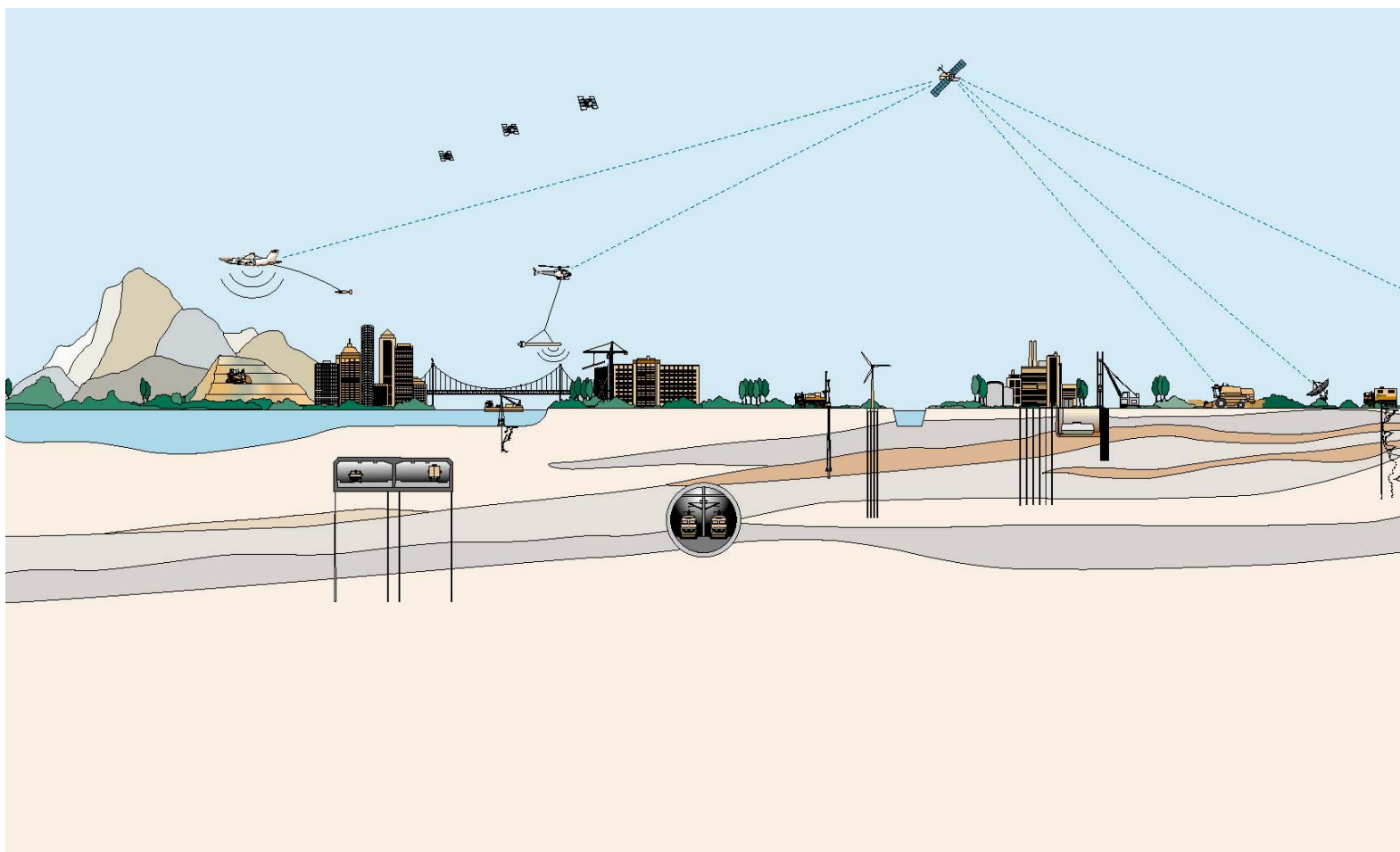


GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN  
FUNDERINGSADVIES  
betreffende

**NIEUWBOUW 19 WONINGEN A/D  
HOFSTRAAT TE SCHAGEN**

Opdrachtnummer: 4009-0271-003



GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN  
FUNDERINGSADVIES  
betreffende

**NIEUWBOUW 19 WONINGEN A/D  
HOFSTRAAT TE SCHAGEN**

Opdrachtnummer: 4009-0271-003

Opdrachtgever : Wooncompagnie  
Postbus 160  
1620 AD HOORN

Constructeur : Berkhout Tros Bouwadviseurs BV  
Scheldestraat 32  
1823 WB Alkmaar

Datum grondonderzoek : 14 mei 2009 / 16 juli 2015

Projectleider : ir. F.C.M. Seignette  
Senior Adviseur Geo-Consultancy

Opgesteld door : ing. R.D. Kemble  
Adviseur Geo-Advies

Gecontroleerd door : ir. F.C.M. Seignette  
Senior Adviseur Geo-Consultancy

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	20 augustus 2015	Eerste versie	
2	16 december 2015	Tabel rekenwaarde paalpuntniveaus voor bergingen toegevoegd (tabel 3-2)	

FILE: 4009-0271-003\_31.R01

<u>INHOUDSOPGAVE</u>	<u>Blz.</u>
1. ALGEMENE TOELICHTING	1
1.1. Inleiding	1
1.2. Projectomschrijving	1
2. GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN BODEMGESTELDHEID	2
2.1. Algemeen	2
2.2. Globale bodemgesteldheid	2
2.3. Grondwaterstanden	2
3. FUNDERINGSADVIES	3
3.1. Algemeen	3
3.2. Uitgangspunten en berekeningsresultaten	3
4. UITVOERING	7

<u>BIJLAGEN</u>	<u>Nr.</u>
<u>Geotechnisch onderzoek</u>	
- Rapportage Geotechnisch Veldwerk	4009-0271-002_21.KR01
<u>Funderingsadvies</u>	
- Berekening en toetsing rekenwaarde netto draagkracht	A1
<u>Uitvoering</u>	
- "Uitvoering Avegaarpalen en Buisschroefpalen"	

---

## **1. ALGEMENE TOELICHTING**

### **1.1. Inleiding**

Op 14 december 2015 ontving Fugro GeoServices B.V. te Amsterdam van Wooncompagnie te Hoorn, de aanvullende opdracht voor het uitbrengen van een aanvullend funderingsadvies voor de Nieuwbouw van 19 woningen a/d Hofstraat te Schagen.

De aanvulling betreft de rekenwaarde van de draagkracht op geadviseerde paalpuntniveaus voor de vrijstaande bergingen.

Dit rapport bevat:

- een korte projectomschrijving;
- een beschrijving van het uitgevoerde geotechnisch onderzoek en de bodemgesteldheid (hoofdstuk 2);
- een funderingsadvies en berekening van de draagkracht (hoofdstuk 3);
- aanbevelingen met betrekking tot de uitvoering (hoofdstuk 4).

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.

### **1.2. Projectomschrijving**

De bouwlocatie is gelegen aan de Hofstraat te Schagen.

Het plan betreft sloop en vervangende nieuwbouw van 19 ééngezinswoningen op de bovengenoemde locatie.

Bovenstaande gegevens zijn door de constructeur verstrekt.

Voor nadere gegevens omtrent de constructie verwijzen wij u naar de berekeningen en tekeningen van de constructeur.

## **2. GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN BODEMGESTELDHEID**

### **2.1. Algemeen**

Het grondonderzoek voor dit project heeft bestaan uit 7 diepsonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand (code DKM) tot ca. 25 m diepte.

Tevens is gebruik gemaakt van 2 sonderingen uit het Fugro-archief (DKM1 en DKM2) welke in 2009 op locatie zijn uitgevoerd.

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

De aard en omvang van het geotechnisch onderzoek voldoet aan 3.2.3 van NEN 9997-1 voor de toetsing van geotechnische constructies.

### **2.2. Globale bodemgesteldheid**

De maaiveldniveaus ter plaatse van de sondeerlocaties varieerden ten tijde van het onderzoek van NAP +0,20 tot NAP -0,41 m.

De globale bodemgesteldheid is naast de sondeergrafieken weergegeven.

### **2.3. Grondwaterstanden**

Tijdens de uitvoering van het grondonderzoek is de grondwaterstand aangetroffen op NAP -1,6 à NAP -2,1 m. Deze grondwaterstand is een éénmalige opname en bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd (sterk) fluctueren onder invloed van weersgesteldheid en de seizoenen.

### 3. FUNDERINGSADVIES

#### 3.1. Algemeen

Gezien de aangetroffen bodemgesteldheid en de aard van de bebouwing komt voor dit project een fundering op palen in aanmerking.

Op verzoek van de constructeur is uitgegaan van de toepassing van in de grondgevormde, grondverwijderende betonpalen, type Avegaar of gelijk waardig. Deze funderingsoplossing is in paragraaf 3.2 nader uitgewerkt.

Het funderingsadvies voor dit project is opgesteld conform de norm geotechniek NEN 9997-1. Het mede op basis van dit advies gemaakte funderingsontwerp dient achteraf te worden getoetst aan de geldende geotechnische normen.

In het ontwerpstadium zijn in het algemeen geen gedetailleerde gegevens beschikbaar met betrekking tot het palenplan, de exacte paalbelastingen, de gebouwsijfheid en de vervormingseisen. Derhalve wordt in dit stadium van het project volstaan met de toetsing van de uiterste grenstoestand (UGT) type B op sterkte. Voor de meeste paaltypen, zoals grondverdringende palen en avegaarpalen met relatief kleine diameter, is deze grenstoestand veelal maatgevend, zodat hiermee ook de andere grenstostanden worden ondervangen.

Voor de paalfundering is uitgegaan van verticaal, centrisch en op druk belaste palen. Momenten, trekbelastingen en horizontale belastingen zijn niet beschouwd.

#### 3.2. Uitgangspunten en berekeningsresultaten

Voor de uitwerking van het funderingsadvies voor dit project zijn de volgende door de constructeur verstrekte uitgangspunten gehanteerd:

- De rekenwaarden (UGT) voor de benodigde paalbelastingen vanuit de constructie ( $F_{c,d}$ ) bedragen 550 kN voor woningen en 50 à 100 kN voor de vrijstaande bergingen;
- Het terrein zal niet significant worden opgehoogd of worden ontgraven;
- De voor dit advies relevante sonderingen zijn de archief-sondering DKM1 en 2 en de recent uitgevoerde sonderingen DKM4 t/m 10.

Voor het funderingsadvies is voor in de grondgevormde, grondverwijderende betonpalen, type Avegaar, op geadviseerde paalpuntniveaus de rekenwaarde van de draagkracht van de palen bepaald. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in de tabellen 3-1 en 3-2

Bij de funderingspalen van de bergingen wordt, gezien het algemene beeld van de sonderingen, een paalpuntniveau van NAP -10,0 à -11,0 m geadviseerd..

Tabel 3-1: Paalpuntniveaus en rekenwaarden van de paal draagkracht **woningen** ( $F_{c;d} = 550 \text{ kN}$ )

Sondering nr.	Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP	Paalpuntniveau in m t.o.v. NAP	$R_{c;net;d}$ in kN Avegaarpalen (mortelschroefpalen)	
			Ø 300 mm *)	Ø 350 mm
DKM 1	+0,18	-20,5	460	575
		-21,0	570	700
		-21,5 v.k.	570	700
		-22,0	580	720
DKM 2	+0,05	-20,5	530	650
		-21,0	530	660
		-21,5	590	730
		-22,0	600	750
DKM4	-0,04	-20,5	580	720
		-21,0	610	760
		-21,5	660	820
		-22,0	680	850
DKM5	-0,41	-20,5	540	670
		-21,0	640	800
		-21,5	650	780
		-22,0	650	810
DKM6	-0,04	-20,5	560	680
		-21,0	550	690
		-21,5	570	700
		-22,0	590	750
DKM7	-0,35	-20,5	530	660
		-21,0	540	670
		-21,5	570	710
		-22,0	590	730
DKM8	-0,09	-20,5	460	570
		-21,0	500	620
		-21,5	520	650
		-22,0	550	670
DKM9	+0,20	-20,5	470	590
		-21,0	510	640
		-21,5	540	670
		-22,0	550	670
DKM10	+0,08	-22,0	520	650
		-22,5	550	670
		-23,0	550	690

Tabel 3-2: Paalpuntniveaus en rekenwaarden van de paal draagkracht **bergingen** ( $F_{c,d} = 50$  à  $100$  kN)

Sondering nr.	Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP	Paalpuntniveau in m t.o.v. NAP	$R_{net,d}$ in kN Schroefpaal avegaar	
			Ø 250 mm	Ø 300 mm
DKM4	-0,04	-10,0	130	175
		-10,5	145	190
		-11,0	155	205
DKM5	-0,41	-10,0	120	155
		-10,5	135	175
		-11,0	145	195
DKM7	-0,35	-10,0	90	120
		-10,5	95	130
		-11,0	115	155
DKM8	-0,09	-10,0	140	180
		-10,5	140	185
		-11,0	140	180
DKM9	+0,20	-10,0	145	195
		-10,5	155	200
		-11,0	155	205
DKM10	+0,08	-10,0	80	110
		-10,5	75	105
		-11,0	110	150

Opmerkingen bij de tabellen:

$R_{c,net,d}$  = rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal, rekening houdend met negatieve kleef ( $= R_{c,d} - F_{nk,d}$ ). In dit geval is de negatieve kleef nihil.

