

## Inhoudsopgave

Bijlage 2f	Constructietekeningen en berekeningen kabelverbinding
	Definitieve Ontwerpnota Open Ontgraving, VIR-0.000.017
	Definitieve Ontwerpnota HDD, VIR-0.000.018
	Overzichtstekening Tracé, VIR-0.000.500
	Tekening- Algemeen plan HDD's onder de N205, VIR-0.000.501
	Tekening- Algemeen plan HDD's onder Kromme Spieringweg, VIR-0.000.502
	Tekening- Algemeen plan HDD's onder Kruisweg (N201), VIR-0.000.503
	Tekening- Algemeen plan HDD's langs Drie Merenweg (N205), VIR-0.000.504
	Tekening- Algemeen plan HDD's onder Larenselaan, VIR-0.000.505
	Tekening- Algemeen plan HDD's onder Drie Merenweg (2) (N205), VIR-0.000.506
	Tekening- Algemeen plan HDD's Langs IJtocht, VIR-0.000.507
	Tekening- Algemeen plan HDD's onder Bennebroekerweg, VIR-0.000.508
	Tekening- Algemeen plan HDD's langs N207, VIR-0.000.509
	Tekening- Algemeen plan HDD's onder Lisserweg, VIR-0.000.510
	Tekening- Algemeen plan HDD's onder Nieuwkerkertoch, VIR-0.000.511
	Tekening- Algemeen plan Sleufdoorsnede 380kV, VIR-0.000.512
	Tekening- Algemeen plan Sleufdoorsnede 150kV Station Vijfhuizen- OSP Drie Merenweg, VIR-0.000.513
	Tekening- Algemeen plan Sleufdoorsnede 380kV 150kV, VIR-0.000.514
	Tekening- Algemeen plan Sloopkruising, VIR-0.000.515
	Berekeningen X-01 HDD kruising provinciale weg N205 t.h.v. Vijfhuizen, VIR-0.000.516
	Berekeningen X-02 HDD kruising Kromme Spieringweg te Vijfhuizen, VIR-0.000.517
	Berekeningen X-03 HDD kruising provinciale weg N201 t.h.v. Qruquius, VIR-0.000.518
	Berekeningen X-04 HDD langs provinciale weg N205 t.h.v. Zwaanshoek, VIR-0.000.519
	Berekeningen X-05 HDD langs provinciale weg N205 t.h.v. Zwaanshoek, VIR-0.000.520
	Berekeningen X-06 HDD kruising provinciale weg N205 t.h.v. Hoofddorp, VIR-0.000.521
	Berekeningen X-07 HDD langs IJtocht te Hoofddorp, VIR-0.000.522
	Berekeningen X-08 HDD kruising Bennebroekerweg te Zwaanshoek, VIR-0.000.523
	Berekeningen X-09 HDD langs provinciale weg N207 te Nieuw-Vennep, VIR-0.000.524
	Berekeningen X-10 HDD kruising Lisserweg te Lisserbroek, VIR-0.000.525
	Berekeningen X-11 HDD kruising Nieuwkerkertocht te Lisserbroek-Abbanes, VIR-0.000.526

Bijlage 2f  
Constructietekeningen  
en berekeningen kabelverbinding

# Definitieve Ontwerp Nota

## Open ontgraving

### Civiele Werkzaamheden R380 Noordring

### Perceel 1: Vijfhuizen – Zuidelijke Ringvaart

Documentnummer: : VIR-0.000.017  
Referentienummer: : P213010-DON  
Documentstatus: : Definitief  
Datum: : 15-11-2013  
Versie: : 4

Opdrachtgever:



Opdrachtnemer:

	Naam	Functie	Paraaf	Datum
Opsteller	R. de Vrieze	Werkvoorbereider		15-11-2013
Gecontroleerd	T. Rijnders	Projectleider O&E		15-11-2013
Gecontroleerd	M. Molema	Disciplineleider		15-11-2013
Geautoriseerd / Vrijgave	M. Roohé	Projectmanager		

## DOCUMENT HISTORIE

Revisie	Omschrijving/Belangrijkste wijzigingen	Datum
1.0	Voorlopig Ontwerp	26-04-2013
1.1	Concept Definitief Ontwerp	17-07-2013
2.0	Definitief Ontwerp	02-08-2013
3.0	Opmerkingen RFA verwerkt	01-10-2013
4.0	Opmerkingen RFA/ RFC verwerkt	15-11-2013

## INHOUD

<b>1</b>	<b>Inleiding.....</b>	<b>5</b>
1.1	Doel en functie van deze Ontwerp Nota .....	5
<b>2</b>	<b>Uitgangspunten .....</b>	<b>6</b>
2.1	Raakvlakken.....	6
<b>3</b>	<b>Ontwerp opdrachtgever .....</b>	<b>7</b>
3.1	Overwegingen .....	7
3.2	Grondwerk.....	7
3.3	Grondwater .....	7
3.4	Open ontgraving.....	8
3.5	Kabels en garnituren .....	10
<b>4</b>	<b>WERKMETHODE.....</b>	<b>11</b>
4.1	Methoden in het kort.....	11
4.2	Overwegingen .....	11
<b>5</b>	<b>overzicht perceel 1 .....</b>	<b>13</b>
5.1	Deeltracé 1.1 Vijfhuizen-Drie Merenweg.....	13
5.2	Deeltracé 1.3+a+b Kruisweg-Bennebroekerweg.....	15
5.3	Deeltracé 1.6 Leimuidersweg-Turfspoor .....	18
<b>6</b>	<b>Aanleg methodieken .....</b>	<b>20</b>
6.1	Kabelleverantie .....	20
6.2	Drainage en bronnering .....	20
6.3	Grondwerk open ontgraving .....	20
6.4	Sleufloze techniek .....	22
6.5	Trekken van kabels.....	22
6.6	Mofputten .....	22
6.7	Grondwerk dichten kabelsleuf .....	23
<b>7</b>	<b>ALTERNATIEVE UITVOERINGSMETHODE: DUCTSYSTEEM.....</b>	<b>24</b>
7.1	Omschrijving uitvoeringsmethode .....	24
<b>8</b>	<b>Uitvoerings Ontwerp fase .....</b>	<b>27</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Tekening(en) .....</b>	<b>28</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Toelaatbare stroombelasting bij Duct .....</b>	<b>29</b>

Lijst met gebruikte afkortingen.

BAFO	=	Best and Final Offer
DO	=	Definitief Ontwerp
K&L	=	Kabels en leidingen
KAM	=	Kwaliteit ARBO Milieu
KMS	=	Kwaliteits Management Systeem
NGE	=	Niet Gesprongen conventionele Explosieven
OSP	=	Opstijgpunt
PMP	=	Project Management Plan
ProMaSys	=	Project Management Systeem
SBS	=	Systems Breakdown Structure
UO	=	Uitvoerings Ontwerp
WISE	=	Volker Infra Systems Engineering (SE software)
VO	=	Voorlopig Ontwerp
VS1	=	Vraagspecificatie Product (1)
VS2	=	Vraagspecificatie Proces (2)
WBS	=	Work Breakdown Structure
WP	=	Werk Pakket

# 1 INLEIDING

## 1.1 Doel en functie van deze Ontwerp Nota

Deze ontwerpnota is een onderdeel van het DO die VolkerInfra Randstad 380 doet aan TenneT TSO B.V. in het kader van het project Civiele Werkzaamheden Randstad 380kV Noordring.

Dit project is een onderdeel van de uitbreiding van de transportcapaciteit van het elektriciteitsnet in de Randstad, om aan de toenemende vraag te kunnen voldoen. De verbinding wordt gedeeltelijk bovengronds en gedeeltelijk ondergronds aangelegd. Het project Randstad 380kV Noordring is verdeeld over twee percelen: Vijfhuizen-Zuidelijke Ringvaart én Zuidelijke Ringvaart-Bleiswijk. Deze ontwerpnota is van toepassing op het eerste perceel.

Deze ontwerpnota beschrijft hoe de Aannemerscombinatie VolkerInfra Randstad 380 zal voldoen aan de eisen die gesteld zijn in het contract. Deze ontwerpnota heeft betrekking op object "open ontgraving" en beschrijft de aanleg van zowel de 150kV als de 380kV verbindingen in open sleuven in perceel 1, Vijfhuizen-Ringvaart.

De Objecten en functies zijn gedefinieerd in deze Ontwerp Nota. De systeem- en ontwerpspecificaties uit het contract zijn vertaald en uitgewerkt naar het Definitieve Ontwerp (DO), ter acceptatie. De eisen en de 'ontwerpvarianten' uit het DO zijn zodanig ter acceptatie uitgewerkt dat de beslissing betreffende de uitwerking naar UO van gekozen Objecten gemaakt kan worden.

Deze definitieve ontwerpnota beschrijft het tracé in open ontgraving en het alternatief ducten van Perceel 1 met de op dit moment bekende specifieke eisen van vergunningverleners, grondwaterstanden en peilbuizen, kabeltype, kabellieferancier, moftypen, etc. Door de werkmethodebeschrijving ontstaat een goed beeld van de uitvoeringsmethodes die de combinatie VolkerInfra Randstad 380 voorziet voor de uitvoering van dit onderdeel. Voor de boringen in Perceel 1 is een aparte definitieve ontwerpnota Gestuurde Boringen opgesteld, met documentnummer VIR-0.000.018.

## 2 UITGANGSPUNTEN

Tijdens het ontwerpproces worden algemene beginselen zoals duurzaamheid, veiligheid en kwaliteit van de levensloop van het object meegewogen. Deze worden verklaard in het verificatieplan (met documentnummer VIR-0.000.540) en verificatierapport (met documentnummer VIR-0.000.541).

### 2.1 Raakvlakken

Er zijn verscheidene fysieke raakvlakken met de Open ontgravingen geïdentificeerd, te weten (niet uitputtend):

- Aanwezigheid kabels en leidingen
- Aanwezigheid drainage
- Aanleg Hoogspanningsstation Vijfhuizen + Haarlemmermeer
- Aanleg OSP's
- Nabijheid mastfundaties

Er vindt (indien benodigd) met de desbetreffende partijen regelmatig overleg plaats, waarbij aandachtspunten besproken worden. Gemaakte afspraken worden vastgelegd middels notulen. Hiervan wordt Tennet op de hoogte gehouden. Zie verder het PMP.

Een compleet overzicht van de geïdentificeerde raakvlakken wordt verstrekt middels het raakvlakkenregister, dit dient om tot een beheersing van de raakvlakken te komen.



## **3 ONTWERP OPDRACHTGEVER**

### **3.1 Overwegingen**

De opdrachtgever heeft zijn eisen nauwgezet voorgeschreven, waardoor de ontwerpvrijheid voor de ondergrondse aanleg beperkt is. Binnen de ontwerpruimte hebben wij een tweetal optimalisaties toegepast die wij nader omschrijven in de werkmethoden: Verlengen van boringen en het aanbrengen van kabels in mantelbuizen. Het zogenaamde ‘ducten’ (Engels systeem).

In dit hoofdstuk zullen wij beschrijven kort inhoudelijk de belangrijkste ontwerpkenmerken die de opdrachtgever heeft bepaald.

### **3.2 Grondwerk**

Diverse grondlagen zullen gescheiden worden ontgraven en opgeslagen en in omgekeerde volgorde worden teruggeplaatst als dat ze ontgraven waren. De afwerking van het maaiveld voldoet aan de gestelde tolerantie van 10 cm restzetting per 30 jaar. Overtollige grond verwerken wij in het project. Indien dit niet mogelijk is, zullen wij het afvoeren naar een erkende be-/verwerker. Eventuele aanvullende voorwaarden i.v.m. het cultuurtechnisch herstel zijn op dit moment niet opgenomen, aangezien het Cultuurtechnisch Rapport voor opstellen van dit rapport nog niet beschikbaar is gesteld of dat er nog geen mogelijkheid is geweest om te verwerken.

### **3.3 Grondwater**

Opdrachtnemer is verantwoordelijk voor het onttrekken en lozen van grondwater. Natuurlijk zullen hierbij de vergunningeisen in acht worden genomen.

Het grondwater vormt een groot risico voor dit project. Daarom hebben wij een deskundige partij gecontracteerd, Gebr. V. Kessel, om ons te ondersteunen en te adviseren. Een bemalingsadvies is separaat onderdeel van het Definitief Ontwerp. De bemalingsadviezen zijn herkenbaar middels documentnummers VIR-0.000.538 en VIR-0.000.542. De opties voor de mogelijke routes transportleiding en opstelplaatsen zijn weergegeven in document nummer VIR-0.000.539. de exacte route en aantal lozingspunten zal sterk afhangen van de gekozen werkmethode en of aanlegdiepte.

De risico's die verbonden zijn met het grondwater zijn voornamelijk:

- Risico op opbarsten
- Aanwezigheid van zoute kwel
- Aanwezigheid van verontreiniging in het grondwater
- Onverwachte vergunningeisen en –beperkingen.

### 3.4 Open ontgraving

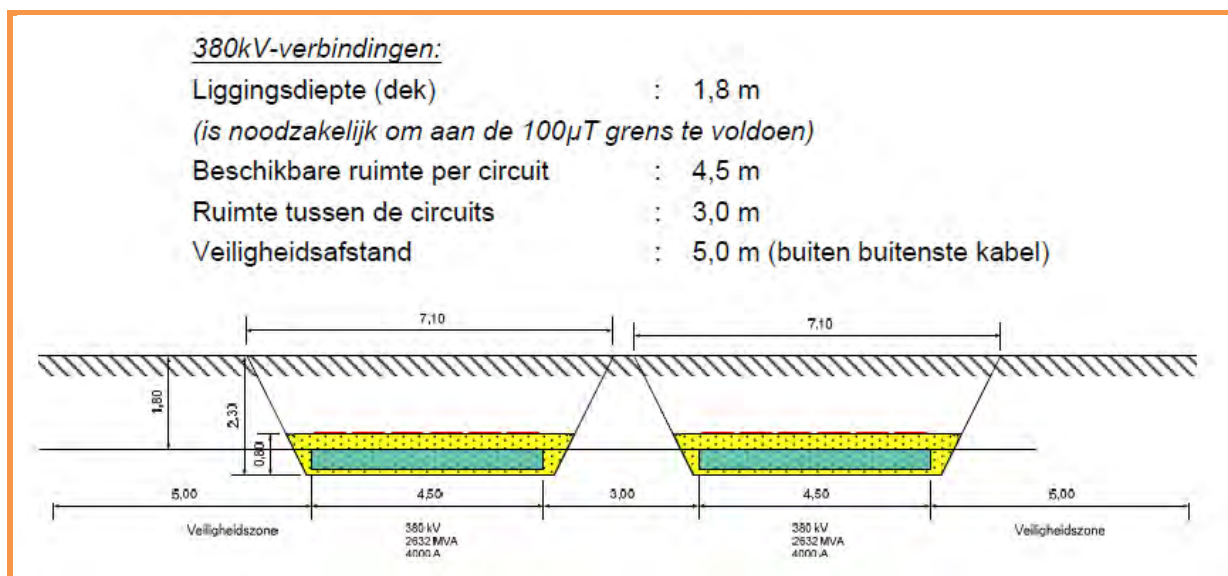
De ontwerpeisen gesteld aan open ontgraving zijn als volgt

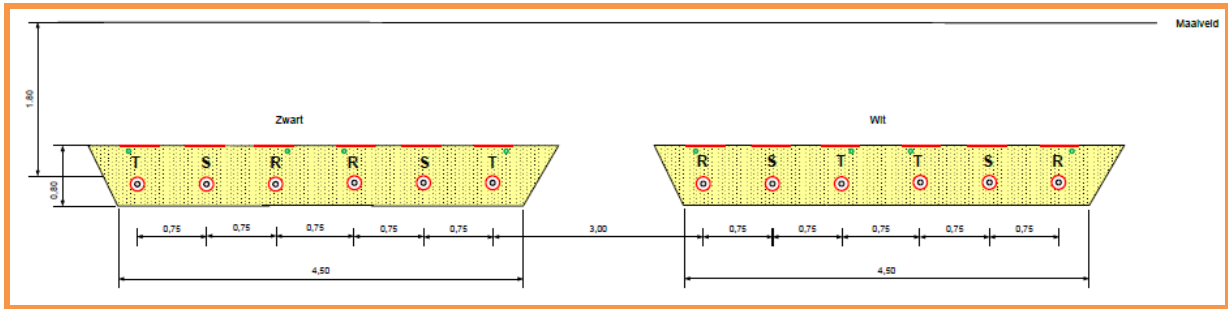
Beschikbare ruimte om kabels te installeren	15m
Beschikbare werkstrook 150 kV	30m
Beschikbare werkstrook 380 kV	40m
Beschikbare werkstrook 150/380 kV	75m
Ligingsdiepte kabels (dekking)	1,8m onder maaiveld bij oplevering
Ligingsdiepte bij slootkruisingen, Type watergang op basis van legger Hoogheemraadschap van Rijnland	Meters onder vaste bodem: Primaire watergangen: 2,0 Secundaire watergangen: 1,3
Ruimte tussen circuits 150 kV	2m
Ruimte tussen circuits 380kV	3m
Ruimte tussen 150 kV en 380kV circuits	3m
Bescherming	Kabelafdekplaten 0,30m boven de hoogspanningskabels
Grond rondom kabels	Schoon zand, G-waarde 0,5 Km/W, vrij van scherpe delen
Kabels en leidingen derden	In de beschikbare ruimte om de kabels te installeren is het tracé vrij van parallelle kabels en leidingen
Locatie glasvezelbuis	Onder de kabelafdekplaat aan de zijkant gepositioneerd

De exacte ligging van de verbindingen hangt af van de lokale grondgesteldheid en ruimte. Wij hebben aangenomen dat de sleuven voor de open ontgravingen er als volgt zullen uitzien:

#### **380 kV Verbinding**

De 380 kV verbindingen bestaan uit 2 circuits met elk twee kabels per fase.





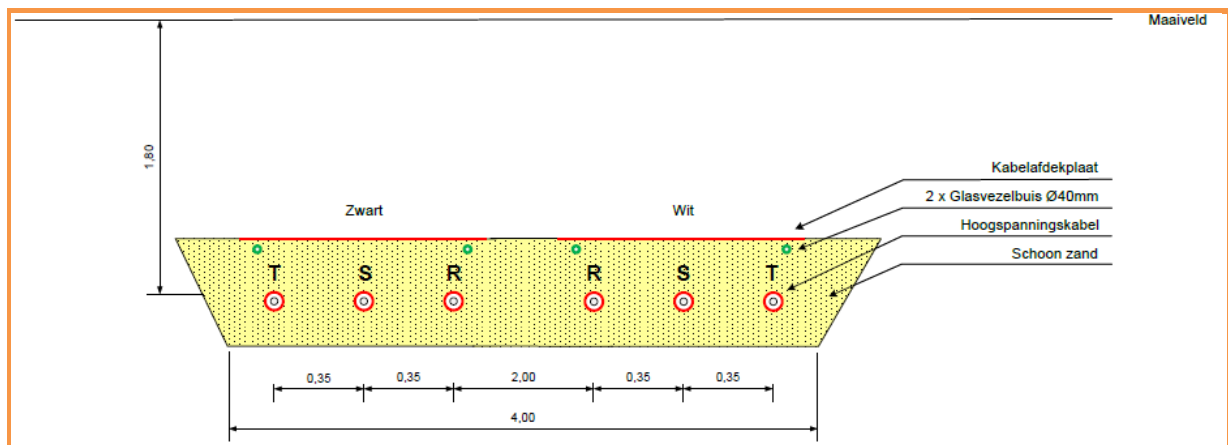
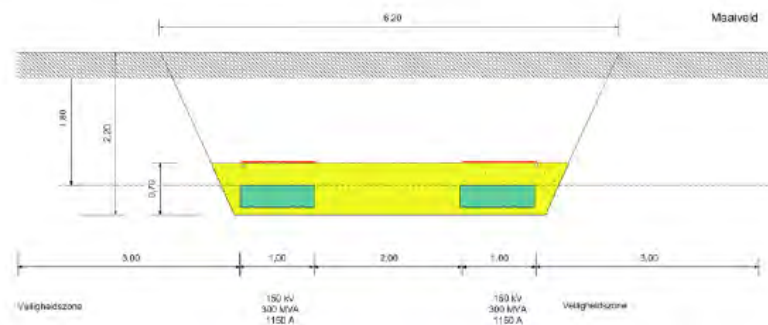
Figuur 1: voorbeeld 380 kV sleuf

## 150 kV Verbinding

De 150 kV verbindingen bestaan uit 2 circuits met elk één kabel per fase.

### 150kV-verbindingen

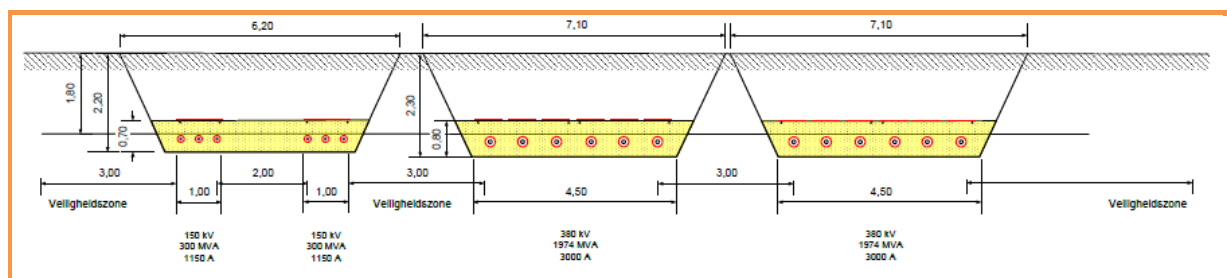
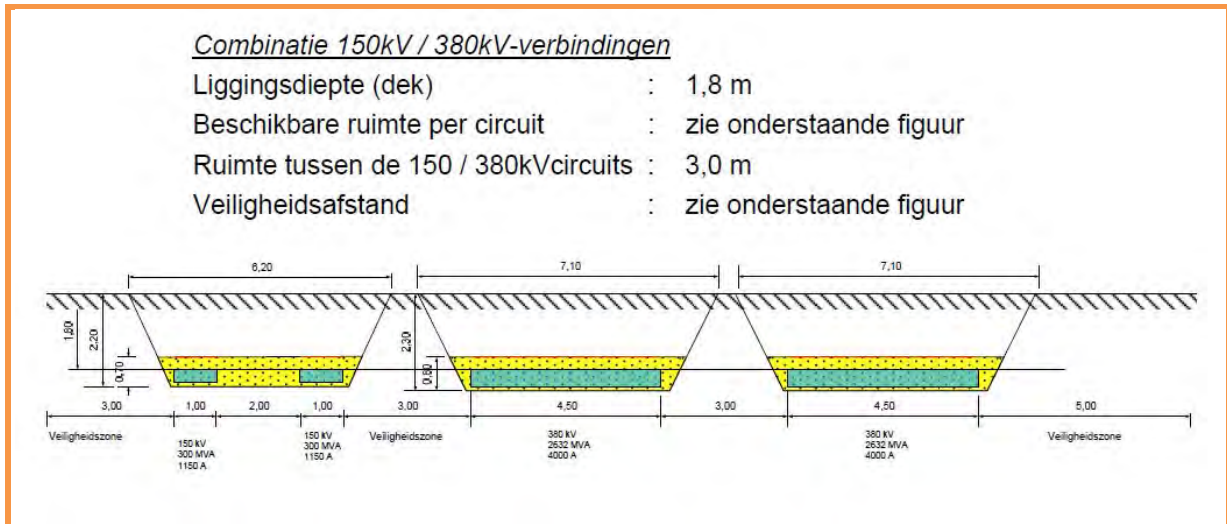
Ligingsdiepte (dek)	:	geen afwijkingen t.o.v. standaard PvE
Beschikbare ruimte per circuit	:	1,0 m
Ruimte tussen de circuits	:	2,0 m
Veiligheidsafstand	:	3,0 m (buiten buitenste kabel)



Figuur 2: voorbeeld 150 kV sleuf

## Gecombineerd 150 kV - 380 kV Verbinding

Op delen van het tracé worden de 150kV en de 380 kV naast elkaar aangelegd.



Figuur 3: voorbeeld gecombineerde 150/380 kV sleuf

Kruisingen met kabels en leidingen van derden, met wegen en watergangen zijn in deze fase geïdentificeerd en daar waar nodig is het ontwerp hierop aangepast. Verdere detaillering vindt plaats in de Uitvoeringsfase (UO-fase).

### 3.5 Kabels en garnituren

De kabel wordt geleverd door de opdrachtgever. De technische specificaties hiervan zijn op dit moment niet bekend. Wij zijn uitgegaan van geëxtrudeerde kunststof geïsoleerde 1600 mm<sup>2</sup> koper éénfasekabels.

Het zelfde geldt voor de mofverbindingen, eindsluitingen, aardingsgarnituren en dergelijke met bijbehorende elementen, welke ook door de opdrachtgever/kabelleverancier worden geleverd.

Ter plaatse van de opstijppunten en onderstations verzorgen wij dat er 15m vrije kabellengte beschikbaar is om twee maal een nieuwe eindsluiting dan wel toestelinvoering te monteren. Het ontwerp van deze overlengtes zal in onderling overleg met TenneT in het UO nader worden uitgewerkt.

## 4 WERKMETHODE

Voor het installeren van ondergrondse hoogspanningskabels zijn een aantal werkmethode in gebruik:

1. Open ontgraving
2. Gestuurde boringen (Zie Definitieve Ontwerp Nota Gestuurde Boringen)

Hieraan willen wij graag een innovatieve methode aan toe voegen:

3. Ductmethode

De definitieve keuze van de uitvoeringsmethode volgt nadat de beslissing is gemaakt door TenneT over welk type kabel gebruikt gaat worden (t.b.v. de kabelspecificaties) en door welke leverancier de kabel geleverd gaat worden.

### 4.1 Methoden in het kort

#### Open ontgraving

Er worden sleuven ontgraven voor de volledige kabellengte voor een of meerdere circuits naast elkaar. De gehele ontgraving moet droog worden bemaald om de kostbare kabel veilig en conform de eisen te kunnen plaatsen. De hoeveelheden te verwachten bemalingswater is weergegeven in het bemalingsadvies (Open ontgraving). Zie document: VIR-0.000.538 vs1.0.

#### Ductmethode

De sleuf wordt in kortere delen ontgraven waardoor de benodigde bemaling wordt beperkt. Om de verschillen, tussen open ontgraving en “ducten”, in hoeveelheden te verwachten bemalingswater weer te geven is van deze werkmethode een concept bemalingsadvies (Ducten) bijgevoegd. Zie document: VIR-0.000.542 vs 1.0. In de sleuf worden mantelbuizen geplaatst die uit losse pijpen bestaan die aan elkaar worden gekoppeld. De sleuf ligt slecht kort open. Wanneer de mantelbuis van begin tot eind van de kabellengte is geplaatst kan de kabel in één trek worden ingetrokken.

### 4.2 Overwegingen

De opdrachtgever heeft voor dit project als uitgangspunt de open ontgraving gesteld. Op basis van de beschikbare gegevens van het project en onze kennis van het gebied zijn wij van mening dat deze methode haalbaar is, maar dat men wel zeer alert moet zijn op de grondwaterproblematiek. Met name het spanningswater kan voor problemen zorgen doordat het de debieten omhoog stuwt indien hierop bemalen moet worden.

Desondanks is de open ontgraving de meest kost efficiënte methode.

Best for Project is ons inziens de ductmethode.

Voor uw informatie geven wij u in hoofdstuk 7 een beschrijving van deze aanlegmethode. Wij hebben de haalbaarheid getoetst middels een berekening door een onafhankelijke deskundige.

De eventuele keuze voor ducting ligt bij TenneT.



Schematisch zijn onze overwegingen als volgt:

	Open ontgraving	Duct Methode	Gestuurde boring
Uitvoerbaar, betrouwbaar, onderhoudbaar	+/-	++	+/-
Minimale hinder (algemeen)	-	+	++
Bemalingshinder	--	+/-	++
Opbarstrisico / (zoute) kwel	--	+/-	+
Duurzaamheid en economisch verantwoord	++	+/-	+/-
Zettingen	+	+	++
Kabelschade/-diefstal	-	+/-	+/-
Prijs	++	+	+/-
<b>Conclusie</b>	<b>V</b>	<b>V</b>	<b>V</b>
<b>Keuze</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

De volledige Trade Off Matrix vindt u in bijlage 2.

## 5 OVERZICHT PERCEEL 1

Perceel 1 loopt vanaf Station Vijfhuizen tot de Zuidelijke Ringvaart. Het is verdeeld in deeltracé's, genummerd volgens onderstaande tabel:

### Verbindingen:

Deel Tracé	kV	Van	Naar	Lengte
1.1	150	Station Vijfhuizen	OSP 1 Drie Merenweg, Haarlemmermeer	3,1
1.1	380	Station Vijfhuizen	OSP 1 Drie Merenweg, Haarlemmermeer	3,0
1.3a	150	OSP 14 Kruisweg, Haarlemmermeer	Station Haarlemmermeer	3,7
1.3b	150	Station Haarlemmermeer	OSP 16 Nieuwe Bennebroekerweg	
1.3	380	OSP 14/15 Kruisweg, Haarlemmermeer	OSP 16 Nieuwe Bennebroekerweg, Haarlemmermeer	3,5
1.6	150	OSP 34 Leimuiderweg	OSP 38 Turfspoor (aansluiting op bestaande 150 kV verbinding Sassenheim-Haarlemmermeer)	3,5

*Bron: VS1: 2.*

Dit tracé kenmerkt zich als kwel- en opbarstgevoelig gebied. Er zijn opbarstberekeningen worden gemaakt om te bepalen of de werkzaamheden kunnen worden uitgevoerd zoals voorzien en of de voorgenomen maatregelen acceptabel zijn. De vergunningseisen zullen hierin mee gewogen worden.

Het tracé heeft overal een dekking van 1,80 m. Aangezien de open ontgravingen tot een diepte van 2,20m-mv gaan, is de onderkant sleuf gelegen onder het niveau van het grondwater. In deze gevallen is er grote kans op opbarsten.

### 5.1 Deeltracé 1.1 Vijfhuizen-Drie Merenweg

De kabellengtes die voorzien zijn voor dit deeltracé zijn 1038m voor de 150kV (twee crossbondings moflokaties) en voor de 380kV 4 kabellengtes van 738m (twee crossbonding en één aardmoflokatie). Nadere uitwerking vind plaats na keuze van de kabel en kabelleverancier door TenneT.

Er worden 4 glasvezel buizen per verbinding geïnstalleerd: 4 bij de 150kV en 4 bij de 380kV. Om de ca. 2 km wordt voor de mofverbinding een voorziening getroffen.

Als we het deeltracé nader bekijken van Noord naar Zuid zien wij het volgende:

Station Vijfhuizen zal worden uitgebreid, wij hebben aangenomen dat deze nevenwerkzaamheden zijn afgerond voordat wij onze uitvoering starten. Bij overlappende werkzaamheden dienen nadere afspraken gemaakt te worden om vertraging in de planning te voorkomen.

#### Open ontgraving

De circuits voor de 150kV en de 380kV starten op het Station. Wij leggen hier de kabel met een overlengte van 15m.

Nabij het station kruisen de circuits een HS-lijn (TenneT) en de 150kV bovendien een 50kV-kabelverbinding (Liander). Er is sprake van gescheiden circuits: De onderlinge afstand tussen het 150kV tracé en 380kV tracé bedraagt 3 m.

#### Gestuurde boring 1

De circuits kruisen de Drie Merenweg en de Oude Schipholweg (N205/N232) middels een gecombineerde boring. Op deze locatie worden twee HDD boringen verricht (HDD1 en HDD2 van beide ca. 410m.) voor het 150kV circuit en 4 boringen voor de 380kV circuits (HDD1 en HDD2 van ca. 410m., HDD3 en HDD4 van ca. 450m.).

Het intredepunt ligt op de toegangsweg naar het nieuw te bouwen station. Hier zal coördinatie met de nevenaannemer voor de civiele werkzaamheden op het stationsterrein moeten plaatsvinden.

Voor deze boring(en) zijn berekeningen gemaakt welke terug te vinden zijn in document 'Berekeningen HDD kruising Provinciale weg N205 t.h.v. Vijfhuizen X-01', documentnummer VIR-0.000.516, referentienummer voor V&SH is TP13141-doc-01.

#### Open ontgraving

De circuits vervolgen door akkerland, dat zich kenmerkt door een hoge grondwaterstand en veel kleine slootkruisingen. Er is een open ontgraving voorgeschreven.

Het tracé buigt af naar links richting de Kromme Spieringweg en loopt langs een sloot. Aan de linkerkant van de sloot komt één 380kV circuit, aan de rechterkant van de sloot komen eerst één 380kV circuit en daarnaast twee 150kV circuits te liggen.

#### Gestuurde boring 2

De circuits passeren de Kromme Spieringweg met een gestuurde boring in gecombineerde configuratie. Oorspronkelijk heeft de opdrachtgever hier een HDD van 16m voorzien. Met de boorrig die op het werk wordt voorzien zullen dit twee HDD's worden van elk ca. 75m. voor de 150kV en vier HDD's van elk ca. 210m voor de 380kV.

