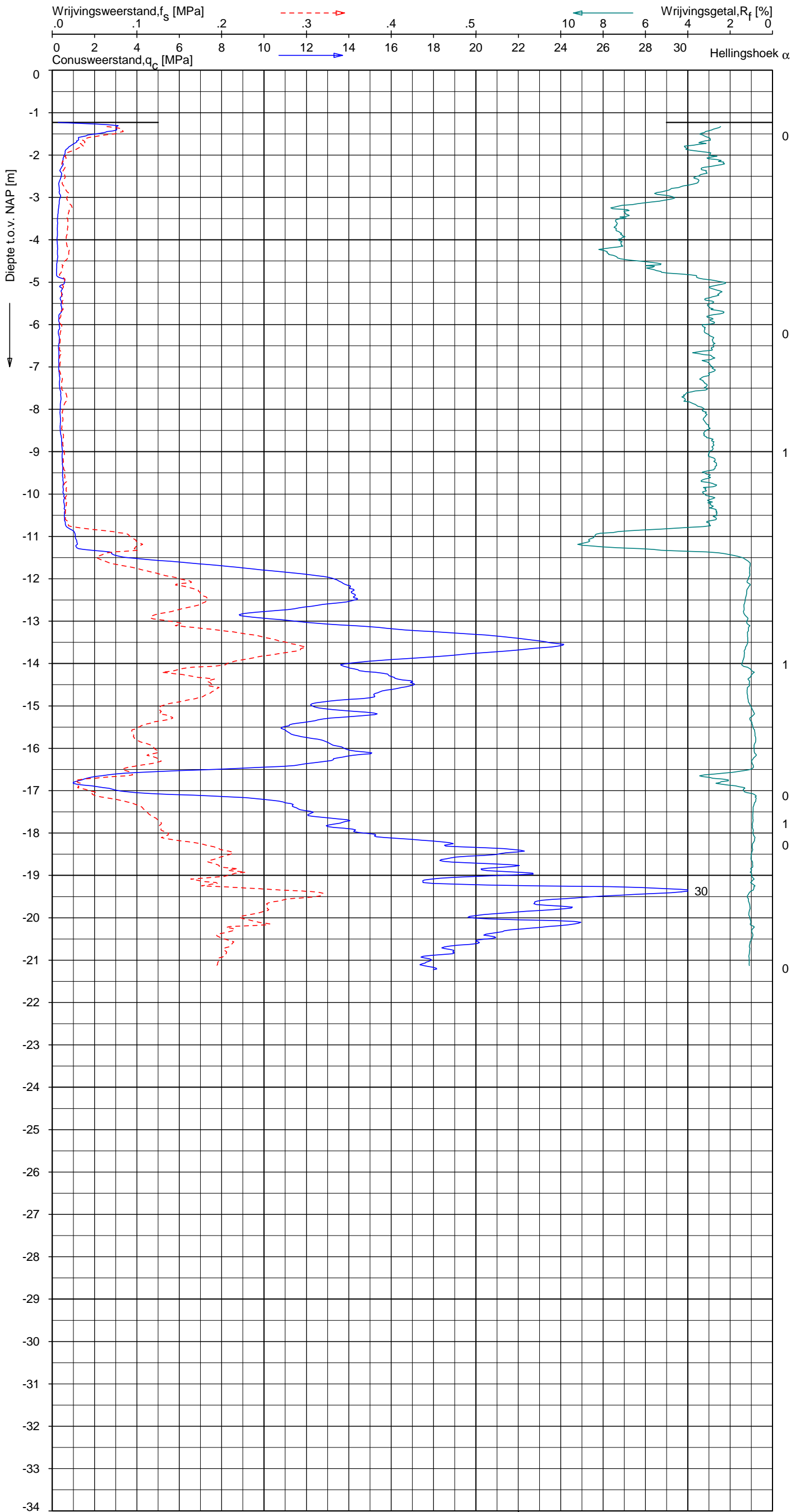
Opdr. 4014-0016-010
Sond. DKM6



UNIPLOT 05.26.nl / QcfClass-N3.cmd / 2014-07-28 09:55:04

4014-0016-010

DKM7 - 1



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



Opg. : GEV/YDL d.d. 23-Jul-2014 Coord.: X=103068.7 m Y= 468098.5 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : GOMMERP d.d. 28-Jul-2014 MV = NAP -1.23 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2424 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