\*) = toepassing in overleg met de leverancier gezien de benodigde lengte.

Bij het indelen van het palenplan, dient het verschil in paalpuntniveau van naast elkaar gelegen vakken bij voorkeur niet groter dan ca. 2,0 m te worden gekozen.

De in de tabel gepresenteerde waarden voor de paal draagkracht zijn grondmechanische waarden. Door de constructeur dient te worden gecontroleerd of de bijbehorende paalschachtspanningen toelaatbaar zijn.

Voorbeeldberekeningen van de rekenwaarde van de netto draagkracht van een paal en de toetsing van UGT type B zijn gegeven in de bijlagen A1 en A2.

Voor de berekening van de rekenwaarde van de maximale draagkracht en de toetsing van de UGT type B volgens 7.6.2.3 van NEN 9997-1 zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Het project is geplaatst in geotechnische categorie 2.
- Omdat in dit stadium van het ontwerp de stijfheid van de constructie nog niet exact bekend is, is de stijfheid van de constructie niet in rekening gebracht. Volgens tabel A.10a van NEN 9997-1 is voor de factoren  $\xi_3$  en  $\xi_4$  een waarde van 1,39 gehanteerd.
- Bij sondering DKM10 is bij de draagkrachtberekeningen voor de bergingen, gezien de aanwezigheid van samendrukbare lagen tot een niveau van ca. NAP -4,5 m, rekening gehouden met het optreden van negatieve kleef langs de paalschacht.



- Bij de overige sonderingen is, aangezien geen terreinzakkingen groter dan 0,02 m verwacht worden, conform 7.3.2.2(a) van NEN 9997-1 in de berekeningen geen negatieve kleeftbelasting verdisconteerd.
- Bij de draagkrachtberekeningen zijn voor de avegaarpalen de volgende paalfactoren aangehouden;  
 $\alpha_p = 0,8$   
 $\alpha_s = 0,06$   
 $\beta = 1,0$   
 $s = 1,0$
- Toetsing volgens de UGT type B houdt in dat voldaan moet worden aan:  
 $F_{c;d} < (R_{c;d} - F_{nk;d})$ . De vervormingsgrenstoestanden zijn, gezien de zeer geringe zakking van de palen onder invloed van de belasting, niet maatgevend.

#### 4. UITVOERING

De avegaarpalen dienen te worden geïnstalleerd door een gerenommeerd en in dit paaltype gespecialiseerd bedrijf, bij voorkeur conform de KIWA beoordelingsrichtlijn BRL 2356 1992-06-01, bijlage A (*"Werkwijze bij het vervaardigen van schroefpalen type avegaar"*) en de Nederlandse voornorm NVN 6724, maart 2001, (*"Voorschriften Beton –In de grond gevormde funderingselementen van beton of mortel"*). Toezicht dient plaats te vinden op basis van CUR Aanbeveling 114 "Toezicht op de realisatie van paalfunderingen".

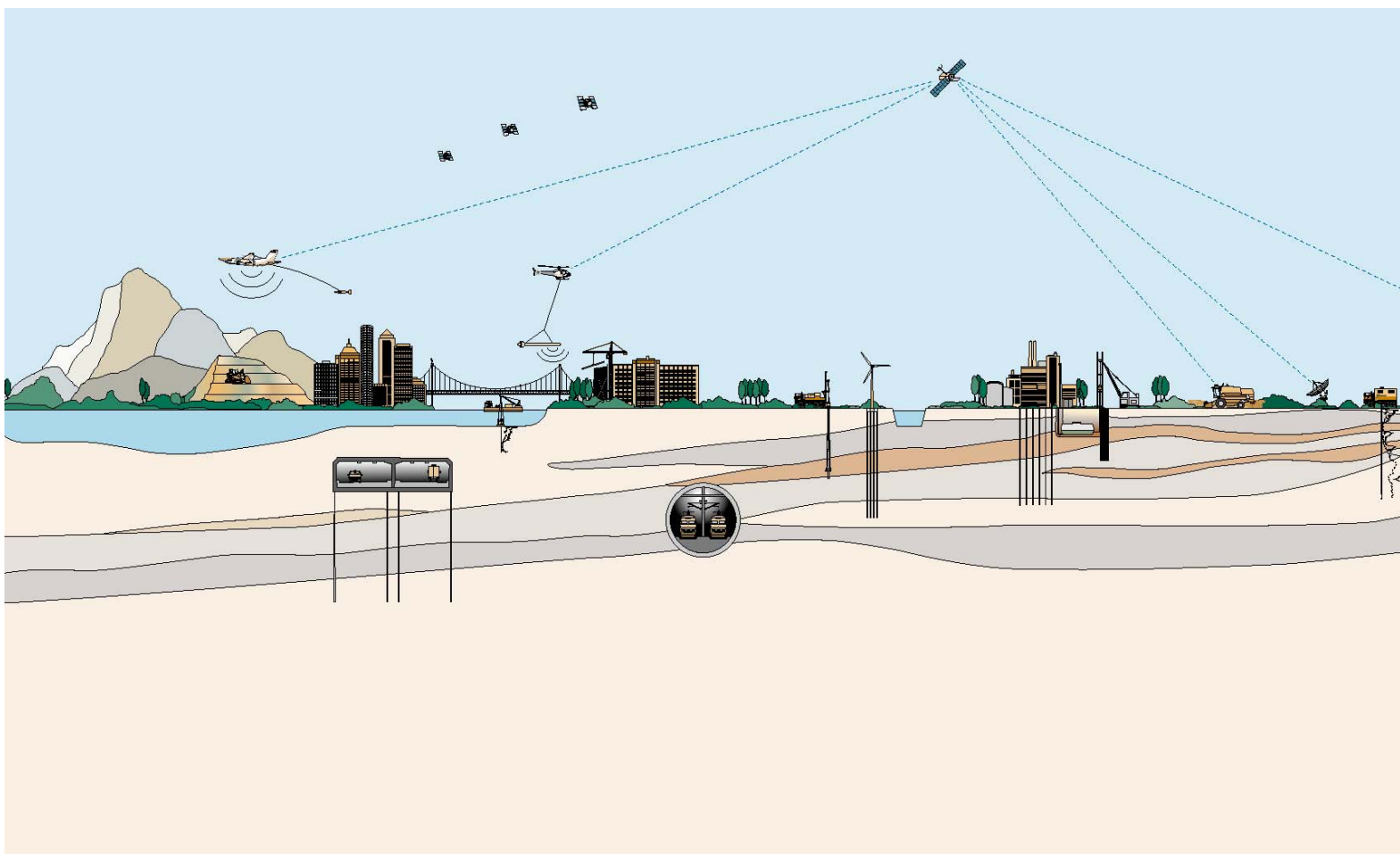
Een opwaarts gerichte grondwaterstroming tengevolge van een niet-hydrostatisch waterdrukverloop tijdens het installeren van de palen kan een ongewenst effect hebben op de draagkracht en de paalkwaliteit. Afhankelijk van de grootte van de gradiënt kan uitspoeling van deeltjes optreden. In een voorkomend geval kan het effect van de opwaartse waterstroming verminderd worden door een verhoogd werkniveau toe te passen.

RAPPORTAGE

GEOTECHNISCH VELDWERK  
betreffende

**NIEUWBOUW 19 WONINGEN  
A/D HOFSTRAAT  
TE SCHAGEN**

Opdrachtnummer: 4009-0271-002



**RAPPORTAGE GEOTECHNISCH VELDWERK**

Project	Nieuwbouw 19 woningen a/d Hofstraat te Schagen	Opdrachtnummer	4009-0271-002
Opdrachtgever	Wooncompagnie Postbus 160 1620 AD HOORN	Datum rapportage	20 juli 2015
		Uitvoeringsperiode	15 juli 2015
Opgesteld door	Tekenkamer		
Gecontroleerd door	R. Fens		
Projectleider	ir. F.C.M. Seignette		
Documentnaam	4009-0271-002_21.KR01.doc		

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

Tot deze rapportage behoren de volgende bijlagen:

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

**1. GEOTECHNISCH VELDWERK**

Het geotechnisch veldwerk voor dit project heeft bestaan uit:

- 7 sonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand;

Bij deze rapportage zijn drie sonderingen van de eerste fase toegevoegd. Het betreft de sonderingen DKM1 t/m DKM3.

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 put ingemeten op NAP -0.01 meter. De locatie is aangegeven op de situatietekening.

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.

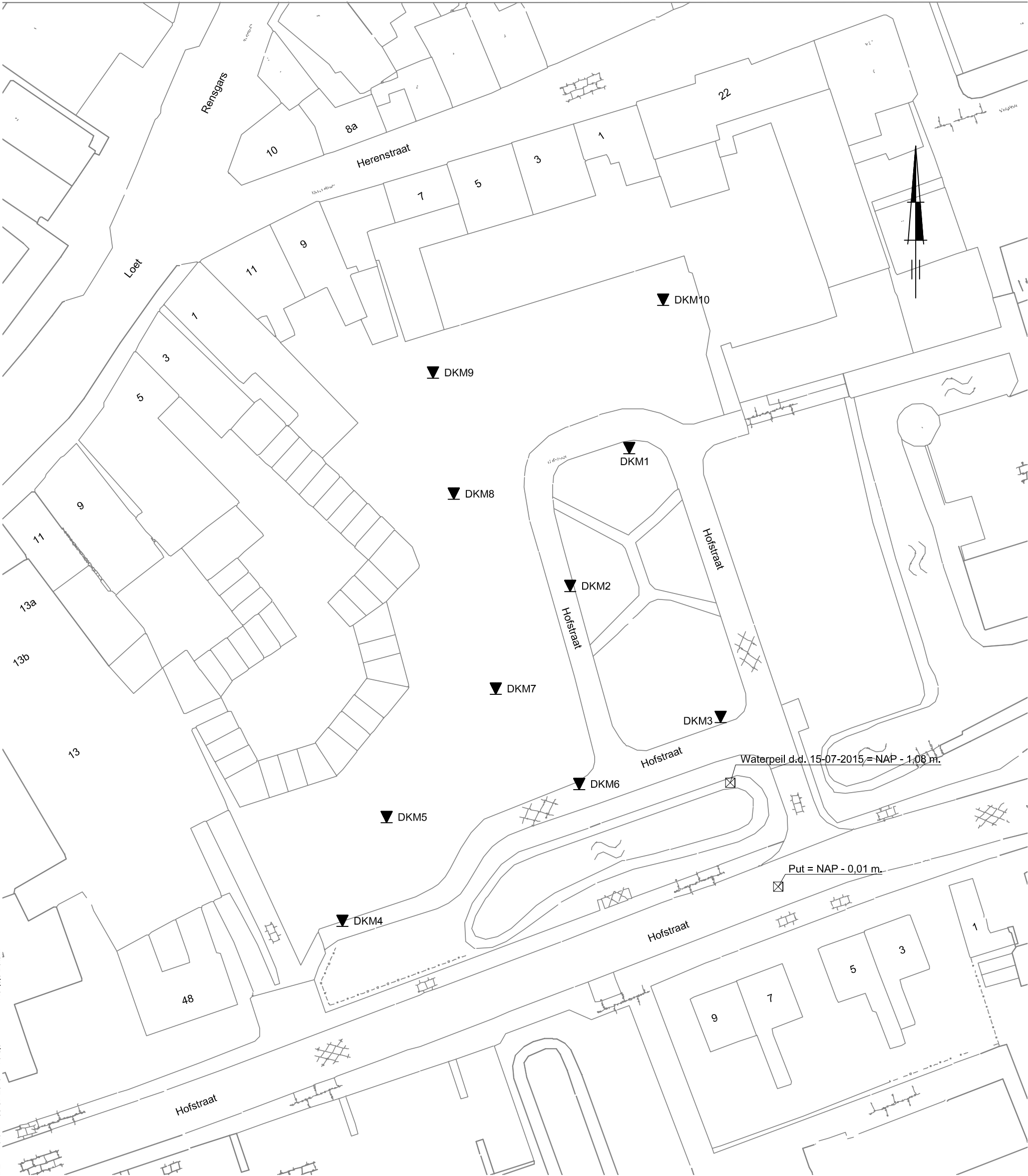
### **4. (GROND)WATERSTAND**

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 twee sondeergaten aangetroffen op 1,8 m beneden maaiveld, hetgeen overeenkomt met circa NAP -1,6 m tot NAP -2,1 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.