Parallel aan de Kromme Spieringweg worden kabels & leidingen van derden verwacht. Deze worden ook middels de boring gekruist.

Voor deze boring(en) zijn berekeningen gemaakt welke terug te vinden zijn in document 'Berekeningen HDD kruising Kromme Spieringweg te Vijfhuizen X-02', documentnummer VIR-0.000.517, referentienummer voor V&SH is TP13141-doc-02.

#### Open ontgraving

De circuits vervolgen de route door akkerland naar het OSP Driemerenweg. Ook hier wordt een hoge grondwaterstand verwacht en bevinden zich veel kleine slootkruisingen. Er is een open ontgraving voorgeschreven.

#### Opstijgpunt 1 Driemerenweg

De funderingswerkzaamheden voor het OSP dienen gereed te zijn alvorens de kabel aankomt op het OSP. Er loopt een 150kV-kabelverbinding (TenneT) dicht langs het OSP van het in dit



project aan te leggen 150kV tracé. Wij houden rekening met voorgeschreven veiligheidsmaatregelen.

De kabel wordt gepositioneerd voor de aansluiting door derden met een overlengte van 15m.

## 5.2 Deeltracé 1.3+a+b Kruisweg-Bennebroekerweg

Het tracédeel 1.3 is verdeeld in drie delen:

1.3:	380kV OSP Kruisweg-OSP Nieuwe Bennebroekerweg	3,5km
1.3a:	150kV OSP Kruisweg-Station Haarlemmermeer	3,7km
1.3b:	150kV Station Haarlemmermeer-OSP Nieuwe Bennebroekerweg	2,3km

In het 150kV gedeelte komen drie mofputten, evenals in het 380kV deel. De kabellengtes bedragen circa 1200m voor de 150kV en circa 890 voor de 380kV. Nadere uitwerking vindt plaats na keuze van de kabel en kabelleverancier door TenneT.

Het 150kV en het 380kV tracé lopen parallel maar met wisselende afstand tussen de verbindingen. Het loopt grotendeels door recreatie- en natuurgebied de Boseilanden, dat zich kenmerkt door de grote waterpartijen. De 150kV verbinding maakt een lus naar het Station Haarlemmermeer, deze loopt door bebouwd gebied.

Het gehele deeltracé is gevoelig voor opbarsten en kwel. Dit is een reden om de grondwerkzaamheden te beperken en waar mogelijk HDD's toe te passen.

### OSP Kruisweg

Het funderingswerk voor het opstijgpunt moet afgerond zijn voordat de kabelinstallatie start, evenals de gestuurde boringen.

### 150kV open ontgraving

Vanaf het OSP naar het intredepunt van HDD3\_Kruisweg wordt de 150kV kabel in een open ontgraving gelegd, waarbij de gehele sleuflengte wordt ontgraven.

### Gestuurde boringen 3 (150kV en 380kV)

Zowel de 150kV als de 380kV kruisen de Kruisweg middels gestuurde boringen. De vier boringen voor de 380kV zijn elk ca. 380m. en de boring voor de 150kV, bestaande uit 7 mantelbuizen, is ca. 420m. De boringen kruisen elkaar zodat in de Boseilanden de 150kV links van de 380kV komt te liggen. De 380kV boring bereikt een diepte van 14m-mv, de 150 kV gaat hier onderdoor op een minimale afstand van 5 m.

Het intredepunt voor de 380kV boring ligt direct bij het OSP. De woningen boven de eerste 50m van de boring staan in de magneetveldzone hetgeen onwenselijk is.

Voor het uitredepunt liggen drie transportleidingen van PWN, waar de boringen 10m afstand van moeten houden. Vooraf zullen wij ons ervan verzekeren of de leidingen op fundering zijn geplaatst.

Beide boringen hebben een uitredepunt voorzien in de eerste zandterp in "Boseilanden".

Voor deze boring(en) zijn berekeningen gemaakt welke terug te vinden zijn in document 'Berekeningen HDD kruising Provinciale weg N201 t.h.v. Qruquius X-03', documentnummer VIR-0.000.518, referentienummer voor V&SH is TP13141-doc-03.

#### 150kV open ontgraving

De kabel wordt over een minimale lengte in een open sleuf gelegd in de eerste zandterp.

#### Gestuurde Boringen 4 en 5(150kV)

De 380kV kabel wordt in een extra boring geplaatst, en de 150kV verbinding gaat met twee boringen onder de waterpartijen door. Zowel boring 4 van de 380kV als de 150kV heeft een lengte van 475m Rietsingel/Elsenhage. Vervolgens heeft boring 5 t.b.v. de 150kV verbinding een lengte van ca. 710m t.h.v. de Larenselaan. Door deze verlengingen zijn de open ontgravingen hier beperkt. Dit is wenselijk vanwege de aanwezigheid van de waterpartijen, het grondwaterbezwaar, de moeilijke bereikbaarheid en de beperkte ruimte voor de werkstrook.

#### Gestuurde boring 5 (380kV)

Ook de 380kV kabel kruist twee sloten, een waterpartij de 3<sup>e</sup> zandterp en het ruit-, fiets- en wandelpad t.h.v. de Larenselaan met een gestuurde boring van ca. 653m lengte, conform PvE.

Voor deze boring(en) (boring 4 en 5) zijn berekeningen gemaakt welke terug te vinden zijn in document 'Berekeningen HDD langs Provinciale weg N205 t.h.v. Zwaanshoek X-04', documentnummer VIR-0.000.519, referentienummer voor V&SH is TP13141-doc-04 en document 'Berekeningen HDD langs Provinciale weg N205 t.h.v. Zwaanshoek X-05', documentnummer VIR-0.000.520, referentienummer voor V&SH is TP13141-doc-05.

#### 380kV open ontgraving

Na HDD5 gaat de 380kV verder in een open ontgraving, waarbij het eerste gedeelte op slechts 2 m van het water komt te liggen. Bekeken wordt of de boring verlengd kan worden om deze ontgraving met waterbezwaar te vermijden.

De open ontgraving loopt door over de 7<sup>e</sup> en de 8<sup>e</sup> terp tot HDD8. Ook t.h.v. terp 8 ligt de kabel op 2m. van het water en wordt bekeken of een HDD een optimalisatie kan zijn.

In dit gebied kan afstemming met nevenaannemers nodig zijn voor werkzaamheden nabij de fietsbrug naar Floriande, betreft aanleg fietspad en watergang.

#### 150kV open ontgraving

Na HDD5 volgt de 150kV kabel parallel aan de Driemerenweg haar weg naar de inlassing. Hier wordt een open ontgraving voorzien tot aan het intredepunt van HDD6.

### **Inlassing Station Haarlemmermeer 150kV**

#### Gestuurde boring 6 Deltaweg



Deze boring kruist de Driemerenweg, de Deltawegen het Altenapad, en is ca. 716m lang. Het uitredepunt bevindt zich op de kruising Altenapad/Fanny Blankers-Koenlaan.

De 150kV lus gaat met twee circuits heen en terug door deze boringen naar het oorspronkelijke tracé. De configuratie bestaat uit 2 boringen per kant, dus in totaal 4.

Voor deze boring(en) zijn berekeningen gemaakt welke terug te vinden zijn in document 'Berekeningen HDD's kruising Provinciale weg N205 te Hoofddorp X-06', documentnummer VIR-0.000.521, referentienummer voor V&SH is TP13141-doc-06.

#### Open ontgraving

Vervolgens voorziet de klant een open ontgraving langs het Altenapad, onder een speeltuin en een geasfalteerde fietspad door. De open ontgraving loopt door in HDD7 en de circuits gaan heen en retour langs deze route.

Op deze lokatie (speeltuin) kan een overschrijding van de wenselijke waarden voor magneetveldzone worden bereikt. Hier kan een boring een oplossing zijn.

#### Gestuurde boringen 7 (Altenapad)

Ook hier gaan twee 150kV circuits heen en terug door de boring. De boring loopt onder een bestaande mastenlijn door die later geamoveerd zal worden.

Wegens een overschrijding van de wenselijke waarden voor magneetveldzone is de onderste boring van onder (zuid) naar boven (noord) verplaatst. Hierdoor komt de boring wel binnen de zone waarin bij TenneT een werkvergunning aangevraagd dient te worden, voor werken onder hoogspanningslijnen.

De boringen zijn oorspronkelijk 177m lang, maar in de optimalisatie wordt dat 154m.

Voor deze boring(en) zijn berekeningen gemaakt welke terug te vinden zijn in document 'Berekeningen HDD langs IJtocht te Hoofddorp X-07', documentnummer VIR-0.000.522, referentienummer voor V&SH is TP13141-doc-07.

#### Open ontgraving

Vervolgens zal de kabel in open ontgraving naar het bestaande station Haarlemmermeer worden geleid. Aan de station zijde dient TenneT met Liander aangepaste kruisingsafspraken te maken/overeen te komen.

Tot slot worden de kabels op het station met een overlengte van 15m achtergelaten voor montage door derden.

## **Terug naar het hoofdtracé Vijfhuizen-Ringvaart**

### Gestuurde boringen 8 (150kV en 380kV)

Na de laatste terp worden de waterpartij en de Bennebroekerweg gekruisd met HDD's voor de 380 en de 150kV. De boringen kruisen elkaar, waarbij de 150kV onder de 380kV door gaat.

Langs de Bennebroekerweg ligt een K&L tracé. In het detailontwerp van de boring dient hier rekening mee gehouden te worden.

Voor deze boring(en) zijn berekeningen gemaakt welke terug te vinden zijn in document 'Berekeningen HDD kruising Bennebroekerweg te Zwaanshoek X-08', documentnummer VIR-0.000.523, referentienummer voor V&SH is TP13141-doc-08.

#### Open ontgraving

Vervolgens worden beide tracé's in circa 150m open ontgraving naar OSP Nieuwe Bennebroekerweg gebracht. De funderingswerkzaamheden van het OSP dienen vooraf gereed te zijn.

### **5.3 Deeltracé 1.6 Leimuiderweg-Turfspoor**

Het tracédeel bevat alleen 150kV kabel, waarin twee mofputten zijn voorzien, en drie gestuurde boringen. De kabellengtes bedragen circa 1172m. Nadere uitwerking vind plaats na keuze van de kabel en kabelleverancier door TenneT.

Met tracédeel 1.6 verlaat het 150kV circuit de route van de 380kV verbinding van Vijfhuizen naar Bleiswijk en sluit weer aan op de 150kV verbinding van Haarlemmermeer naar Sassenheim.

Het gehele deeltracé loopt door akkerland en wordt in open ontgraving uitgevoerd, met uitzondering van de gestuurde boringen. Het tracé kruist een fietspad. Hier worden verkeersmaatregelen getroffen.

Het gebied is gevoelig voor opbarsten en kwel. Dit is een reden om de grondwerkzaamheden te beperken en waar mogelijk HDD's toe te passen.

#### OSP Leimuiderweg

Dit opstijgpunt is tevens mast 34 in de nieuw aan te leggen verbinding. Het funderingswerk voor het opstijgpunt moet afgerond zijn voordat de kabelinstallatie start. De kabel wordt met 15m overlengte ingegraven.

Parallel aan de Leimuiderweg liggen mogelijk k&l van derden. In het detailontwerp zal dit nader onderzocht worden.

#### Open ontgraving

Vanaf het OSP naar het intredepunt van HDD14\_Leimuiderweg wordt de 150kV kabel in een open ontgraving gelegd, waarbij de gehele sleuflengte van 151m wordt ontgraven.

#### Gestuurde boring 9

Middels de gestuurde boring, ca. 72m, wordt de Nieuwkerkertocht gekruist.

Voor deze boring(en) zijn berekeningen gemaakt welke terug te vinden zijn in document 'Berekeningen HDD langs Provinciale weg N207 te Nieuw-Vennep X-09', documentnummer VIR-0.000.524, referentienummer voor V&SH is TP13141-doc-09.

#### Open ontgraving

Vervolgens loopt het tracé langs de Nieuwkerkertocht, en kruist 4 kleine sloten in een open ontgraving.

#### Gestuurde boring 10

De Lisserweg en de Lisserdwarstocht worden gekruist met gestuurde boring van ca. 83m.

Voor deze boring(en) zijn berekeningen gemaakt welke terug te vinden zijn in document 'Berekeningen HDD kruising Lisserweg te Lisserbroek X-10', documentnummer VIR-0.000.525, referentienummer voor V&SH is TP13141-doc-10.

#### Open ontgraving

Het tracé vervolgt in een rechte lijn langs de Nieuwkerkertocht, en kruist meerdere kleine sloten in een open ontgraving.

#### Gestuurde boring 11

Ter hoogte van OSP Turfspoor buigt het tracé haaks naar rechts, waarbij het met een HDD de Nieuwkerkertocht nogmaals kruist. De boring heeft een lengte van ca. 72m.

Voor deze boring(en) zijn berekeningen gemaakt welke terug te vinden zijn in document 'Berekeningen HDD kruising Nieuwkerkertocht te Lisserbroek-Abbenes X-11', documentnummer VIR-0.000.526, referentienummer voor V&SH is TP13141-doc-11.

#### Open ontgraving

Het tracé loopt in een rechte lijn naar het bestaande opstijgpunt Turfspoor. Hier wordt de kabel met een overlengte van 15m achtergelaten.

## **6 AANLEG METHODIEKEN**

### **6.1 Kabelleverantie**

In overleg met de opdrachtgever, opdrachtnemer en de kabelleverancier (welke nog door de opdrachtgever bepaald dient te worden), wordt een afroepschema opgesteld voor de te leveren kabels. De kabels worden geleverd door de kabelleverancier op een vrachtwagen / dieplader aan de openbare weg en gelost naast de vrachtwagen. Waar mogelijk dient dit direct in de haspelwagen/haspelstoel te gebeuren, zodat het aantal handelingen met de kabelhaspels wordt beperkt.

Als de haspels door de kabelleverancier op een (tijdelijke) verharding geplaatst dienen te worden, zullen deze middels baddinghout worden 'gezekerd' tegen weggrollen.

Opgeslagen kabels zullen worden beveiligd tegen diefstal.

### **6.2 Drainage en bronnering**

In verband met de verwachte stand van het grondwater, de kwelgevoeligheid van het gebied en het chloridengehalte van het grondwater is een gecontroleerde beheersing van de grondwaterstanden een kwaliteitsbepalende activiteit voor dit project. Alle kabelwerkzaamheden dienen in den droge te geschieden met behulp van horizontale bemaling.

Het bemalingsadvies wordt door een externe deskundige opgesteld (gecontracteerde partij Gebr. V. Kessel). Het projectspecifieke bemalingsadvies zal rekening houden met de uitkomsten van hydrologisch rapport en (te verwachten) vergunningseisen. Tevens wordt beschreven hoe kruisende drainreeksen worden behandeld. De bemalingsplannen zijn separaat toegevoegd, zie document nummer VIR-0.000.538 en VIR-0.000.542. De opties voor de mogelijke routes transportleiding en opstelplaatsen zijn weergegeven in document nummer VIR-0.000.539. de exacte route en aantal lozingspunten zal sterk afhangen van de gekozen werkmethode en of aanlegdiepte.

Voor de beheersing van de grondwaterstand tijdens de aanleg van de verbinding en in de periode van zetting van de sleuf erna, is een (soms tijdelijke) aanpassing of herstel van reeksen nodig. Om het landbouwkundig en cultuurtechnisch herstel te bevorderen kan een parallel drainage (parallel aan de kabels) noodzakelijk zijn. Deze parallel drainage kan bestaan uit het ter weerszijden van de sleuf aanbrengen van enkele drains. Vooralsnog is hierin niet voorzien.

### **6.3 Grondwerk open ontgraving**

De aanleg van benodigde toegangs- en werkwegen, welke gerealiseerd worden door KWS binnen VolkerInfra, zijn gereed alvorens het ontgraven van de sleuven start. De werkstrook indeling is indicatief weergegeven in de tekening "Principe werkstrookindeling", te vinden in bijlage 1, welke afhankelijk is van beschikbare breedte en mogelijk gespiegeld.

De graafwerkzaamheden zullen geschieden middels hydraulische graafmachines. De grondlagen zullen gescheiden worden ontgraven en opgeslagen naast de sleuf. Een grondwerker nabij de graafmachine monitoort en controleert de sleufafmetingen. Tijdens de



graafwerkzaamheden let de grondwerker er tevens op of er geen kabels en leidingen zichtbaar zijn c.q. worden beschadigd. Dit wordt visueel gedaan en door voor elke graafgang handmatig voor te steken met de schop. Uiteraard zijn alle locaties van te verwachten kabels en leidingen vooraf gemarkeerd, op basis van KLIC-gegevens en/of overleggen met kabel- en leidingeigenaren.

Zodra een 'x' sleuflengte open ligt (over een kabellengte) zal direct gestart worden met het aanbrengen en verdichten van de onderlaag van het zandbed. Het zandbed wordt geïnstalleerd d.m.v. een hydraulische graafmachine. De hoeveelheid zand wordt gebaseerd op de door de opdrachtgever aangereikte gegevens. Het zand zal vrij zijn van scherpe delen. Op dit moment is geen G-waarde bepaald, hierom wordt uitgegaan van neutraal zand.

Wanneer de sleuf over de gehele 'treklengte' is gegraven en de onderlaag van het zandbed is geïnstalleerd, dient de sleuf vrij gegeven te worden om te starten met de kabelaanleg (zie verder paragraaf 6.5 in dit plan). Wanneer de kabels zijn gelegd en op de juiste positie in de sleuf zijn geïnstalleerd wordt de tweede laag van het zandbed, de bovenlaag, aangebracht en verdicht.

Op zowel de onderlaag als de bovenlaag worden op diverse locaties in de sleuf verdichtingsproeven genomen, middels de steekringmethode, om de mate van verdichting te controleren. Deze metingen worden middels rapportages aantoonbaar gemaakt, dit conform de bestekseisen.

Bovenop het zandpakket worden aan weerszijden van de sleuf glasvezelbeschermbuizen gelegd. Vervolgens worden de kabelbeschermplaten (ook wel (kabel)afdekplaten genoemd) op het zandbed geplaatst, waardoor ook de glasvezelbeschermbuizen hier nog onder liggen.

Na het aanbrengen van de kabelbeschermplaten wordt de sleuf terug aangevuld, waarbij de ontgraven grond in omgekeerde volgorde wordt teruggeplaatst als dat ze ontgraven is. De afwerking van het maaiveld zal voldoen aan de gestelde tolerantie van 10 cm restzetting per 30 jaar. Overtollige grond wordt verwerkt binnen het project. Indien dit niet mogelijk is, zal overtollige grond worden afgevoerd naar een erkende be-/verwerker.

Het cultuurtechnisch herstel is op dit moment niet opgenomen, aangezien het Cultuurtechnisch Rapport nog niet beschikbaar is.

Kort samenvattend bestaat de "kabelaanlegcyclus" uit:

- Sleuf op diepte graven,
- Zandbed aanbrengen en verdichten
- Haspels opstellen
- Kabels aanbrengen
- Kabels afdekken met zand en aanbrengen linten en PE-platen
- Sleuf terug aanvullen.

#### Slootkruisingen

De sloten worden vooraf afgedamd en drooggepompt, zodat de sleuf met voldoende diepte kan worden gemaakt (buizen komen conform de eis bij primaire watergangen 2,0m onder vaste bodem sloot en overige watergangen tenminste 1,3m onder vaste bodem sloot).

Ter plaatse van slootkruisingen worden de buizen als pakket onder de slootbodembodem gelegd. Na het aanvullen van de slootkruising en het verwijderen van de afdamming worden de slootkanten hersteld conform de eisen.

In de bijlage 2, VIR-0.000.515 ref: TP13141-K-X-24, is een principe detail van een slootkruising toegevoegd.

#### **6.4 Sleufloze techniek**

De ondergrondse kruisingen worden uitgevoerd middels een Horizontaal Gestuurde Boring. Deze boringen en het intrekken van de HDPE-buizen zijn uitgevoerd voordat de kabel wordt ingetrokken.

Doordat het aanbrengen van de buizen uitgevoerd moet worden met Fit for Cooling dienen, voor en na intrekken van de buizen, de buizen d.m.v. een hydrotest getest te worden op dichtheid.

Na intrekken van de kabels worden de buizen gevuld met water en afgedicht.

Direct na de uitvoering van de boringen worden de kleikisten en kwelschermen aangebracht.

Het ontwerp van de boringen wordt in een separate definitieve ontwerpnota HDD beschreven, zie documentnummer VIR-0.000.018.

#### **6.5 Trekken van kabels**

Nadat de sleuf(sleuven), mantelbuizen en boringen gereed zijn, kunnen de kabels worden getrokken. De kabels zullen per volle haspellengte direct in de sleuf worden getrokken. Hiervoor wordt het benodigde kabelmateriaal voor het trekken van de kabels in de sleuf opgesteld. In de UO-fase wordt een kabeltrekplan opgesteld.

Het kabelhaspel wordt op zijn opstelplaats aan het begin van de sleuf opgesteld op een motorisch aangedreven haspelwagen. In de sleuf worden voldoende kabeltrekmachines en kabelrollen opgesteld. Aan het eind van de sleuf wordt de (kabeltrek)lier opgesteld. De kabel wordt over de rollen, en door de mantelbuizen m.b.v. lieren, naar zijn definitieve bestemming geleid.

De HDPE glasvezelbuizen worden zonder lier getrokken.

De kabeltreklier is registrerend en op trekkracht instelbaar. Wij monitoren op een veilige maximale trekkracht conform de specificaties van de kabelleverancier.

Na het kabeltrekken worden de afzonderlijke kabels in hun definitieve configuratie gelegd en voorzien van de benodigde merkbanden en kleurentape.

De aarddraden worden aangebracht onder de afdekplaten van de kabelverbinding.

#### **6.6 Mofputten**

De mofputten worden uitgegraven middels een hydraulische graafmachine. Zodra de kabelleverancier bekend is zal hiervoor nader overleg met de kabelleverancier plaats vinden voor wat betreft afmetingen van de werkput en voor het wegwerken van eventuele overlengte.



Op dit moment zijn wij uitgegaan van een mofput van 15 x 4 m voor de 380kV en 6 x 3 m voor de 150 kV verbinding.

Aarding-/crossbonding-voorzieningen worden uitgevoerd in afstemming met de kabelleraancier zodra deze bekend is. Bij eventuele bovengrondse aardingskasten wordt een aanrijdbeveiliging aangebracht.

Ter plaatse van de mofputten wordt een overlengte kabel vrij gelaten van 5m per kabeleinde.

#### **6.7 Grondwerk dichten kabelsleuf**

De kabel wordt afgedekt met kabelzand. Hierna kan de eventuele bemaling over het geïnstalleerde kabeldeel worden uitgezet.

Afhankelijk van de hoeveelheid van een eventueel overschot zal een gedeelte van de B-grond moeten worden afgevoerd. Een ander deel van de overtollige B-grond kan worden verwerkt in de werkstrook waarna de teelaarde wordt teruggezet. De verwachting is echter dat er geen grondoverschot zal zijn door het inklinken van de grond in de werkstrook a.g.v. de werkzaamheden.

Uitgangspunt is hierbij dat alle uitkomende grond schoon is, waarbij de opdrachtgever de schoon grond verklaringen verzorgt.

Het opruimen van de tijdelijke wegen en terreinen en het herstellen van het maaiveld vallen buiten de scope van dit object en worden in een separate nota beschreven.

## **7 ALTERNATIEVE UITVOERINGSMETHODE: DUCTSYSTEEM**

In Engeland en Ierland is het gebruikelijk om kabels aan te leggen in mantelbuizen; ducts genoemd. Redenen hiervoor zijn het verminderen van hinder omdat de kabels doorgaans onder een openbare weg worden geplaatst en die wegen met ducten korter opgebroken zijn en het vervangen van kabels zonder opbrekingen kan gebeuren. Ook heeft men in Engeland te maken met een rotsachtige bodem waardoor veel kostbaar backfill zand benodigd is.

Visser & Smit Hanab heeft in 2011/2012 een zeer groot project uitgevoerd (EWIP: East West Interconnection Project). Dit project had betrekking op de aanleg van een ondergrondse hoogspannings-gelijkstroom verbinding tussen Engeland en Ierland.

Deze verbinding werd over het landgedeelte in Engeland en Ierland aangelegd in mantelbuizen. Vooraf werden de mantelbuizen aangelegd waarna in een later stadium de HVDC kabels werden ingetrokken. De verbinding is grotendeels in de openbare weg aangelegd.

Deze uitvoeringsmethode is voor het Randstad380 Noordring project Perceel 1 van grote waarde als alternatief op de uitvoeringsmethode volgens het "open sleuf" principe.

Het tracé van perceel 1 kenmerkt zich door de grondwaterproblematiek:

- risico's van het opbarsten van de sleufbodem als gevolg van (zout) spanningswater en van de hoge grondwaterstand
- grote debieten te onttrekken en te lozen vanwege de aanwezige grondslag
- verontreinigingen in het grondwater (met name chlorides en metalen)

Wij hebben een alternatieve uitvoeringsmethode uitgewerkt om deze risico's en gevolgen te beperken.

Bijkomend voordeel is dat de invloed van de werkzaamheden op de omgeving voor een groot deel beperkt worden vanwege de relatief korte sleuflengte welke open gegraven dient te worden. Een bijkomend voordeel is bovendien dat de leverdata van de hoogspanningskabel aanzienlijk minder kritisch worden voor de doorlooptijd van het grondverzet.

De uitvoering van het ductsysteem gaat volgens de als volgt omschreven methode:

### **7.1 Omschrijving uitvoeringsmethode**

De kabelsleuf wordt ontgraven in delen van 60 meter. Per dag wordt de sleuf ontgraven over een lengte van 60 meter op dezelfde wijze als de open sleuf methode, dus afzetten teelaarde en daarna de onderliggende B-grond ontgraven tot een diepte van 2,20 meter minus maaiveld voor de 380kV verbindingen en tot 2,10 m-mv voor de 150kV verbindingen.

Na het ontgraven tot de vereiste sleufdiepte wordt de eerste zandlaag aangebracht en verdicht conform de dikte van de open sleuf methode. Vervolgens wordt er voor elke aan te leggen 380kV- of 150kV kabel een HDPE mantelbuis in de sleuf aangebracht. Deze mantelbuizen hebben dezelfde diameter als de HDPE mantelbuizen voor de gestuurde boringen te weten Ø250 mm voor de 380kV kabels en Ø200 mm voor de 150kV kabels. De SDR klasse wijzigt

wel van SDR11 naar SDR17. De geringere wanddikte zorgt voor een betere warmteafgifte naar de omgeving en voor het makkelijker volgen van het tracéverloop zowel verticaal als horizontaal.

De HDPE buizen worden aan elkaar gekoppeld door middel van U2 PVC koppelingen of gelijkwaardig. Spiegellassen is niet noodzakelijk, er worden immers geen trekkrachten op de buizen uitgeoefend zoals bijvoorbeeld wel gebeurt bij gestuurde boringen.

De zes HDPE buizen liggen met een dusdanige onderlinge afstand uit elkaar dat de hoogspanningskabels met dezelfde tussenafstand uit elkaar liggen als het ontwerp,

Na het aanbrengen van de HDPE buizen wordt de tweede zandlaag aangebracht en verdicht tot het niveau conform het ontwerp. Vervolgens worden de glasvezelbuizen en de PE kabelafdekplaten aangebracht. Tot het niveau van de teelaarde wordt de sleuf boven de afdekplaten aangevuld met uitkomende B-grond.

Deze uitvoeringsmethode heeft tot gevolg dat het openliggende sleufdeel in de periode buiten de normale werkuren beperkt blijft tot de uiteinden van de reeds aangelegde mantelbuizen. Teneinde tijdens de aanleg van de mantelbuizen een droge sleuf te kunnen garanderen staan drie sleufdelen van 60 meter in de bemaling. Alvorens het ontgraven van het betreffende sleufdeel wordt er dus al twee dagen op bemalen.

Een totaal van 3 keer 60 meter = 180 meter wordt steeds bemalen. Eén en ander impliceert dat er slechts 20% van het aantal pompen benodigd is voor de bemaling ten opzichte van de open sleuf methode, hetgeen een groot effect heeft op de hoeveelheid opgepompt grondwater zodat de debieten dus substantieel kleiner zullen zijn.

Zodra de sleuf tussen twee mofputten of tussen een OSP en een mofput voorzien is van de HDPE mantelbuizen kunnen de hoogspanningskabels in de mantelbuizen getrokken worden. Het intrekken gebeurt met behulp van kabeltrekmachines en een trekkracht registrerende kabeltreklier. De trekkracht van deze kabeltreklier is instelbaar. Op deze wijze wordt voorkomen dat de toelaatbare trekkracht van de hoogspanningskabel wordt overschreden.

Voor deze uitvoeringsmethode is het wel wenselijk dat de kabellieferancier een trekkop monteert op de ader van de hoogspanningskabel.

Na aanleg van het kabelsysteem zullen de mantelbuizen altijd gevuld zijn met grondwater. Er worden openingen met een filtersysteem in de mantelbuizen aangebracht waardoor het mogelijk is dat er wel grondwater in de mantelbuizen stroomt maar geen organische materialen zoals bijvoorbeeld veen.

Tijdens de aanleg worden de mantelbuizen ingemeten en wordt er een lengteprofiel gemaakt zodat de delen waarin zich lucht zou kunnen verzamelen in kaart worden gebracht. Op deze plaatsen wordt een ontluuchtingsvoorziening aangebracht. Op deze wijze wordt opsluiting van lucht tijdens de operationele periode van de verbinding voorkomen.

Visser & Smit Hanab heeft een berekening en rapportage uit laten voeren door een onafhankelijke partij, te weten HKS Consultancy uit Steenwijkerwold. De berekening en rapportage van HKS Consultancy is als bijlage bij deze ontwerpnota gevoegd. Deze

rapportage toont aan dat het ductsysteem geen belemmering vormt voor het transportvermogen van de 380kV- en 150kV kabelverbindingen.

Door het vooraf aanbrengen van de mantelbuizen en pas in een later stadium intrekken van de hoogspanningskabels ontstaat er een grotere flexibiliteit voor de levering van deze hoogspanningskabels.

Voor het intrekken van de kabel worden de uiteinden van de mantelbuis waar de kabel wordt ingetrokken ontgraven en blootgelegd boven het grondwaterniveau. Dit gebeurt op de locaties van de mofputten en OSP's.

Tijdens de montage van de kabelmoffen en eindsluitingen worden er voorzieningen getroffen waardoor wordt voorkomen dat er water uit de mantelbuizen loopt in de mofputten en in de locaties van de eindsluitingen.

## **8 UITVOERINGS ONTWERP FASE**

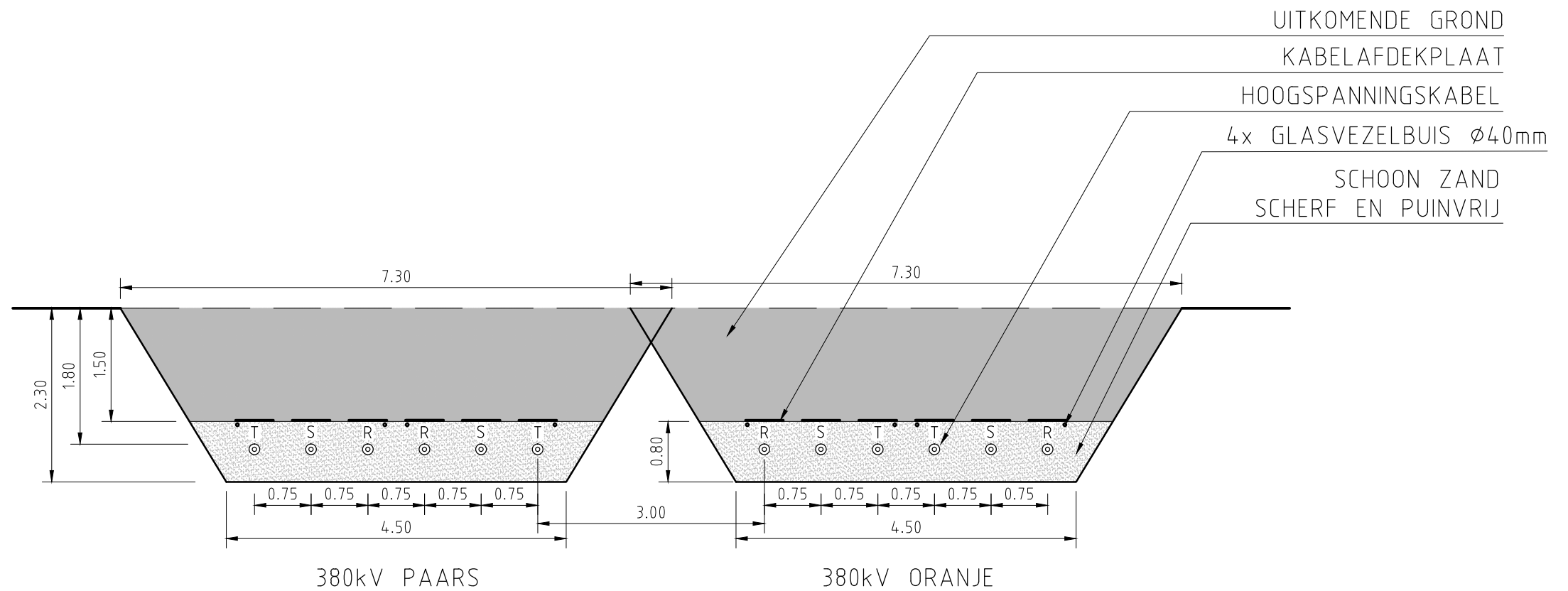
In de Uitvoerings Ontwerpfase (UO-fase) zal, afhankelijk van de keuze van TenneT, de open ontgraving methode dan wel het 'ducten' of een combinatie van deze twee methoden verder worden uitgewerkt. Er zal detailengineering worden uitgevoerd per locatie waarbij wordt vastgesteld of er aanvullend onderzoek (geotechnisch, hydrologisch, e.a.) uitgevoerd dient te worden.