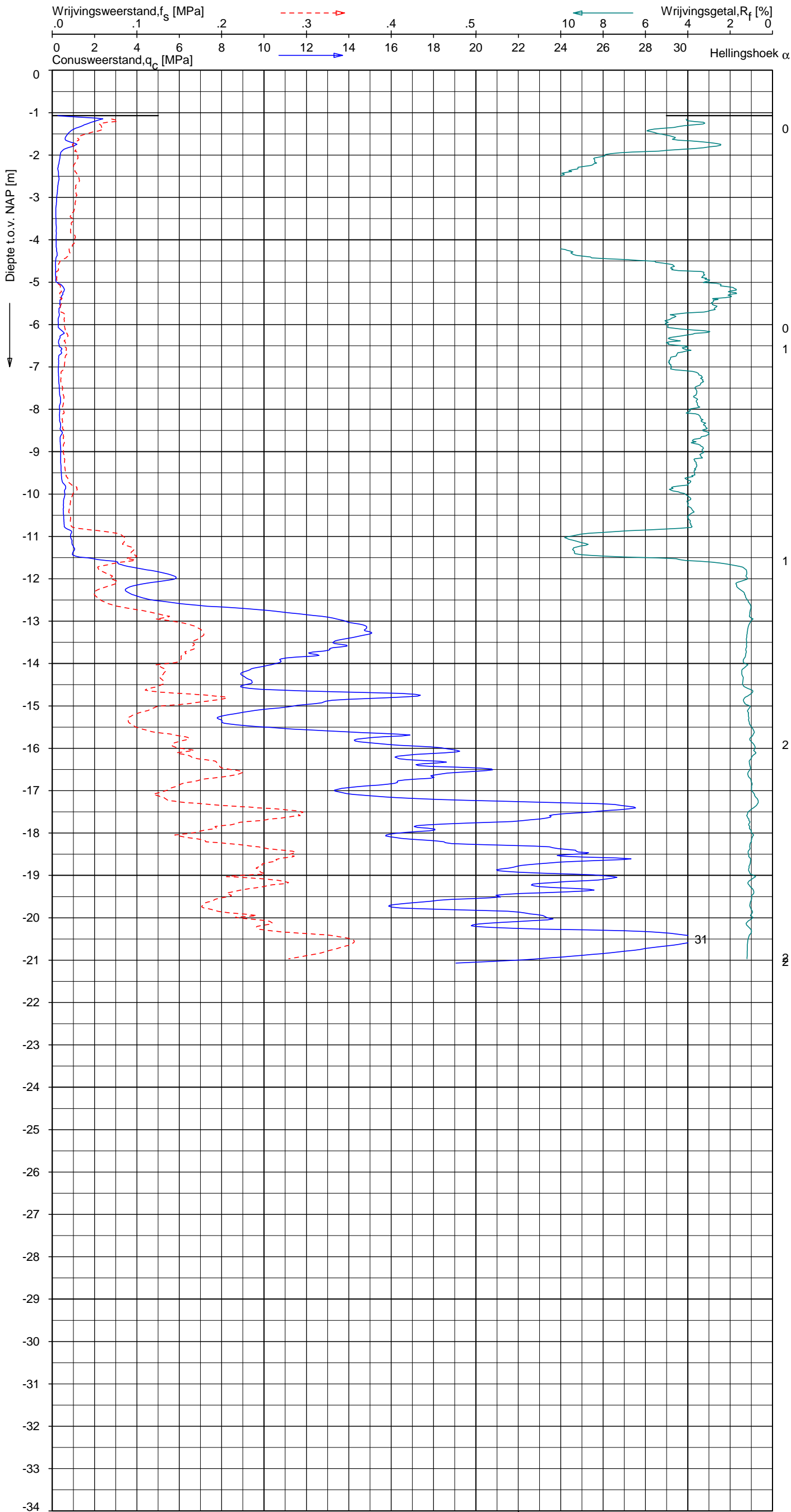
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
PROJECT NOORDAKKER TE ROELOFARENDVEEN - FASE 2

Opdr. 4014-0016-010
Sond. DKM7

UNIPLOT 05.26.nl / QcfClass-N3.cmd / 2014-07-28 09:55:06

4014-0016-010

DKM8 - 1



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



Opg. : GEV/YDL d.d. 23-Jul-2014 Coord.: X=103069.9m Y= 468142.8m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : GOMMERP d.d. 28-Jul-2014 MV = NAP -1.07m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2424 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