### **5. 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\4009-0271-002\21\_Uitvoering\_terreinonderzoek\10\_Basisgegevens\4009-0271-002.dwg  
Get.: RFE Datum: 09-07-2015 Revisie Datum: Versie :

Wijziging	002	17-07-2015	DKM4 t/m DKM10	YFN
-----------	-----	------------	----------------	-----

0 5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 m

Schaal 1 : 500

SITUATIE

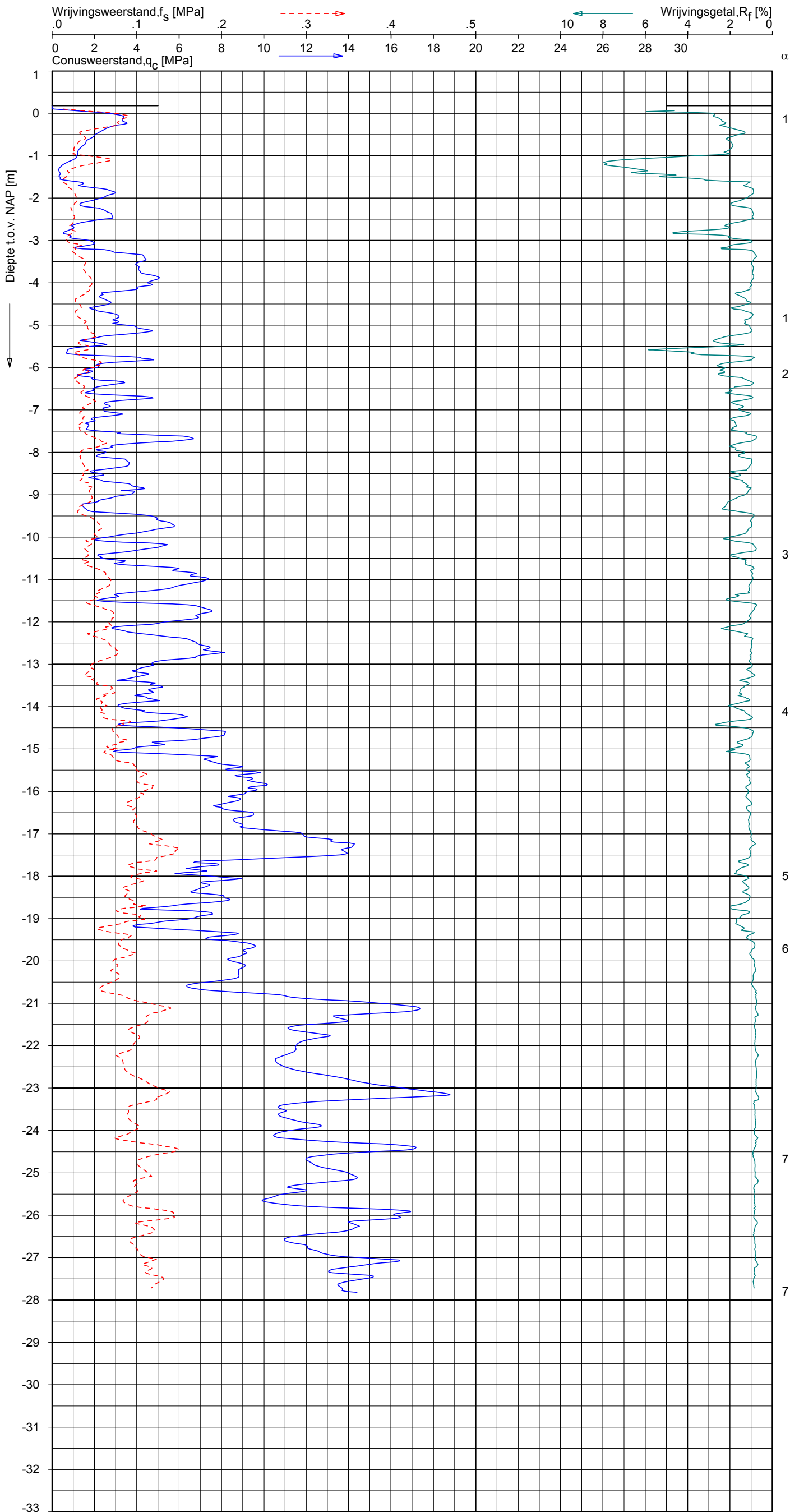
NIEUWBOUW 19 WONINGEN A/D HOFSTRAAT TE SCHAGEN

Opdr. : 4009-0271-002  
Bijl. : 1

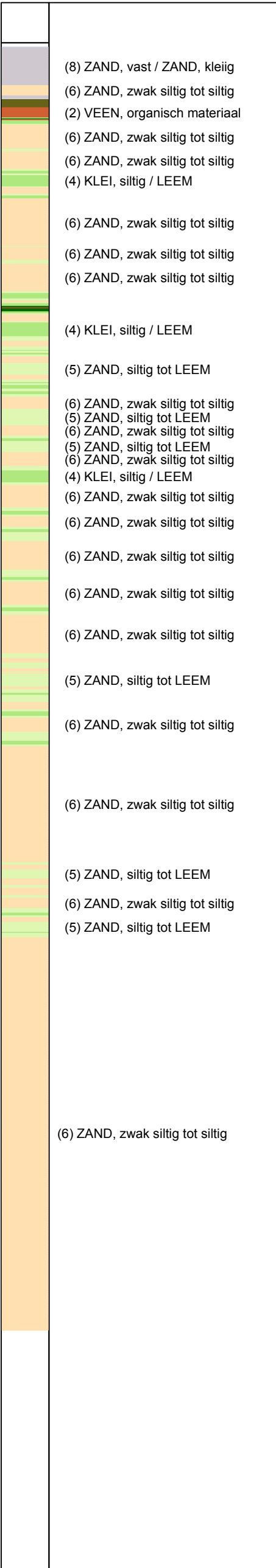
UNIPLOT 05.08.nl / QcfClass-N3.cmd / 2009-05-15 08:17:04

4009-0271-000

DKM 1 - 1



**CPT data classificatie - indicatief**  
Classificatie gebaseerd op genormaliseerde  
conusweerstand en wrijvingsgetal.  
(Robertson 1990, NL corr.)  
Geldig onder grondwaterpeil.



Opg. : VV/FVK d.d. 14-May-2009 conus : F7.5CKE2HA/B X =  
Get. : BUCKERR d.d. 2009-05-15 MV = NAP +0.18 m Y =

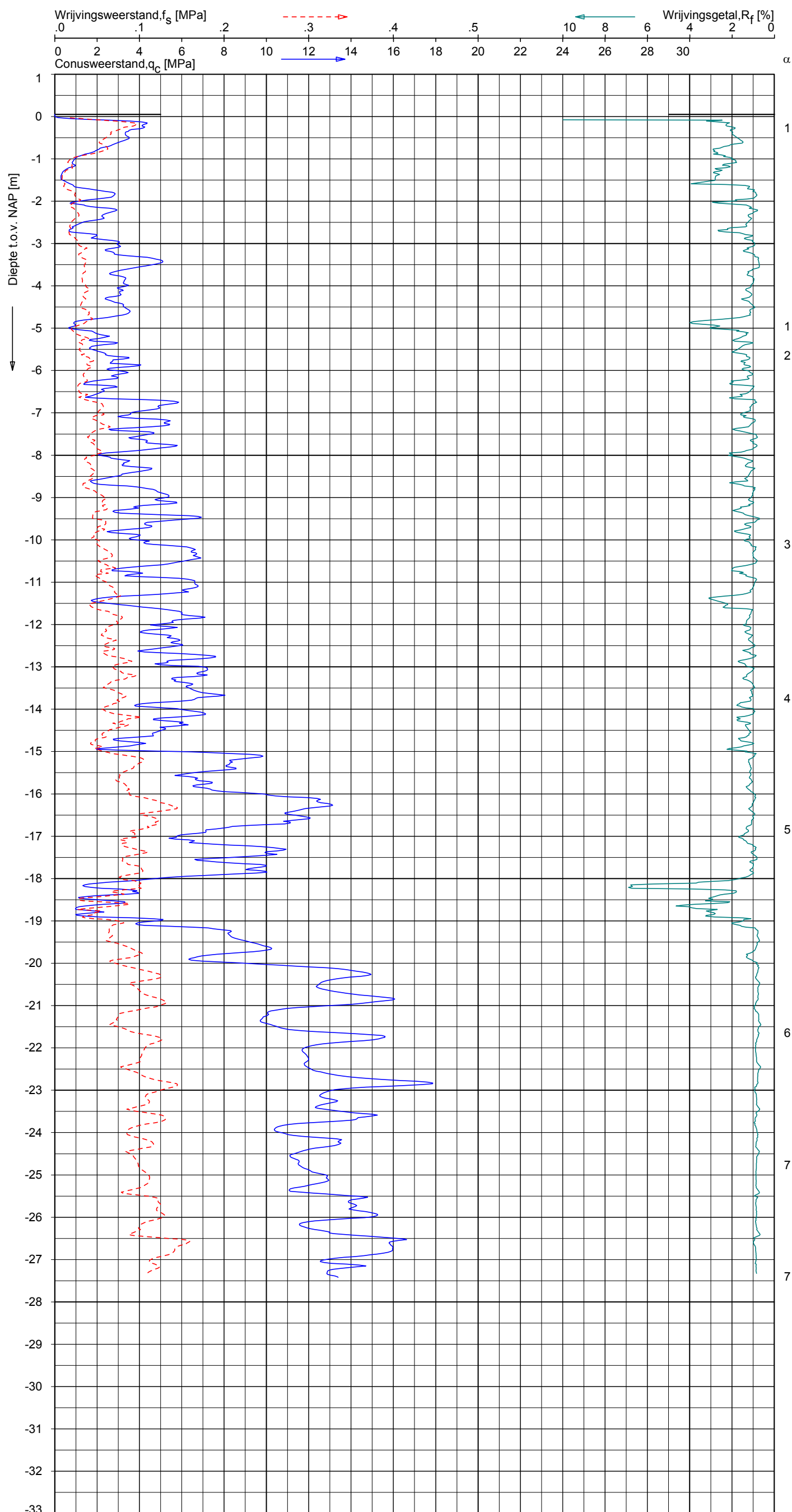
Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2  
conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm  
 $\alpha$  afwijking van de vertikaal

FUGRO

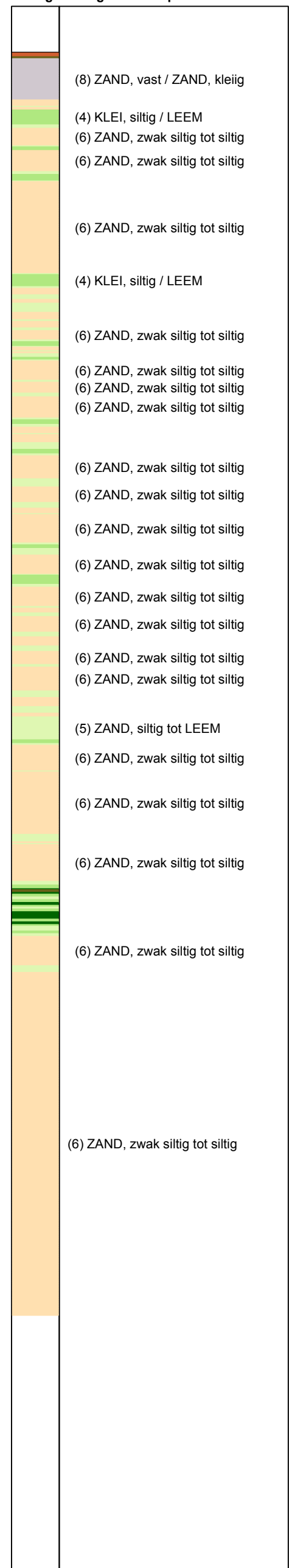
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING


HOFSTRAAT TE SCHAGEN.

Opdr. 4009-0271-000  
Sond. DKM 1



**CPT data classificatie - indicatief**  
 Classificatie gebaseerd op genormaliseerde  
 conusweerstand en wrijvingsgetal.  
 (Robertson 1990, NL corr.)  
 Geldig onder grondwaterpeil.



Opg. :	VV/FvK	d.d.	14-May-2009	conus :	F7.5CKE2HA/B	X =	Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2 conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mmr α afwijking van de vertikaal	
Get. :	BUCKERR	d.d.	2009-05-15	MV = NAP	+0.05 m	Y =		

## SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

HOFSTRAAT TE SCHAGEN.