## BIJLAGE 1 TEKENING(EN)

In de bijlagen treft u de ondersteunende tekeningen aan:

<b>Tek.nr.</b>	<b>Versie</b>	<b>Onderwerp</b>	<b>Overig</b>
TP13141-K-X-21	2.0	Sleufdoorsnede 380 kV	
TP13141-K-X-22	2.0	Sleufdoorsnede 150 kV	
TP13141-K-X-23	2.0	Sleufdoorsnede 150/380 kV	
TP13141-K-X-24	2.0	Slootkruising overige watergang	
TP13141-K-X-25	1.0	Slootkruising primaire watergang	

10cm  
8cm  
6cm  
4cm  
2cm  
0cm



SLEUFDOORSNEDE 380kV  
OPEN ONTGRAVING  
SCHAAL 1 : 100

LEGENDA:



UITKOMENDE GROND



SCHOON ZAND

DOORSNEDE CONFORM  
DOC. ENSOL-RPT-2012.020 REV.2 [PAG. 5]

2.0	15-11-13	OPMERKINGEN RFA/RFC VERWERKT	SMA	JRH
1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
Wijz.	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.



Volker Staal en Funderingen bv  
Quarantaineweg 10  
3089 KP Rotterdam  
Postbus 54548  
3008 KA Rotterdam  
Telefoon 010-2992288  
Telefax 010-2992277  
Handelsreg. Rotterdam 24229578

OPDRACHTGEVER : TENNET

PROJECT : RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV

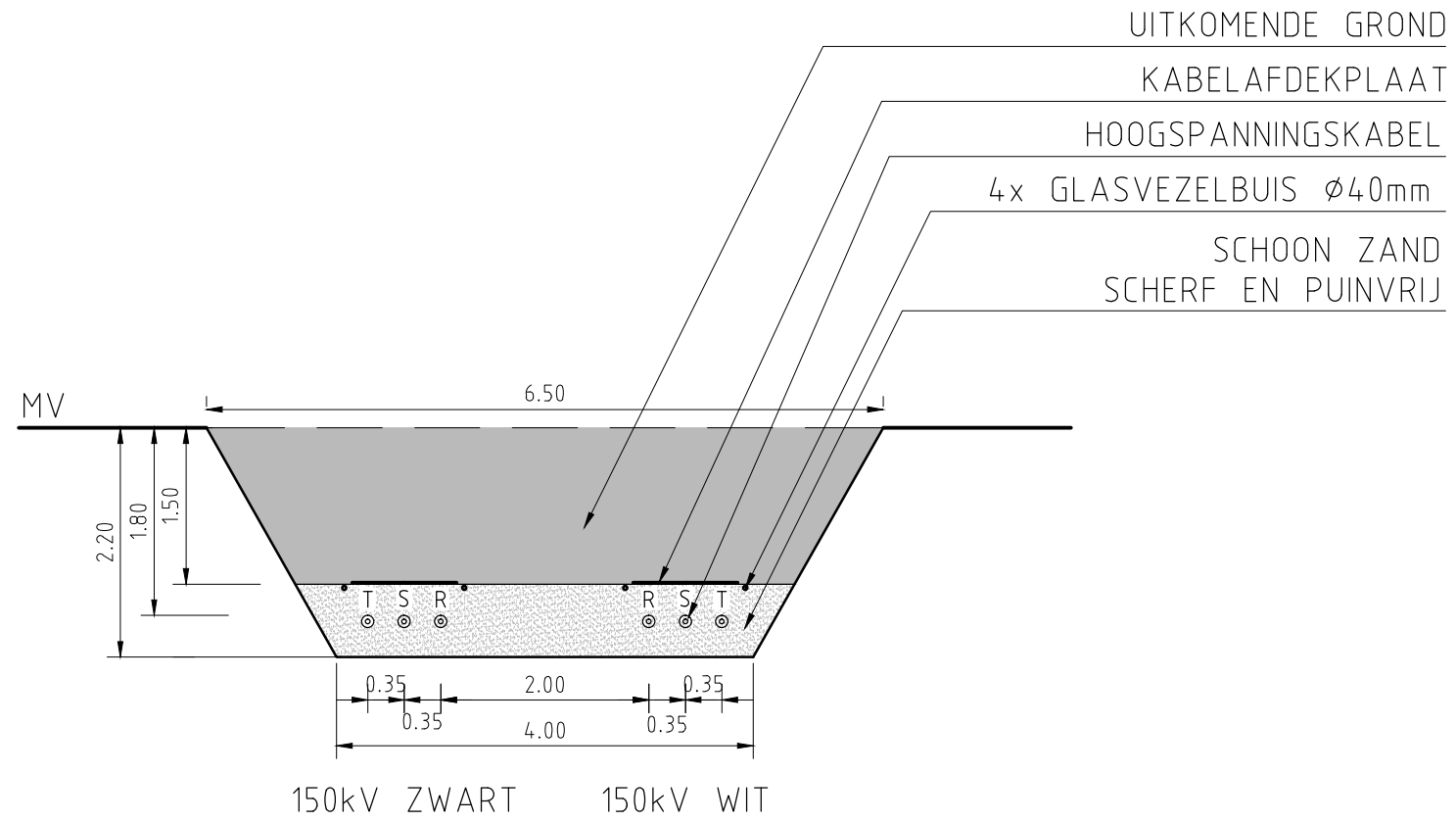
BENAMING :

PRINCIPE TEKENING  
SLEUFDOORSNEDE 380kV  
STATION VIJFHUIZEN-OSP DRIE MERENWEG

Bijz. : -  
Schaal : 1 : 100  
Datum : 17-07-13  
Get. : SMA  
Gez. : JRH  
Formaat : A4

Tekening Nr. : VIR-0.000.512  
Referentie Nr. : TP13141-K-X-21

WIJZ. : 2.0



SLEUFDOORSNEDE 150kV  
OPEN ONTGRAVING  
SCHAAL 1 : 100

LEGENDA:



UITKOMENDE GROND



SCHOOON ZAND

DOORSNEDE CONFORM  
DOC. ENSOL-RPT-2012.020 REV.2 [PAG. 5]

2.0	15-11-13	OPMERKINGEN RFA/RFC VERWERKT	SMA	JRH
1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
Wijz.	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.



Volker Staal en Funderingen bv  
Quarantaineweg 10  
3089 KP Rotterdam  
Postbus 54548  
3008 KA Rotterdam  
Telefoon 010-2992288  
Telefax 010-2992277  
Handelsreg. Rotterdam 24229578

OPDRACHTGEVER : TENNET

Bijz. : -

PROJECT : RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV

Schaal : 1 : 100

Datum : 17-07-13

Get. : SMA

Gez. : JRH

Formaat : A4

BENAMING :

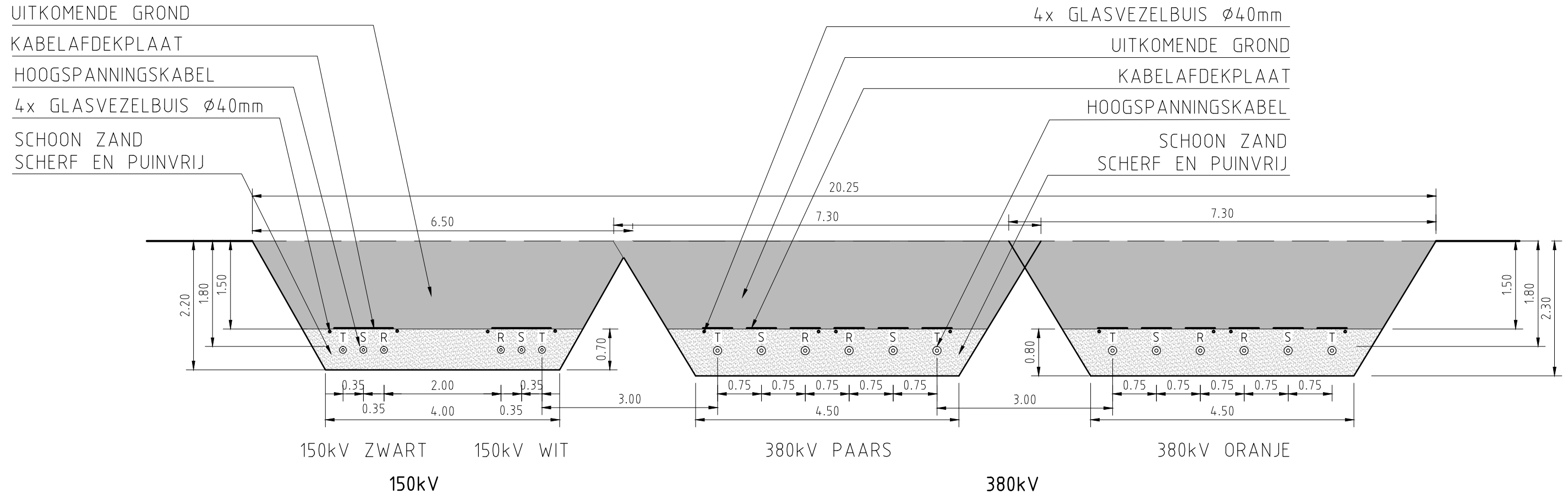
PRINCIPE TEKENING  
SLEUFDOORSNEDE 150kV  
STATION VIJFHUIZEN-OSP DRIE MERENWEG

Tekening Nr. :  
VIR-0.000.513  
Referentie Nr. :  
TP13141-K-X-22

WIJZ. :  
2.0



10cm  
8cm  
6cm  
4cm  
2cm  
0cm



SLEUFDOORSNEDE COMBI 380kV / 150kV  
OPEN ONTGRAVING  
SCHAAL 1 : 100

LEGENDA:



UITKOMENDE GROND



SCHOOON ZAND

DOORSNEDE CONFORM  
DOC. ENSOL-RPT-2012.020 REV.2 [PAG. 5]

2.0	15-11-13	OPMERKINGEN RFA/RFC VERWERKT	SMA	JRH
1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
Wijz.	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.



Volker Staal en Funderingen bv  
Quarantaineweg 10  
3089 KP Rotterdam  
Postbus 54548  
3008 KA Rotterdam  
Telefoon 010-2992288  
Telefax 010-2992277  
Handelsreg. Rotterdam 24229578

OPDRACHTGEVER : TENNET

PROJECT : RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV

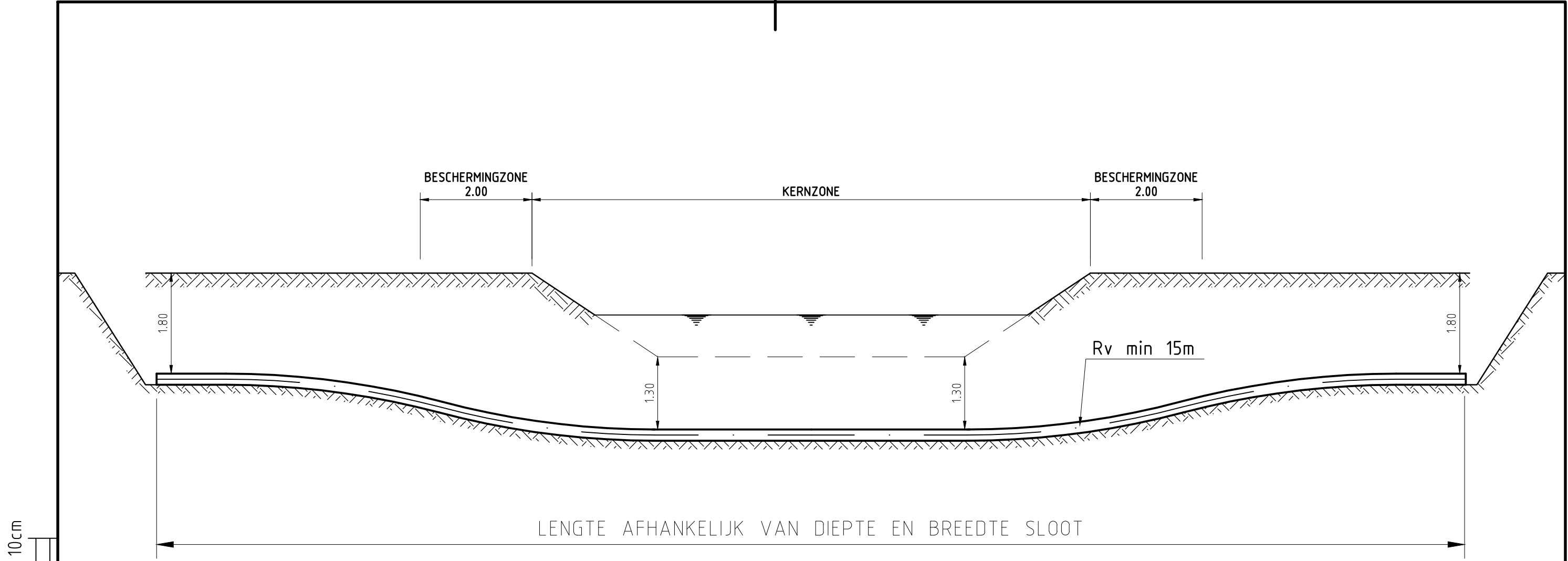
BENAMING :

PRINCIPE TEKENING  
SLEUFDOORSNEDE 380kV 150kV  
STATION VIJFHUIZEN-OSP DRIE MERENWEG

Bijz. : -  
Schaal : 1 : 100  
Datum : 17-07-13  
Get. : SMA  
Gez. : JRH  
Formaat : A4

Tekening Nr. :  
VIR-0.000.514  
Referentie Nr. :  
TP13141-K-X-23

WIJZ. :  
2.0



PRINCIPE SLOOTKRUISING OVERIGE WATERGANGEN  
 380kV en 150kV D.M.V. 200PE SDR13.6  
 SCHAAL 1 : 100



1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
Wijz.	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.



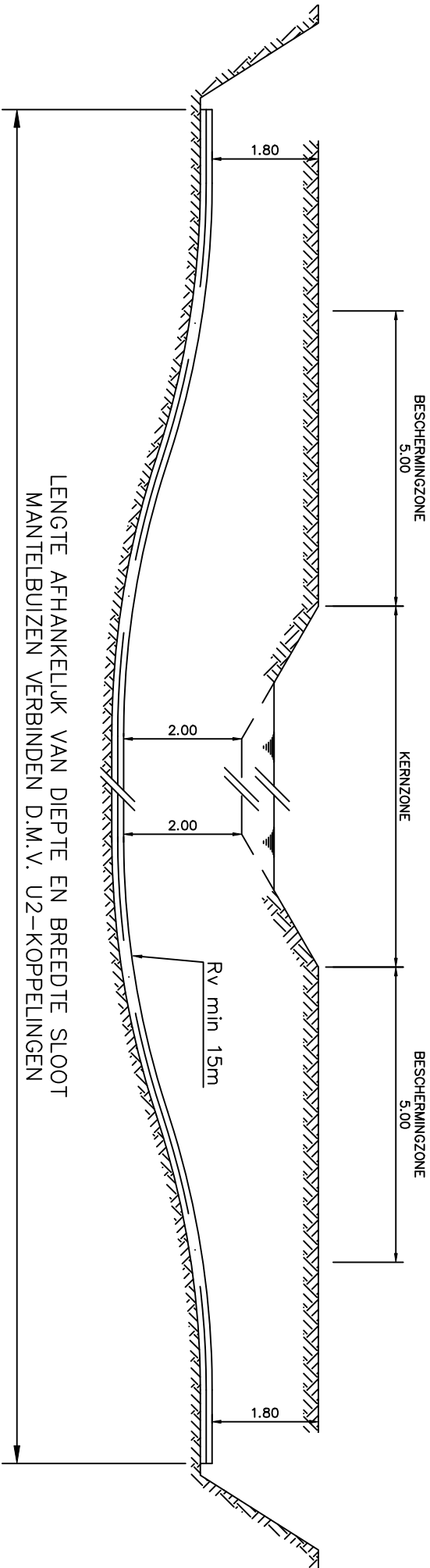
 Volker Staal en Funderingen bv  
 Quarantaineweg 10  
 3089 KP Rotterdam  
 Postbus 54548  
 3008 KA Rotterdam  
 Telefoon 010-2992288  
 Telefax 010-2992277  
 Handelsreg. Rotterdam 24229578

OPDRACHTGEVER : TENNET  
 PROJECT : RANDSTAD NOORD  
 380kV & 150kV  
 BENAMING : PRINCIPE TEKening  
 SLOOTKRUISING  
 STATION VIJFHUIZEN-OSP DRIE MERENWEG

Bijz. : -  
 Schaal : 1 : 100  
 Datum : 17-07-13  
 Get. : SMA  
 Gez. : JRH  
 Formaat : A4

Tekening Nr. : VIR-0.000.515  
 Referentie Nr. : TP13141-K-X-24  
 WIJZ. : 1.0

0cm 2cm 4cm 6cm 8cm 10cm



LENGTE AFHANKELIJK VAN DIEPTE EN BREEDTE SLOOT  
 MANTELBUIZEN VERBIDEN D.M.V. U2-KOPPELINGEN

PRINCIPE SLOOTKRUISING PRIMAIRE WATERGANGEN  
 380kV D.M.V. 250HDPE SDR17  
 en  
 150kV D.M.V. 200HDPE SDR17  
 SCHAAL 1 : 100

1.0	01-11-13	DEFINIEF ONTWERP	SM	JKH
Wfs	Datum	Omschrijving	OK	Gez.



Water Staal en Beschermen by  
 Omschrijving 10  
 3086 CP Rotterdam  
 Postbus 9248  
 3000 CA Rotterdam  
 Telefoon 010-2922288  
 Telefax 010-2922277  
 Handleving Rotterdam 4235378

OPDRACHTGEVER: TENNET

PROJECT: RANDSTAD NOORD  
 380kV & 150kV

BEMALING:

PRINCIPE TEKENING  
 SLOOTKRUISING PRIMAIRE WATERGANGEN  
 STATION VIJFHUIZEN-OSP DRIE MERENWEG

Tekening Nr.: VR-0.000.549  
 Revisie Nr.: TP13141-K-X-29

WZ.: 1.0

## **BIJLAGE 2 TOELAATBARE STROOMBELASTING BIJ DUCT**

Achter deze pagina voegen wij het document “Toepassen “Duct” systeem voor kabels van Randstad 380 kV Noordring: invloed op toelaatbare stroombelastingen” toe waarmee wij willen aantonen dat de Ductmethode de belastbaarheid van het systeem niet significant zal beïnvloeden.

**Toepassen “Duct” systeem voor kabels  
van Randstad 380 kV Noordring:  
*invloed op toelaatbare stroombelastingen.***

In opdracht van: Visser & Smit Hanab BV.

Datum: 16-04-2013  
Ref: HKS 2013/004

Auteur: J. van Eerde

***Inleiding:***

Ten behoeve van het project Randstad 380 kV Noordring wordt door TenneT tussen Vijfhuizen en Zoetermeer een aantal hoogspanningsverbindingen gerealiseerd middels 150 kV en 380 kV hoogspanningskabels. De 380 kV verbindingen bestaan uit 2 circuits met elk 2 kabels per fase, terwijl de 150 kV verbindingen bestaan uit 2 circuits met elk 1 kabel per fase. De circuits worden naast elkaar aangelegd, gedeeltelijk in open ontgraving en gedeeltelijk door middel van horizontaal gestuurde boringen.

Voor de tracé gedeelten met open ontgraving moet hierbij steeds minimaal over één volledige kabellengte een tracé breedte van ruim 20 meter tot een diepte van 2 meter worden uitgegraven. Nu is het gebied waar de kabelverbindingen worden aangelegd voor een groot gedeelte opbarst- en kwelgevoelig. Bij open ontgraving is het daarom noodzakelijk, dat zeer kostbare maatregelen en voorzorgen worden genomen, om de risico's als gevolg van "spannings"-water zo laag mogelijk te houden. Als alternatief voor de standaard legmethode wordt daarom door V&S Hanab overwogen het zg "duct"-systeem toe te passen.

***"Duct"-systeem:***

Bij dit systeem worden vooraf HDPE buizen, ( 380 kV: Ø 250 SDR17, 150 kV: Ø 200 SDR 17), gelegd in lengten van 12 meter en met elkaar verbonden waarna de oorspronkelijke grondlaag zo snel mogelijk weer wordt aangebracht. Nadat op deze wijze tenminste een volledige kabellengte is gerealiseerd kunnen de kabels worden ingetrokken. Het risico van "spannings"-water wordt op deze wijze zeer sterk gereduceerd, en in geval van een eventuele calamiteit veel beter beheersbaar.

***Gevolgen voor de toelaatbare stroombelastingen:***

Door de toepassing van HDPE buizen wordt de thermische omgeving van de kabels veranderd ten opzichte van het bestek, waardoor de toelaatbare belastingen ook anders zijn geworden. Doel van dit rapport is nu om de berekende belastingen voor de oorspronkelijke situatie te vergelijken met die bij toepassing van HDPE buizen.

Hiervoor zijn de toelaatbare belastingen berekend voor twee kabels uit het bestek, te weten:

1 x 2500 mm<sup>2</sup> Cu Milliken – 380 kV - Ø 137 mm, in HDPE buis 204.5/250 mm

1 x 1600 mm<sup>2</sup> Cu Milliken - 150 kV - Ø 108 mm, in HDPE buis 163.6/200 mm.

De overige omstandigheden waarop de berekeningen zijn gebaseerd zijn:

- gronddekking tot bovenkant kabel/ resp. HDPE buis: 1.8 m, resulterend in liggingdiepten L variërend van 1.854 m tot 1.925 m.
- hartafstanden voor de 6 kabels van één circuit 2500 mm<sup>2</sup> - 380 kV: 0.75 m; hartafstand van de dichtst bijzijnde kabels van de verschillende circuits: 3.0 m.
- hartafstanden voor de 3 kabels van één circuit 1600 mm<sup>2</sup> – 150 kV: 0.35 m; hartafstand tot de dichtst bijzijnde kabels van het andere 150 kV circuit: 2.0 m; hartafstand tot de dichtst bijzijnde kabel van de 380 kV circuits: 3.0 m.

- grondtemperatuur 15 °C; maximum geleidertemperatuur 90 °C;
- loodmantels cross-bonded, respectievelijk 1-zijdig geaard;
- specifieke thermische grondweerstand “g”= 1.0, resp. 0.5 K.m/W.
- vrije ruimte in HDPE buizen volledig gevuld met water.

Op grond van voorgaande uitgangspunten zijn de volgende stroombelastingen berekend:

Aantal circuits	1 x 1600 mm <sup>2</sup> Milliken – 150 kV				1 x 2500 mm <sup>2</sup> Milliken – 380 kV			
	“g”= 0.5 K.m/W		“g”= 1.0 K.m/W		“g”= 0.5 K.m/W		“g”= 1.0 K.m/W	
	Grond [A]	Ducts [A]	Grond [A]	Ducts [A]	Grond [A]	Ducts [A]	Grond [A]	Ducts [A]
1	2071	2012	1609	1599	2553	2466	1996	1979
2	1960	1906	1505	1494	2348	2274	1794	1776
3	1895	1845	1447	1435	2281	2210	1730	1711
4	1871	1821	1424	1412	2249	2179	1700	1680

Tabel 1: stroombelastingen.

**Conclusies:**

Uit de tabel volgt dat voor beide doorsneden geldt:

- voor “g”= 1.0 K.m/W zijn de belastingen in “ducts” ca 1% lager in vergelijking met die in grond;
- voor “g”= 0.5 K.m/W zijn de belastingen in “ducts” ca. 3% lager zijn in vergelijking met die in grond.

**Opmerking:**

In alle trace’s zijn gestuurde boringen opgenomen. De toelaatbare stroombelastingen in deze boringen zijn in alle gevallen lager dan die voor de tracé gedeelten in open ontgraving, respectievelijk “ducts”. De geleiderdoorsnede wordt dus voor alle trace’s bepaald door de boring en niet door de keuze open ontgraving of “ducts” .

## **BIJLAGE 2 TOELAATBARE STROOMBELASTING BIJ DUCT**

Achter deze pagina voegen wij het document “Toepassen “Duct” systeem voor kabels van Randstad 380 kV Noordring: invloed op toelaatbare stroombelastingen” toe waarmee wij willen aantonen dat de Ductmethode de belastbaarheid van het systeem niet significant zal beïnvloeden.



# Definitieve Ontwerp Nota Gestuurde Boringen

## Civiele Werkzaamheden R380 Noordring Perceel 1: Vijfhuizen – Zuidelijke Ringvaart

**Documentnummer:** : VIR-0.000.018  
**Referentienummer:** : CP12.3135-TDS-N-HDD  
**Documentstatus:** : Definitief  
**Datum:** : 14-11-2013  
**Versie:** : 4.0

Opdrachtgever:



Opdrachtnemer:



	Naam	Functie	Paraaf	Datum
Opgesteld	A. ten Katen	HDD engineer		15-11-2013
Gecontroleerd	J. Stoelinga	HDD engineer		15-11-2013
Gecontroleerd	M. Molema	Disciplineleider		15-11-2013
Geautoriseerd / Vrijgave	M. Roohé	Projectmanager		

## DOCUMENT HISTORIE

Revisie	Omschrijving/Belangrijkste wijzigingen	Datum
1.0	Voorlopig Ontwerp	26-04-2013
1.1	Concept Definitief Ontwerp	17-07-2013
2.0	Definitief Ontwerp	02-08-2013
3.0	Opmerkingen RFA verwerkt	01-10-2013
4.0	Opmerkingen RFA/ RFC verwerkt	15-11-2013

## INHOUD

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>4</b>
1.1	Doel en functie van deze nota .....	4
1.2	Uitgangspunten.....	4
<b>2</b>	<b>Horizontaal gestuurd boren en V&amp;SH</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Overzicht gestuurde boringen</b> .....	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Materieel en onderhoud</b> .....	<b>7</b>
4.1	Materieel .....	7
4.2	Onderhoud.....	7
<b>5</b>	<b>Basis ontwerp configuraties</b> .....	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Kwel en maatregelen</b> .....	<b>11</b>
<b>Bijlagen</b>		
<b>Bijlage 1</b>	<b>Fact sheet rigs</b> .....	<b>12</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Product Datasheet OCMA</b> .....	<b>15</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Registratiesheets</b> .....	<b>18</b>
<b>Bijlage 3-1</b>	<b>Registratiesheets dagrapport</b> .....	<b>18</b>
<b>Bijlage 3-2</b>	<b>Registratiesheets survey-sheet</b> .....	<b>18</b>
<b>Bijlage 3-3</b>	<b>Registratiesheets drillers logsheet</b> .....	<b>18</b>
<b>Bijlage 3-4</b>	<b>Registratiesheets mudregistratie sheet</b> .....	<b>18</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Steering tools</b> .....	<b>24</b>
<b>Bijlage 4-1</b>	<b>Optical gyro</b> .....	<b>24</b>
<b>Bijlage 4-2</b>	<b>Tru track/tensor</b> .....	<b>24</b>
<b>Bijlage 4-3</b>	<b>Walk over</b> .....	<b>24</b>
<b>Bijlage 5</b>	<b>VIR-0.000.500</b> .....	<b>27</b>
<b>Bijlage 6</b>	<b>Principewerkterreintekenigen 27 en 100 tons rig</b> .....	<b>29</b>

# 1 INLEIDING

## 1.1 Doel en functie van deze nota

In verband met de toenemende vraag naar elektriciteit in de Randstad is een verhoging van de transportcapaciteit van het elektriciteitsnet in de Randstad gewenst. Hiertoe is besloten tot aanleg van de Randstad 380kV ring. Het project Randstad 380kV Noordring is verdeeld over twee percelen; perceel 1 betreft de verbinding Vijfhuizen-Zuidelijke Ringvaart. Tennet als opdrachtgever, heeft Volker Infra opdracht gegeven tot engineering en aanleg van perceel 1.

Het leiding tracé wordt gedeeltelijk bovengronds en gedeeltelijk ondergronds aangelegd. Waar deze ondergronds wordt aangelegd, wordt dit deels met horizontale gestuurde boringen (HDD) gerealiseerd.

Deze ontwerpnota dient als overkoepelend en inleidend document voor de individuele werkmethode beschrijvingen van de horizontaal gestuurde boringen zoals voorzien in dit perceel met de op dit moment bekende relevante kenmerken. Voor de individuele werkmethode beschrijvingen van de horizontaal gestuurde boringen wordt verwezen naar de documenten: VIR-0.000.527 t/m VIR-0.000.537 welke zijn gebaseerd op de DO tekeningen met referentie: TP13141-K-X-01 t/m 11 (VIR-0.000.501 t/m VIR-0.000.511) en bijbehorende berekeningen TP13141-doc-01 t/m 11 (VIR-0.000.516 t/m VIR-0.000.526). Voor de planning wordt verwezen naar de overall planning-fase 2 Realisatie, documentnummer VIR-0.000.009.

## 1.2 Uitgangspunten

De werkmethoden zijn gericht op het definitief ontwerp, en dienen ter ondersteuning en inpassing van de werkzaamheden en de vergunning verlening.

Alle procesmanagement wordt beschreven in het Project Management Plan met bijlagen, waaronder het ontwerpproces zoals dit wordt toegepast voor de werkzaamheden aan de ondergrondse kabelverbindingen.

De bijhorende documenten zijn opgesteld voor het “Definitief Ontwerp”. Er kunnen richting het Uitvoerend Ontwerp nog aanpassingen noodzakelijk zijn.

Voor het “Definitief Ontwerp” is elke HDD uitgewerkt op basis van de op dat moment beschikbare gegevens. Er is detail engineering uitgevoerd per locatie, waarbij is geïnventariseerd of er aanvullend onderzoek (geotechnisch, hydrologisch, e.a.) nodig is.

De algemene methodiek van het horizontaal gestuurd boren is per werkmethode apart beschreven, zodat specifieke kenmerken in een relevante setting kunnen worden gegeven. Om de hoeveelheid doublures in de documenten enigszins te beperken zijn in deze nota enige bijlagen opgenomen, waar ook in de werkmethoden naar wordt verwezen, dit betreft de volgende documenten:

- Fact sheet rigs 27t / 100t
- Datasheet OCMA
- Registratiesheets: dagrapport, survey-sheet, drillers logsheet, mudregistratie sheet
- Steering tools: Optical gyro, tru track/tensor, walk over systeem

## **2 HORIZONTALAAL GESTUURD BOREN EN V&SH**

In 1984 was Visser & Smit Hanab als eerste betrokken bij de introductie van de sleufloze installatie techniek “horizontaal gestuurd boren” in Europa. Inmiddels is dit een zeer veel en succesvol toegepaste techniek. Met deze methode kunnen objecten en obstakels eenvoudig worden gepasseerd door hier onder door te boren. Visser & Smit Hanab is tot op de dag van vandaag een van de marktleiders in dit werk. Wij kunnen terugvallen op de kennis en ervaring opgebouwd in de afgelopen 30 jaar. De technologie heeft zich sterk ontwikkeld; boordiameters, lengte en aanlegssnelheid zijn aanzienlijk toegenomen.

Verbeteringen in de techniek en introductie van nieuwe boormethoden hebben er toe geleid dat de gestuurde boormethode door onze klanten meer en meer gezien wordt als een bruikbaar alternatief. Een commercieel voordeel is dat Visser & Smit Hanab alle kennis in huis heeft voor integraal en turn-key uit te voeren projecten, van ontwerp tot en met uitvoering.

Visser & Smit Hanab heeft een grote verscheidenheid aan klanten. Veel van onze klanten hebben hun voordeel gehaald uit onze ervaring en know-how met betrekking tot sleufloze technieken. Van klanten in olie en gas industrie, leiding beheerders, energie maatschappijen, tot waterleiding bedrijven en zuiveringsindustrie. Klanten vanuit de overheid consulteren ons veelvuldig, denk hierbij aan waterschappen en het ministerie van Verkeer en Waterstaat. Visser & Smit Hanab gedegen reputatie opgebouwd voor ontwerp en aanleg van grote werken. Onze kerntaak is het uitvoeren van op de klant afgemeten projecten.