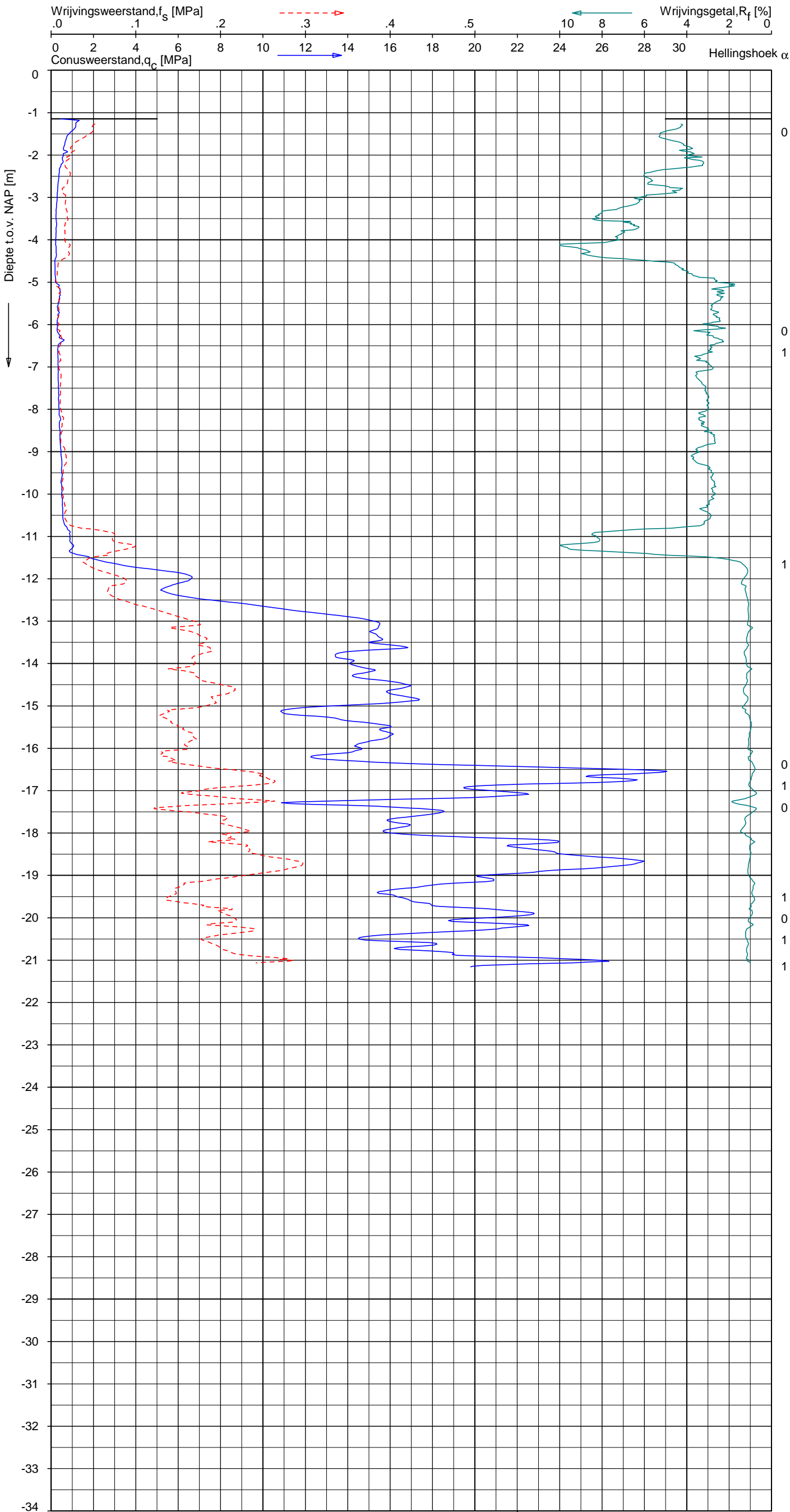
PROJECT NOORDAKKER TE ROELOFARENDSEEN - FASE 2

Opdr. 4014-0016-010
Sond. DKM8

UNIPLOT 05.26.nl / QcfClass-N3.cmd / 2014-07-28 09:55:09

4014-0016-010

DKM9 - 1



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



Opg. : GEV/YDL d.d. 23-Jul-2014 Coord.: X=103130.6m Y= 468156.7m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : GOMMERP d.d. 28-Jul-2014 MV = NAP -1.15m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2424 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
PROJECT NOORDAKKER TE ROELOFARENDVEEN - FASE 2