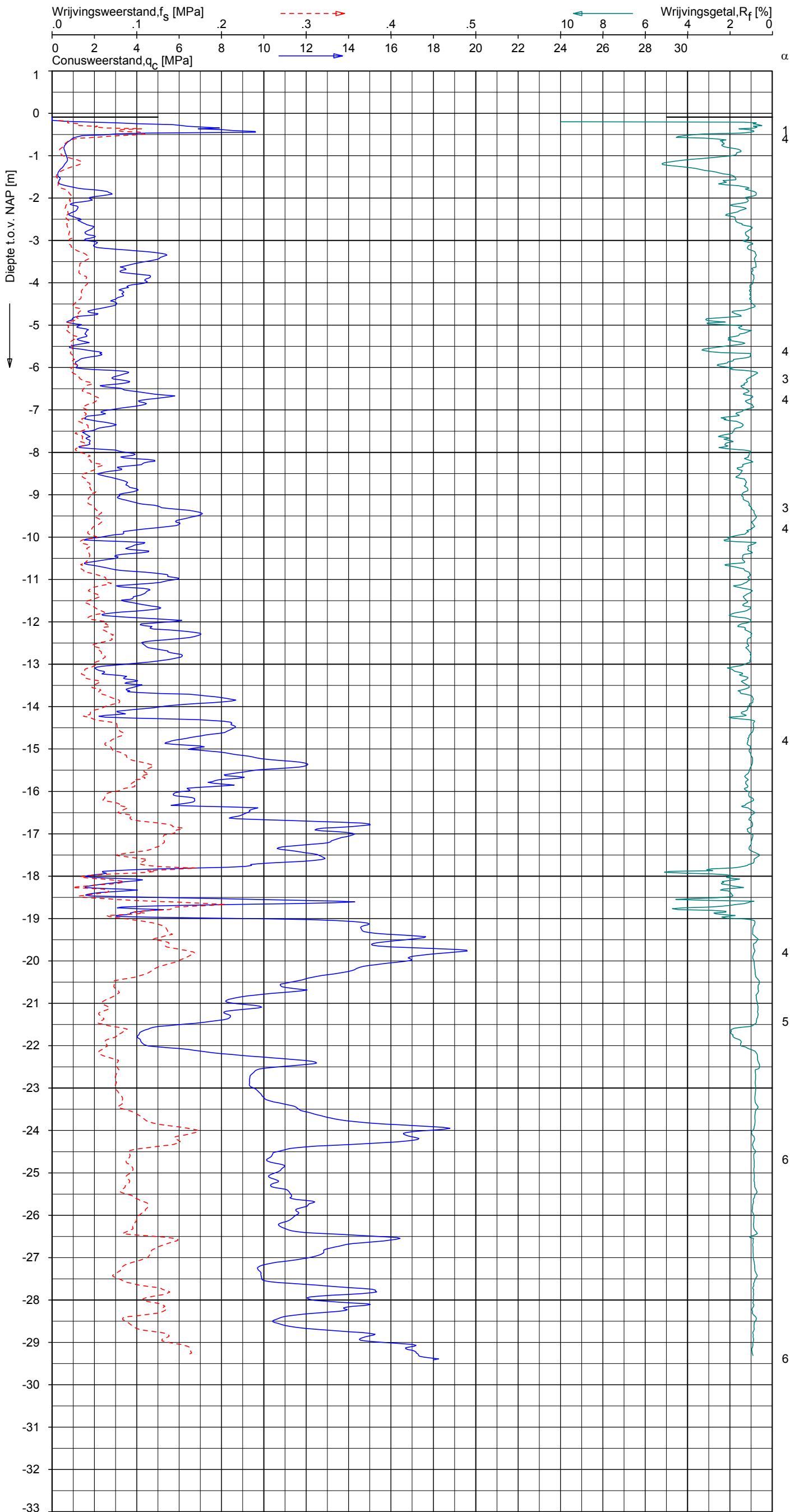
Opdr. 4009-0271-000  
Sond. DKM 2



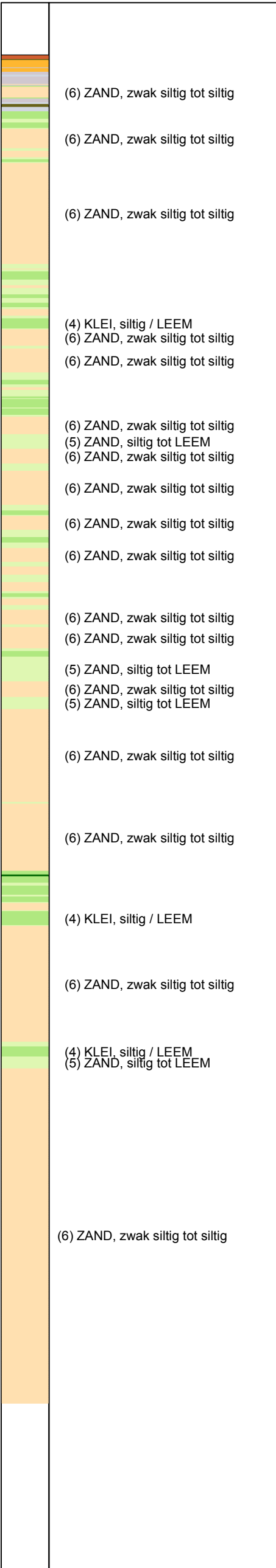
UNIPLOT 05.08.nl / QcfClass-N3.cmd / 2009-05-19 11:11:57

4009-0271-000

DKM 3 - 1



**CPT data classificatie - indicatief**  
Classificatie gebaseerd op genormaliseerde  
conusweerstand en wrijvingsgetal.  
(Robertson 1990, NL corr.)  
Geldig onder grondwaterpeil.



Opg.: VV/FVK d.d. 14-May-2009 conus: F7.5CKE2HA/B X =  
Get.: BUCKERR d.d. 2009-05-15 MV = NAP -0.09 m Y =  
Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2  
conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm  
α afwijking van de vertikaal



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

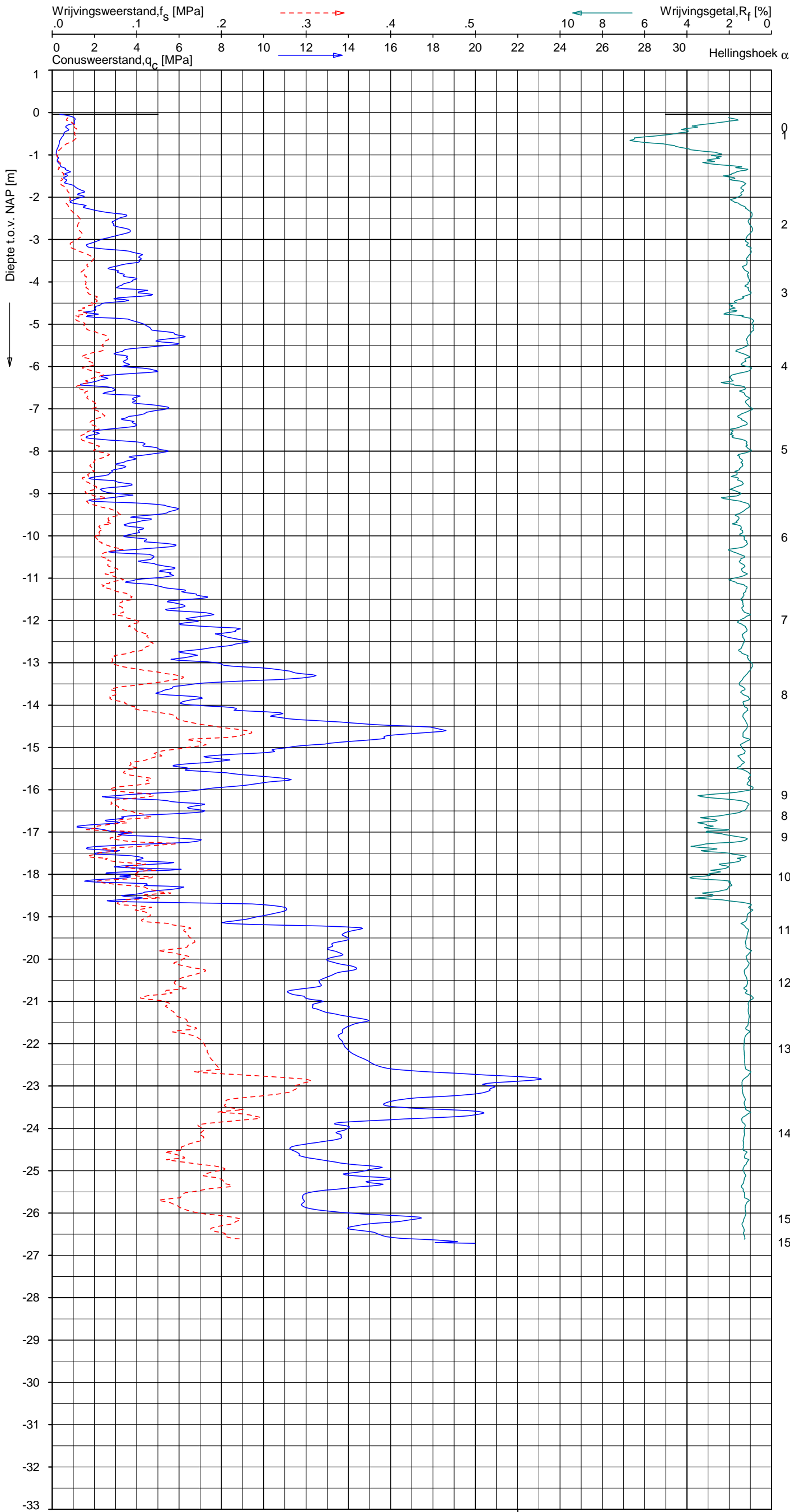
HOFSTRAAT TE SCHAGEN.

Opdr. 4009-0271-000  
Sond. DKM 3

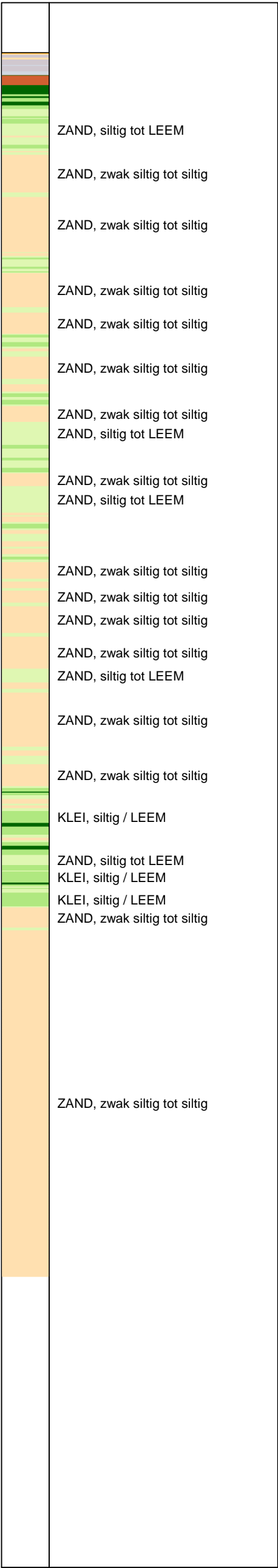
UNIPLOT 05.28.nl / QcfClass-R3.cmd / 2015-07-20 10:28:37

4009-0271-002

DKM4 - 1



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



Opg. : AVS- DMB d.d. 15-jul-2015 Coord.: X=115098.5 m Y= 533263.3 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : NGY d.d. 20-jul-2015 MV = NAP -0.04 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2572 Toepassingsklasse 2. Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1510 \text{ mm}^2$ ;  $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