### 3 OVERZICHT GESTUURDE BORINGEN

In onderstaande tabel is een overzicht werkmethodes van de boringen zoals voorzien. Op tekening VIR-0.000.500 (bijlage) is een overzicht gegeven van de locaties van de boringen.

VIR nummering	Document titel
VIR-0,000,527	Werkmethode HDD TP13141-K-X-01 N205
VIR-0,000,528	Werkmethode HDD TP13141-K-X-02 Kromme Spieringweg
VIR-0,000,529	Werkmethode HDD TP13141-K-X-03 Kruisweg
VIR-0,000,530	Werkmethode HDD TP13141-K-X-04 Rietsingel
VIR-0,000,531	Werkmethode HDD TP13141-K-X-05 Larense Laan
VIR-0,000,532	Werkmethode HDD TP13141-K-X-06 Deltaweg
VIR-0,000,533	Werkmethode HDD TP13141-K-X-07 Altenapad
VIR-0,000,534	Werkmethode HDD TP13141-K-X-08 Bennebroekerweg
VIR-0,000,535	Werkmethode HDD TP13141-K-X-09 Leimuiderweg
VIR-0,000,536	Werkmethode HDD TP13141-K-X-10 Lisserweg
VIR-0,000,537	Werkmethode HDD TP13141-K-X-11 Nieuwerkerkertocht

Onderstaand tabel is een overzicht tekeningen van de boringen zoals voorzien. Merk op dat alle bundels bestaan uit 4 ducts; uitgezonderd die voor boringen, X-06 en X-07, deze bundels bestaan elk uit 7 ducts, boring X-03 bestaat uit een bundel van 7 voor de 150 kV en bundels van 4 ducts voor de 380 kV..

Kruising	Document	Lengte 380 / 150KV [m]	Rig type	380 kV Bundel s	150 kV Bundels
X-01	VIR-0,000,501	462-422 / 419	100t	4	2
X-02	VIR-0,000,502	203 / 72	27t	4	2
X-03	VIR-0,000,503	373 / 413	100t	4	1
X-04	VIR-0,000,504	315 / 470	100t	4	2
X-05	VIR-0,000,505	650 / 705	100t	4	2
X-06	VIR-0,000,506	Nvt / 716	100t	-	2
X-07	VIR-0,000,507	Nvt / 150	27t	-	2
X-08	VIR-0,000,508	420 / 420	100t	4	2
X-09	VIR-0,000,509	Nvt / 70	27t	-	2
X-10	VIR-0,000,510	Nvt / 80	27t	-	2
X-11	VIR-0,000,511	Nvt / 70	27t	-	2

De ducts worden voor en na intrekken, waar nodig in verband met geforceerde koeling, getest op dichtheid middels een hydrotest. Na intrekken worden alle ducts gevuld met water en afgedicht.

## **4 MATERIEEL EN ONDERHOUD**

Visser en Smit Hanab heeft een jarenlange ervaring met de aanleg van kabels en leidingen door middel van gestuurde boringen. Onze kennis en ervaring, het gebruik van modern equipement en ons eigen technisch bureau waarborgen onze innovatieve kracht en specialisatie op dit gebied.

### **4.1 Materieel**

Horizontaal gestuurde boringen kunnen worden uitgevoerd van enkele tientallen meters tot zelfs meerdere kilometers lang. De diameter van de in te trekken leiding kan variëren van (mantelbuizen voor) de kleinste kabels tot grote bundels of bijvoorbeeld gasleidingen van wel 56 inch (1,40 m). Visser en Smit Hanab beschikt over diverse boormachines van 4 ton tot 450 ton trekkracht om al deze verschillende boringen uit te kunnen voeren. Er is momenteel voorzien de boringen op dit project uit te voeren met onze 27 en 100 ton trekkracht machines. In de bijlage treft u voor deze machines een fact sheet aan en een principe werkterrein indelingstekening. Ons machinepark wordt echter regelmatig vernieuwd waarbij machines worden vervangen. Het is mogelijk dat tijdens de uitvoering in 2015 andere machines ter beschikking zijn waarmee de boringen worden uitgevoerd.

Waar hoogtebeperkingen van toepassing zijn, in verband met hoogspanningsleidingen, worden indien dit nodig is hoogtesensoren aan de apparatuur gekoppeld zo dat een maximale werkhoogte wordt aangehouden. Aanvullend wordt, waar nodig, tijdelijke aarding van materieel toegepast (sleepketting). Een bijbehorende werkvergunning wordt dan aangevraagd.

### **4.2 Onderhoud**

V&SH heeft vele jaren ervaring met de werking en het onderhoud van de HDD machines. In de loop der jaren is er een database bijgehouden voor de registratie van gebeurtenissen. Te denken valt aan: afbraak, slijtage, onderhoud en andere zaken. Dit stelt ons in staat om de slijtage in te schatten en hierop vooraf te anticiperen. Aan de hand van deze database is er een onderhoudsplan opgesteld. Tevens zijn de relevante reserveonderdelen op locatie aanwezig.

Indien er tijdens de werkzaamheden toch een probleem voorkomt zal dit door een monteur (die snel aanwezig kan zijn) worden opgelost. Mocht dit niet mogelijk zijn dan wordt de machine door een gelijkwaardige of zwaardere rig van Visser & Smit Hanab vervangen.

#

## 5 BASIS ONTWERP CONFIGURATIES

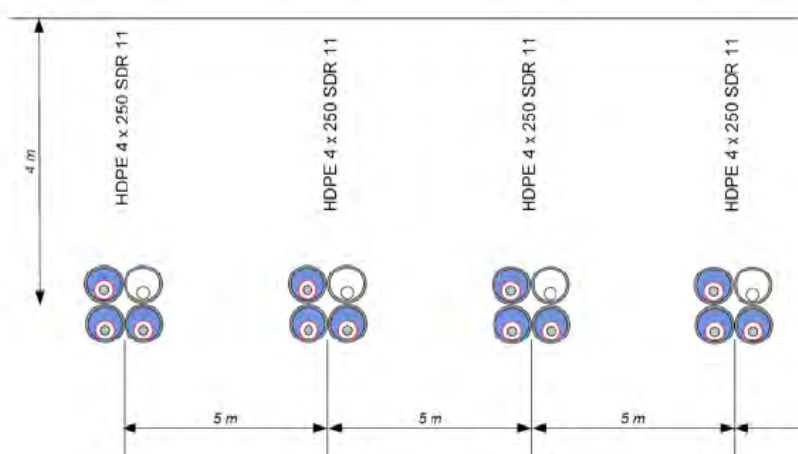
Het ontwerp voor de HDD is conform NEN 5104 en NEN 3650. De definitieve boorlijn is ter acceptatie aangeboden aan TenneT. Hierbij is onder meer rekening gehouden met de maximale trekkracht, minimale bochtstraal en toelaatbare muddrukken.

Er zal geboord worden met een op zoetwater gebaseerde boorspoeling. In de bijlage een fact sheet van een dergelijke spoeling (Ocma).

In het tracé komen de volgende configuraties voor:

### 380kV-verbindingen:

Liggingdiepte (dek)	: afhankelijk van het te kruisen object
Beschikbare ruimte per boring	: afhankelijk van de situatie
Aantal boringen	: 4 stuks
Aantal buizen HS kabel	: 12 x Ø250mm
Aantal buizen secundaire kabel	: 2 x Ø200mm
Ruimte tussen boringen	: 5m
Veiligheidsafstand	: 5m buiten hartlijn buitenste boringen



Figuur 1: voorbeeld HDD 380 kV verbinding



150kV-verbindingen (standaard):

Liggingdiepte (dek)	: afhankelijk van het te kruisen object
Beschikbare ruimte per boring	: afhankelijk van de situatie
Aantal boringen	: 2 stuks
Aantal buizen HS kabel	: 6 x Ø200mm
Aantal buizen secundaire kabel	: 2 x Ø200mm
Ruimte tussen boringen	: 5m
Veiligheidsafstand	: 5m buiten hartlijn buitenste boringen



Figuur 2: voorbeeld HDD 150 kV verbinding

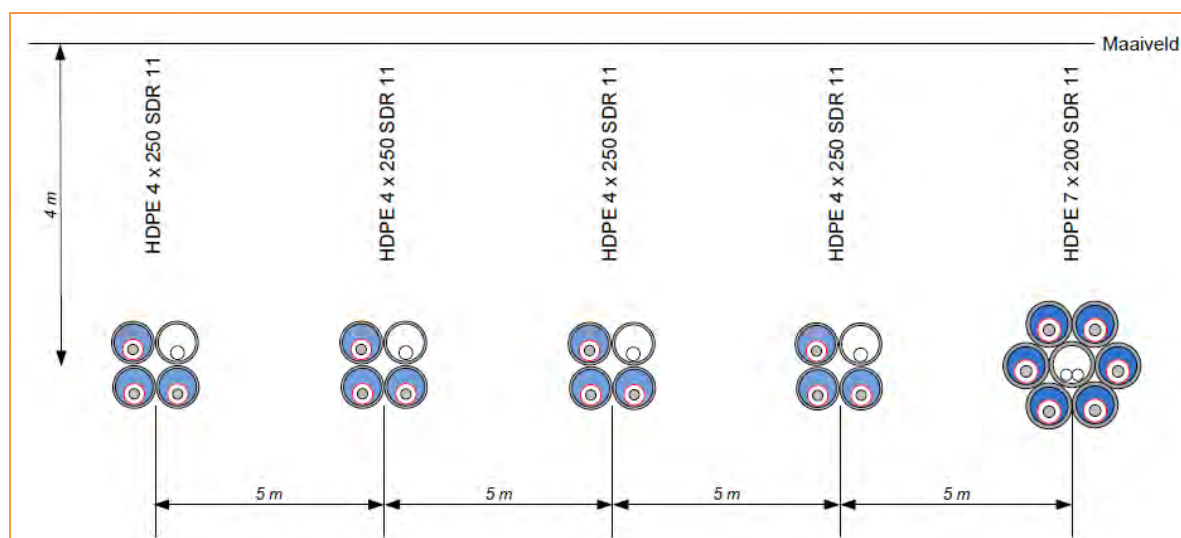
150kV-verbindingen (compact):

*Deze configuratie is noodzakelijk om de inlusing in de Haarlemmermeer te kunnen realiseren. Er is onvoldoende ruimte beschikbaar om de standaard configuratie toe te kunnen passen.)*

Liggingdiepte (dek)	: afhankelijk van het te kruisen object
Beschikbare ruimte per boring	: afhankelijk van de situatie
Aantal boringen	: 1 stuks
Aantal buizen HS kabel	: 6 x Ø200mm
Aantal buizen secundaire kabel	: 1 x Ø200mm
Ruimte tussen boringen	: 5m
Veiligheidsafstand	: 5m buiten hartlijn buitenste buizen



Figuur 3: voorbeeld compacte HDD 150 kV verbinding



Figuur 4: Configuratie HDD gecombineerd 150/380 kV tracé, bundels onderling niet op schaal.

Voor de boringen in het tracé is een ontwerp gemaakt. Alternatieven zijn geëvalueerd om de totale werkzaamheden effectiever te laten verlopen om zo bijvoorbeeld overlast voor omwonenden te beperken, minder schade aan agrarische bestemmingen te veroorzaken of het totale waterbezwaar te verminderen.

De ontwerpen zijn gemaakt op basis van ons nu bekende factoren, de NEN 5104, de NEN 3650 serie, de Richtlijn Boortechneiken van Rijkswaterstaat, maar nemen ook technische randvoorwaarden als bijvoorbeeld de buigstraal van boorstangen in acht. Er is in de ontwerpen zoveel mogelijk rekening gehouden met de lokale situatie, specificaties en normen van TenneT en de ons bekende gegevens.

Het kan zijn dat deze ontwerpen na opdracht moeten worden aangepast als gevolg van aanvullende vergunningseisen, nog uit te voeren grondonderzoek of op verzoek van TenneT in verband met uit te voeren berekeningen met betrekking tot bijvoorbeeld warmteafdracht of magnetische straling.

#

## 6 KWEL EN MAATREGELEN

Een van de grotere uitdagingen in dit project, wordt gevormd door de mogelijke aanwezigheid van overspannen grondwater. In de Haarlemmermeer Polder bevindt zich overspannen (zout) grondwater. In een aantal gevallen zijn hiervoor speciale maatregelen nodig.

In de zandlagen, onder de klei, bevindt zich zoet en/of zout grondwater, waarvan bekend is dat het stijghoogtes tot boven maaiveld kan hebben. Indien dit water in open verbinding komt met het maaiveld zal kwel optreden. Dit kan gevolgen hebben:

- 1) Tijdens de uitvoering van de boringen
- 2) Tijdens het aansluiten van de boringen op de landsectie
- 3) Op de langere termijn

Indien er blijkt dat er in een van deze situaties ongewenste kwel optreedt zullen maatregelen genomen moeten worden. Onderstaande oplossingen zijn op basis van de huidige info realistische aannamen:

<b>Algemeen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indien mogelijk profiel ontwerpen boven de watervoerende laag.</li> </ul>
<b>Tijdens Uitvoering</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toepassen verzwaarde boorspoeling.</li> <li>• De rig plaatsen op een vooraf aangebrachte terp.</li> <li>• Het plaatsen van een verhoging rond het boorgat (dijkje).</li> </ul>
<b>Tijdens aansluiten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Het toepassen van spanningsbemaling</li> <li>• Lokaal plaatsen van een groutprop.</li> <li>• Intrekken met uithardende boorspoeling (Daemmer)</li> </ul>
<b>Op de Lange termijn</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Het plaatsen van een kleikist.</li> <li>• Het plaatsen van een kwelscherm</li> <li>• Lokaal plaatsen van een groutprop.</li> <li>• Intrekken met uithardende boorspoeling.</li> </ul>

Afhankelijk van de situatie, de risico's, de eisen van de vergunningsverlener kan het mogelijk zijn een of meerdere van bovenstaande toepassingen uit te voeren. In de berekeningsdocumenten (VIR-0.000.516 t/m VIR-0.000.526) wordt de kwelproblematiek per boring bekeken. Evt. specifieke maatregelen worden in de werkmethode beschrijvingen per boring uitgewerkt.

## **BIJLAGEN**

### **BIJLAGE 1 FACT SHEET RIGS**



# Drill Rig 27 Ton

## Vermeer Type D60x90

General Information		Drilling Particulars Drilling rods		Other Data	
Type	27 ton	Firestick I		Positioning	Walk-over
Manufacturer	Vermeer	Length	4.6 m <sup>1</sup>		Optical Gyro
Year of Construction	2012	OD	88.9mm	Transport	Truck & Trailer
Power transmission	Rack & Pinion	ID	66.1mm	Required working site	Entry 600 m <sup>2</sup>
Dimensions (l×w×h)	7.9 × 2.3 × 2.6 m <sup>1</sup>	Torque	13 kNm		Exit 100 m <sup>2</sup>
Weight	18 ton	Weight (each rod)	106 kg	Mud system	Mud/mix recycling unit
Max. Pull force	270 kN	Drill pipe radius	60 m <sup>1</sup>	Drilling Fluid Pump	
Max. Push force	270 kN	Ø Drillbit (Gyro)	8½ inch		Flow 570 ltr/min
Entry angle	14° - 18°	Ø Jet bit (Walkover)	140 mm		Pressure 83 bar
Torque rig	12.2 kNm				



# Drill Rig 100 Ton

## Prime Drilling

General Information		Drilling Particulars		Other Data	
Type	100 ton	Drill pipe radius	250 m <sup>1</sup>	Noise @ 7.0 m	86 dB (A)
Manufacturer	Prime Drilling	Max. Pull force	1000 kN	Positioning	Tensor & Tru-Track
Year of Construction	2008	Max. Push force	500 kN		Optical Gyro
Power transmission	Rack & Pinion	Entry angle	8° - 17°	Transport	Lowloader
Dimensions (l×w×h)	12.0 × 2.5 × 3.2 m <sup>1</sup>	Torque	50 kNm	Additional transports	6 no
Weight	28 ton	Length drilling rods	6.0 m <sup>1</sup>	Required working site	Entry 1200 m <sup>2</sup> Exit 400 m <sup>2</sup>
				Mud system	EW Pump Mud/mix recycling unit



## **BIJLAGE 2 PRODUCT DATASHEET OCMA**

## CEBOGEL OCMA

### Toepassing

- Aanmaken boorvloeistof voor gestuurde boringen. CEBOGEL OCMA is een allround boorproduct dat met name geschikt is voor machines met een trekkracht vanaf circa 30 ton.
- Aanmaken boorvloeistof voor grondboringen.

Voor een optimaal rendement heeft het aanmaakwater van de spoeling de volgende eigenschappen:

- Geleidbaarheid :  $\leq 1000 \mu\text{S/cm}$
- pH : 4,5 - 9

### Omschrijving

De basis voor CEBOGEL OCMA is een geactiveerde natrium bentoniet. CEBOGEL OCMA voldoet aan de OCMA-specificaties zoals vastgesteld voor olieboringen en is tevens KIWA-gecertificeerd.

### Voordelen

- Stabiliseert het boorgat
- Verbeterd de afvoer van boorgruis
- Vermindert de torsie
- Makkelijk te recyclen
- Uitstekende prijs-kwaliteitverhouding
- Ge certificeerd volgens KIWA-ATA, dus veilig voor gebruik in drinkwatergebieden.

### Specificatie

- Voldoet aan de specificaties voor bentoniet zoals opgesteld door de "Oil Companies Materials Association DFCP-4"
- Wordt onder Kiwa Attest Toxicologische aspecten (ATA) geleverd, hetgeen garant staat voor een 100 % milieuvriendelijk product.

Parameter	Methode	Eis	Typische Waarde
Yield	OCMA DFCP-4	$\geq 16,0 \text{ m}^3/\text{ton}$	$17,4 \text{ m}^3/\text{ton}$
API Filtraatwaterverlies	OCMA DFCP-4	$\leq 15 \text{ ml}$	13 ml
Droge zeefanalyse door $150 \mu\text{m}$	OCMA DFCP-4	$\geq 98 \%$	99 %

Cebo Holland BV  
Westerduinweg 1  
NL-1976 BV IJMUIDEN  
P.O. Box 70  
NL-1970 AB IJMUIDEN

Tel.: +31 255546262  
Fax: +31 255546202  
e-mail : [sales@ceboholland.com](mailto:sales@ceboholland.com)  
[www.ceboholland.com](http://www.ceboholland.com)

Voor zover wij kunnen beoordelen is bovengenoemde informatie correct. Wij kunnen u echter geen garanties geven over de resultaten die u hiermee zult bereiken. Deze beschrijving wordt u aangeboden op voorwaarde dat u zelf bepaalt in hoeverre zij geschikt is voor uw doeleinden.



Parameter	Methode	Eis	Typische Waarde
Natte zeefanalyse 75 µm	OCMA DFCP-4	≤ 2,5 %	2 %
Vochtgehalte	OCMA DFCP-4	≤ 15,0 %	9,8 %

#### Chemische en fysische eigenschappen

Samenstelling	Hoogwaardige geactiveerde natrium bentoniet
Kleur	Geelbeige
Vorm	Zacht poeder

#### Spoelingseigenschappen

Bij verschillende concentraties CEBOGEL OCMA aangemaakt in gedestilleerd water.

Parameter	Methode	30 kg/m <sup>3</sup>	40 kg/m <sup>3</sup>	50 kg/m <sup>3</sup>	60 kg/m <sup>3</sup>
Vloeigrens kogelnummer	Kugelharfengerät DIN 4126	1	1	2	4
Dichtheid	Mudbalans	1,02 g/ml	1,03 g/ml	1,03 g/ml	1,04 g/ml
Filtraatwaterverlies	DIN 4127	15,5 ml	13 ml	10 ml	8 ml
Marshfunnel API	API RP 13B 2 (1 liter uit)	31 s	38,5 s	46 s	54 s

#### Verpakking

- 25 kg zakken per 1000 kg verpakt op een pallet met krimpfolie
- big bags van 1000 kg
- bulk

Cebo Holland BV  
Westerduinweg 1  
NL-1976 BV IJMUIDEN  
P.O. Box 70  
NL-1970 AB IJMUIDEN

Tel.: +31 255546262  
Fax: +31 255546202  
e-mail : [sales@ceboholland.com](mailto:sales@ceboholland.com)  
[www.ceboholland.com](http://www.ceboholland.com)

Revisiedatum : 28.09.2005  
Document nr : OC01IP

Voor zover wij kunnen beoordelen is bovengenoemde informatie correct. Wij kunnen u echter geen garanties geven over de resultaten die u hiermee zult bereiken. Deze beschrijving wordt u aangeboden op voorwaarde dat u zelf bepaalt in hoeverre zij geschikt is voor uw doeleinden.

**BIJLAGE 3 REGISTRATIESHEETS**

**BIJLAGE 3-1 REGISTRATIESHEETS DAGRAPPORT**

**BIJLAGE 3-2 REGISTRATIESHEETS SURVEY-SHEET**

**BIJLAGE 3-3 REGISTRATIESHEETS DRILLERS LOGSHEET**

**BIJLAGE 3-4 REGISTRATIESHEETS MUDREGISTRATIE SHEET**



# DRILLING REPORT



Client Name:	
Surveyor:	
Project Number:	
First Date:	
Place:	
Grid:	

Nr	X(m)	Y(m)	Z(m)	Easting(m)	Northing(m)	Elevation (m)	Inclination (°)	Azimuth (°)	Total Distance (m)
0									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									

13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							

# Visser & Smit Hanab



Drillers Log Sheet

Project No	
Pilot - Reaming - Pullback	
RIG	

Project	
Date	
Page	

1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13
			Strokes	Ltr									
Comments of Activity	DP	Start Stop	Total	RPM	Torque kNm	Push/ Pull Ton	Azi	Incl.	Mud pressure	Travel speed	Returns Y/N + Loc	Soil Info as drilled	

# Visser & Smit Hanab



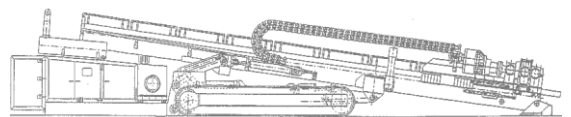
Date	
Place	
Project Nr.	P311.

Pilot	
Reaming	1 2 3 4
Pull	

Time	Visc.	% Sand	sg	BB	Screens	hp	yp	Returns	Time	Visc.	% Sand	sg

Consumption	Amount
Bentonite	
Screens	

Rig	
Mud man	
Supervisor	



**BIJLAGE 4 STEERING TOOLS**

**BIJLAGE 4-1 OPTICAL GYRO**

**BIJLAGE 4-2 TRU TRACK/TENSOR**

**BIJLAGE 4-3 WALK OVER**



Nr	X(m)	Y(m)	Z(m)	Easting(m)	Northing(m)	Depth (m)	Pitch (°)	Azimuth (°)	Total Length (m)
0	0.00	0.00	0.30	100904.49	448115.37	-4.20	-14.62	41.57	0.00
1	0.01	0.00	0.30	100904.49	448115.38	-4.20	-14.62	41.57	0.01
2	1.93	-0.09	-0.21	100905.79	448116.80	-4.71	-15.05	41.78	2.00



## Optical Gyro Tool



### General Information Optische Gyrotool

Weight	500 kg
Dimensions	2100 x 170 mm
Operating angle	Not applicable
Maximum speed	Not applicable
Year of produce	2010
Connection between	Drillpipes 4½IF-6¾FH
Dust and waterproof	

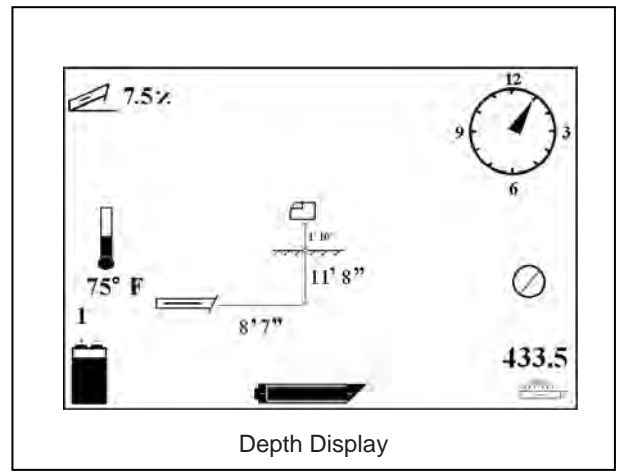
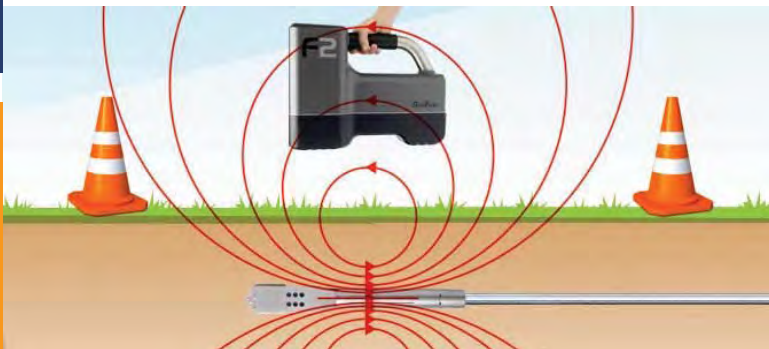
### Maximum allowed on tool:

Pull- & Pushforce	Up to 550 kN
Bending	Not allowed
Torque	30 up to 89 kNm
Vibration	8-g up to 200-Hz
Mudpressure	45 bar of 650 psi
Temp.	40°
Shock	30-g half sine wave. 11m/sec
Radius	≥ 130m1

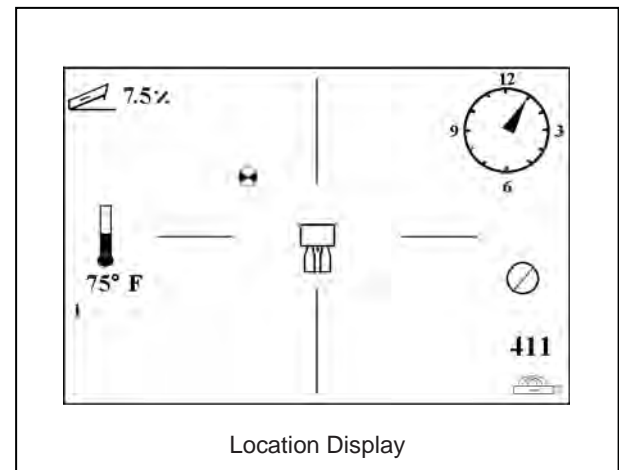
### Accuracy

Pitch accuracy	± 0.01°
Azimuth accuracy	± 0.04°
Roll accuracy	± 0.02°
Update	10/sec
<b>Optional measuring</b>	
Rotation speed	
Torque	
Vibrations	
Pull- & Pushforce	

Though effort is made to be up to date, figures may be subject to change.



Depth Display



Location Display

## Walk Over system

### General Information Receiver

Weight	5 kg
Dimensions	310 x 310 mm
Operating	Real time
Maximum speed	Not applicable
Dust and waterproof	
Connection inside	The probe
Maximum depth	Until 15m an undisturbed signal
Transmitter	

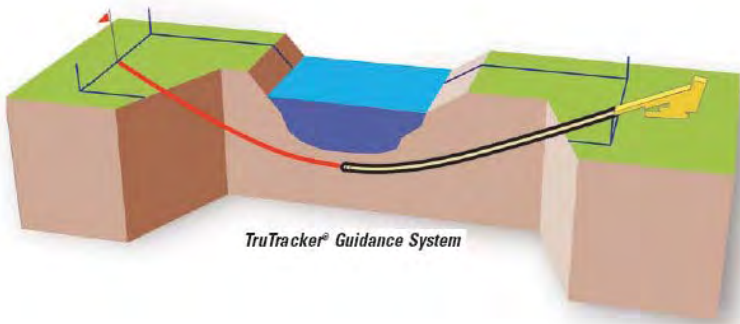
### General Information Transmitter

Weight	500 gram
Dimensions	380 x 310 mm
Bending	Not allowed
Transmitting	continue
Temp.	-20° tot 60°

### Accuracy

Pitch accuracy	± 0.05°
----------------	---------





Up to ∞ mtr below surface



## True Track steering tool

### General Information TrueTrack tool:

Weight probe	11 kg
Dimensions	4500 x 45 mm
Operating angle	Not applicable
Maximum speed	Not applicable
Year of produce	Several
Connection between	Drillpipes 3½IF-6%FH
Dust and waterproof	

### Maximum allowed on tool:

Pull- & Pushforce	N/A
Static force	N/A
Bending	Not allowed
Torque	N/A
Vibration	8-g up to 200-Hz
Pressure rating	825 bar of 12.000 psi
Temp.	175°
Shock	1000a. 0.5m/sec
Vibration	30g peak 50-500Hz

### Accuracy:

Lateral accuracy	Max 0.12°
Azimuth accuracy	Max 0.12°
Survey resolution	± 0.1°
Update while during measuring	
No pressure registration available	

Details are believed to be correct, but are not guaranteed!