Opdr. 4014-0016-010
Sond. DKM9

Boring: HB1

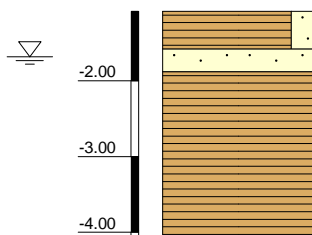
Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



-1.08 tot -1.58 Veen, matig zandig, slap, matig stevig, donker bruin
-1.58 tot -1.88 Zand, matig grof, laagjes veen grijs-bruin
-1.88 tot -4.08 Veen, matig stevig bruin

Algemene opmerking:

X: 102916.3

GWS (m tov NAP): -1.68

MV (m tov NAP): -1.08

Boorvloeistof:

Datum uitvoering: 23-07-2014

Y: 468082.9

GHG (m tov NAP):

bk PB1 (m tov NAP):

WS PB1 (m tov NAP):

Boormeester: gev

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

Geclassificeerd door: gev

bk PB3 (m tov NAP):

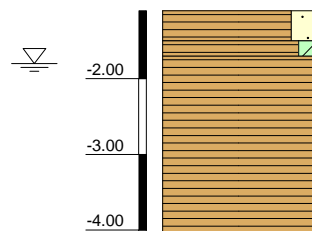
WS PB3 (m tov NAP):

Boring: HB2

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



-1.10 tot -1.50 Veen, matig zandig, matig stevig, donker bruin
-1.50 tot -1.70 Veen, zwak kleiig, matig stevig, donker bruin
-1.70 tot -4.10 Veen, matig stevig bruin

Algemene opmerking:

X: 103078.6

GWS (m tov NAP): -1.80

MV (m tov NAP): -1.10

Boorvloeistof:

Datum uitvoering: 23-07-2014

Y: 468130.9

GHG (m tov NAP):

bk PB1 (m tov NAP):

WS PB1 (m tov NAP):

Boormeester: gev

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

Geclassificeerd door: gev

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

4014-0016-010

Project Noordakker te Roelofsarendsveen - fase 2

Meettechniek

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

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

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

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

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

Interpretatie van de sonderingen met plaatselijke wrijvingsweerstand

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

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

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

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

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

Presentatie sondeergegevens

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

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

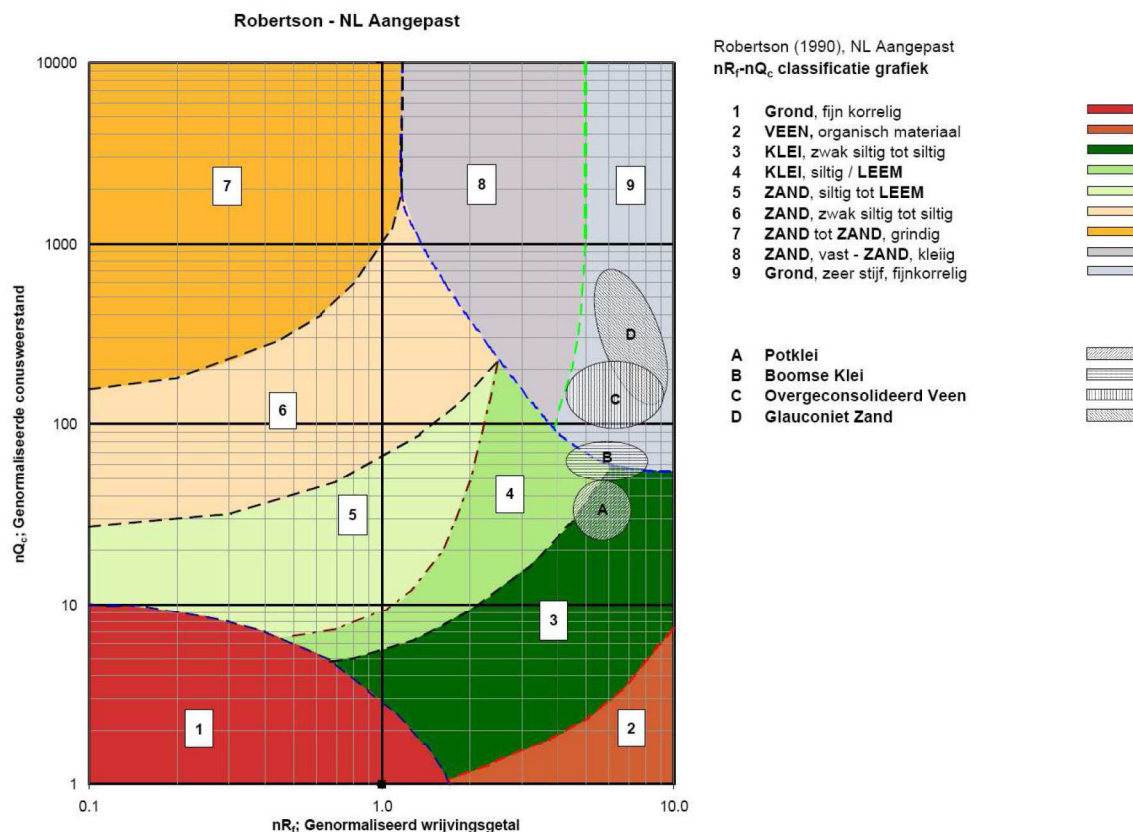
Genormaliseerde conusweerstand:
$$nQ_c = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