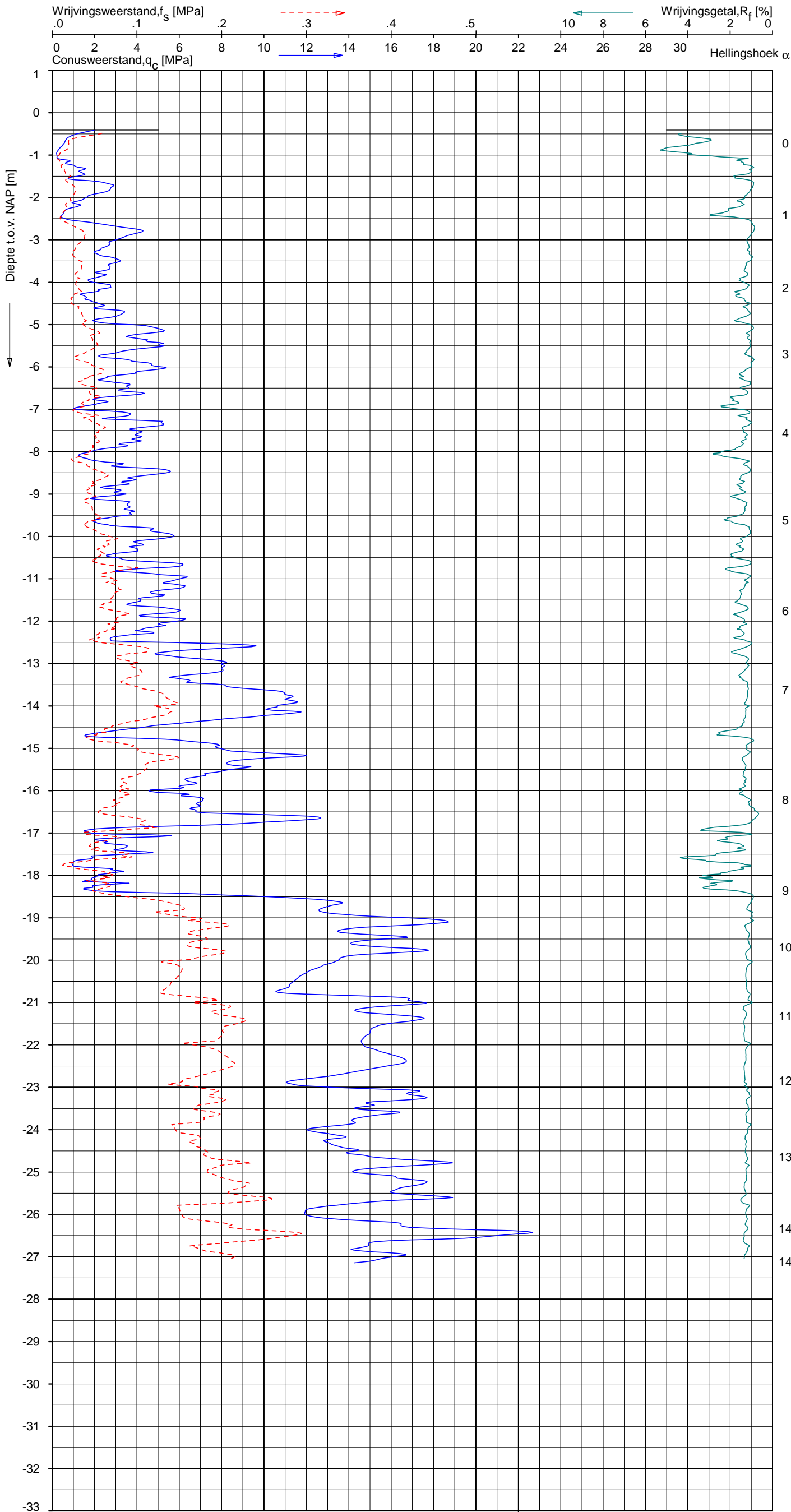
NIUWBOUW 19 WONINGEN A/D HOFSTRAAT TE SCHAGEN

Opdr. 4009-0271-002  
Sond. DKM4

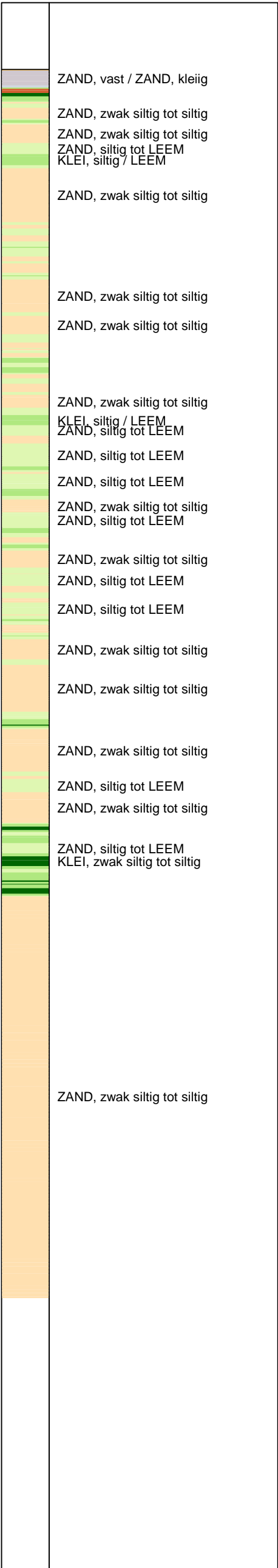
UNIPLOT 05.28.nl / QcfSClass-R3.cmd / 2015-07-20 10:28:39

4009-0271-002

DKM5 - 1



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



Opg. : AVS- DMB d.d. 15-jul-2015 Coord.: X=115104.4 m Y= 533277.0 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : NGY d.d. 20-jul-2015 MV = NAP -0.41 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2572 Toepassingsklasse 2. Test type TE1  
Conustype: A<sub>c</sub> = 1510 mm<sup>2</sup>; A<sub>s</sub> = 19895 mm<sup>2</sup>



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

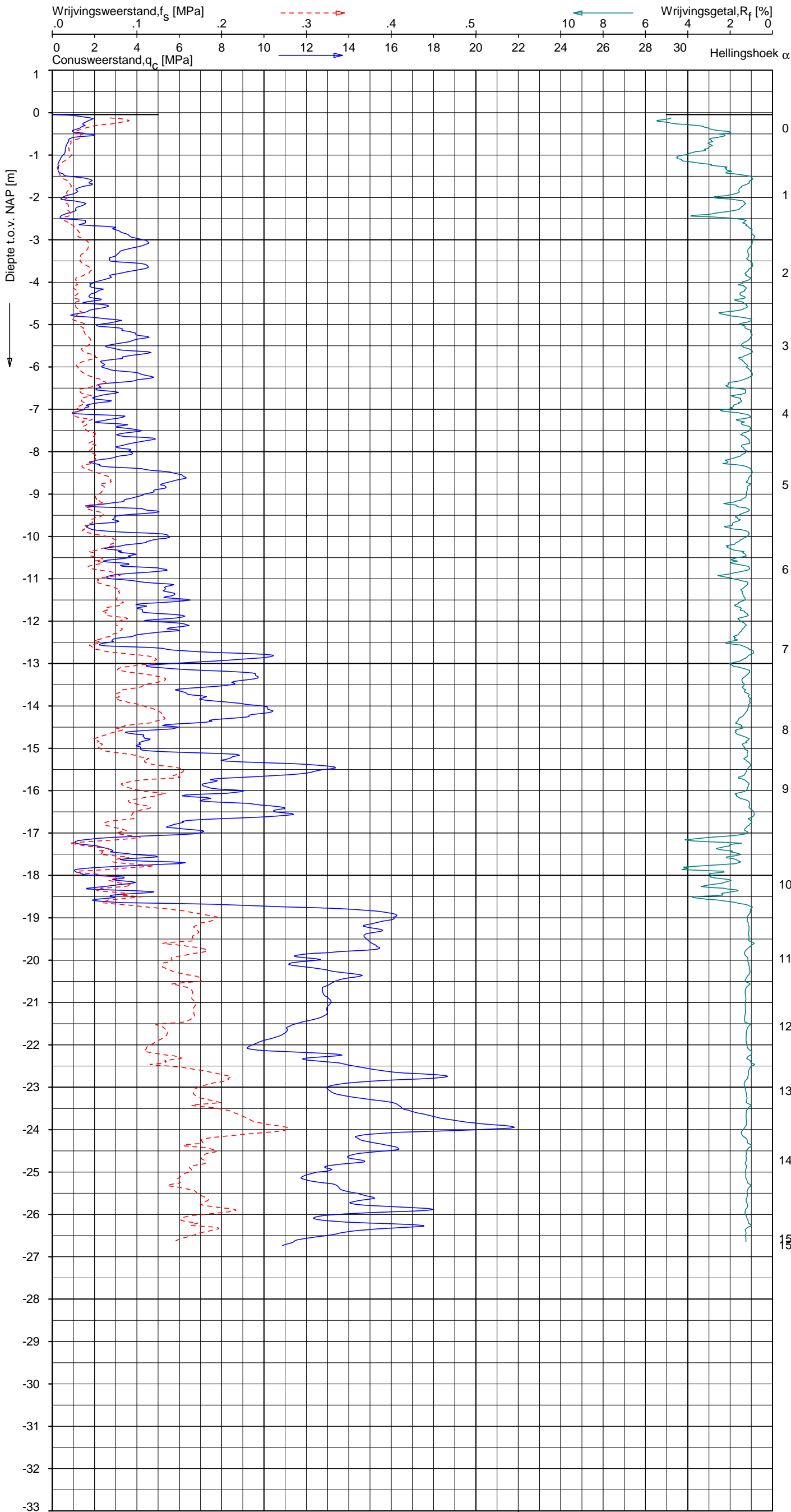
NIEUWBOUW 19 WONINGEN A/D HOFSTRAAT TE SCHAGEN

Opdr. 4009-0271-002  
Sond. DKM5

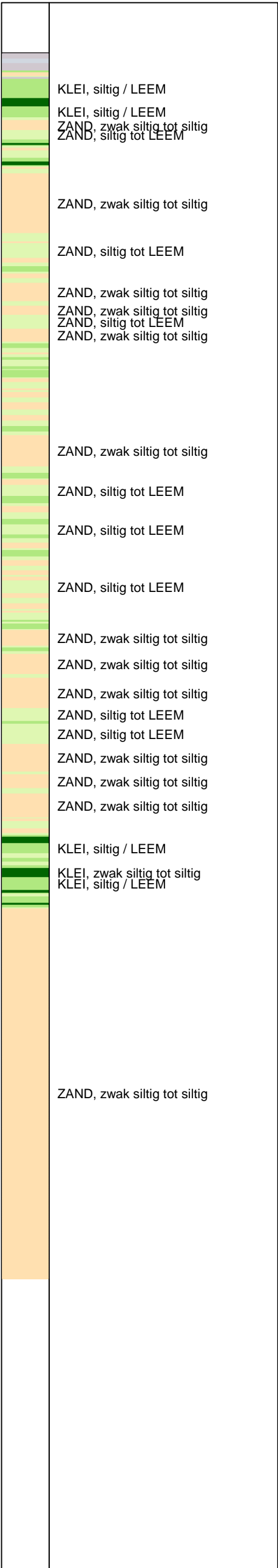
UNIPLOT 05.28.nl / QcfClass-R3.cmd / 2015-07-20 10:28:42

4009-0271-002

DKM6 - 1



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



Opg. : AVS- DMB d.d. 15-jul-2015 Coord.: X=115129.9m Y= 533281.4m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : NGY d.d. 20-jul-2015 MV = NAP -0.04m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2572 Toepassingsklasse 2. Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1510 \text{ mm}^2$ ;  $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

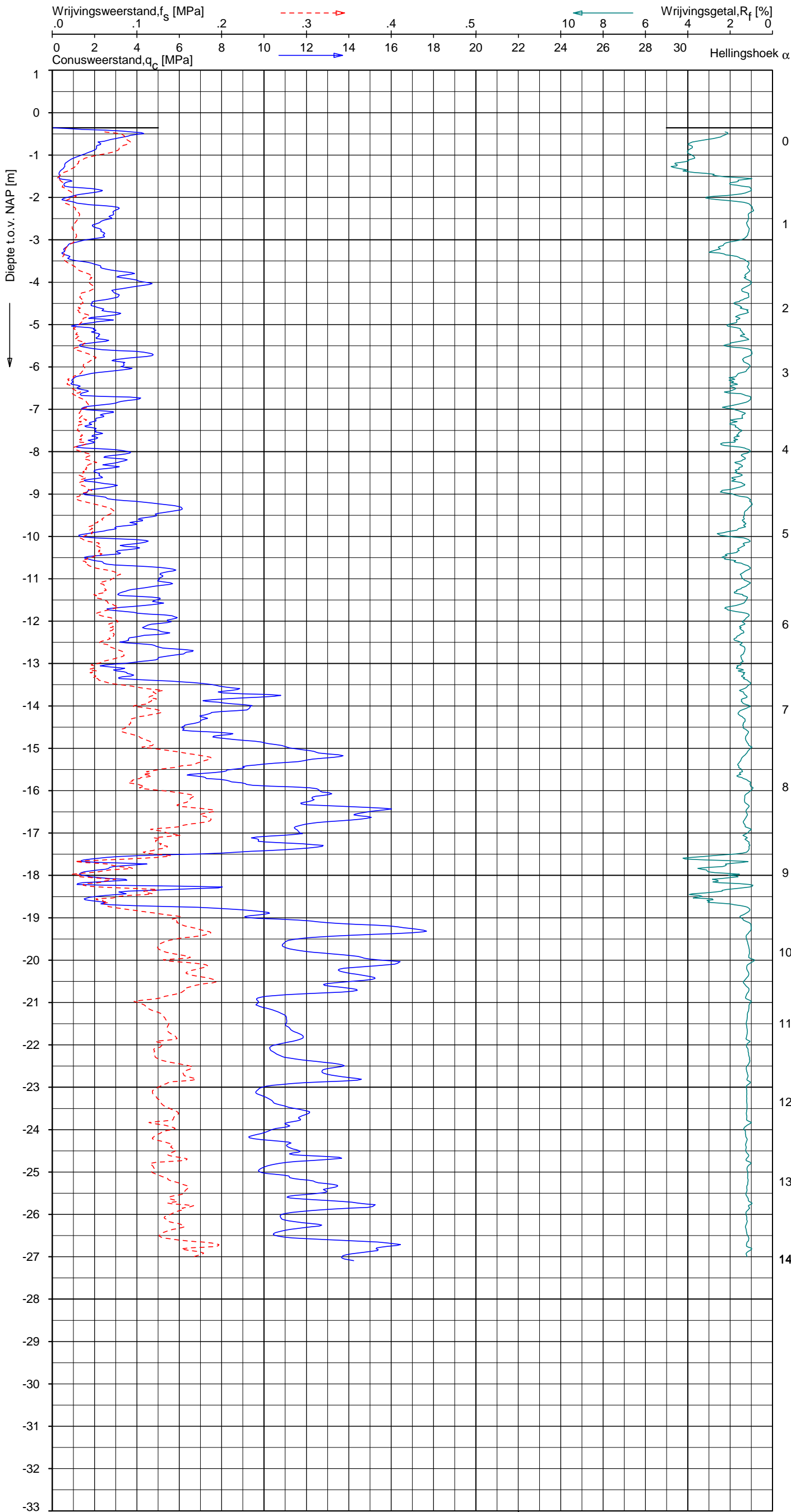
NIEUWBOUW 19 WONINGEN A/D HOFSTRAAT TE SCHAGEN

Opdr. 4009-0271-002  
Sond. DKM6

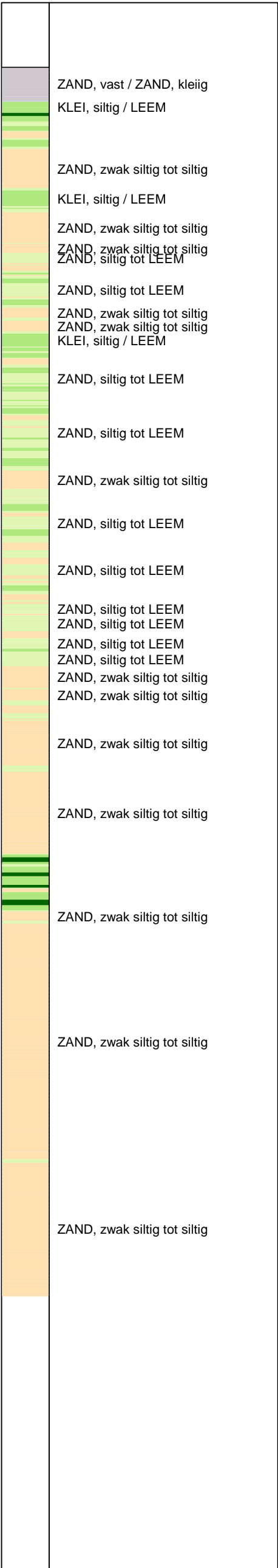
UNIPLOT 05.28.nl / QcfClass-R3.cmd / 2015-07-20 10:28:44