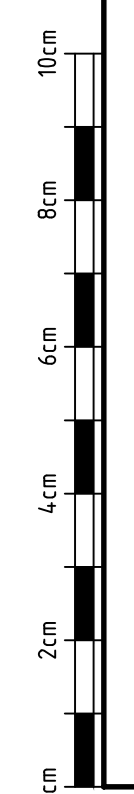
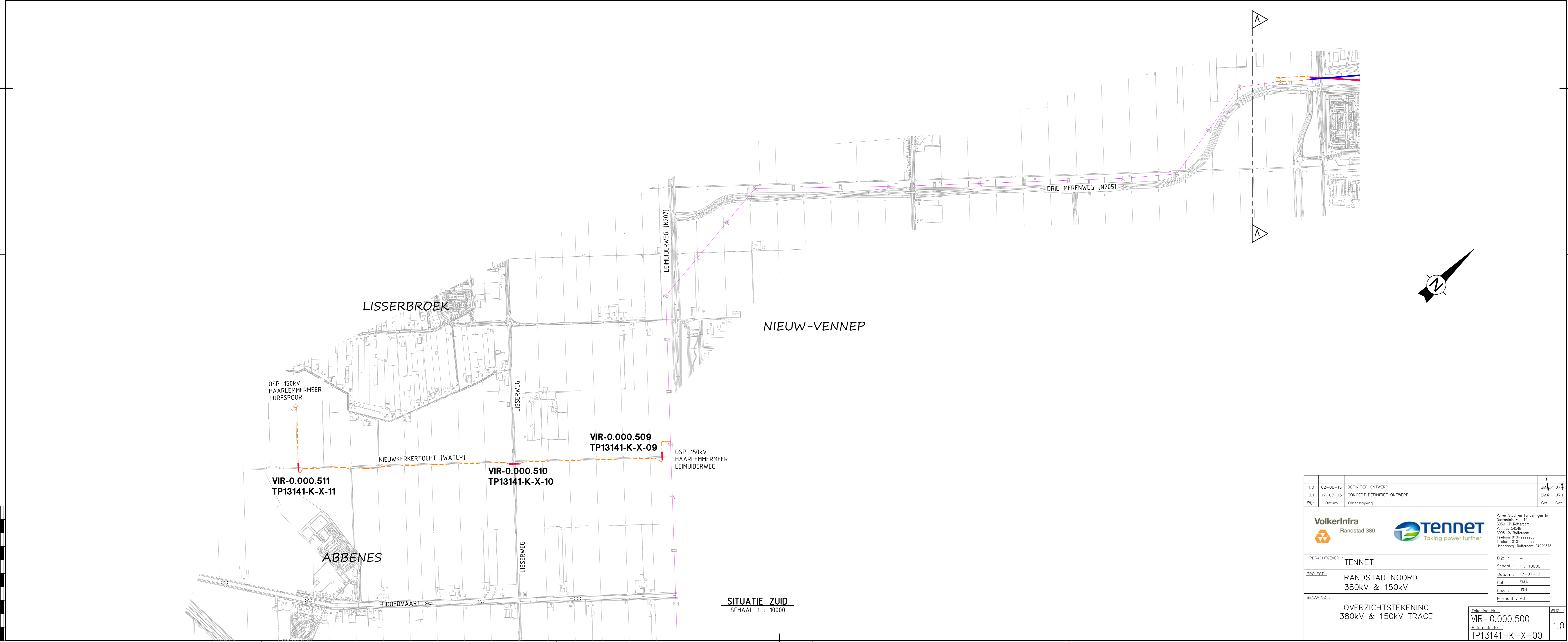
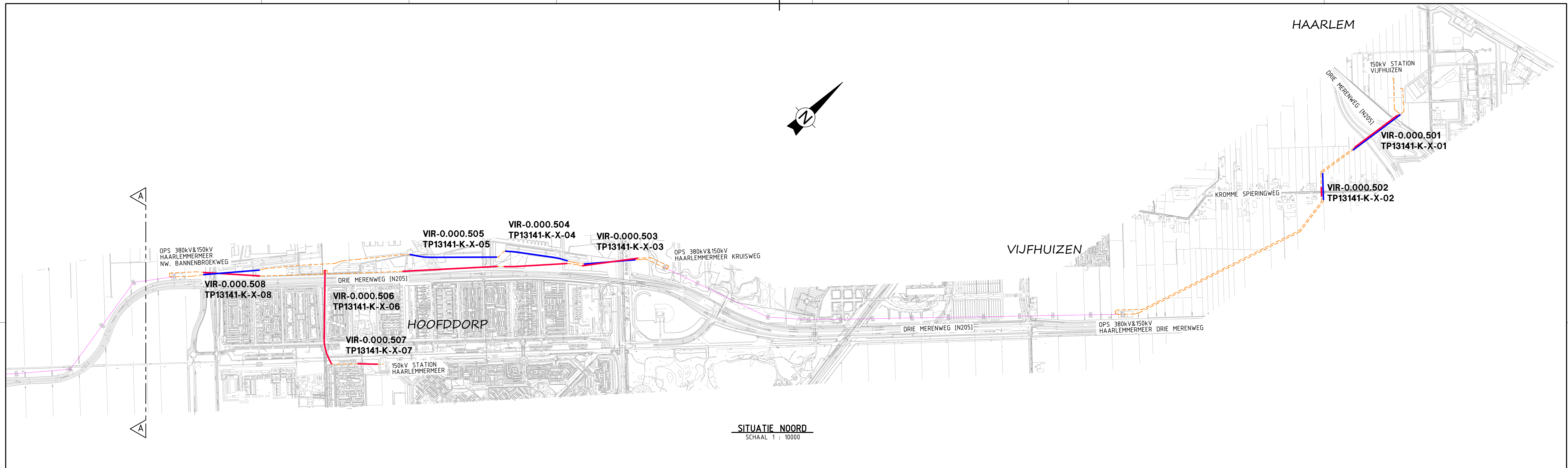
Visser & Smit Hanab



a VolkerWessels company

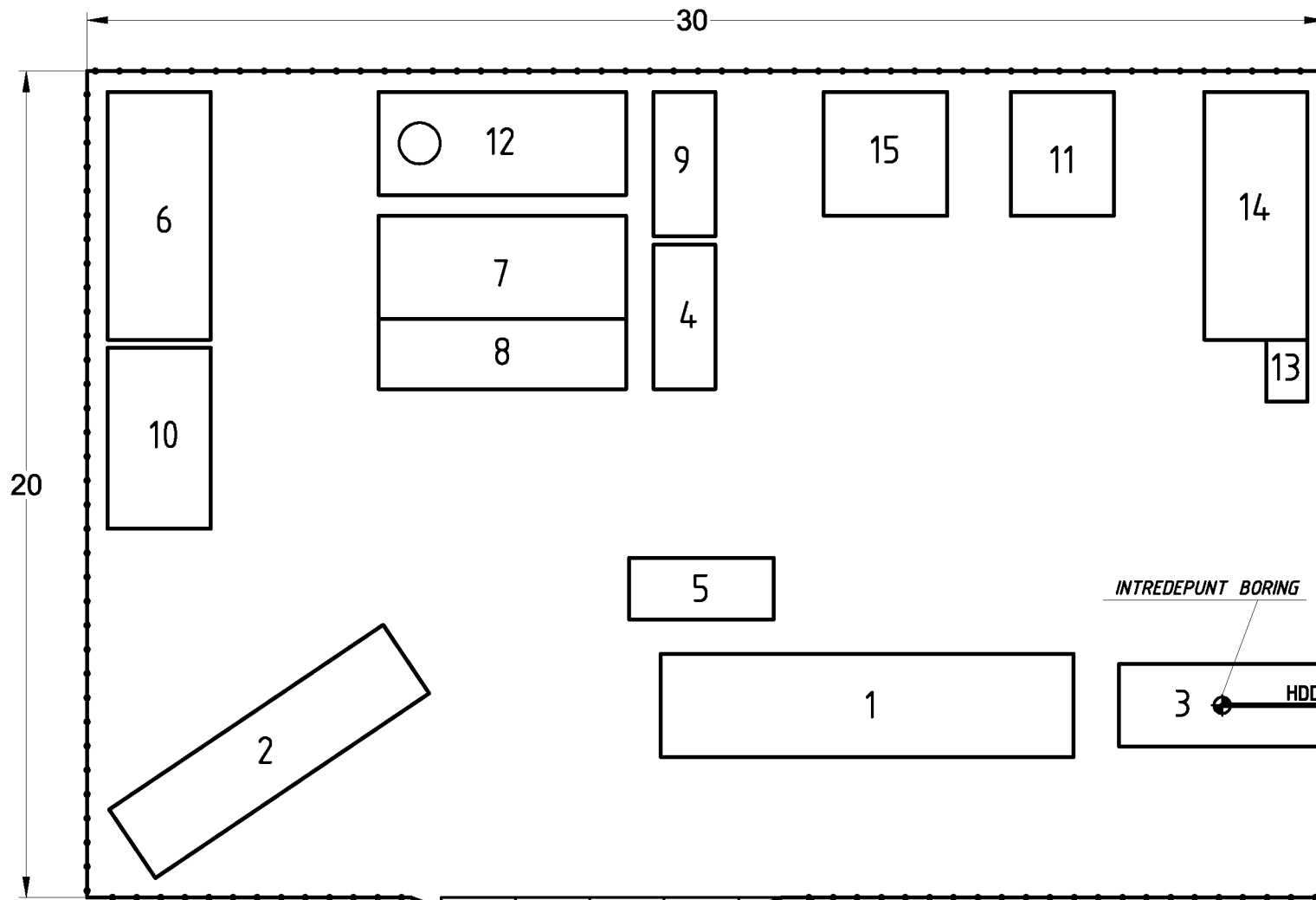
Rev.0 – 22/09/2011

## **BIJLAGE 5 VIR-0.000.500**



1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
WOP	Datum	Ontwerper	Gepl.	Gepl.
<b>VolkerIntra</b> Randstad 380		<b>Tennet</b> Taking power further		Volker Staal en Tunderingen bv Quardonweg 10 3089 AP Rotterdam Postbus 34048 3008 AA Rotterdam Telefoon: 010-2992228 Handboek: Rotterdam 2422678
OPDRACHTGEVER:		TENNET		
PROJECT:		RANDSTAD NOORD 380kV & 150kV		
BENAMING:		OVERZICHTSTEKENING 380kV & 150kV TRACE		
		Tekenings Nr.: <b>VIR-0.000.500</b> Referentie: 380... <b>TP13141-K-X-00</b>		Bladz.: <b>1.0</b>

## **BIJLAGE 6 PRINCIEPE WERKTERREINTEKENIGEN 27 EN 100 TONS RIG**



- 1 RIG
- 2 VACUUM TRUCK
- 3 MUD PIT
- 4 MUDPUMP
- 5 HIGH PRESSUREPUMP
- 6 WATERRESERVOIR
- 7 RECYCLING UNIT
- 8 CUTTINGS
- 9 GENERATOR
- 10 BENTONIET IN STOCK
- 11 WORKSHOP
- 12 MUDMIXUNIT
- 13 GENERATOR
- 14 CANTEEN
- 15 MOBIL CRANE
- 16 ENTRY & EXIT

INTREREDEPUNT BORING

HDD

20

30

16

Visser & Smit Hanab



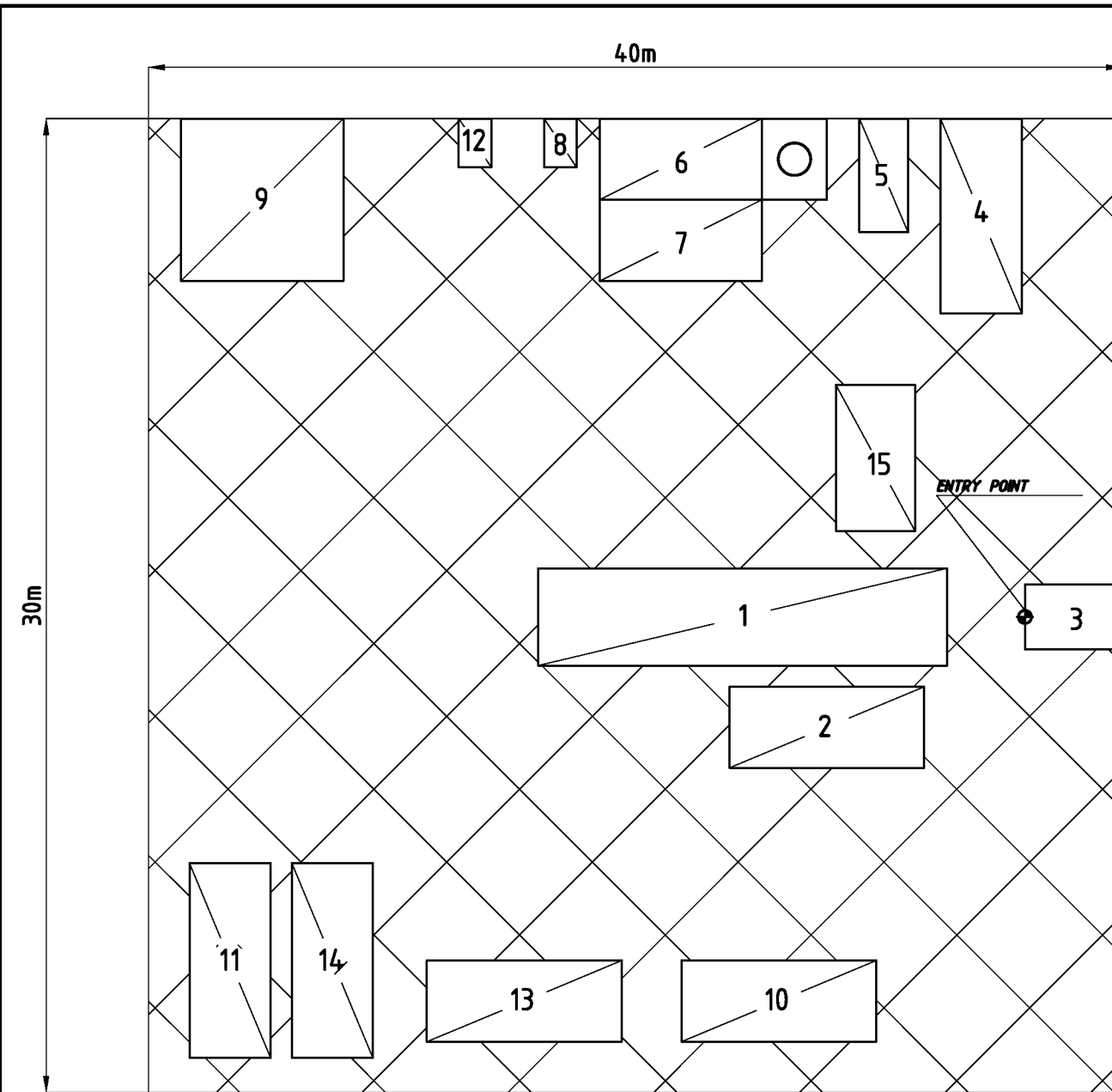
Visser & Smit Hanab b.v.  
 Rietborweg 8  
 Postbus 305  
 3350 AH Papendrecht  
 Telefoon 078-6417222  
 Telefax 078-6155183  
 E-mail papendrecht@vshanab.nl

Onderwerp: Site Layout 27T Rig

Datum: 12-07-2013

Get: DVW

Schaal: NTS



### SITE LAYOUT MAXI RIG

- 1 RIG
- 2 FLATBED CONTAINER
- 3 MUD PIT
- 4 HIGH PRESSURE PUMP
- 5 PUMP
- 6 RECYCLING UNIT
- 7 CUTTINGS
- 8 GENERATOR
- 9 BENTONITE IN STOCK
- 10 PIPES IN STOCK
- 11 WORKSHOP
- 12 GENERATOR
- 13 OFFICE V&SH
- 14 STORAGE
- 15 STEERING CABINE

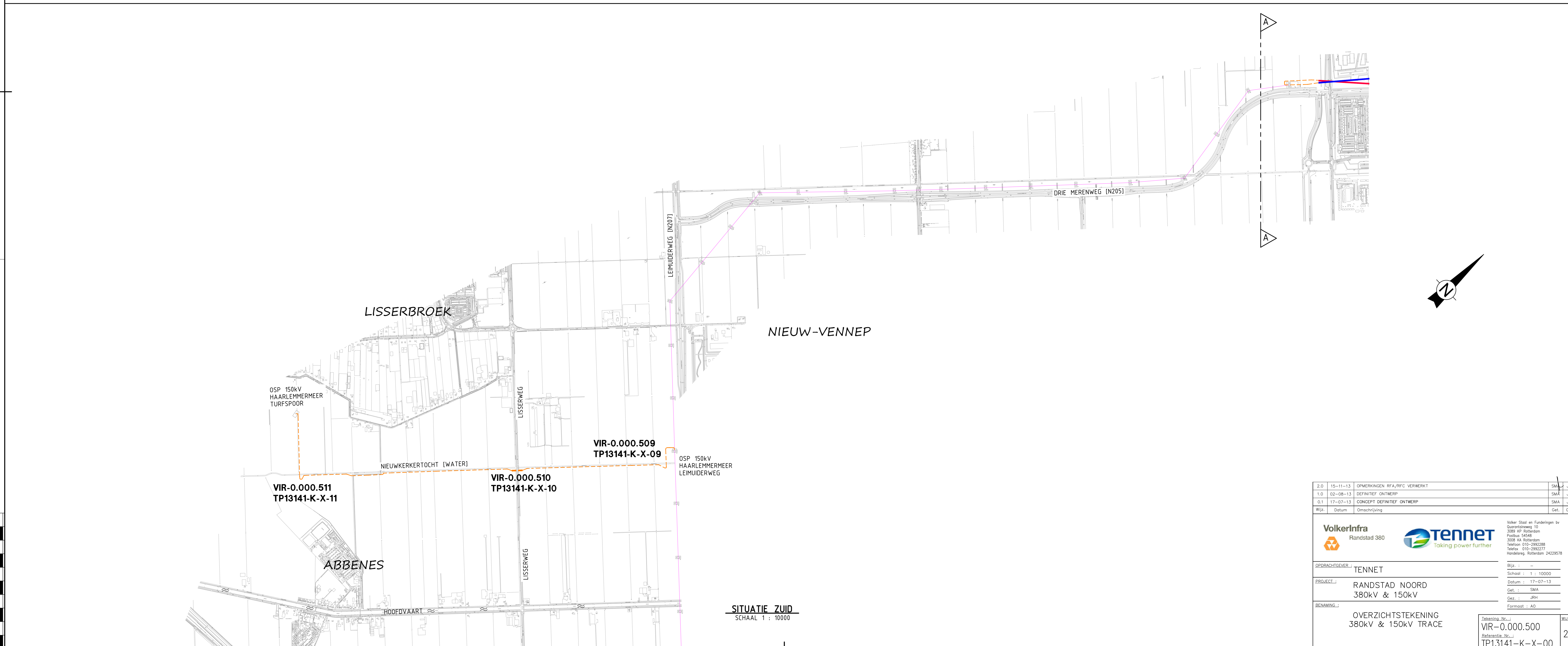
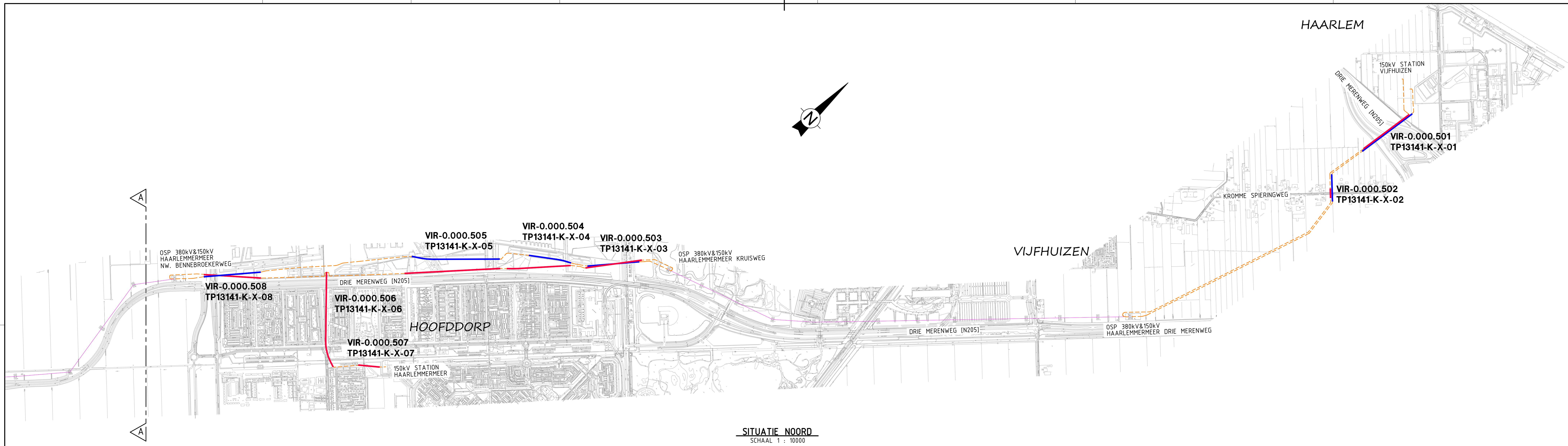
Visser & Smit Hanab



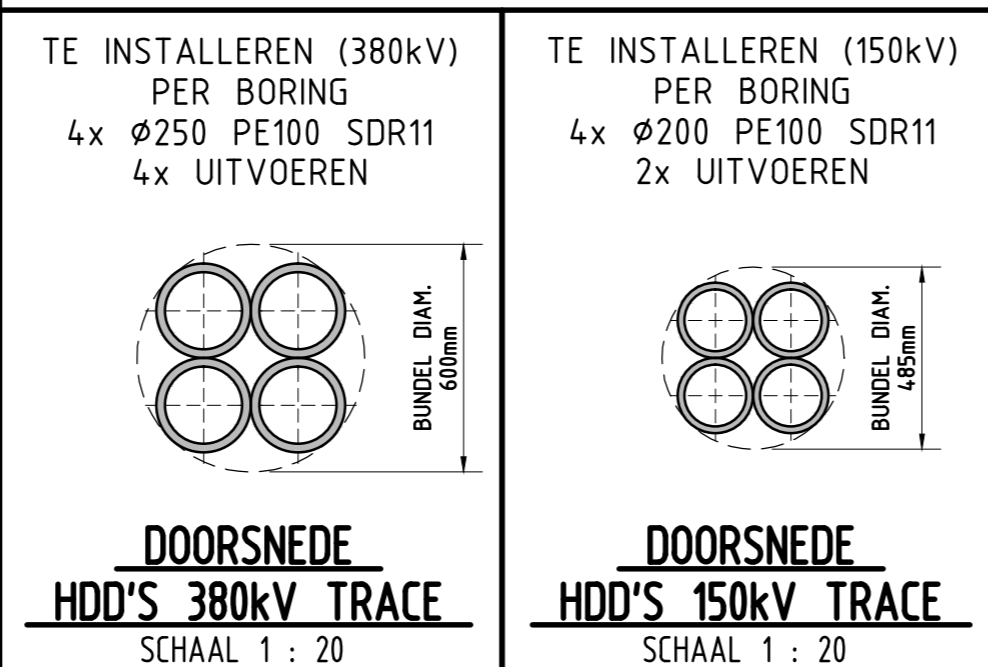
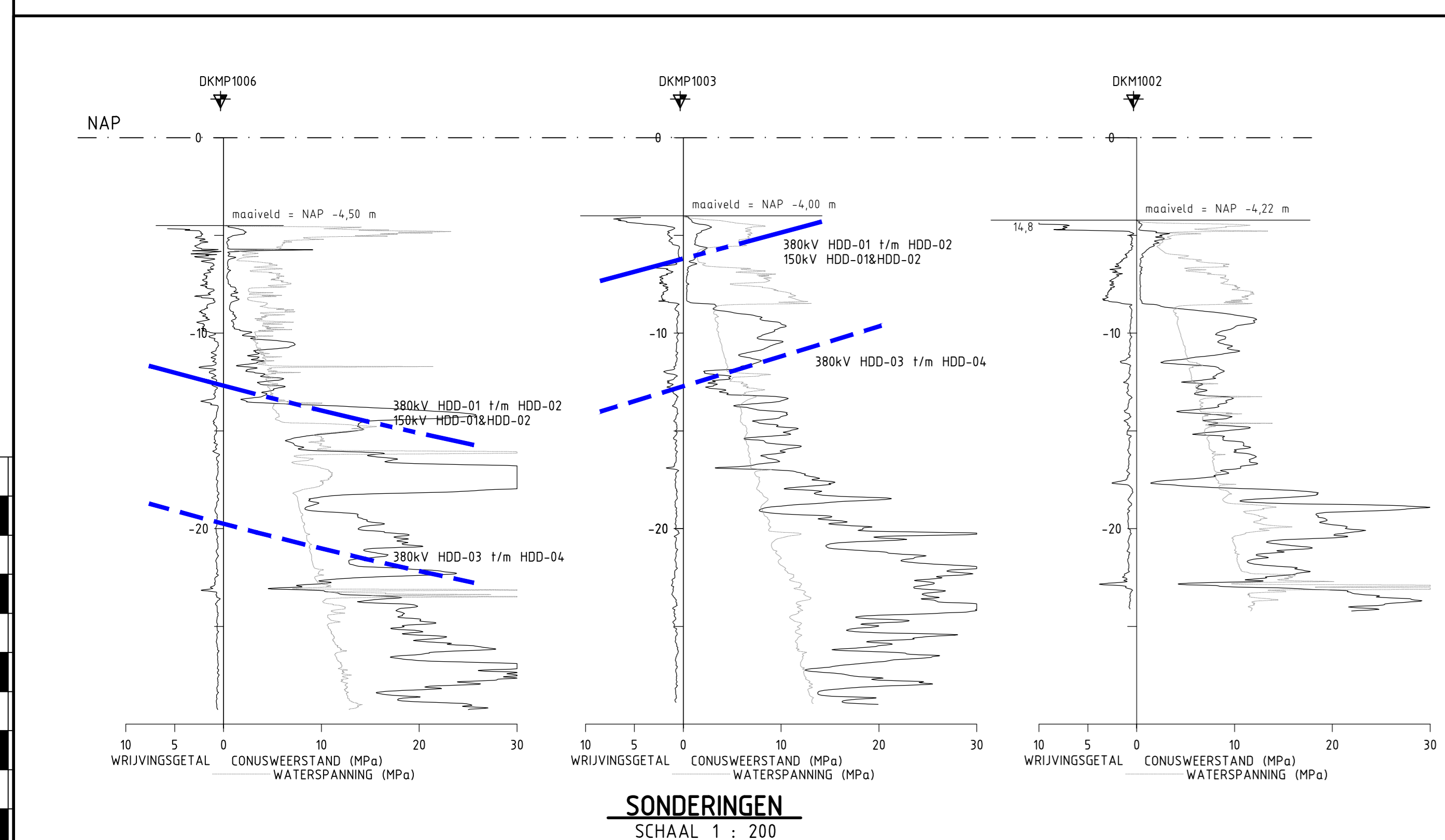
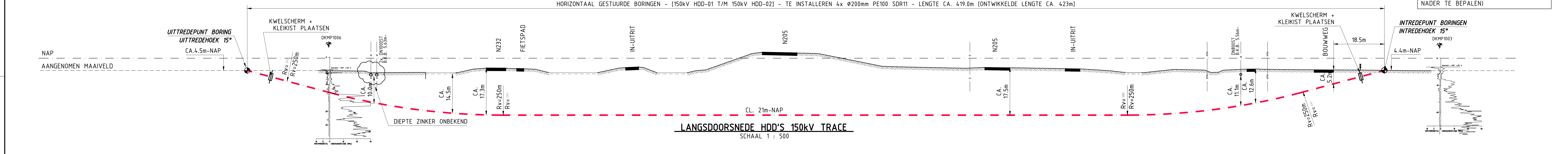
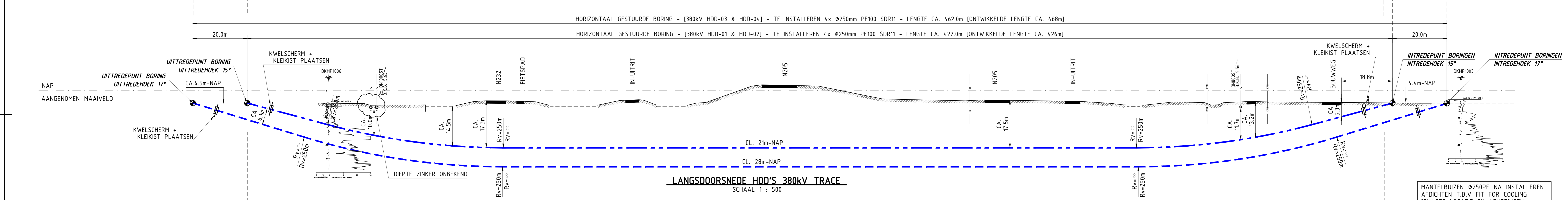
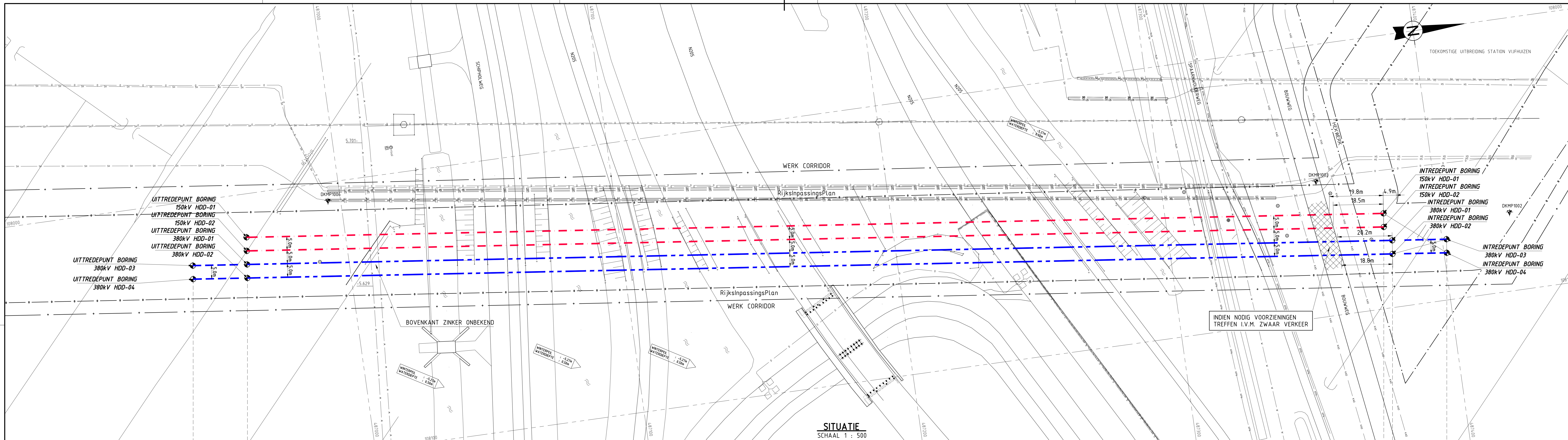
Visser & Smit Hanab b.v.  
 Rietgorenweg 6  
 Postbus 305  
 3350 AH Papendrecht  
 Telefoon 078-6417222  
 Telefax 078-6155163  
 E-mail papendrecht@vshanab.nl

SUBJECT: SITE LAYOUT 100T RIG





2.0	15-11-13	OPMERKINGEN RFA/RFC VERWERKT	SMA	JRH
1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
Wjst.	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.
<b>VolkerInfracore</b> Randstad 380			<b>Tennet</b> Taking power further	
DEBRACHTGEVER: TENNET			Bijz.: - Schaal: 1 : 10000	
PROJECT: RANDSTAD NOORD 380kV & 150kV			Datum: 17-07-13 Get.: SMA Gez.: JRH	
BENAMING: OVERZICHTSTEKENING 380kV & 150kV TRACE			Formaat: A0	
Tekening_Nr.: VIR-0.000.500 Referentie_Nr.: TP13141-K-X-00			WJZ.: 2.0	



**COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RD**

PUNT	OMSCHRIJVING	X	Y
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	108075.42	487381.74	
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	108025.86	486962.66	
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	108080.39	487381.15	
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	108030.83	486962.07	
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	108077.77	487401.60	
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	108023.52	486942.80	
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	108082.73	487401.02	
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	108028.48	486942.21	
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	108065.14	487379.94	
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	108015.93	486962.83	
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	108070.10	487379.35	
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	108020.90	486962.25	

**OPMERKINGEN:**

- SITUATIE ONTVANGEN VAN OPRACHTGEVER
- BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN INBETREKEND A.D.H.V. KLIK GEGEVENS
- LENGTEPROFIEL AFKOMSTIG UIT METING VAKHANDB
- GRONDBONDERZIEK AFKOMSTIG VAN FUGRO RAPPORT (OPDR.NR.1010-0117-003)
- DIEPTE WATERSANGEN GEDENKEN VAN LEGGER HOOGDEBENADERSCHAP VAN RIJNLAND
- FLUNDERING VIAADUUT N205 AFKOMSTIG UIT PROV. NOORD HOLLAND TEKENING 68065 D.D. 5-7-00
- EXACTE LIGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN VOOR AANVAAG WERKZAAMHEDEN NADER TE BEPALLEN EN INDIEN NOODIG TIJDELIJK OMLEGGEN OF BOORPROFIEL HIEROP AAN TE PASTEN.