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

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

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

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



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

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

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

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

Andere conustypen

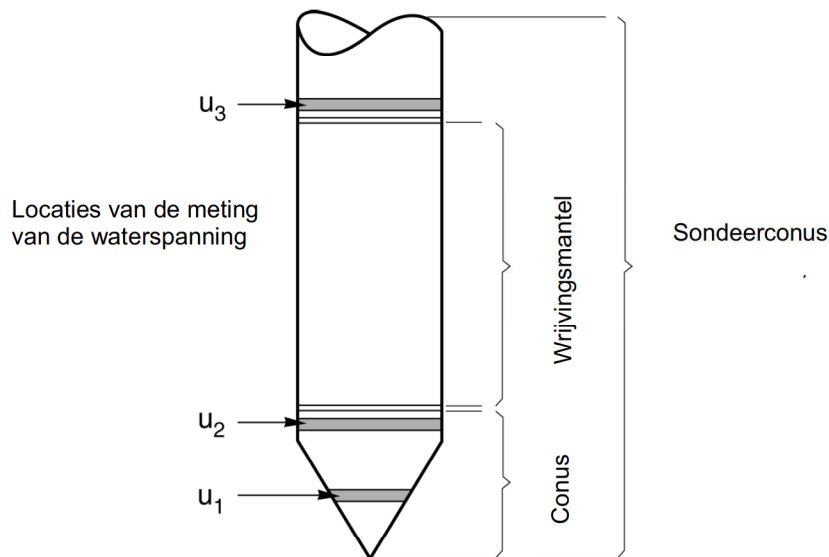
Naast de meting van conusweerstand en plaatselijke wrijving is het mogelijk extra (combinaties van)

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

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

Waterspanningssonderingen

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



Figuur 1 Principe piëzo-conus

Uitvoeringswijze

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

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

Interpretatie

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

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

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

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

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

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

Wateroverspanningindex B_q

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

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

waarin:

- β = factor voor de verschillende grondsoorten voor omrekening van u_1 naar u_2 ; standaard wordt hiervoor aangehouden 0,8, zijnde normaal geconsolideerde kleien (zie hierna volgende tabel);
- q_{net} = $q_t - \sigma_{v0}$ = netto conusweerstand;
- q_t = $q_c + (1-a) \cdot \{\beta \cdot (u_1 - u_0) + u_0\}$ voor een filter in de conuspunt;
- q_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 overeen met circa 1/2 uur à 3/4 uur.

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

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

Klassenindeling EN-ISO 22476-1

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

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

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

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

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

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

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

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

Toepassingsklasse 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. Toepassingsklasse 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. Toepassingsklasse 1 is in deze bodem niet haalbaar. De enige praktische indicatie over de bereikte sondeerklasse is controle van calibraties en 0-puntsverlopen tussen het begin en eind van de sondering.