4009-0271-002

DKM7 - 1



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



Opg. : AVS- DMB d.d. 15-jul-2015 Coord.: X=115118.8m Y= 533294.0m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : NGY d.d. 20-jul-2015 MV = NAP -0.35m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2572 Toepassingsklasse 2. Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1510 \text{ mm}^2$ ;  $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

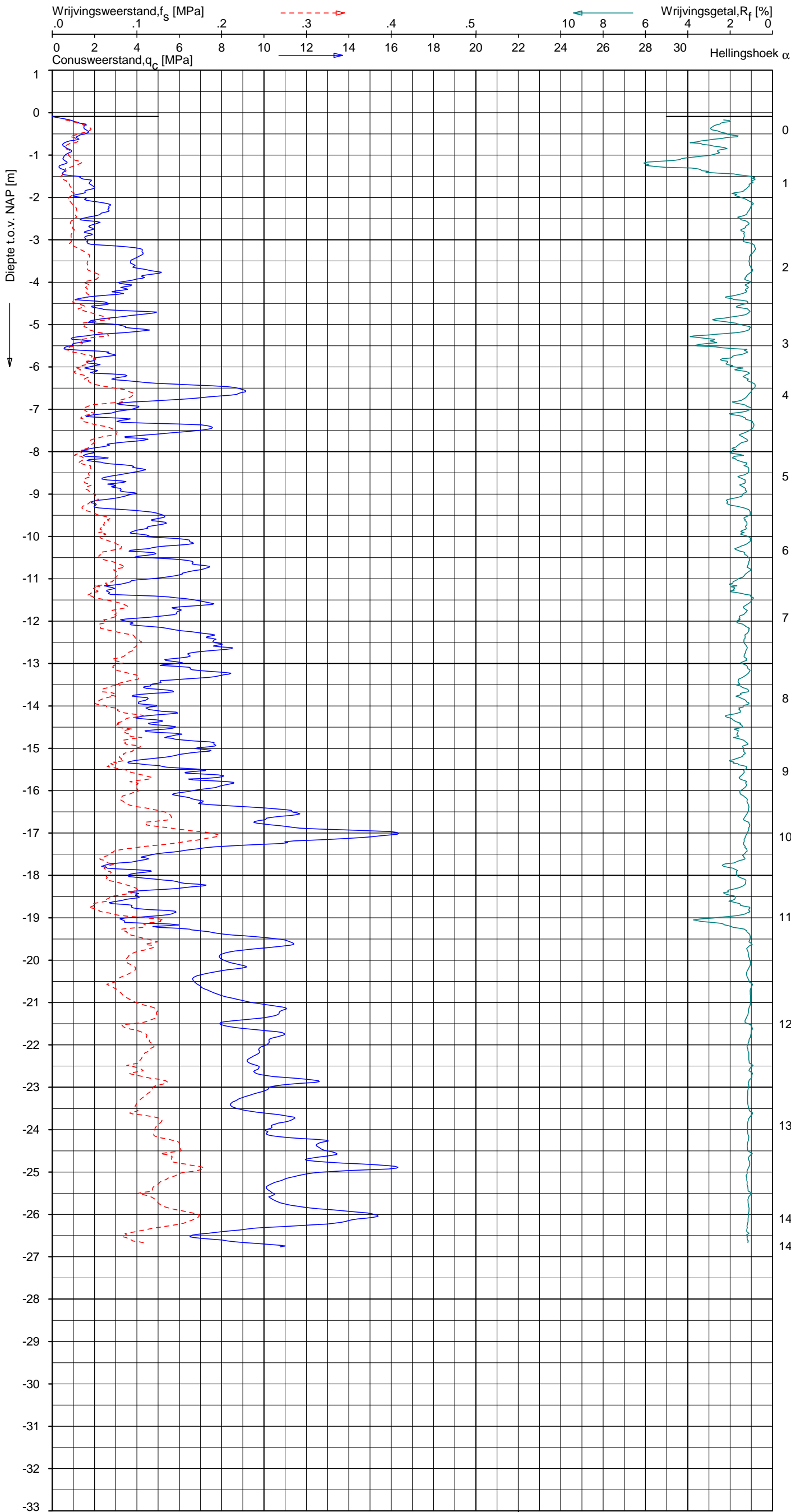
NIEUWBOUW 19 WONINGEN A/D HOFSTRAAT TE SCHAGEN

Opdr. 4009-0271-002  
Sond. DKM7

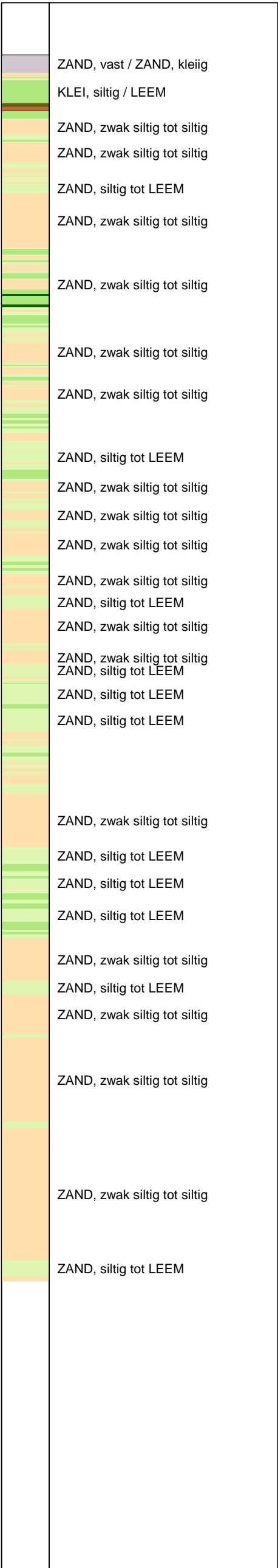
UNIPLOT 05:28.nl / QcfClass-R3.cmd / 2015-07-20 10:28:47

4009-0271-002

DKM8 - 1



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



Opg. : AVS- DMB d.d. 15-jul-2015 Coord.: X=115113.3m Y=533319.9m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : NGY d.d. 20-jul-2015 MV = NAP -0.09m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2572 Toepassingsklasse 2. Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1510 \text{ mm}^2$ ;  $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

NIUWBOUW 19 WONINGEN A/D HOFSTRAAT TE SCHAGEN

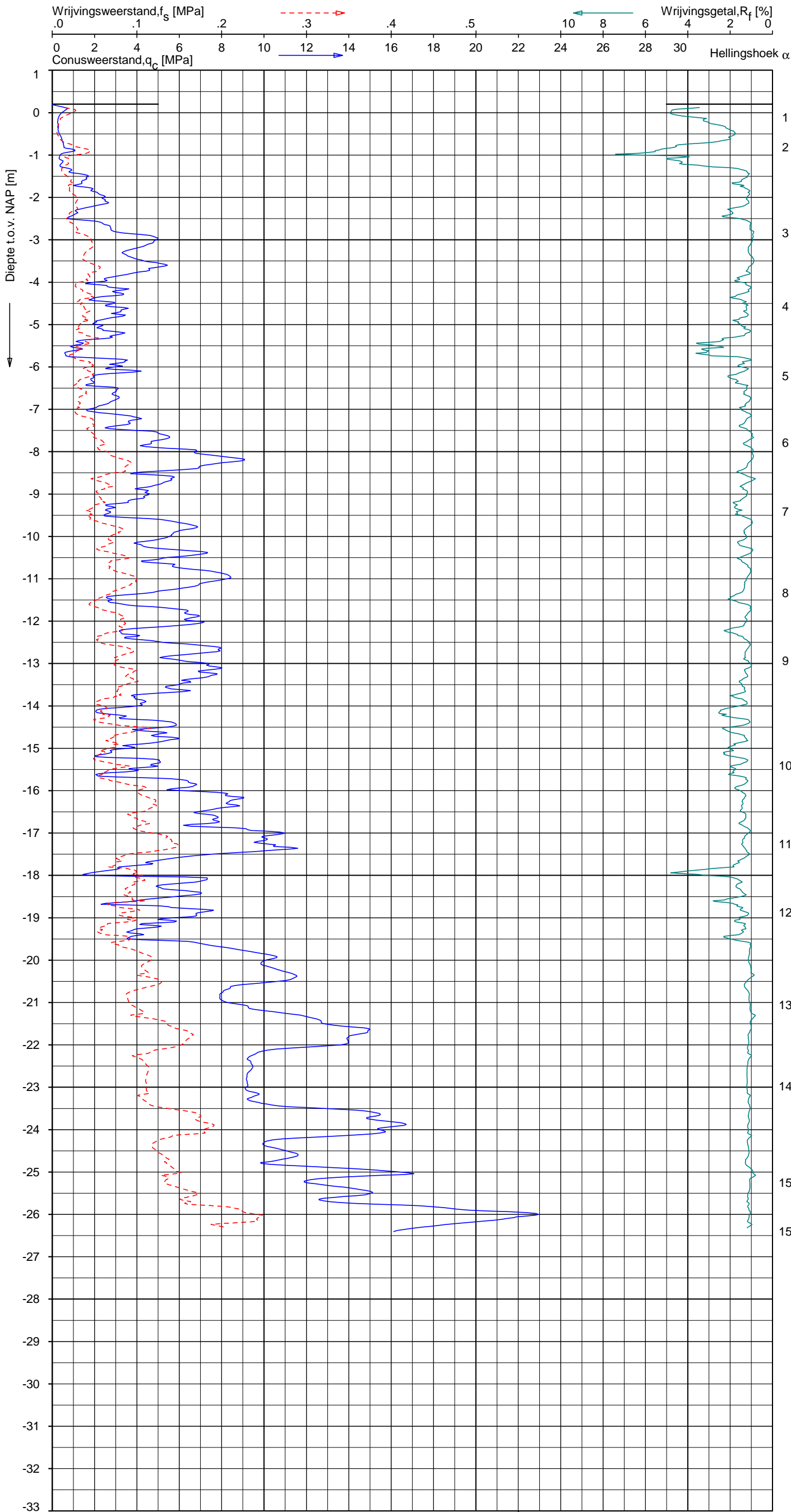
Opdr. 4009-0271-002  
Sond. DKM8



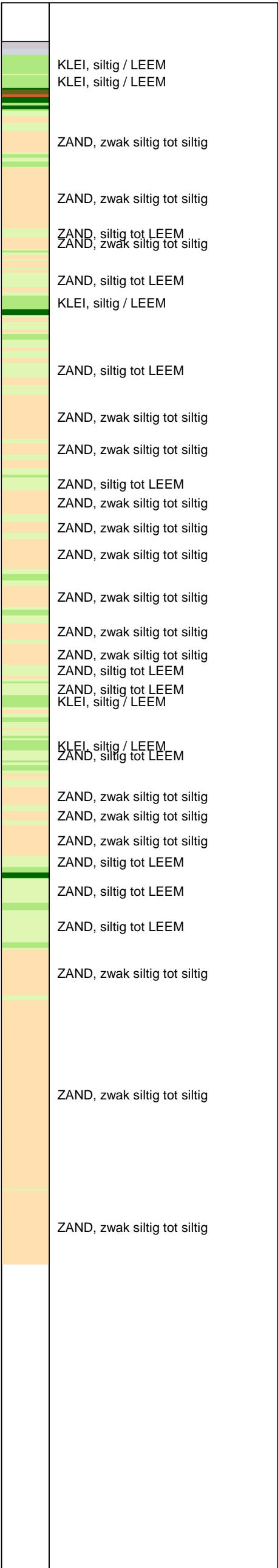
UNIPLOT 05:28.nl / QcfClass-R3.cmd / 2015-07-20 10:28:49

4009-0271-002

DKM9 - 1



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



Opg. : AVS- DMB d.d. 15-jul-2015 Coord.: X=115110.5m Y=533335.9m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : NGY d.d. 20-jul-2015 MV = NAP +0.20m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2572 Toepassingsklasse 2. Test type TE1  
Conustype:  $A_c = 1510 \text{ mm}^2$ ;  $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