**OPDRACHTGEVER:** TENNET

**PROJECT:** RANDSTAD NOORD 380kV & 150kV

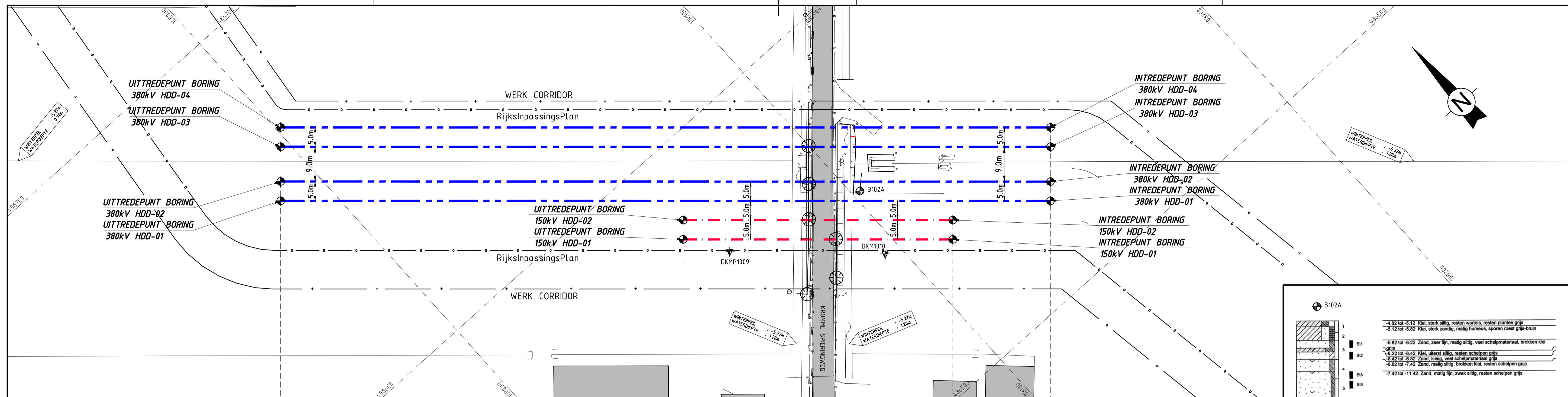
**BENAMING:** ALGEMEEN PLAN 380kV & 150kV TRACE HDD'S ONDER N205

**Referentie No.:** VIR-0.000.501  
**TP13141-K-X-01**

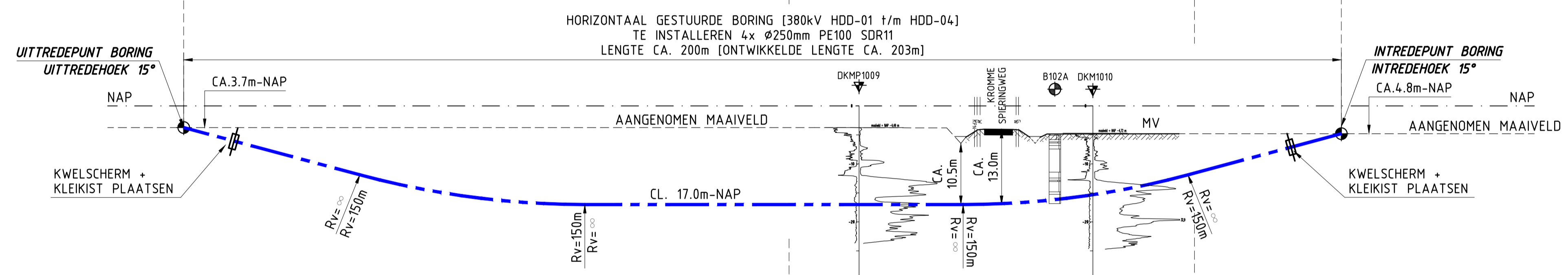
**VolkerInfracor** Randstad 380

**Tennet** Taking power further

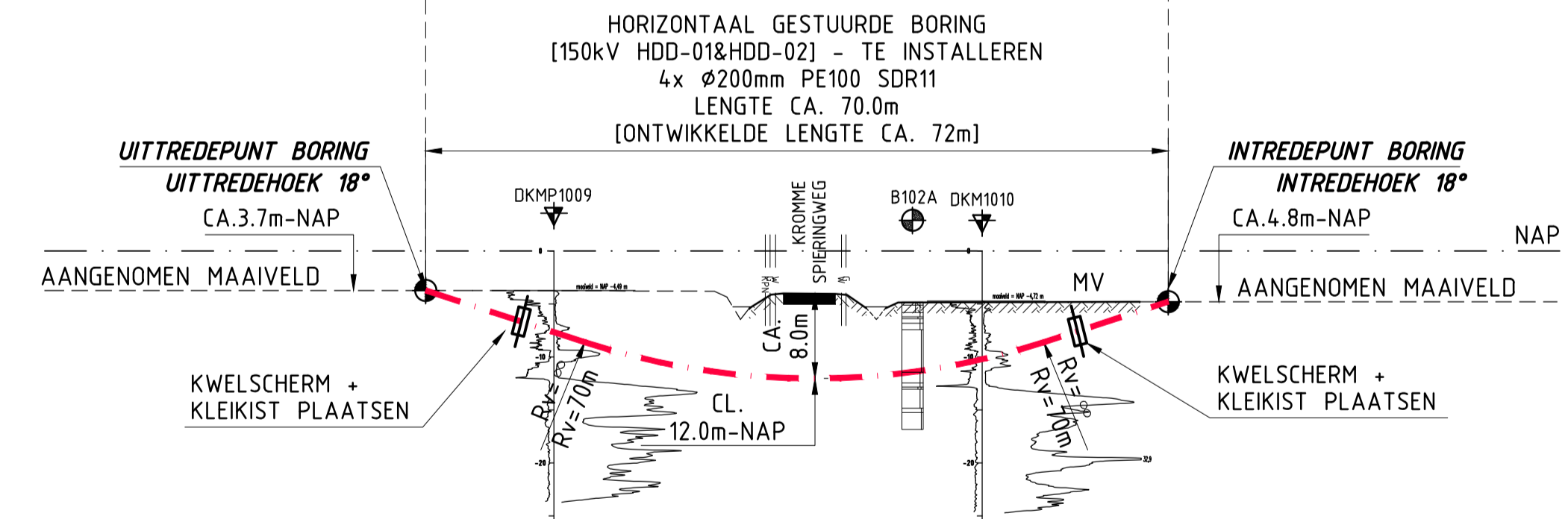
**Scale:** 1 : 500  
**Date:** 17-07-13  
**Author:** SMA  
**Checker:** JRH  
**Formaat:** A3



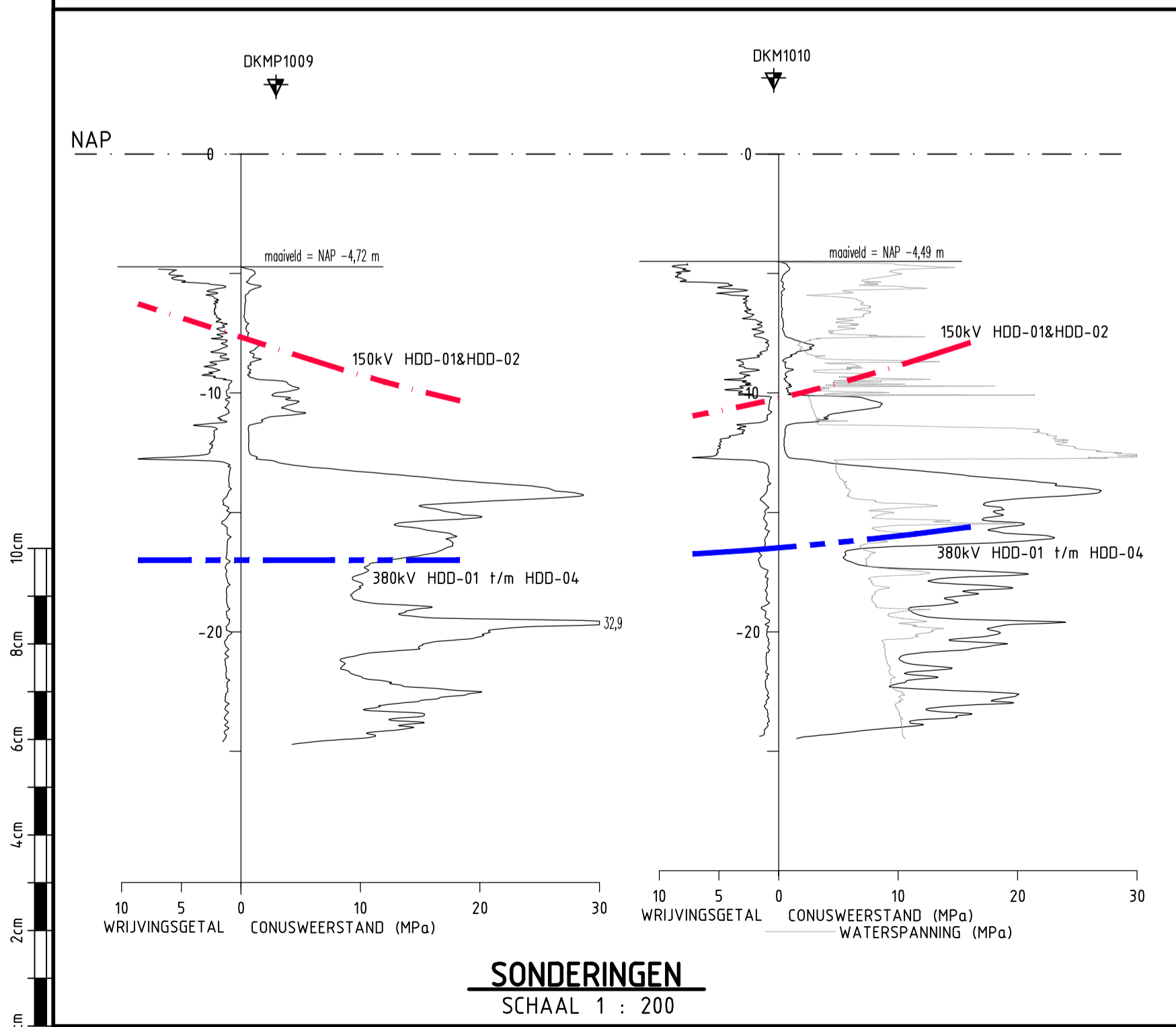
**SITUATIE**  
SCHAAL 1 : 500



**LANGSDOORSNEDE HDD'S 380kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 500

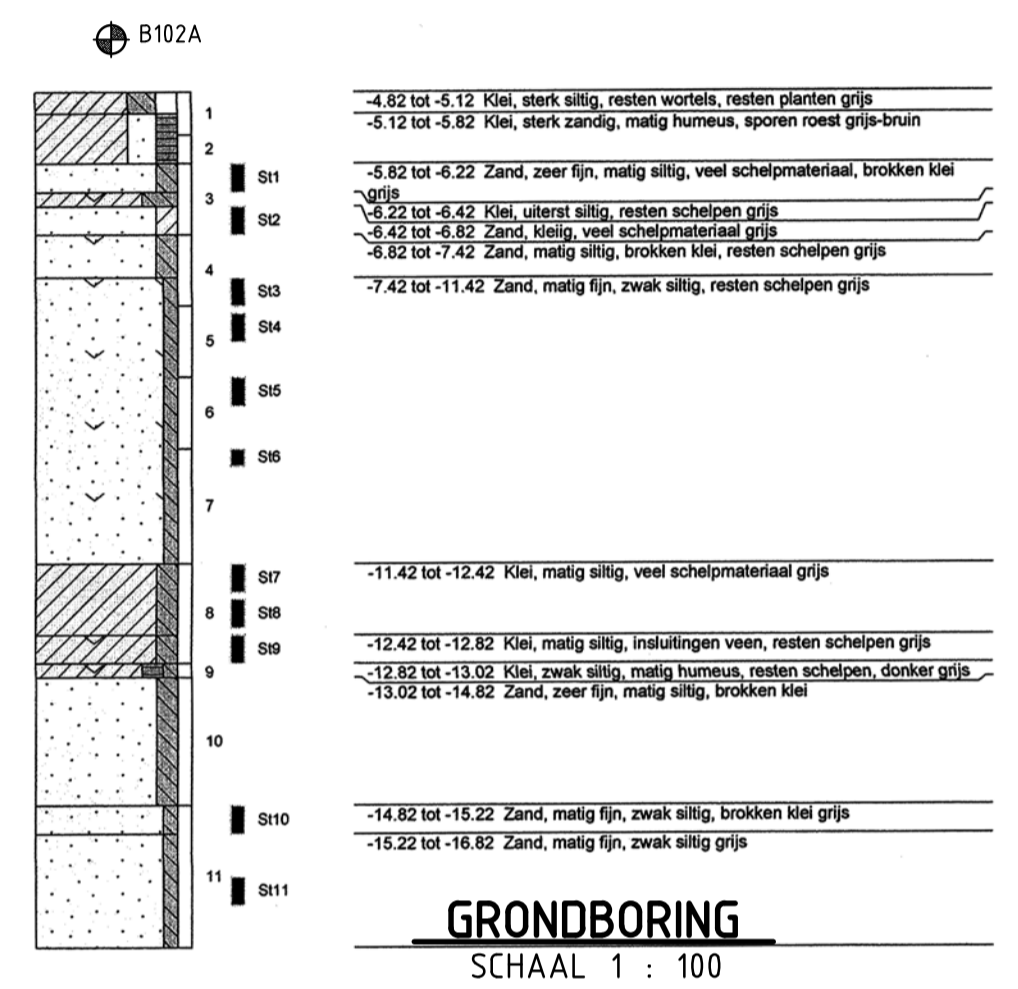


**LANGSDOORSNEDE HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 500



**SONDERINGEN**  
SCHAAL 1 : 200

<p>TE INSTALLEREN (380kV) PER BORING 4x Ø250 PE100 SDR11 4x UITVOEREN</p> <p><b>DOORSNEDE HDD'S 380kV TRACE</b> SCHAAL 1 : 20</p>	<p>TE INSTALLEREN (150kV) PER BORING 4x Ø200 PE100 SDR11 2x UITVOEREN</p> <p><b>DOORSNEDE HDD'S 150kV TRACE</b> SCHAAL 1 : 20</p>
---	---



**GRONDBORING**  
SCHAAL 1 : 100

COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RD

PUNT OMSCHRIJVING	X	Y
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	108137.12	486522.01
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	107988.43	486655.60
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	108140.46	486525.73
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	107991.77	486659.32
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	108146.50	486532.46
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	107997.82	486666.05
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	108149.84	486536.18
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	108001.16	486669.77
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	108111.57	486531.52
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	108059.50	486578.30
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	108114.92	486535.24
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	108062.85	486582.02

**OPMERKINGEN:**  
 -SITUATIE ONTVANGEN VAN OPDRACHTGEVER  
 -BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN INGETEKEND A.D.H.V. KLIK GEGEVENS  
 -GRONDOnderzoek AFKOMSTIG VAN FIGUUR RAPPORT (OPDR.NR.1010-0117-003)  
 -DIEPTE WATERGANGEN GENOMEN VAN LEGGER HOOGHEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND.  
 -EXACTE LIGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN VOOR AANVANG WERKZAAMHEDEN NADER TE BEPALEN EN INDIEN NODIG TIJDELIJK ONTWERP OF BOORPROFIEL HIEROP AAN TE PASSEN.

Wijz.	Datum	Omschrijving	SM	JRH
2.0	15-11-13	OPMERKINGEN RFA/RFC VERWERKT	SM	JRH
1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SM	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SM	JRH

**VolkerIntra** Randstad 380

**Tennet** Taking power further

Volker Staal en Funderingen bv  
 Quarantierweg 10  
 3089 KP Rotterdam  
 Postbus 54548  
 3008 KA Rotterdam  
 Telefoon 010-2992288  
 Telefax 010-2992277  
 Handelsreg. Rotterdam 24229578

OPDRACHTGEVER: TENNET

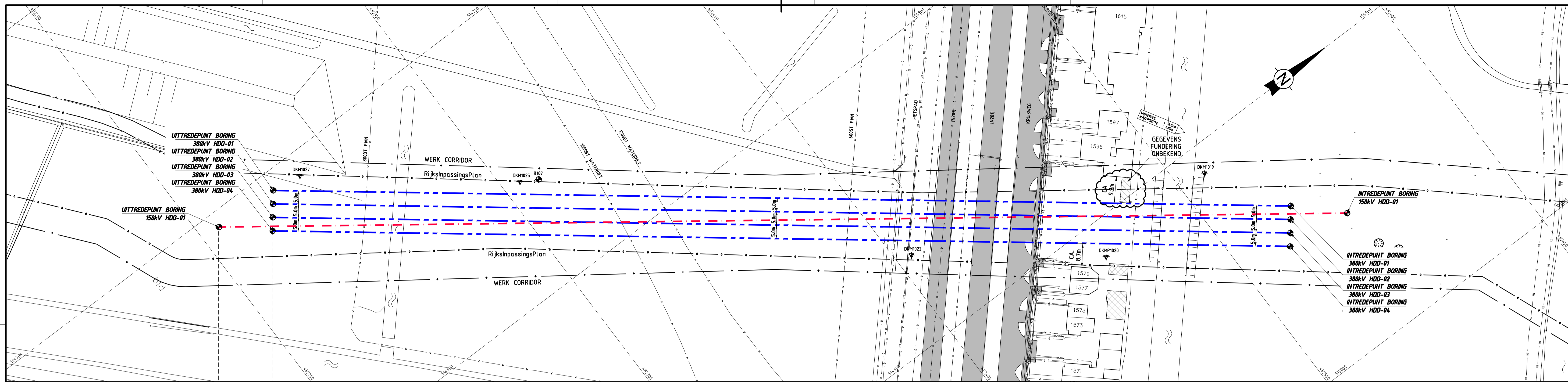
PROJECT: RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV

BENAMING: ALGEMEEN PLAN  
380kV & 150kV TRACE  
HDD'S ONDER  
KROMME SPIERINGWEG

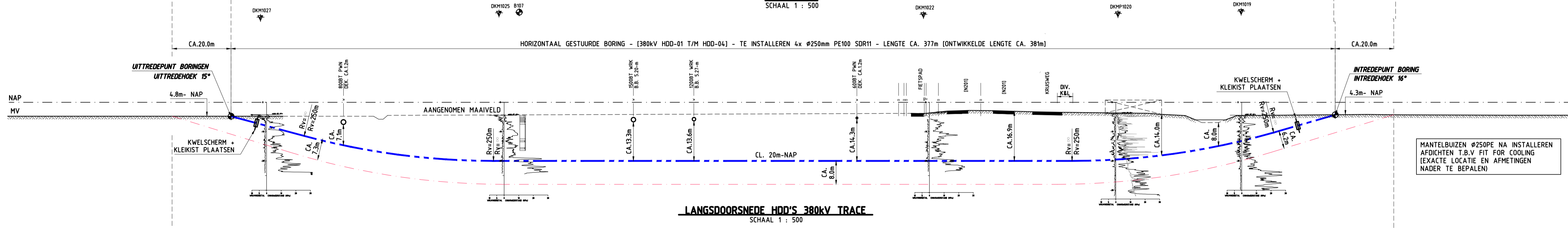
Tekening\_Nr.: VIR-0.000.502  
 Referentie\_Nr.: TP13141-K-X-02

Bijz.: -  
 Schaal: 1 : 500  
 Datum: 17-07-13  
 Get.: SMA  
 Gez.: JRH  
 Formaat: A0

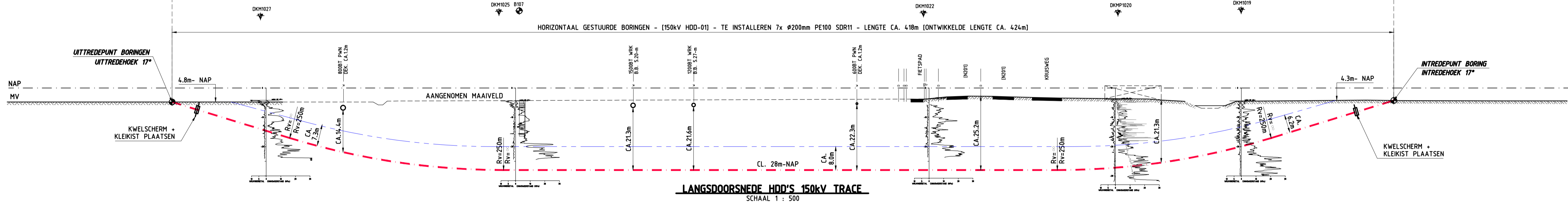
Wijz.: 2.0



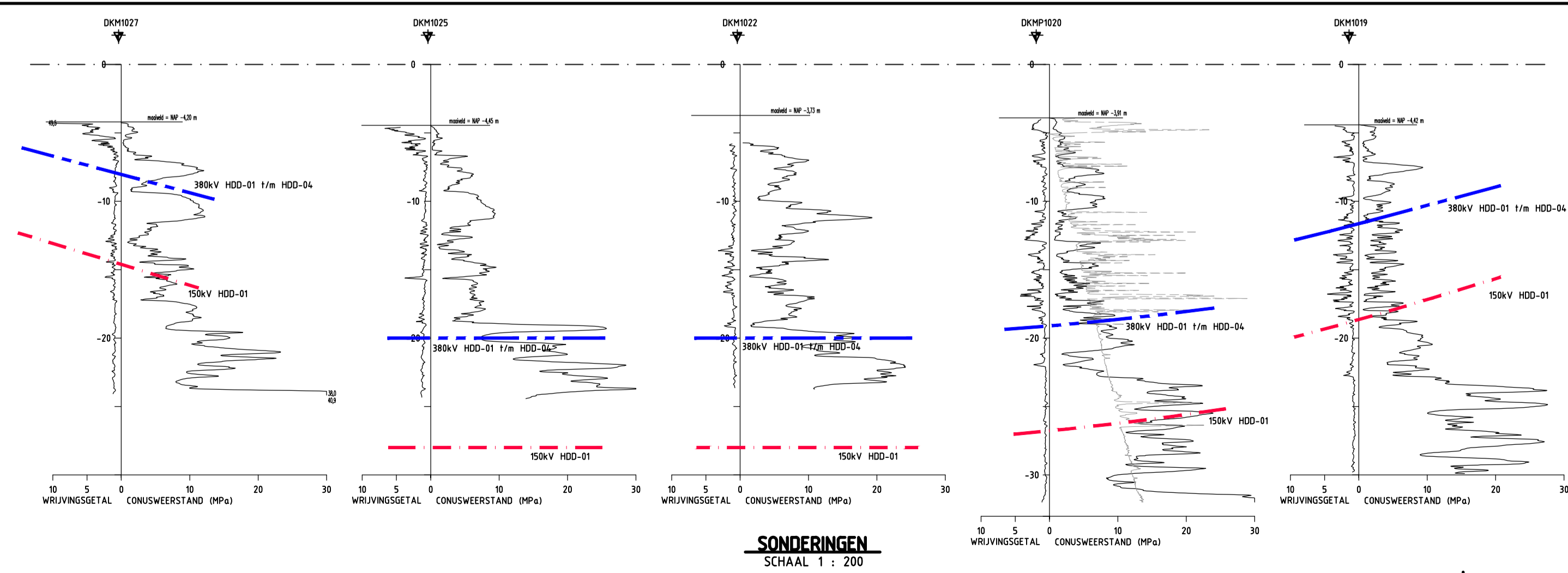
**SITUATIE**  
SCHAAL 1 : 500



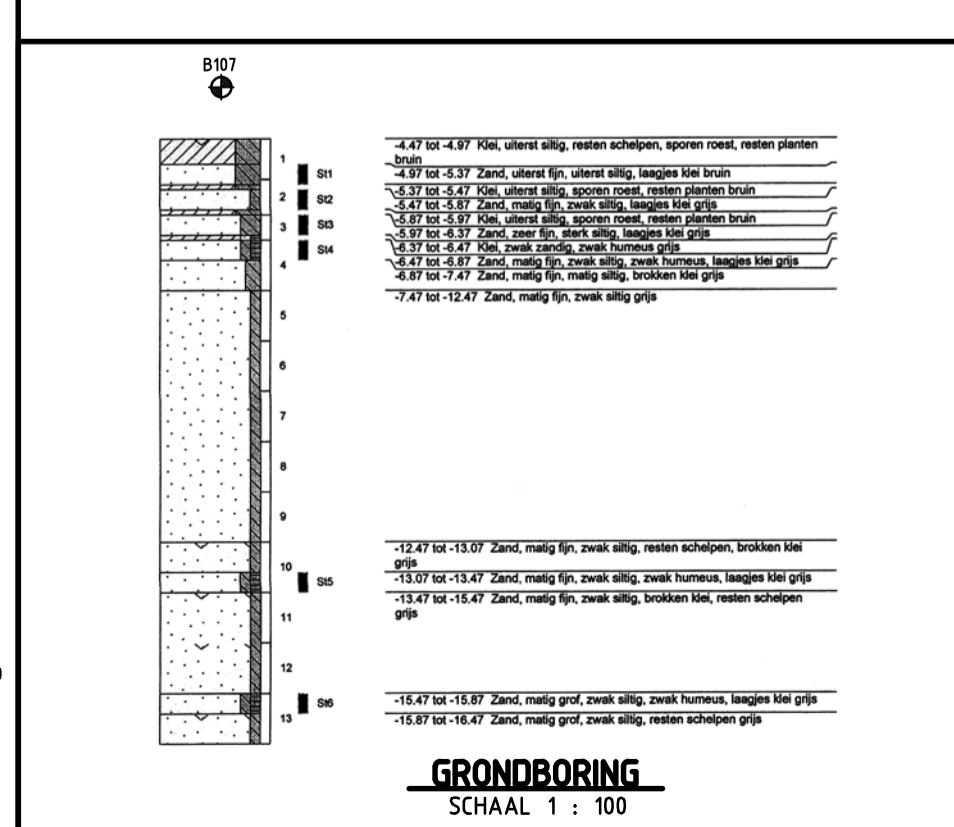
**LANGSDOORSNEDE HDD'S 380kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 500



**LANGSDOORSNEDE HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 500

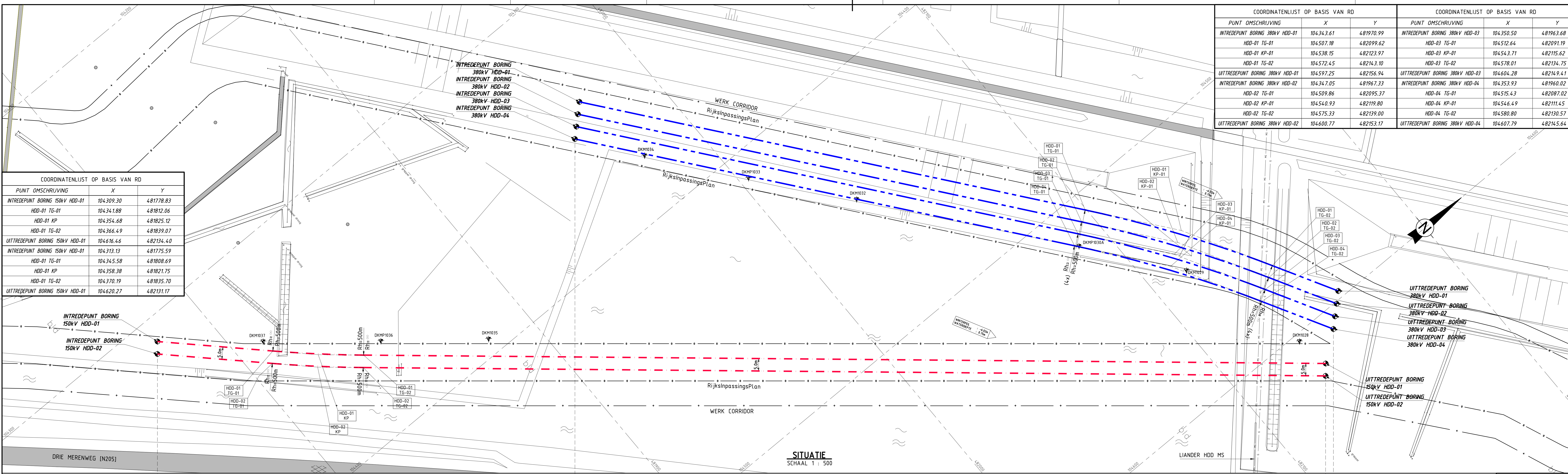


**SONDERINGEN**  
SCHAAL 1 : 200



**GRONDBORING**  
SCHAAL 1 : 100

<p>TE INSTALLEREN (380kV) PER BORING 4x Ø250 PE100 SDR11 4x UITVOEREN</p> <p><b>DOORSNEDE HDD'S 380kV TRACE</b> SCHAAL 1 : 20</p>	<p>TE INSTALLEREN (150kV) PER BORING 7x Ø200 PE100 SDR11 1x UITVOEREN</p> <p><b>DOORSNEDE HDD'S 150kV TRACE</b> SCHAAL 1 : 20</p>	<p><b>OPMERKINGEN:</b> -SITUATIE ONTVANGEN VAN OPDRACHTGEVER -BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN INGETEKEND A.D.H.V. KLC GEGEVENS -LENGTEPROFIEL AFKOMSTIG UIT METING VAN SHABAS -GRONDONDERZOEK AFKOMSTIG VAN FUND. RAPPORT (OPDR.NR.1010-017-003) -DIEPTE LIGGING WKK LEIDINGEN AFKOMSTIG VAN WKK-TEKENING R-02-310 EN T-02-167 -DIEPTE LIGGING PWN LEIDING AFKOMSTIG VAN PWN-TEKENING 73.144 -DIEPTE WATERGANGEN GENOMEN VAN LEGGER HOOGHEERAAJDSCHAP VAN RIJNLAND. -EXACTE LIGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN VOOR AANVAANG WERKZAAMHEDEN NADER TE BEPALEN EN WIEKEN MOET TUGELIJK ONTOEGEGEN OF BOORPROFIEL HEROP AAN TE PASSEN.</p>																																												
<p>COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RD</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PUNT</th> <th>OMSCHRIJVING</th> <th>X</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-01</td> <td>104.939.12</td> <td>482528.62</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-02</td> <td>104.706.87</td> <td>482231.65</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-03</td> <td>104.943.05</td> <td>482525.54</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-04</td> <td>104.710.81</td> <td>482228.57</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-01</td> <td>104.946.99</td> <td>482522.46</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-02</td> <td>104.714.75</td> <td>482225.49</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-03</td> <td>104.950.93</td> <td>482519.38</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-04</td> <td>104.718.69</td> <td>482222.41</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01</td> <td>104.953.86</td> <td>482543.69</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01</td> <td>104.705.54</td> <td>482207.44</td> </tr> </tbody> </table>			PUNT	OMSCHRIJVING	X	Y	1	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	104.939.12	482528.62	2	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	104.706.87	482231.65	3	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	104.943.05	482525.54	4	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	104.710.81	482228.57	5	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	104.946.99	482522.46	6	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	104.714.75	482225.49	7	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	104.950.93	482519.38	8	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	104.718.69	482222.41	9	UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	104.953.86	482543.69	10	UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	104.705.54	482207.44
PUNT	OMSCHRIJVING	X	Y																																											
1	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	104.939.12	482528.62																																											
2	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	104.706.87	482231.65																																											
3	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	104.943.05	482525.54																																											
4	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	104.710.81	482228.57																																											
5	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	104.946.99	482522.46																																											
6	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	104.714.75	482225.49																																											
7	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	104.950.93	482519.38																																											
8	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	104.718.69	482222.41																																											
9	UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	104.953.86	482543.69																																											
10	UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	104.705.54	482207.44																																											
<p><b>VolkerIntra</b> Handstad 380</p> <p><b>Tennet</b> Taking power further</p> <p>Volker Staal en Funderingen bv Oudeplantweg 10 3008 AP Rotterdam Postbus 54548 3008 AA Rotterdam Telefoon 010-2992288 Telefax 010-2992277 Handelings. Rotterdam 2422678</p> <p>OPDRACHTGEVER: TENNET</p> <p>PROJECT: RANDSTAD NOORD 380kV &amp; 150kV</p> <p>BENAMING: ALGEMEEN PLAN 380kV &amp; 150kV TRACE HDD'S ONDER KRUISWEG [N201]</p> <p>Tekening No.: VIR-0.000.503 Revisie No.: TP13141-K-X-03</p>																																														



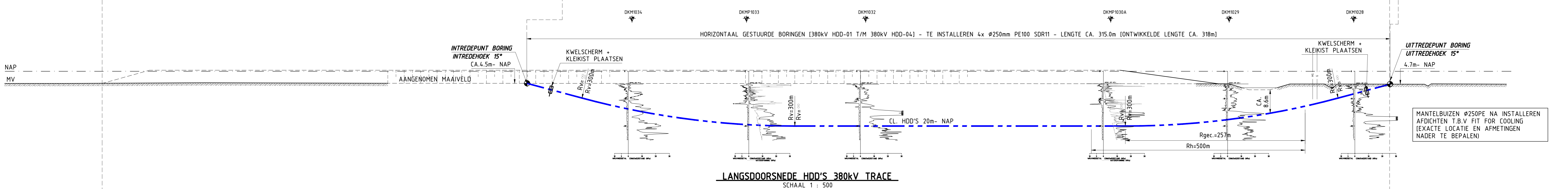
COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RD

PUNT OMSCHRIJVING	X	Y
INTREREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	104309.30	481778.83
HDD-01 TG-01	104341.88	481812.06
HDD-01 KP	104354.68	481825.12
HDD-01 TG-02	104366.49	481839.07
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	104616.46	482134.40
INTREREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	104313.13	481775.59
HDD-01 TG-01	104345.58	481808.69
HDD-01 KP	104358.38	481821.75
HDD-01 TG-02	104370.19	481835.70
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	104620.27	482131.17

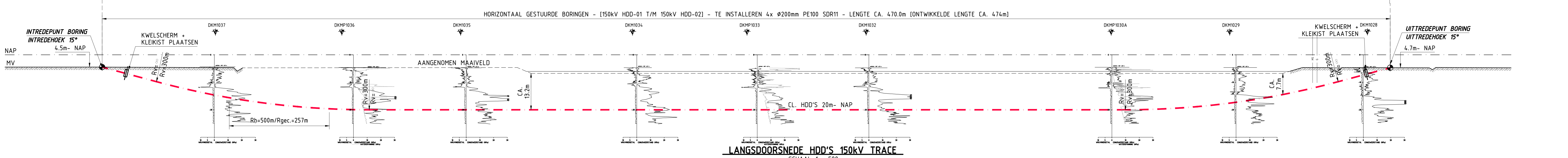
COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RD

PUNT OMSCHRIJVING	X	Y	PUNT OMSCHRIJVING	X	Y
INTREREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	10434.261	481970.99	INTREREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	104350.50	481963.68
HDD-01 TG-01	104507.18	482099.62	HDD-03 TG-01	104512.64	482091.19
HDD-01 KP-01	104538.15	482123.97	HDD-03 KP-01	104546.37	482115.62
HDD-01 TG-02	104572.45	482143.10	HDD-03 TG-02	104578.01	482134.75
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	104597.25	482156.94	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	104604.28	482149.41
INTREREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	10434.705	481967.33	INTREREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	104353.93	481960.02
HDD-02 TG-01	104509.86	482095.37	HDD-04 TG-01	104515.43	482087.02
HDD-02 KP-01	104540.93	482119.80	HDD-04 KP-01	104546.49	482111.45
HDD-02 TG-02	104575.33	482139.00	HDD-04 TG-02	104580.80	482130.57
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	104600.77	482153.17	UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	104607.79	482145.64

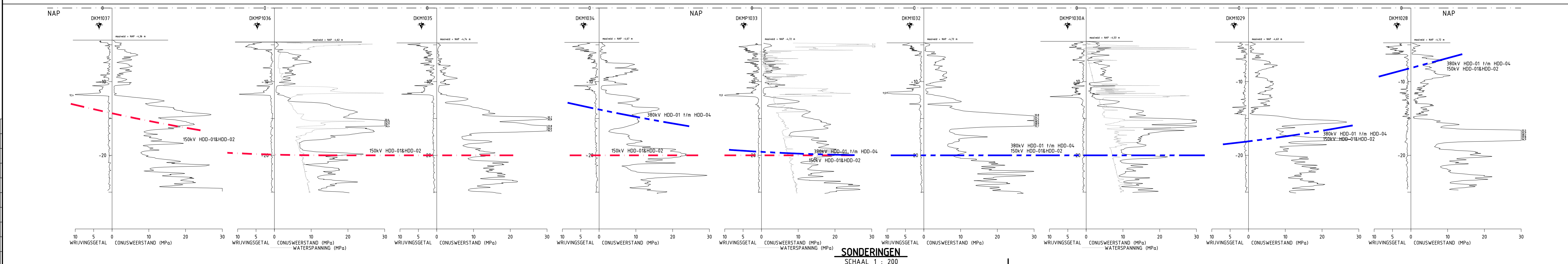
SITUATIE  
SCHAAL 1 : 500



LANGSDOORSNEDE HDD'S 380kV TRACE  
SCHAAL 1 : 500



LANGSDOORSNEDE HDD'S 150kV TRACE  
SCHAAL 1 : 500



SONDERINGEN  
SCHAAL 1 : 200

TE INSTALLEREN (150kV) PER BORING  
4x Ø200 PE100 SDR11  
2x UITVOEREN

DOORSNEDE  
HDD'S 150kV TRACE  
SCHAAL 1 : 20

TE INSTALLEREN (380kV) PER BORING  
4x Ø250 PE100 SDR11  
4x UITVOEREN

DOORSNEDE  
HDD'S 380kV TRACE  
SCHAAL 1 : 20

OPMERKINGEN:  
-SITUATIE ONTVANEN VAN OPDRACHTGEVER  
-BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN INGETEKEND A.D.H.V. KLIC GEGEVENS  
-GRONDBONENDEZIEK AANKONSTE VAN FUSIEB RAPPORT (OPDRACHT: 010-011-003)  
-INFORMATIE BEST: HD LIANDER AANKONSTE UIT MEEL TEKENING 024-862  
-DEPTE WATERGANGEN GENOMEN VAN LEGGER HOOGHEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND.  
-EXACTE LIGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN VOOR AANVAAG WERKZAAMHEID NADER TE BEPALEN EN  
-INDIEN NOODIG TIEDELIJK ONDEGEN OF BOORPROEF HEROP AAN TE PASSEN.