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

Klassenindeling NEN 5140








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

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



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

LEGENDA TERREINPROEVEN EN GRONDSOORTEN

















Boringen / Peilbuizen

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

Overige symbolen

	Meetpunt
	Hoogtemaat

Sonderingen

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

Type sonderingen

D	Diepsondering
HS	Handsondering
S	Slagsondering

Toegevoegde metingen

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

Legenda / Terminologie

Grind

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

Zand

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



Veen

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


Klei

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

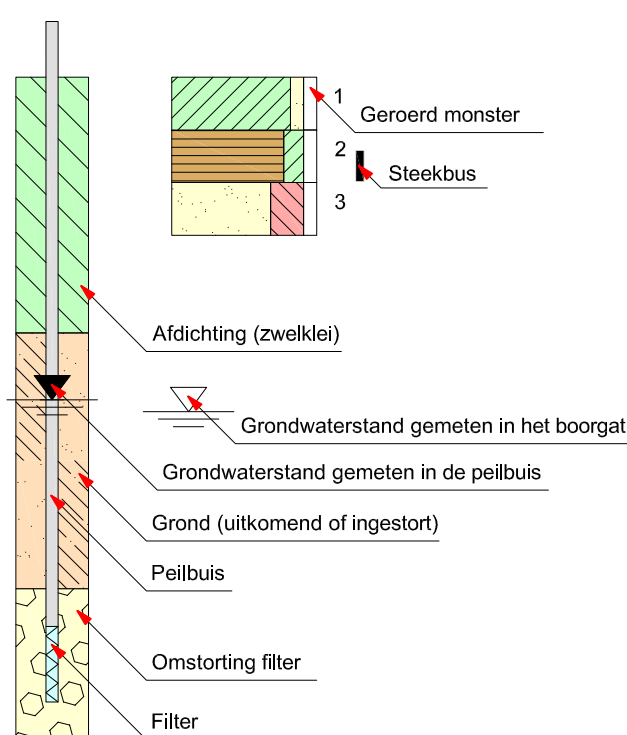
Leem

	Leem, zwak zandig
	Leem, sterk zandig

Overige toevoegingen

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

Peilbuis



Report for D-Settlement 14.1

Settlement Calculations
Developed by Deltares

Company: Fugro

Date of report: 28-8-2014
Time of report: 14:21:54

Date of calculation: 28-8-2014
Time of calculation: 14:06:38

Filename: P:\..\DSettlement\Noordakker DKM 1 (overhoogte profiel COMBI)

Project identification: Project Noordakker te Roelofarendsveen
bodemopbouw sondering DKM 1
vert. drainage + voorbelasting

1 Table of Contents

1 Table of Contents	2
2 Settlements	3
2.1 Settlements	3
2.2 Residual Times	3
3 Warnings and errors	4

2 Settlements

2.1 Settlements

Vertical number	X co-ordinate [m]	Z co-ordinate [m]	Surface level [m]	Settlement [m]
1	-5,00	0,00	-1,20	0,001
2	0,00	0,00	-2,10	0,004
3	9,00	0,00	-2,10	0,214
4	9,90	0,00	-1,20	0,208
5	17,00	0,00	-1,20	1,348
6	19,00	0,00	-1,20	1,389
7	21,00	0,00	-1,20	1,339
8	35,00	0,00	-1,20	0,580
9	47,20	0,00	-1,20	1,295
10	55,00	0,00	-1,20	1,457
11	65,00	0,00	-1,20	1,456
12	72,50	0,00	-1,20	1,300
13	80,00	0,00	-1,20	0,628
14	90,00	0,00	-1,20	0,586
15	99,50	0,00	-1,20	0,286
16	100,80	0,00	-2,10	0,167
17	106,80	0,00	-2,10	0,009
18	108,10	0,00	-1,20	0,004
19	110,00	0,00	-1,20	0,002

2.2 Residual Times

Vertical number	Time [days]	Settlement [m]	Part of final settlement [%]	Residual settlements [m]
1	365	0,001	54,841	0,001
2	365	0,002	55,866	0,002
3	365	0,118	54,952	0,097
4	365	0,111	53,597	0,096
5	365	0,724	53,725	0,624
6	365	0,746	53,729	0,642
7	365	0,720	53,743	0,619
8	365	0,314	54,061	0,266
9	365	1,103	85,203	0,192
10	365	1,242	85,228	0,215
11	365	1,241	85,228	0,215
12	365	1,108	85,204	0,192
13	365	0,355	56,514	0,273
14	365	0,315	53,854	0,270
15	365	0,154	53,906	0,132
16	365	0,092	54,872	0,076
17	365	0,005	55,235	0,004
18	365	0,002	54,188	0,002
19	365	0,001	54,430	0,001

3 Warnings and errors

List of non-fatal warnings and errors generated during calculation.

- 1 D-Settlement will incorporate submerging as a one-off load reduction at time zero, due to the limitations of the Terzaghi model. Use the Darcy model for a gradual weight reduction of soil and loading during submerging
- 2 The Terzaghi model uses one consolidation coefficient for loading/unloading. This can underestimate residual settlements after unloading. Switch to Darcy for, more accurate calculations of the consolidation stage.

End of Report