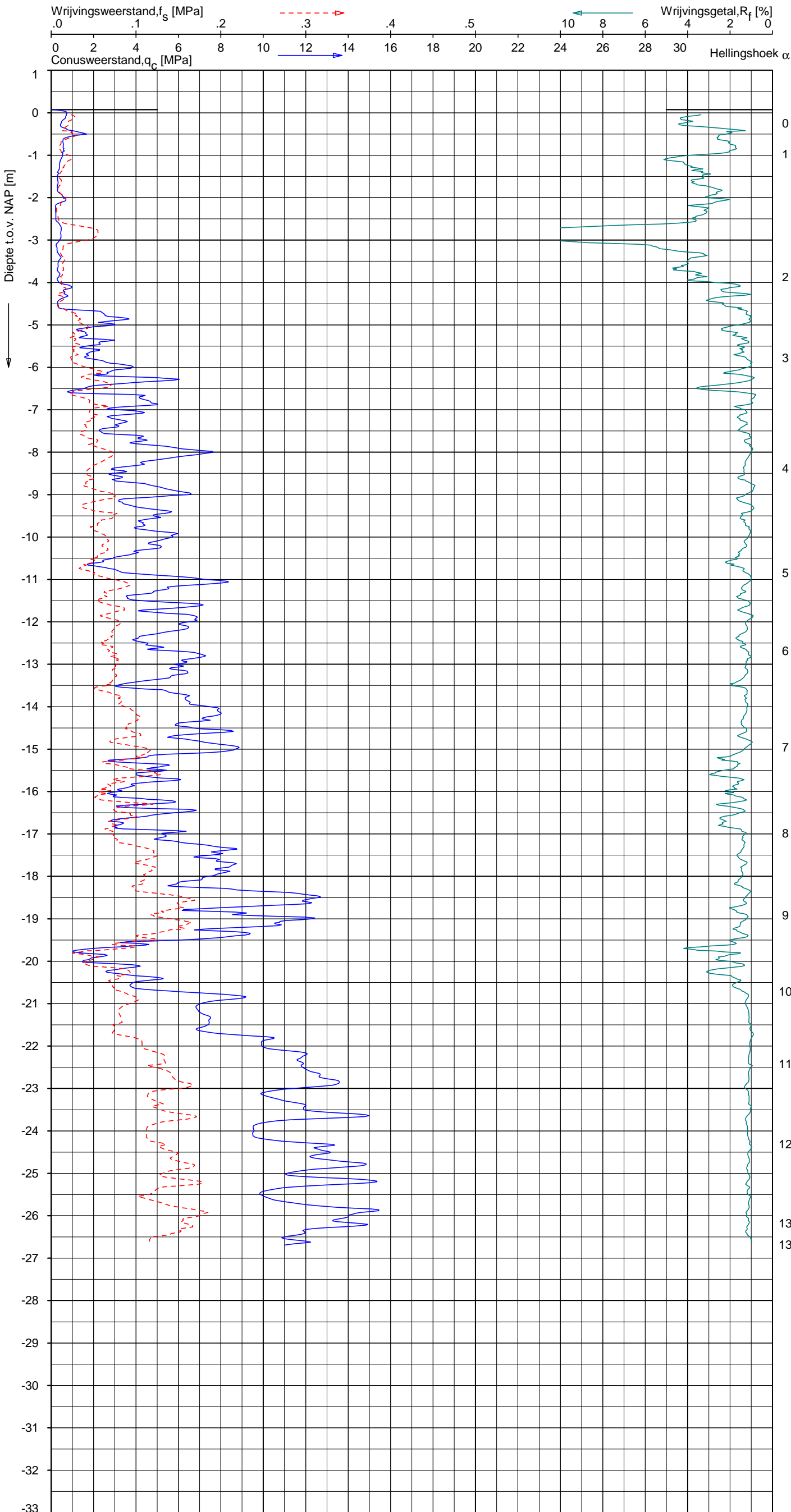
NIEUWBOUW 19 WONINGEN A/D HOFSTRAAT TE SCHAGEN

Opdr. 4009-0271-002  
Sond. DKM9

UNIPLOT 05.28.nl / QcfClass-R3.cmd / 2015-07-20 10:28:52

4009-0271-002

DKM10 - 1



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



Opg. : AVS- DMB d.d. 15-jul-2015 Coord.: X=115141.0m Y=533345.6m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1  
Get. : NGY d.d. 20-jul-2015 MV = NAP +0.08m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2572 Toepassingsklasse 2. Test type TE1  
Conustype: A<sub>c</sub> = 1510 mm<sup>2</sup>; A<sub>s</sub> = 19895 mm<sup>2</sup>



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING  
NIEUWBOUW 19 WONINGEN A/D HOFSTRAAT TE SCHAGEN

Opdr. 4009-0271-002  
Sond. DKM10



### 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  $60^{\circ}$  en een basisoppervlak van  $1000 \text{ mm}^2$  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  $15000 \text{ mm}^2$  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  $2000 \text{ mm}^2$  variëren zonder dat correctiefactoren op de meetresultaten moeten worden toegepast. Fugro sonderingen worden standaard uitgevoerd met een sondeerconus met een basisoppervlak van  $1500 \text{ mm}^2$  en een manteloppervlak van  $20000 \text{ mm}^2$ .

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. Onderzoek<sup>1)</sup> 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.

<sup>1)</sup> 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]<sup>2</sup>, 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.

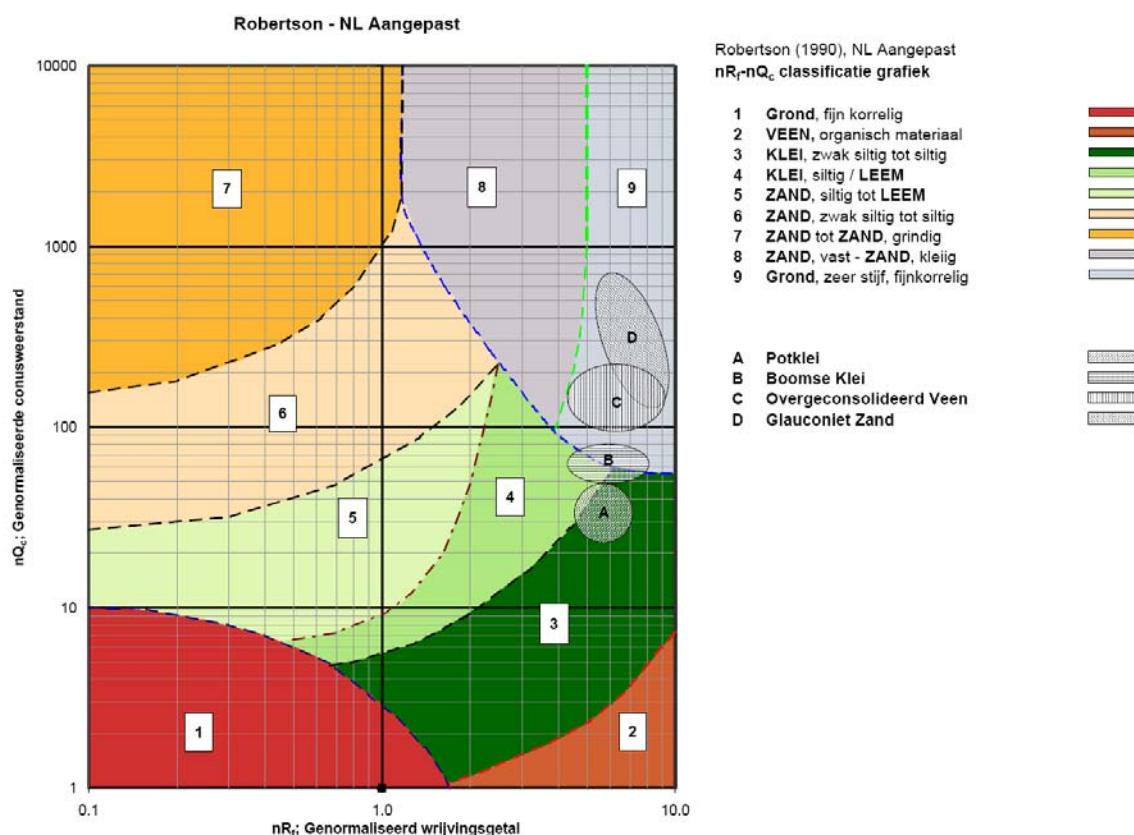
Genormaliseerde conusweerstand: 
$$nQ_c = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

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.



<sup>2</sup> Robertson, P.K. [1990] "Soil Classification using the cone penetration test". Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151-8<sup>2</sup>

## 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 top lagen 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 top lagen minder betrouwbaar vanwege het lage effectieve spanningsniveau in deze lagen.

### Andere conustypen

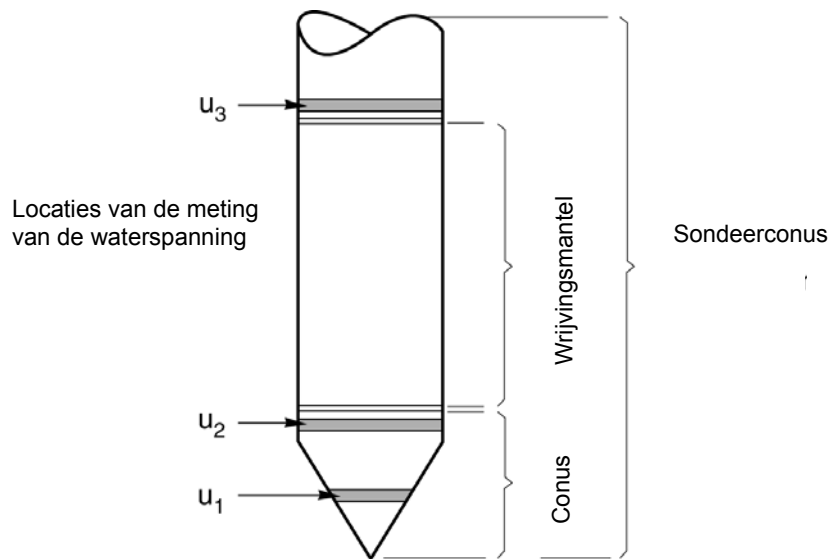
Naast de meting van conusweerstand en plaatselijke wrijving is het mogelijk extra (combinaties van) metingen uit te voeren. In onderstaand schema zijn enkele mogelijkheden aangegeven. Indien gewenst

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 temperatuurgroënt
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

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 (*piëzo-conus*) 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 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:

- $\beta$  = 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;
- $\sigma_{v0}$  = de verticale grondspanning; standaard wordt hierbij uitgegaan van een gemiddeld volumiek gewicht van de bodemlagen van  $14 \text{ kN/m}^3$  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  $\beta$ -factoren in onderstaande tabel gegeven.

Grond gedrag	$\beta$ -factor
Normaal geconsolideerde klei	0,6 - 0,8
Licht overgeconsolideerde klei	0,5 - 0,7
Sterk overgeconsolideerde klei	0 <sup>1)</sup> - 0,3
Leem samendrukbaar	0,5 - 0,6
Leem, vast en dillatant gedrag	0 <sup>1)</sup> - 0,2
Zand siltig, los gepakt	0,2 - 0,4

<sup>1)</sup> 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 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 <sup>a</sup>	Maximum lengte tussen metingen	Gebruik	
					Grondsoort <sup>b</sup>	Interpretatie <sup>c</sup>
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 <sup>d</sup> 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.						
<sup>a</sup> 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. <sup>b</sup> 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 ( $q_c \geq 20 \text{ MPa}$ ) <sup>c</sup> 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 <sup>d</sup> 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 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.

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

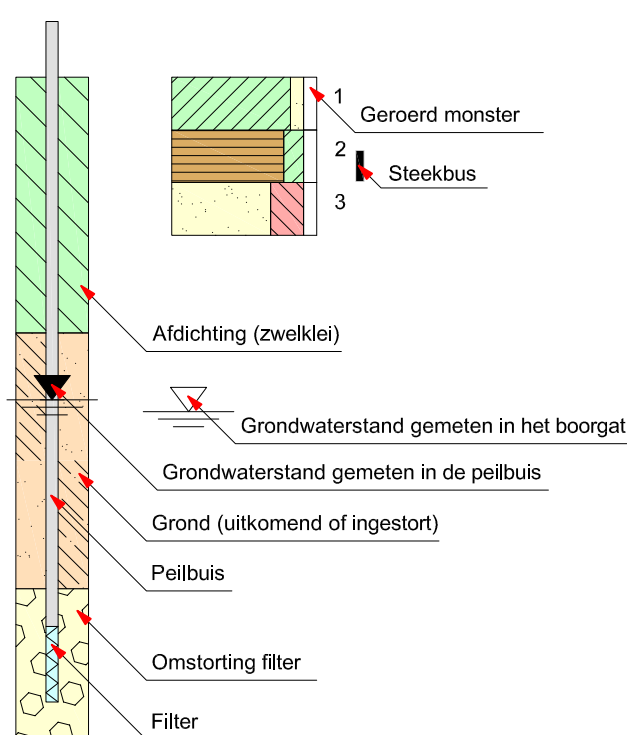
### Leem

	Leem, zwak zandig
	Leem, sterk zandig

### Overige toevoegingen

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

### Peilbuis



## Uitgangspunten

- gehanteerde sondering : DKM 1
- paaltype : Schroefpaal avegaar
- paalpuntniveau : NAP -21,0 m
- schachtdiameter : Ø 300 mm
- puntafmeting : Ø 300 mm