2.0	15-11-13	OPMERKINGEN RFA/RFC VERWERKT	SMA	JRH
1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH

Wij: Datum Omschrijving

VolkerInfrac  
Randstad 380

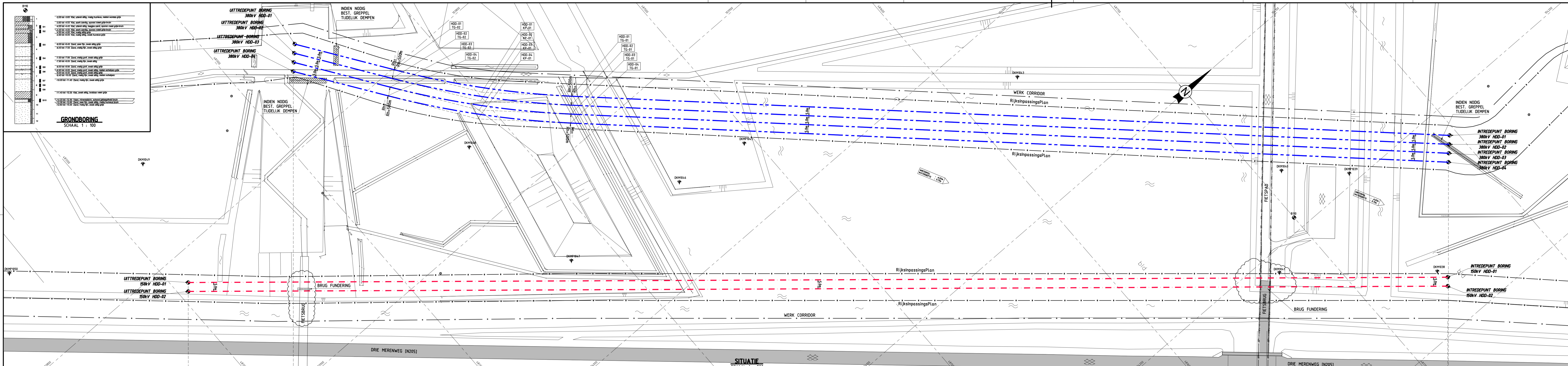
Tennet  
Taking power further

OPDRACHTGEVER: TENNET

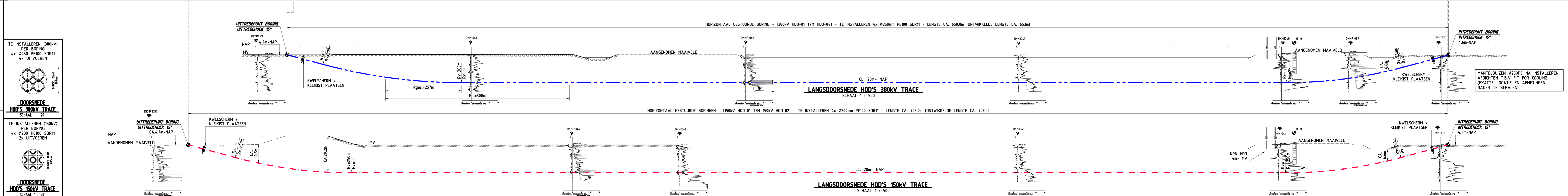
PROJECT: RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV

BENAMING: ALGEMEEN PLAN  
380kV & 150kV TRACE  
HDD'S LANGS  
DRIE MERENWEG (N205)

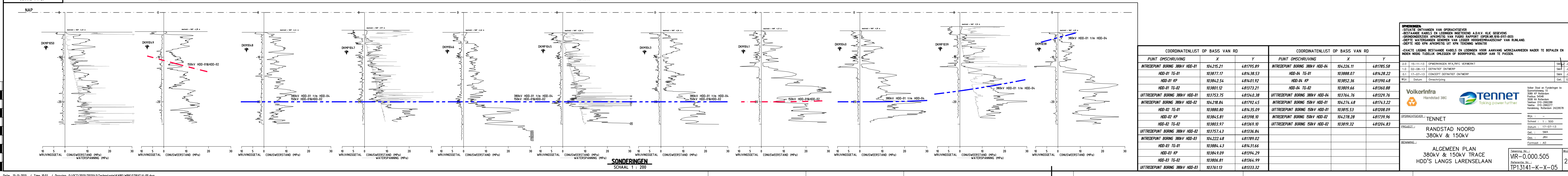
Tekening No.: VIR-0.000.504  
Referentie No.: TP13141-K-X-04



SITUATIE  
SCHAAL 1 : 500



LANGDOORSNEDE HDD'S 380kV TRACE  
SCHAAL 1 : 500



SONDERINGEN  
SCHAAL 1 : 200

TE INSTALLEREN (380kV) PER BORING 4x #250 PE100 SDR11 4x UITVOEREN

TE INSTALLEREN (150kV) PER BORING 4x #200 PE100 SDR11 2x UITVOEREN

COORDINATENLIST OP BASIS VAN RD				COORDINATENLIST OP BASIS VAN RD			
PUNT OMSCHRIJVING	X	Y		PUNT OMSCHRIJVING	X	Y	
INBREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	104216.21	481795.89		INBREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	104216.11	481795.58	
HDD-01 TG-01	103877.17	481628.53		HDD-04 TG-01	103880.07	481628.22	
HDD-01 KP	103892.54	481611.92		HDD-04 KP	103892.34	481610.48	
HDD-01 TG-02	103891.12	481732.21		HDD-04 TG-02	103891.64	481731.89	
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	103753.75	481940.38		UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	103744.76	481939.76	
INBREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	104218.84	481792.45		INBREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	104274.48	481732.22	
HDD-02 TG-01	103880.89	481626.09		INBREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	103895.53	481938.09	
HDD-02 KP	103845.81	481598.10		INBREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	104278.28	481739.96	
HDD-02 TG-02	103803.97	481569.10		UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	103819.32	481934.83	
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	103757.43	481936.84					
INBREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	104272.48	481789.02					
HDD-03 TG-01	103884.43	481621.66					
HDD-03 KP	103849.09	481594.29					
HDD-03 TG-02	103806.81	481564.99					
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	103761.13	481933.32					

**OPMERKINGEN:**  
 - SITUATIE ONTVANKEN VAN OPDRACHTGEVER  
 - BESTAANDE KABELS EN LEIDENDE INSTELLING A.B.V. NIET GEVEENS  
 - GRONDPROFIEEL AANDELT VAN RIJSG RAPPORT (OPDRACHT-010-002)  
 - DIEPTE WATERLIGEN GRONDEN VAN LEEGER HOOGDRUKKORDELSCHAP VAN RUNDLAND  
 - DIEPTE 100 KPN AANDELT UIT KPN TEKENING WRIJVEN  
 - EXACTE LEIDING BESTAANDE KABELS EN LEIDENDE VOOR AANVANG WERKZAAMHEID NAAR TE BEPALEN EN  
 INDIEN NOODIG TIJDELIJK ONTLEGGEN OF BOORPROFIEEL HEROP NAAR TE PASSEN.

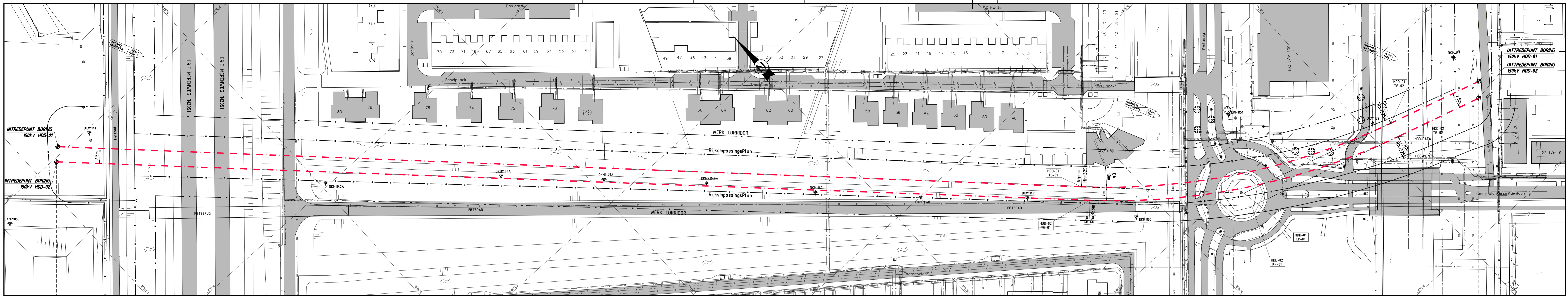
**VolkerInfr**  
Handstad 380

**Tennet**  
Looking power further

**TENNET**  
PROJECT: RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV

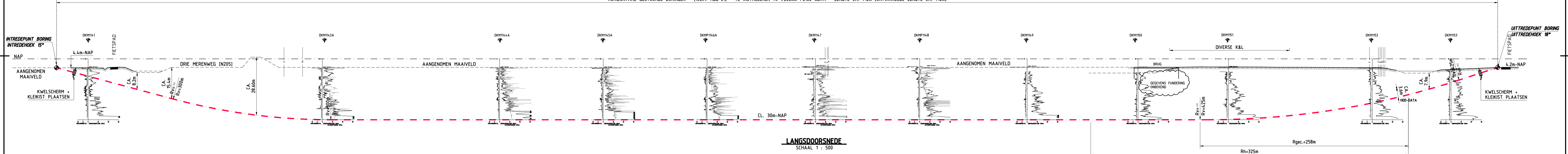
ALGEMEEN PLAN  
380kV & 150kV TRACE  
HDD'S LANGS LARENSELAAN

VIR-0.000.505  
TP13141-K-X-05



**SITUATIE**  
SCHAAL 1 : 500

HORizontaal gestuurde boringen - (150kV HDD-01) - te installeren 7x Ø200 PE100 SDR11 - lengte ca. 710m (ontwikkelde lengte ca. 716m)

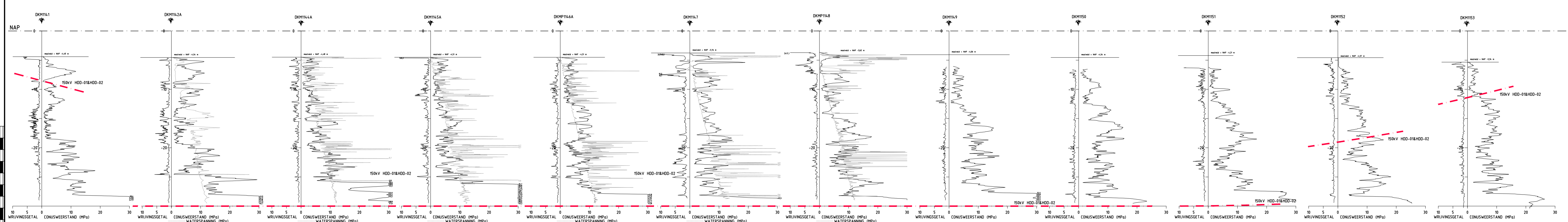


**LANGSDOORSNEDE**  
SCHAAL 1 : 500

COORDINATENLIST OP BASIS VAN RD		
PUNT OMSCHRIJVING	X	Y
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	103416.61	480803.48
HDD-01 TG-01	103777.36	480450.40
HDD-01 KP	103834.65	480394.33
HDD-01 TG-02	103911.44	480371.33
UITTREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	103957.45	480357.55
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	103411.18	480798.30
HDD-02 TG-01	103776.05	480442.64
HDD-02 KP	103833.20	480386.93
HDD-02 TG-02	103909.66	480364.03
UITTREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	103951.76	480351.42

TE INSTALLEREN (150kV) PER BORING  
7x Ø200 PE100 SDR11  
2x UITVOEREN

**DOORSNEDE**  
HDD'S 150kV TRACE  
SCHAAL 1 : 20



**SONDERINGEN**  
SCHAAL 1 : 200

**OPMERKINGEN**

- SITUATIE ONTVANGEN VAN OPRACHTGEVER
- BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN NIET VERHOUD AANZIJK. NIET GEEFENDE
- GRONDCONTOUR AFKOMSTE VAN FUSIO RAPPORT (OPDRAG WIE-011-003)
- BEPALDE BESTAANDE HEDS LINGEREN AANZIJK. NIET VERHOUD AANZIJK. NIET GEEFENDE
- DEPTE WATERLANGEN GEDENKEN VAN LIGGER HOOGHEERWAARDSCHEP VAN RANLAND.
- EXACTE LEGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN VOOR AANVANG WERKZAAMHEIDEN NADER TE BEPALEN EN NIEN NIENIG TIJDELIJK OPMELDEN OP BOORPROFIEL HEROP AAN TE PASSEN.

1.0	02-08-13	DEFINITEF ONTWERP	SWA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITEF ONTWERP	SWA	JRH
WSP	Datum	Omschrijving	Get.	Get.

**VolkerInra** Randsstad 360

**tennet** Taking power further

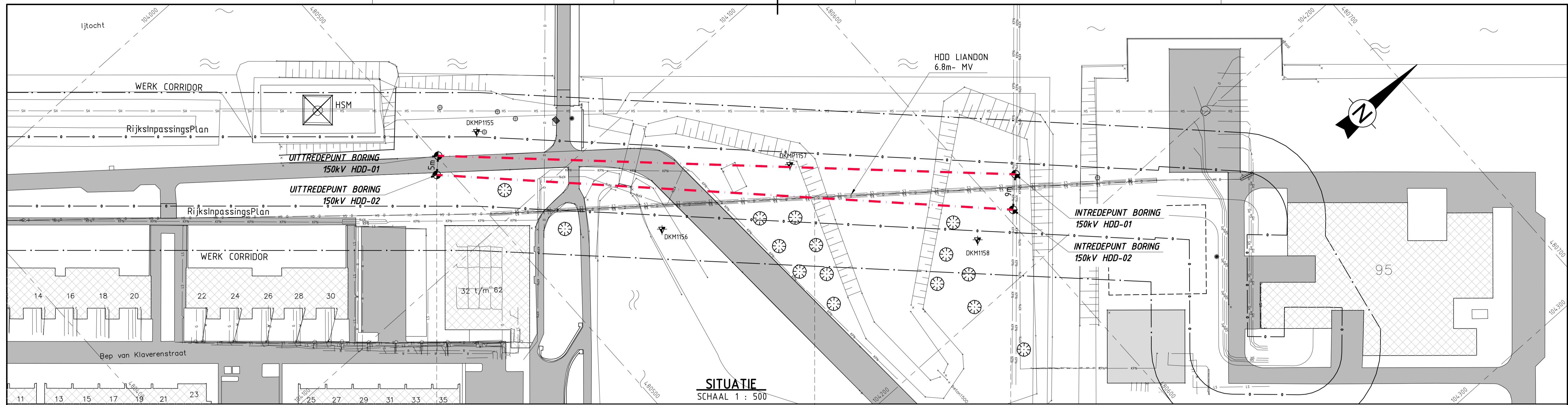
OPDRACHTGEVER: TENNET

PROJECT: RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV

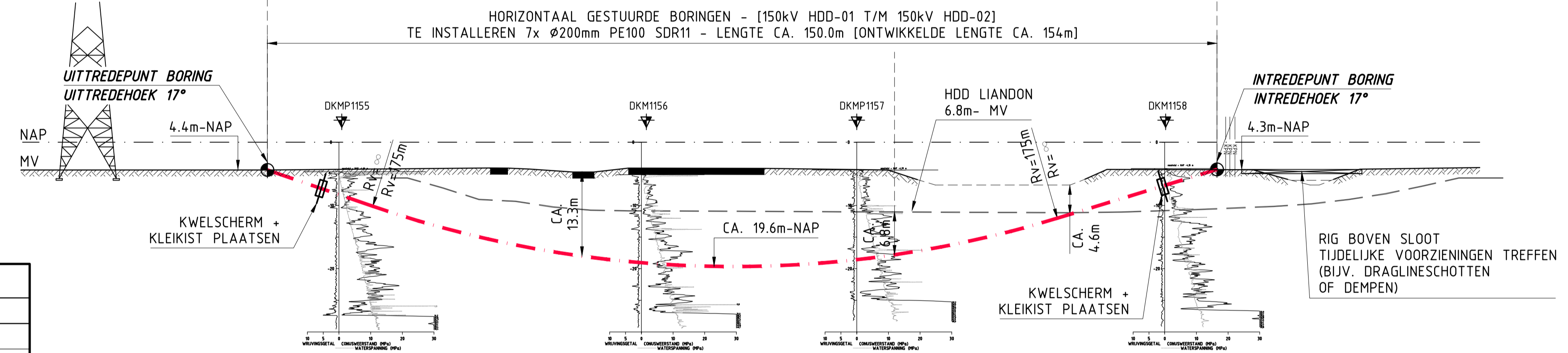
BEDEELING: ALGEMEEN PLAN  
150kV TRACE  
HDD'S ONDER DRIE MERENWEG (N205)

Blz.: -  
Schaal: 1 : 500  
Datum: 17-07-13  
Get.: SWA  
Get.: JRH  
Formaat: A0

Uitvoerend: Vir - 0.000.506  
TP13141-K-X-06

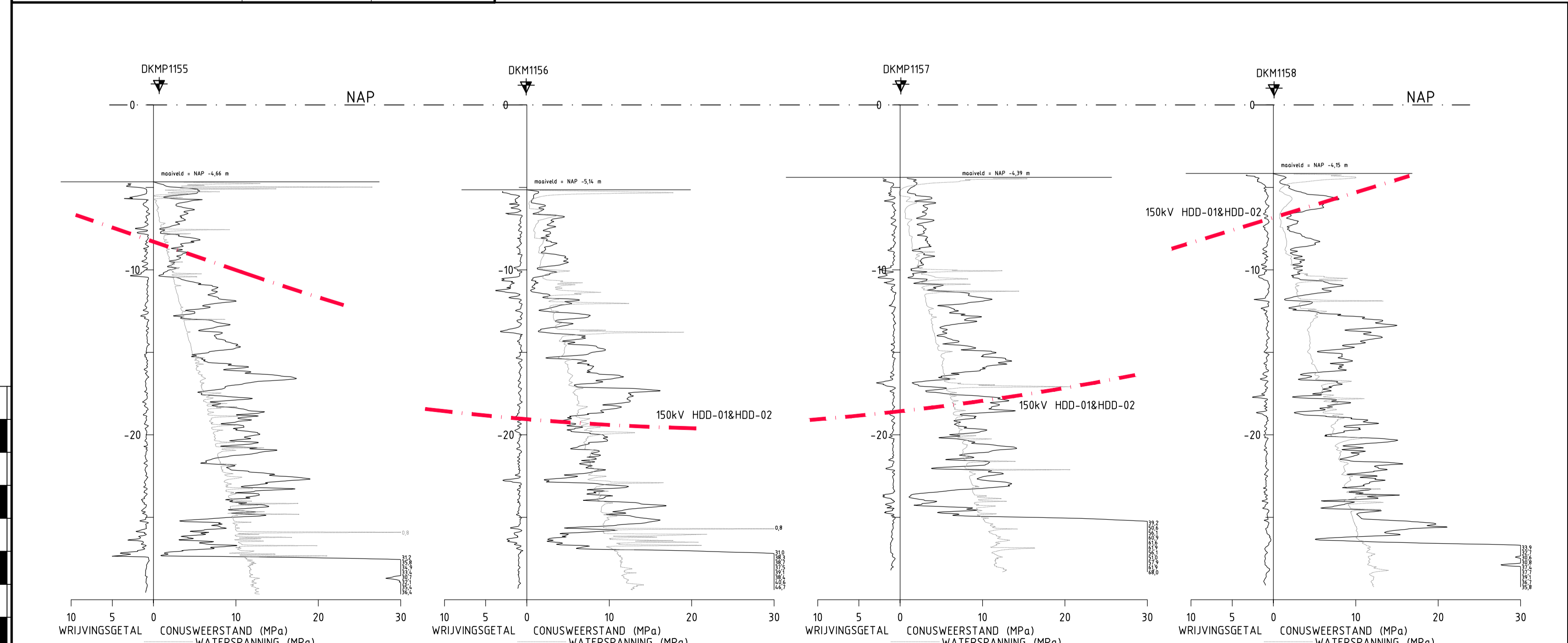


**SITUATIE**  
SCHAAL 1 : 500



**LANGSDOORSNEDE HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 500

COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RD			
PUNT	OMSCHRIJVING	X	Y
INTREDEPUNT BORING	150kV HDD-01	104.179.15	480609.05
UITREDEPUNT BORING	150kV HDD-01	104.075.74	480500.32
INTREDEPUNT BORING	150kV HDD-02	104.185.60	480602.46
UITREDEPUNT BORING	150kV HDD-02	104.079.20	480496.73



**SONDERINGEN**  
SCHAAL 1 : 200

TE INSTALLEREN (150kV)  
PER BORING  
7x Ø200 PE100 SDR11  
2x UITVOEREN

**DOORSNEDE**  
**HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 20

**OPMERKINGEN:**  
-SITUATIE ONTVANGEN VAN OPDRACHTGEVER  
-BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN INGETEKEND A.D.H.V. KLIC GEGEVENS  
-GRONDONDERZOEK AFKOMSTIG VAN FUGRO RAPPORT (OPDR.NR.1010-0117-003)  
-INFORMATIE BESTAANDE HDD LIANDON AFKOMSTIG UIT NUON TEKENING 41.331/254.0  
-DIEPTE WATERGANGEN GENOMEN VAN LEGGER HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND.

-EXACTE LIGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN VOOR AANVANG WERKZAAMHEDEN NADER TE BEPALEN EN INDIEN NODIG TIJDELIJK OMLAGGEN OF BOORPROFIEL HIEROP AAN TE PASSES.

2.0	15-11-13	OPMERKINGEN RFA/RFC VERWERKT	SMA	JRH
1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH

Wijz. Datum Omschrijving Get. Gez.

**VolkerInfra** Randstad 380 **Tennet** Taking power further

OPDRACHTGEVER: TENNET

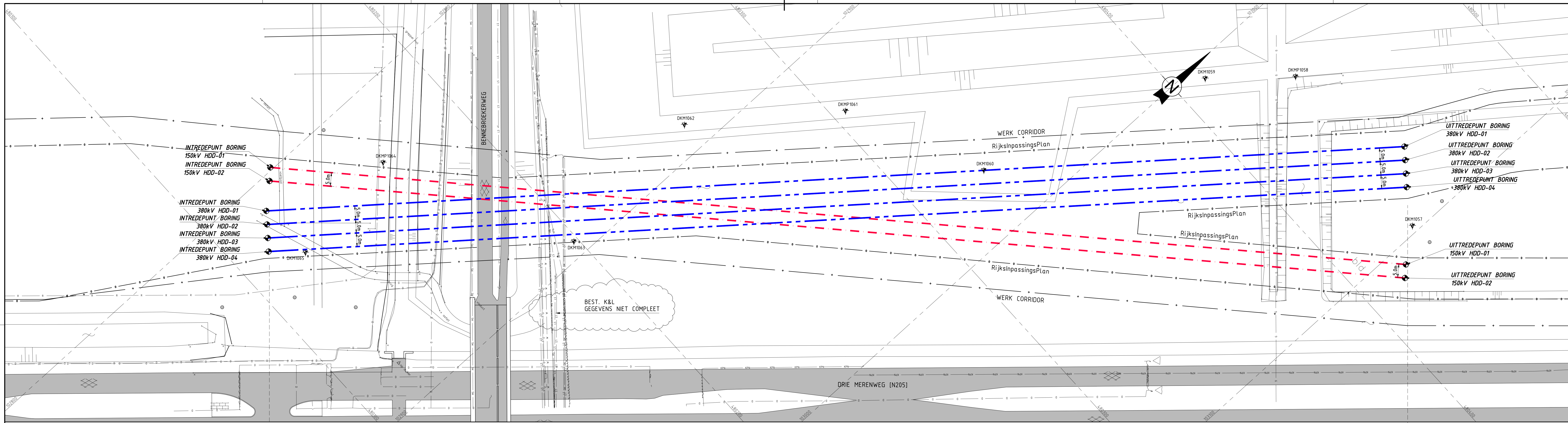
PROJECT: RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV

BENAMING: ALGEMEEN PLAN  
150kV TRACE  
HDD'S LANGS IJTOCHT

Tekening-Nr.: VIR-0.000.507  
Referentie-Nr.: TP13141-K-X-07

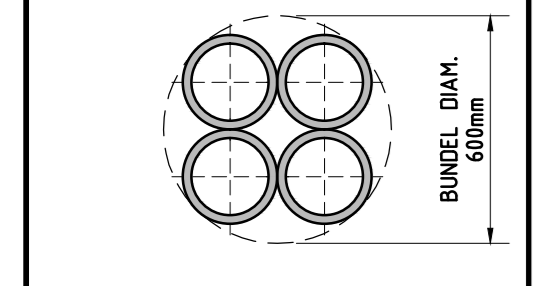
Wijz.: 2.0





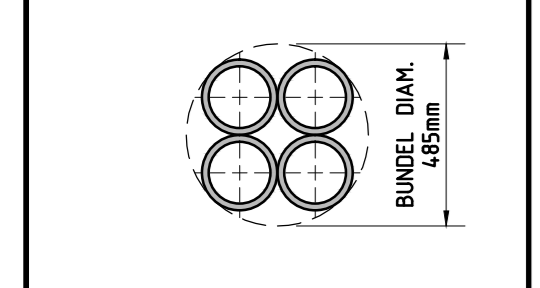
**SITUATIE**  
SCHAAL 1 : 500

TE INSTALLEREN (380kV)  
PER BORING  
4x Ø250 PE100 SDR11  
4x UITVOEREN



**DOORSNEDE**  
**HDD'S 380kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 20

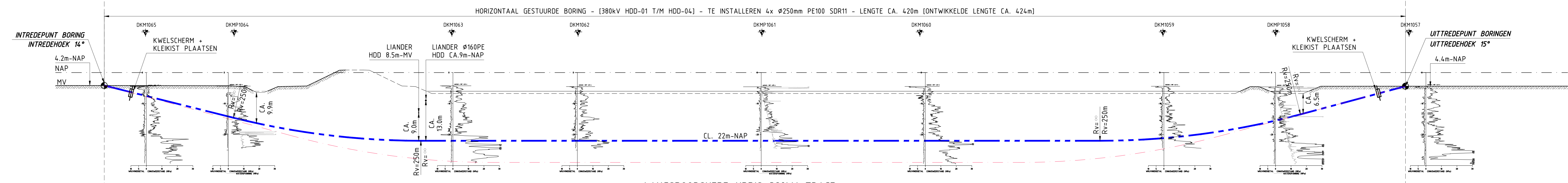
TE INSTALLEREN (150kV)  
PER BORING  
4x Ø200 PE100 SDR11  
2x UITVOEREN



**DOORSNEDE**  
**HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 20

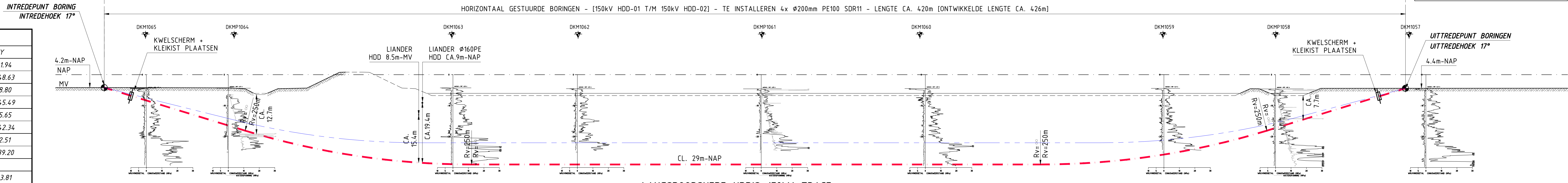
COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RD

PUNT	OMSCHRIJVING	X	Y
IN TREDEPUNT BORING	380kV HDD-01	102809.95	480121.94
UIT TREDEPUNT BORING	380kV HDD-01	103073.91	480448.63
IN TREDEPUNT BORING	380kV HDD-02	102813.84	480118.80
UIT TREDEPUNT BORING	380kV HDD-02	103077.80	480454.49
IN TREDEPUNT BORING	380kV HDD-03	102817.73	480115.65
UIT TREDEPUNT BORING	380kV HDD-03	103081.69	480442.34
IN TREDEPUNT BORING	380kV HDD-04	102821.62	480112.51
UIT TREDEPUNT BORING	380kV HDD-04	103085.58	480439.20
IN TREDEPUNT BORING	150kV HDD-01	102799.06	480133.81
UIT TREDEPUNT BORING	150kV HDD-01	103106.56	480419.89
IN TREDEPUNT BORING	150kV HDD-02	102802.47	480130.15
UIT TREDEPUNT BORING	150kV HDD-02	103109.97	480416.23

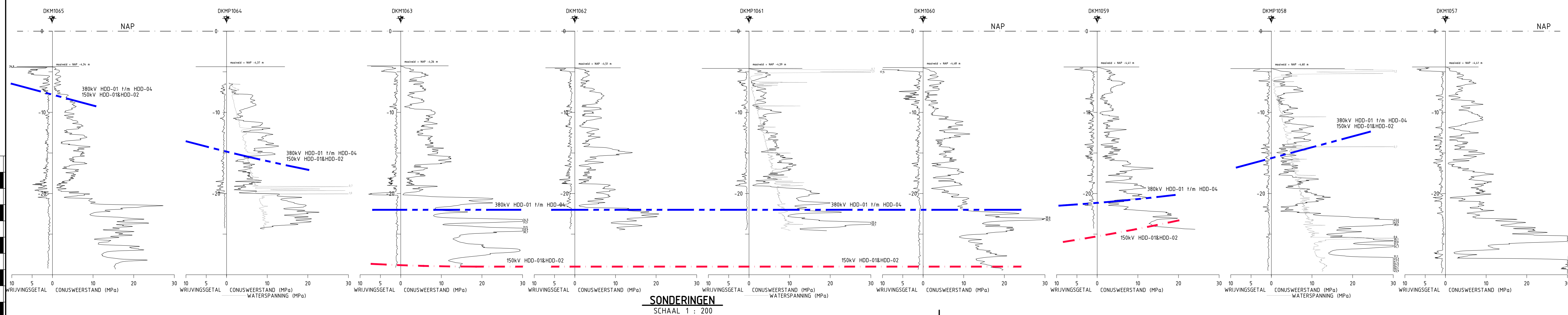


**LANGSDOORSNEDE HDD'S 380kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 500

MANTELRUIZEN Ø250PE NA INSTALLEREN  
AFDICHTEN T.B.V FIT FOR COOLING  
(EXACTE LOCATIE EN AFMETINGEN  
NADER TE BEPALEN)



**LANGSDOORSNEDE HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 500



**SONDERINGEN**  
SCHAAL 1 : 200

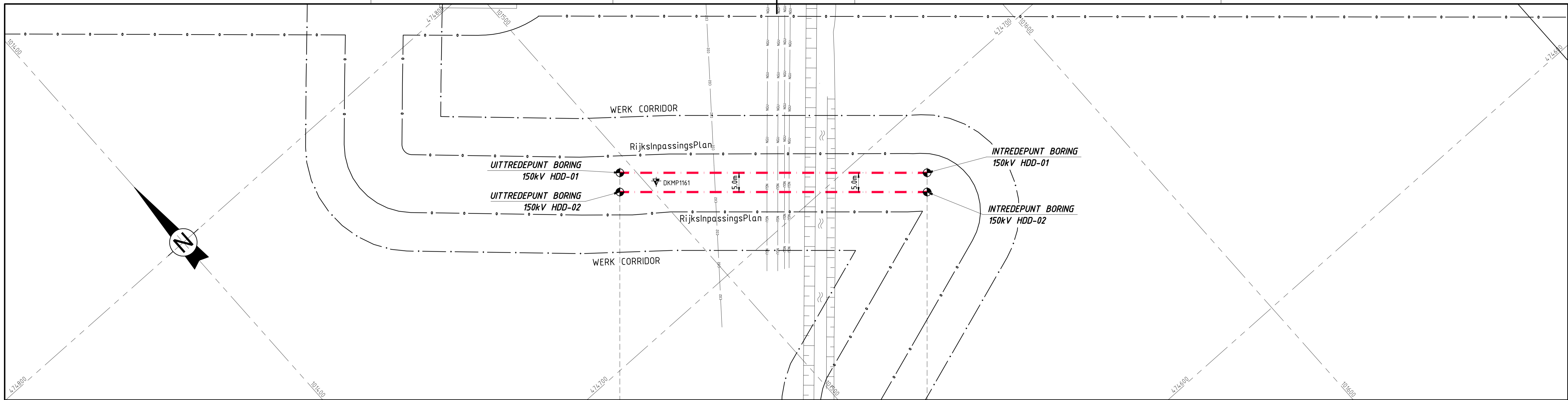
**OPMERKINGEN:**  
-SITUATIE ONTVANGEN VAN OPDRACHTGEVER  
-BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN INGETEKEND A.D.H.V. KLIC GEGEVENS  
-GRONDONDERZOEK AFKOMSTIG VAN FUGRO RAPPORT (OPDR.NR.018-017-003)  
-DIEPTE LIGGING LIANDER HDD'S AFKOMSTIG VAN BAM TEKENING 385006-01 EN VAN GELDER TEKENING 882150  
-DIEPTE WATERSANGEN GEKOMEN VAN LEGGER HOOGHEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND.  
-EXACTE LIGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN VOOR AANVAANG WERKZAMHEDEN NADER TE BEPALEN EN  
INDEN NODIG TIJDLIJK OMLEGGEN OF BOORPROFIEL HEROP AAN TE PASSES.