## Maximale draagkracht van de paalpunt

De *maximale puntweerstand* volgens 7.6.2.3(e) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$q_{b,max} = \frac{1}{2} \cdot \alpha_p \cdot \beta \cdot s \cdot ((q_{c,I,gem} + q_{c,II,gem})/2 + q_{c,III,gem})$$

$$= 5,7 \text{ MPa. } (\leq 15 \text{ MPa, limietwaarde conform NEN 9997-1})$$

waarin:

$q_{c,I,gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject I (0,7 à 4 x $D_{eq}$ onder de punt)	13,2	MPa
$q_{c,II,gem}$	= de minimale waarde van de conusweerstand over traject II (0,7 à 4 x $D_{eq}$ onder de punt)	11,2	MPa
$q_{c,III,gem}$	= de gemiddelde minimale waarde van de conusweerstand over traject III (8 x $D_{eq}$ boven de punt)	2,0	MPa
$\alpha_p$	= paalklassefactor (tabel 7.c, NEN 9997-1)	0,8	-
$\beta$	= factor voor de paalvoetvorm	1,0	-
$s$	= factor voor de vorm van de dwarsdoorsnede van de paalvoet	1,0	-

De *maximale draagkracht* van de paalpunt volgens 7.6.2.3(c) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$R_{b,cal,max,i} = A_{punt} \cdot q_{b,max,i}$$

$$= 400 \text{ kN}$$

waarin:

$A_{punt}$	= oppervlak van de paalvoet	0,0707	m <sup>2</sup>
------------	-----------------------------	--------	----------------

## Maximale paalschachtwrijving

De *maximale paalschachtwrijving* volgens 7.6.2.3(c) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$q_{s;\max} = \alpha_s \cdot q_{c;z;a}$$

$$= 0,032 \text{ MPa}$$

waarin: in dit geval:

$\alpha_s$  = factor voor de invloed van de uitvoering en het paaltype (tabel 7.c, NEN 9997-1) 0,06 -

$q_{c;z;a}$  = de gemiddelde waarde van de conusweerstand over het traject waarover schachtwrijving wordt berekend 5,4 MPa

De *maximale schachtwrijvingskracht* volgens 7.6.2.3(c) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$R_{s;\text{cal};\max;i} = O_{s;\Delta L;\text{gem}} \cdot \Delta L \cdot q_{s;\max}$$

$$= 550 \text{ kN}$$

waarin: in dit geval:

$O_{s;\Delta L;\text{gem}}$  = gemiddelde omtrek van de paalschacht 0,9425 m

$\Delta L$  = traject voor berekening schachtwrijving 18,0 m

## Maximale draagkracht

De *maximale draagkracht* van de paal volgens 7.6.2.3(c) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$R_{c;\text{cal}} = R_{b;\text{cal};\max;i} + R_{s;\text{cal};\max;i}$$

$$= 950 \text{ kN}$$

De *karakteristieke waarde* van de maximale draagkracht van de paal volgens 7.6.2.3(5) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$R_{c;k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;\text{cal}})_{\text{gem}}}{\xi_3} ; \frac{(R_{c;\text{cal}})_{\min}}{\xi_4} \right\}$$

$$= 683 \text{ kN}$$

waarin: in dit geval:

$\xi_3$  = correlatiefactor volgens tabel A.10a van NEN 9997-1 1,39 -

$\xi_4$  = correlatiefactor volgens tabel A.10a van NEN 9997-1 1,39 -

Voor de *rekenwaarde* van de maximale draagkracht van de paal kan volgens 7.6.2.3(3) en (4) van NEN 9997-1 worden aangehouden:

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_R$$

$$= 570 \text{ kN}$$

waarin: in dit geval:

$\gamma_R$  =  $\gamma_b = \gamma_s$

= partiële factor volgens tabel A.6 t/m A.8 van NEN 9997-1 1,2 -

Voor de UGT geldt volgens 7.6.2.1(1) van NEN 9997-1:

$$F_{c;d} < R_{c;d}$$

Voor de UGT type B kan het zakkingscriterium dat in 2.4.9(b) van NEN 9997-1 is gegeven, worden vervangen door:

$$F_{c;d} + F_{nk;d} < R_{c;d}$$

waarin:

in dit geval:

$F_{c;d}$	=	rekenwaarde van de belasting in kN		
$F_{nk;d}$	=	rekenwaarde van de negatieve kleeftbelasting	0	kN
$R_{c;d}$	=	rekenwaarde van de maximale draagkracht van de paal	570	kN

Voor de meeste paaltypen, zoals grondverdringende palen en avegaarpalen met relatief kleine diameter, is de UGT type B maatgevend, zodat hiermee ook de andere grenstoestanden worden ondervangen.

Bovenstaande formule kan worden bewerkt tot de volgende voorwaarde:

$$F_{c;d} < R_{c;net;d}$$

waarin:

in dit geval:

$R_{c;net;d}$	=	$R_{c;d} - F_{nk;d}$		
	=	de rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal	570	kN

Indien aan de bovenstaande voorwaarde wordt voldaan, dan bezwijkt de grond rondom de paal niet. De vervormingen van de paalkop zullen hierbij ook beperkt zijn.

### Algemene richtlijnen

Voor algemene richtlijnen betreffende de installatie van schroefpalen type avegaar en buisschroefpalen wordt verwezen naar NEN-EN 1536 *Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Boorpalen*. Daarnaast wordt verwezen naar de beoordelingsrichtlijn BRL 2356, inclusief Bijlagen A en B d.d. 01-06-1992 van KIWA. Toezicht dient plaats te vinden op basis van CUR Aanbeveling 114 "Toezicht op de realisatie van paalfunderingen". In het bijzonder dient op de volgende aspecten te worden gelet.

### Installatievolgorde

De eerste paal dient zo dicht mogelijk bij de sondering met het diepste paalpuntniveau te worden geïnstalleerd. Het waargenomen installatiegedrag zoals boormoment en schraapfactor kan, in combinatie met het sondeerbeeld, een indicatie geven voor de tussen de sonderingen te installeren palen.

Het beïnvloeden van een onvoldoend verharde paalschacht door het boren van een naastliggende paal, kan over het algemeen worden vermeden door een hart-op-hart afstand van minimaal 4 maal de paaldiameter met een minimum van 2,0 m aan te houden. Bij een geringere tussenafstand dient minimaal 4 uur tussentijd in acht te worden genomen. Indien desondanks blijkt dat door het boren van een volgende paal, het specieniveau van de nog niet verharde paal wijzigt (nazakking of oppersing), dan dient een andere werkvolgorde te worden gekozen waardoor een grotere tussenafstand ontstaat of dient een langere verhardingstijd in acht te worden genomen. Aan de paal waar nazakking of oppersing is geconstateerd, dient bij de kwaliteitscontrole bijzondere aandacht te worden besteed.

Bij palen binnen elkaars invloedsgebied dient hetzelfde paalpuntniveau te worden aangehouden. Het dieper installeren kan een vermindering in draagvermogen veroorzaken van eerder ingebrachte palen. Bij een ondieper niveau is het risico aanwezig dat de paalpunt zich in een verstoorde zone bevindt. In beide gevallen zullen naderhand sonderingen moeten worden uitgevoerd om het draagvermogen vast te stellen.

### Installatie

De draaisnelheid van de avegaar dient te worden afgestemd op de penetratiesnelheid. Er mag niet meer grond omhoog worden geschroefd dan strikt noodzakelijk (verdringingsvolume van de avegaar), zodat ontspanning van de grond tot een minimum wordt beperkt. De capaciteit van de boormotor dient derhalve te zijn afgestemd op de bodemopbouw en de paaldiameter.

Een te laag boormoment kan leiden tot een aanzienlijke ontspanning in de ondergrond, hetgeen nadelig is voor het draagvermogen van de palen. Ook kunnen belendende funderingen op staal of op palen daardoor grote zettingen ondergaan.

Bij iedere sondering dient over de volle hoogte de schraapfactor te worden bepaald; voor de tussenliggende palen kan worden volstaan met de bepaling over de laatste 1,5 m. De schraapfactor is het aantal omwentelingen van de avegaar nodig om de avegaar over de lengte van 1 x de spoed te doen zakken. Sterke afwijkingen hierin dienen te worden gecontroleerd door middel van een controlesondering op 0,75 m afstand van de paal.

Zodra de avegaar op diepte is, dient de boormotor gestopt te worden. Alvorens de avegaar wordt getrokken moeten de slangen en de holle buis van de avegaar gevuld zijn met mortel en moet het systeem onder voldoende druk zijn gezet. De avegaar mag maximaal 0,1 m worden gelicht om het deksel te lossen. Bij mislukking mag dit maximaal nog twee maal geprobeerd worden. Hierna dient de avegaar linksomdraaiend te worden getrokken. Een nieuwe paal op dezelfde plaats dient 0,25 m dieper te worden geboord.

Tijdens het trekken van de avegaar dient erop te worden toegezien, dat de morteldruk gehandhaafd blijft, zodat een regelmatige opbouw van de paalschacht wordt verkregen. In de draagkrachtige laag dient een overdruk te worden aangehouden van 0,5 MPa. In de bovenlagen dient de overdruk te worden gereduceerd om een doorbraak van verse mortel langs de avegaar naar het maaiveld te voorkomen. De snelheid van trekken van de avegaar en het opvullen van het boorgat dient in overeenstemming te zijn met de capaciteit van de betonpomp. Bij onderbrekingen in het proces van paalfabricage dient eerst 0,25 m teruggeboord te worden. De palen dienen te worden afgestort tot aan het werkniveau.

### **Wapening**

De wapening van de paal, voorzien van afstandhouders, dient verticaal en gecentreerd te worden geïnstalleerd direct na het trekken van de avegaar. Hierbij kan eventueel gebruik worden gemaakt van een trilapparaat. De betondekking op de buitenste staven dient, gezien de onnauwkeurigheid van het inbrengen, tenminste 60 mm te bedragen.

### **Ontgravingen**

Bij eventuele ontgravingen na het installeren van de palen dient zorgvuldig te worden gewerkt om beschadiging te voorkomen. Meestal zijn de palen slechts over een beperkte hoogte gewapend waardoor de opneembare horizontale belasting gering is. Ook de weerstand tegen ongelijkmatige gronddrukken, bijvoorbeeld door plaatselijke ontgravingen en/of materieeltransport, is beperkt.

### **Controle**

Een controle op de aard van de bodemlagen wordt verkregen door de grond in de avegaar te inspecteren. De paalpunt dient in de draagkrachtige zandlaag te staan en het bodemprofiel dient in overeenstemming met het sondeerbeeld te zijn. De hoeveelheid gebruikte mortel c.q. beton dient te worden geregistreerd, en geverifieerd aan de hand van de afmetingen van de paal. De morteldruk tijdens het maken van de paal dient, bijvoorbeeld met een continue schrijver, te worden geregistreerd.

De kwaliteit van de palen dient te worden gecontroleerd met behulp van akoestische metingen, zo nodig in combinatie met het ontgraven van het bovenste deel van de paalschacht. Eventuele discontinuïteiten in de betondoorsnede kunnen hiermee worden vastgesteld. Het aantal door te meten palen wordt mede bepaald door eventuele onregelmatigheden tijdens de uitvoering. Bij twijfel omtrent de kwaliteit, c.q. het draagvermogen, dient contact te worden opgenomen met de constructeur en de grondmechanisch adviseur. In onderling overleg kan dan tot een of meer van de volgende maatregelen worden besloten:

- het uitvoeren van controlesonderingen om te onderzoeken of sprake is van een afwijkende bodemopbouw;
- het uitvoeren van een dynamische en/of statische proefbelasting om het werkelijke draagvermogen van de paal vast te stellen.

In geval er 3 pogingen zijn gedaan om het deksel te lossen zal eveneens een controlesondering moeten worden uitgevoerd ter controle van de invloed.

Uitgebreide informatie over de uitvoering van paalfunderingen, het dynamisch proefbelasten en het akoestisch doormeten van palen is gegeven in onze brochures, die op aanvraag beschikbaar zijn.

Gezien de vele factoren die het installatieproces kunnen beïnvloeden, is deskundig toezicht een vereiste. Voor iedere paal dienen alle van belang zijnde gegevens te worden geregistreerd. Dit betreft niet alleen het uiteindelijke paalpunniveau, doch ook zaken als het toegepaste boormoment, de betonaanvoer, eventuele onregelmatigheden tijdens het boorproces, de installatievolgorde, het tijdstip, de paallengte, het maaiveld- respectievelijk werkniveau, een eventuele bemaling en andere relevante gegevens.

### **Aanvullende opmerkingen m.b.t. buisschroefpalen**

De bovengenoemde aanbevelingen voor uitvoering van avegaarpalen gelden in grote lijnen ook voor buisschroefpalen. Hierbij dienen echter nog de volgende kanttekeningen te worden geplaatst:

- de capaciteit van de boormotor dient in het algemeen groter te zijn dan bij avegaarpalen van dezelfde diameter;
- tijdens paalfabricage dient het specieniveau zich in de holle kern te allen tijde zich boven het maaiveld te bevinden; de betondruk kan namelijk niet worden gemeten;
- indien een buisschroef als gevolg van onregelmatigheden moet worden getrokken, dient deze eerst gevuld te worden met grof materiaal of beton ter voorkoming van extra ontspanning van de zandlaag;
- bij genoemde uitvoeringsproblemen dient een controlesondering te worden gemaakt op een afstand van 0,75 m uit de paal.