Wijk	Datum	Omschrijving	SMZ	JRH
2.0	15-11-13	OPMERKINGEN RFA/RFC WERKVERKT	SMZ	JRH
1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMZ	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMZ	JRH

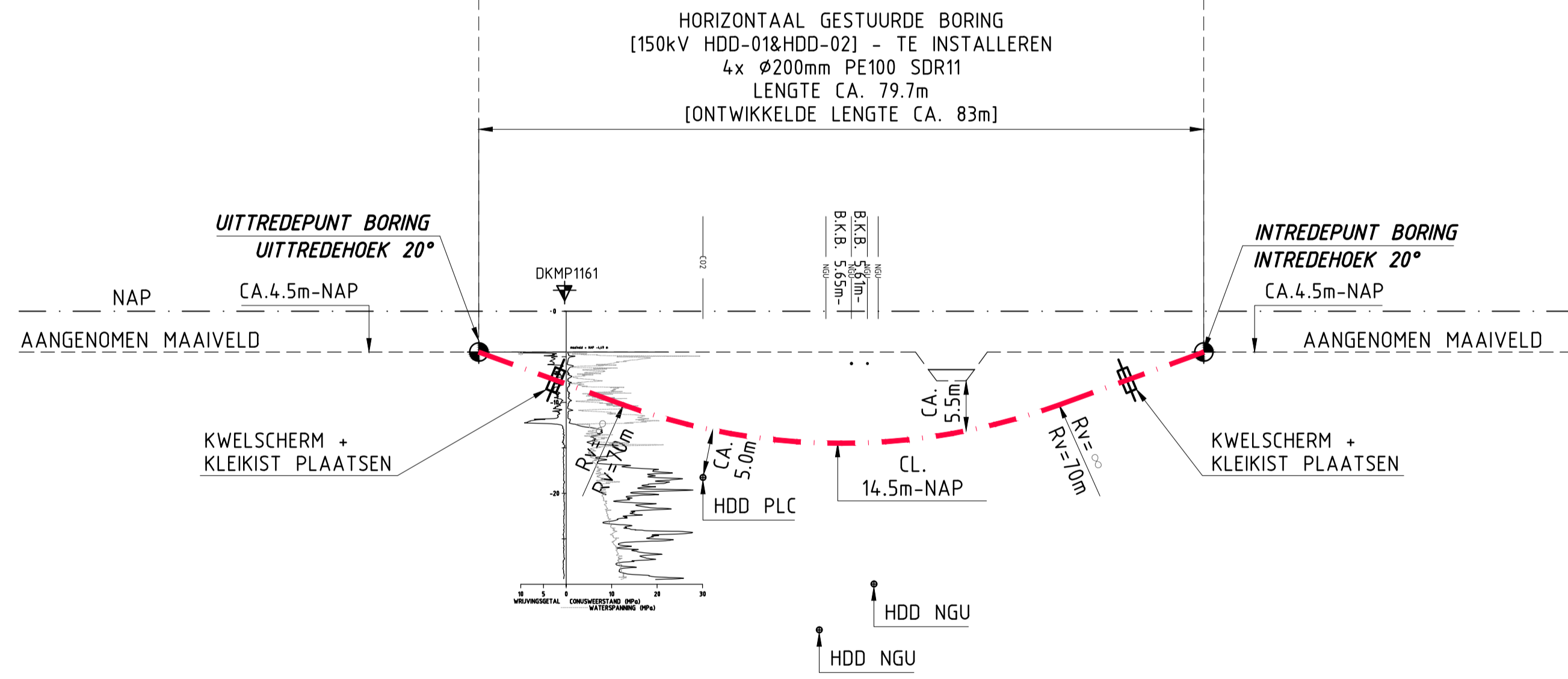
**VolkerInfracore** Randstad 380  
**tennet** Taking power further

OPDRACHTGEVER: TENNET  
PROJECT: RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV  
BENAMING:

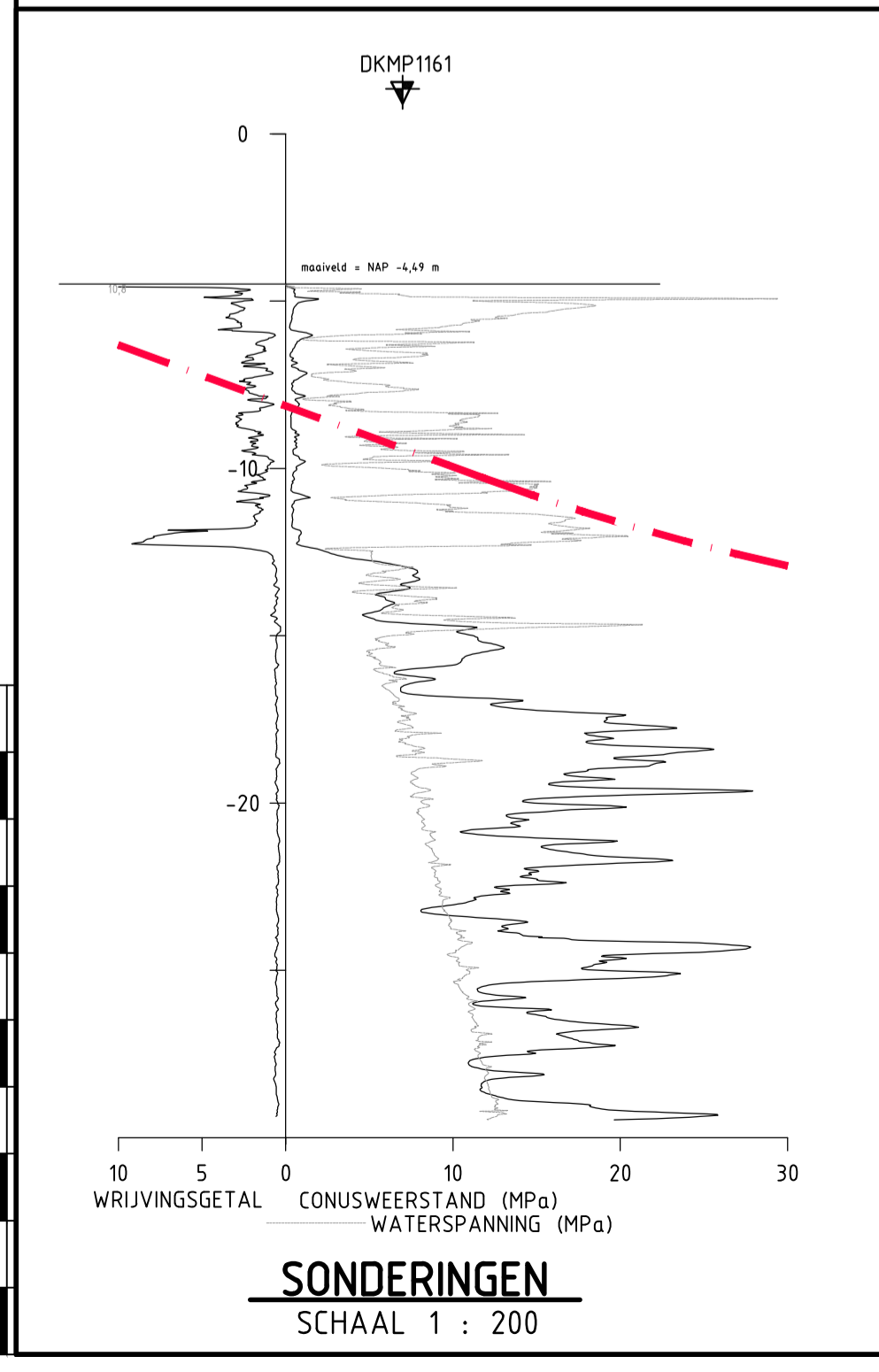
ALGEMEEN PLAN  
380kV & 150kV TRACE  
HDD'S ONDER BENNEBROEKERWEG  
Tekenings-Nr.: VIR-0.000.508  
Referentie-Nr.: TP13141-K-X-08



**SITUATIE**  
SCHAAL 1 : 500



**LANGSDOORSNEDE HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 500



TE INSTALLEREN (150kV)  
PER BORING  
4x Ø200 PE100 SDR11  
2x UITVOEREN

**DOORSNEDE  
HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 20

COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RD			
PUNT	OMSCHRIJVING	X	Y
INTREDEPUNT BORING	150kV HDD-01	101556.33	474685.51
UITTREDEPUNT BORING	150kV HDD-01	101496.70	474738.38
INTREDEPUNT BORING	150kV HDD-02	101553.01	474681.76
UITTREDEPUNT BORING	150kV HDD-02	101493.39	474734.64

**OPMERKINGEN:**

- SITUATIE ONTVANGEN VAN OPDRACHTGEVER
- BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN INGETEKEND A.D.H.V. KLIC GEGEVENS
- GRONDONDERZOEK AFKOMSTIG VAN FUGRO RAPPORT (OPDR.NR.1010-0117-003)
- DIEPTE LIGGING PIPELINE CONTROL LEIDINGEN ONTVANGEN VAN PIPELINE CONTROL
- DIEPTE LIGGING NGU LEIDINGEN AFKOMSTIG UIT NGU TEKENINGEN W-532-17-KR-006-A11, W-532-17-KR-006-B11, W-532-09-KR-004-A11 EN W-532-09-KR-004-B11
- DIEPTE WATERGANGEN GENOMEN VAN LEGGER HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND.
- EXACTE LIGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN VOOR AANVANG WERKZAAMHEDEN NADER TE BEPALEN EN INDIEN NODIG TIJDELIJK OMLEGGEN OF BOORPROFIEL HIEROP AAN TE PASSEN.

Wijz.	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.
3.0	17-07-14	OPMERKINGEN HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND VERWERKT	MHU	JRH
2.0	15-11-13	OPMERKINGEN RFA/RFC VERWERKT	SMA	JRH
1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH

**VolkerInfra** Randstad 380

**Tennet** Taking power further

Volker Staal en Funderingen bv  
Quarantaineweg 10  
3089 KP Rotterdam  
Postbus 54548  
3008 KA Rotterdam  
Telefoon 010-2992288  
Telefax 010-2992277  
Handelsreg. Rotterdam 24229578

OPDRACHTGEVER: **TENNET**

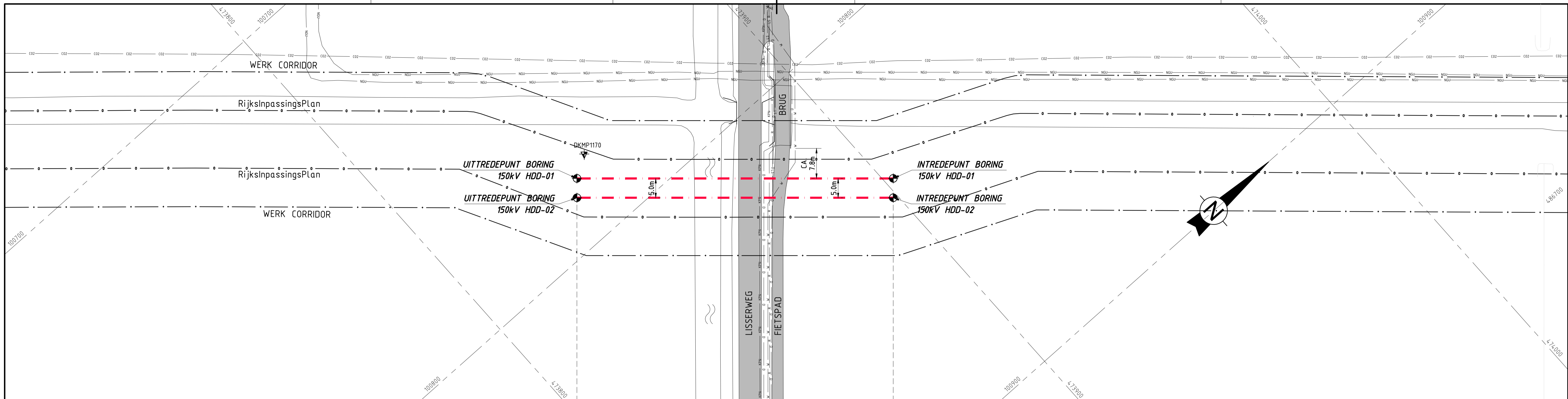
PROJECT: **RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV**

BENAMING: **ALGEMEEN PLAN  
150kV TRACE  
HDD'S LANGS N207**

Tekening\_Nr.: **VIR-0.000.509**

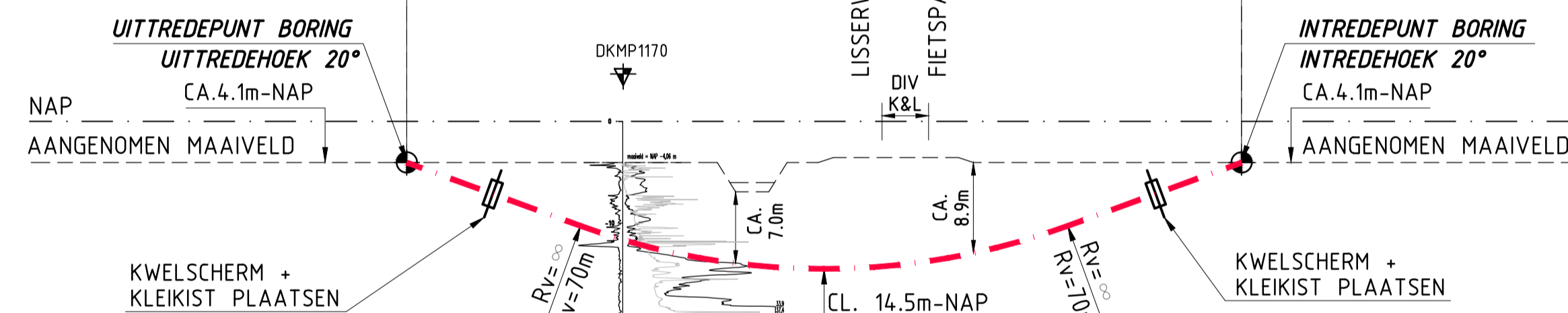
Referentie\_Nr.: **TP13141-K-X-09**

Wijz.: **3.0**

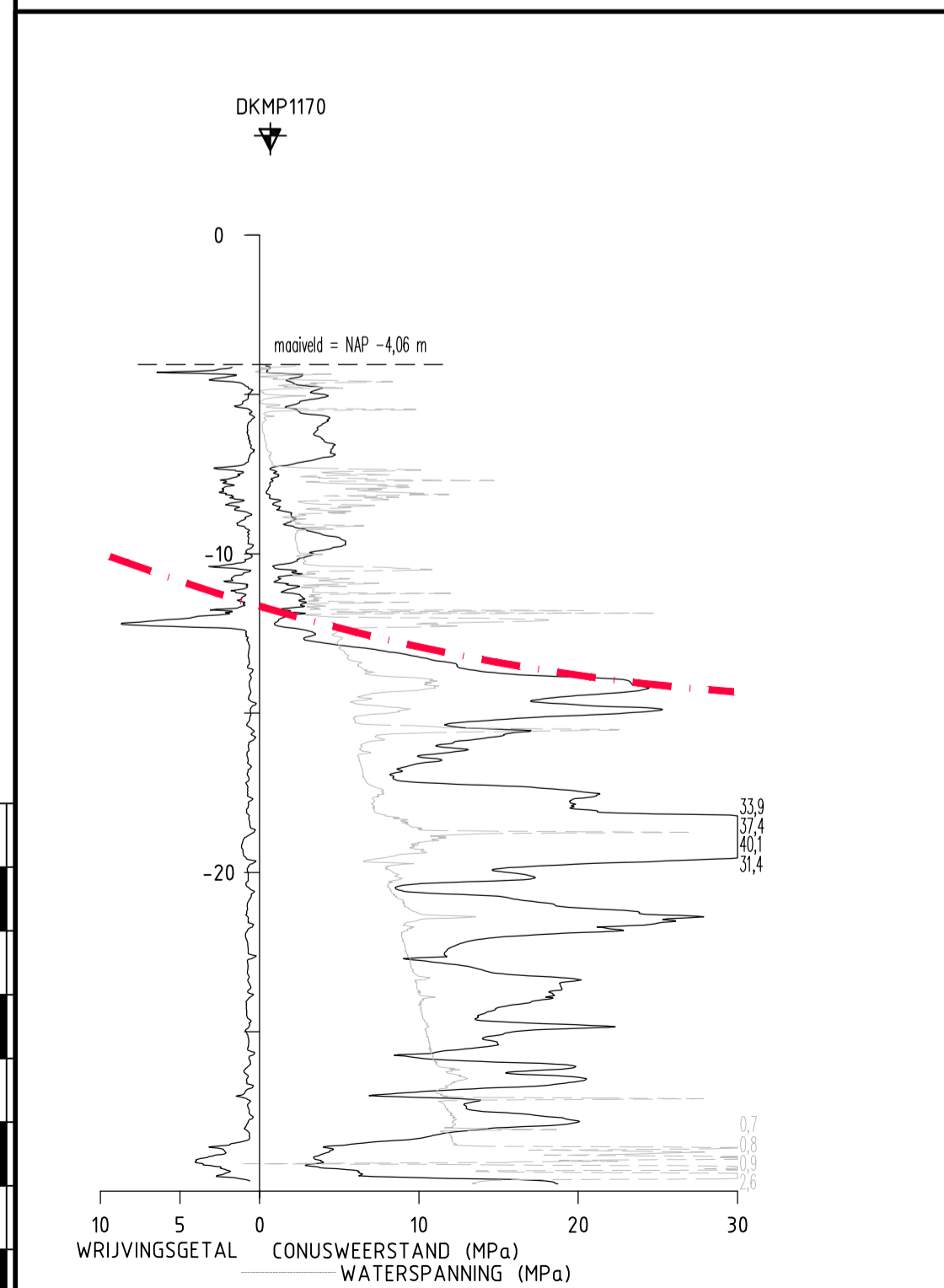


**SITUATIE**  
SCHAAL 1 : 500

HORIZONTAAL GESTUURDE BORING  
[150kV HDD-01-02] - TE INSTALLEREN  
4x  $\phi$ 200mm PE100 SDR11  
LENGTE CA. 82.1m  
[ONTWIKKELDE LENGTE CA. 85m]

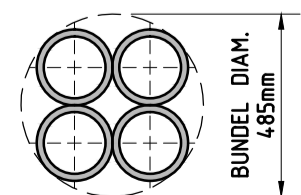


**LANGSDOORSNEDE HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 500



**SONDERINGEN**  
SCHAAL 1 : 200

TE INSTALLEREN (150kV)  
PER BORING  
4x  $\phi$ 200 PE100 SDR11  
2x UITVOEREN



**DOORSNEDE  
HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 20

COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RD		
PUNT OMSCHRIJVING	X	Y
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	100838.49	473902.18
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	100783.95	473840.88
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	100842.23	473898.86
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	100787.69	473837.56

**OPMERKINGEN:**  
-SITUATIE ONTVANGEN VAN OPDRACHTGEVER  
-BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN INGTEKEND A.D.H.V. KLIC GEGEVENS  
-GRONDONDERZOEK AFKOMSTIG VAN FUGRO RAPPORT (OPDR.NR.1010-0117-003)  
-DIEPTE WATERGANGEN GENOMEN VAN LEGGER HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND.

-EXACTE LIGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN VOOR AANVANG WERKZAAMHEDEN NADER TE BEPALEN EN INDIEN NODIG TIJDELIJK OMLEGGEN OF BOORPROFIEL HIEROP AAN TE PASSEN.

Wijz.	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.
3.0	17-07-14	OPMERKINGEN HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND VERWERKT	MHU	JRH
2.0	15-11-13	OPMERKINGEN RFA/RFC VERWERKT	SMA	JRH
1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH

Wijk: Datum: Omschrijving: Get.: Gez.:

**VolkerInfra** Randstad 380 **Tennet** Taking power further

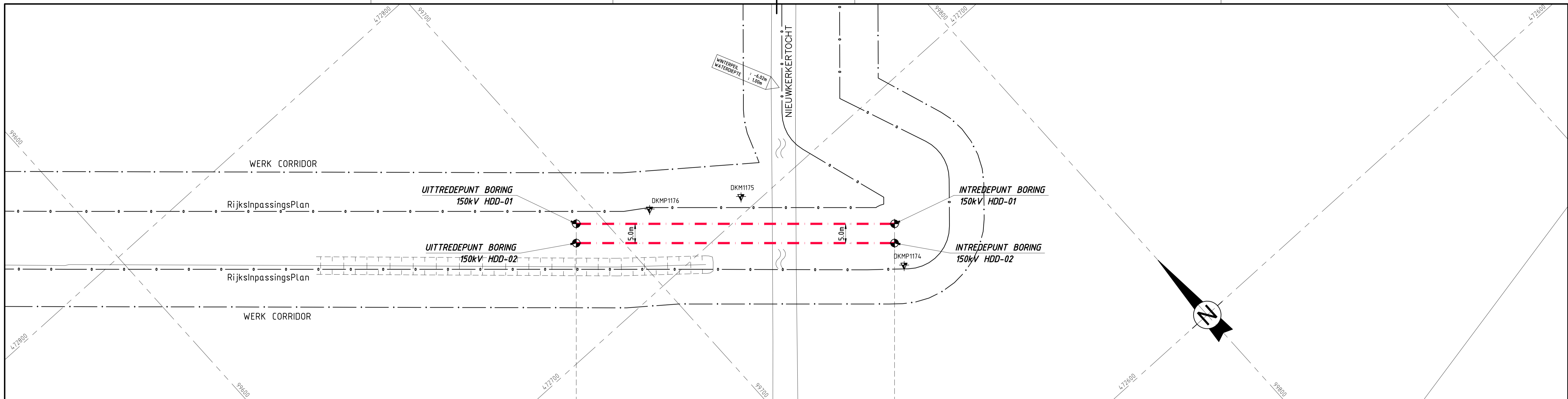
Volker Staal en Funderingen bv  
Quarantaineweg 10  
3089 KP Rotterdam  
Postbus 54548  
3008 KA Rotterdam  
Telefoon 010-2992288  
Telefax 010-2992277  
Handelsreg. Rotterdam 24229578

OPDRACHTGEVER: **TENNET** Bijz.: -  
Schaal: 1 : 500  
Datum: 17-07-14  
Get.: MHU  
Gez.: JRH  
Formaat: A1

PROJECT: **RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV**

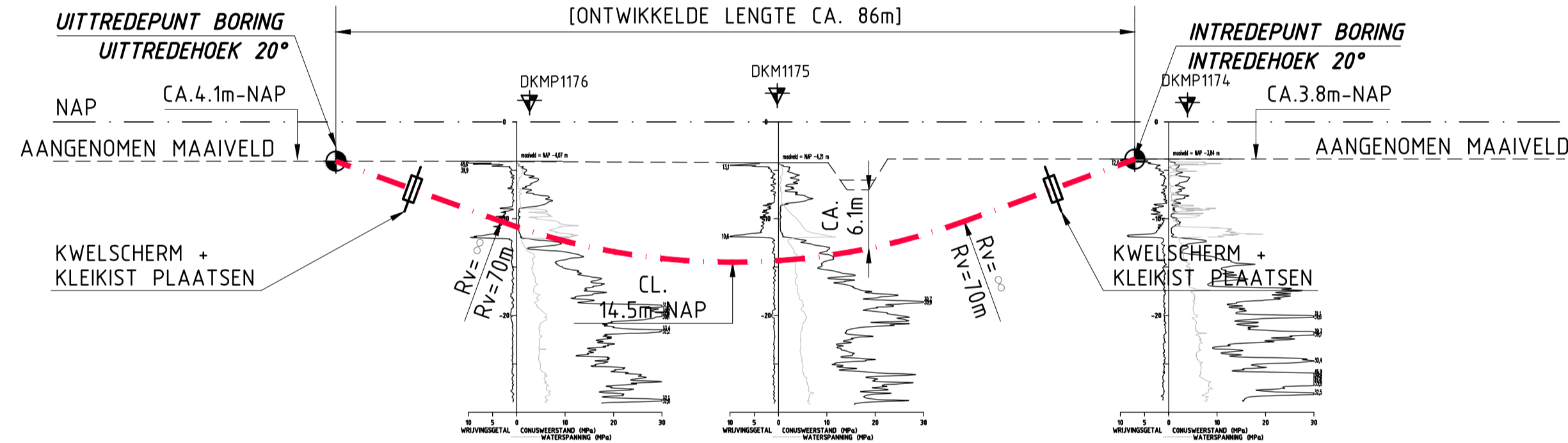
BENAMING: **ALGEMEEN PLAN  
150kV TRACE  
HDD'S ONDER LISSERWEG**

Tekening\_Nr.: **VIR-0.000.510** WJZ.: **3.0**  
Referentie\_Nr.: **TP13141-K-X-10**



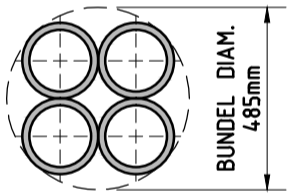
**SITUATIE**  
SCHAAL 1 : 500

HORIZONTAAL GESTUURDE BORING  
[150kV HDD-01&HDD-02] - TE INSTALLEREN  
4x Ø200mm PE100 SDR11  
LENGTE CA. 82.6m  
[ONTWIKKELDE LENGTE CA. 86m]



**LANGDOORSNEDE HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 500

TE INSTALLEREN (150kV)  
PER BORING  
4x Ø200 PE100 SDR11  
2x UITVOEREN



**DOORSNEDE  
HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 20

COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RD

PUNT	OMSCHRIJVING	X	Y
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-01		99755.50	472671.81
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01		99694.14	472727.04
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-02		99752.16	472668.10
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-02		99690.80	472723.33

**OPMERKINGEN:**  
-SITUATIE ONTVANGEN VAN OPDRACHTGEVER  
-BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN INGTEKEND A.D.H.V. KLIC GEGEVENS  
-GRONDONDERZOEK AFKOMSTIG VAN FUGRO RAPPORT (OPDR.NR.1010-0117-003)  
-DIEPTE WATERGANGEN GENOMEN VAN LEGGER HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND.

-EXACTE LIGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN VOOR AANVANG WERKZAAMHEDEN NADER TE BEPALEN EN INDIEN NODIG TIJDELIJK OMLEGGEN OF BOORPROFIEL HIEROP AAN TE PASSEN.

Wijz.	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.
3.0	17-07-14	OPMERKINGEN HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND VERWERKT	MHU	JRH
2.0	15-11-13	OPMERKINGEN RFA/RFC VERWERKT	SMA	JRH
1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH

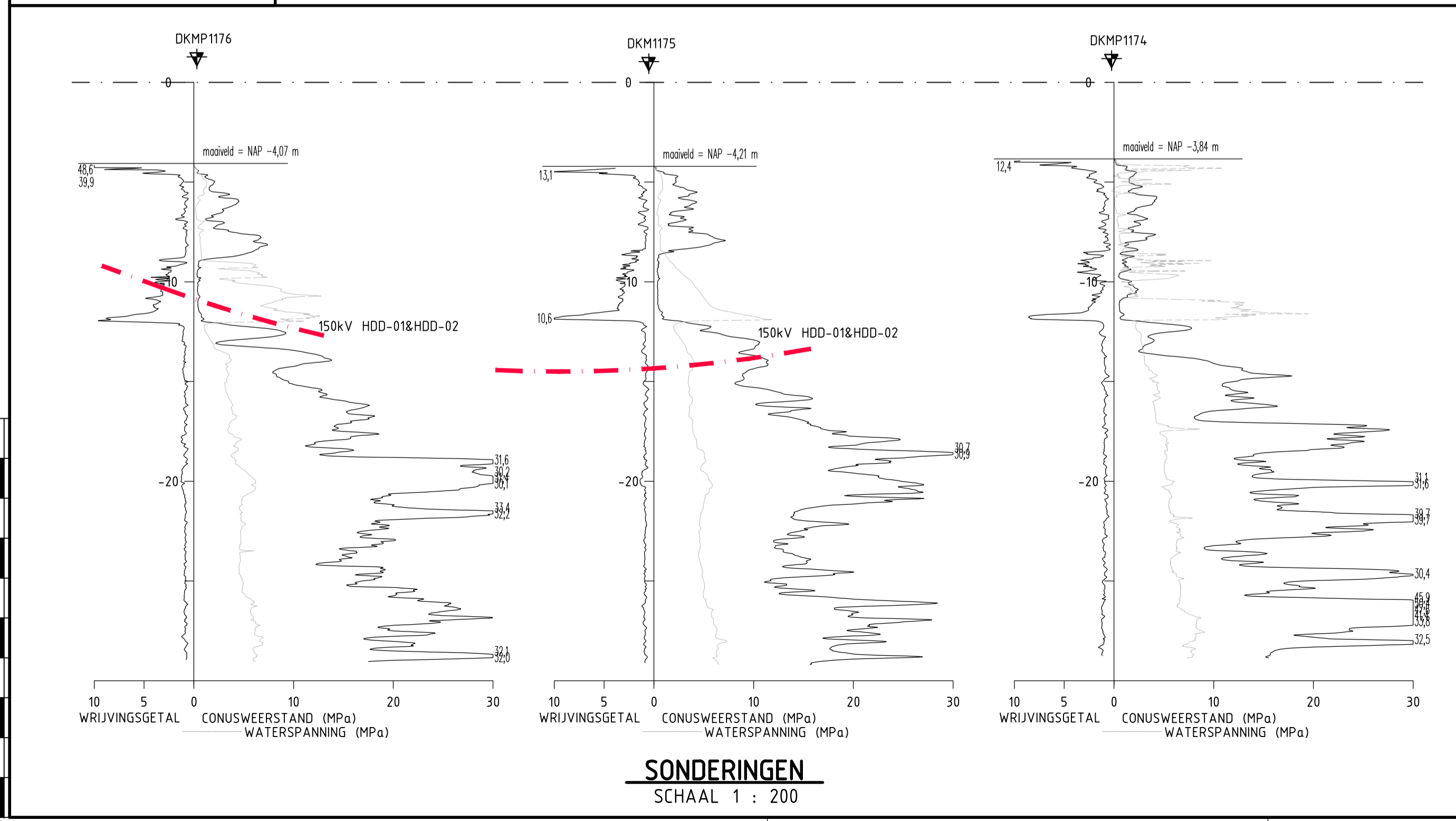
**VolkerInfra** Randstad 380 **Tennet** Taking power further

Volker Staal en Funderingen bv  
Quarantaineweg 10  
3089 KP Rotterdam  
Postbus 54548  
3008 KA Rotterdam  
Telefoon 010-2992288  
Telefax 010-2992277  
Handelsreg. Rotterdam 24229578

OPDRACHTGEVER: TENNET  
PROJECT: RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV  
Bijz.: -  
Schaal: 1 : 500  
Datum: 17-07-14  
Get.: MHU  
Gez.: JRH  
Formaat: A1

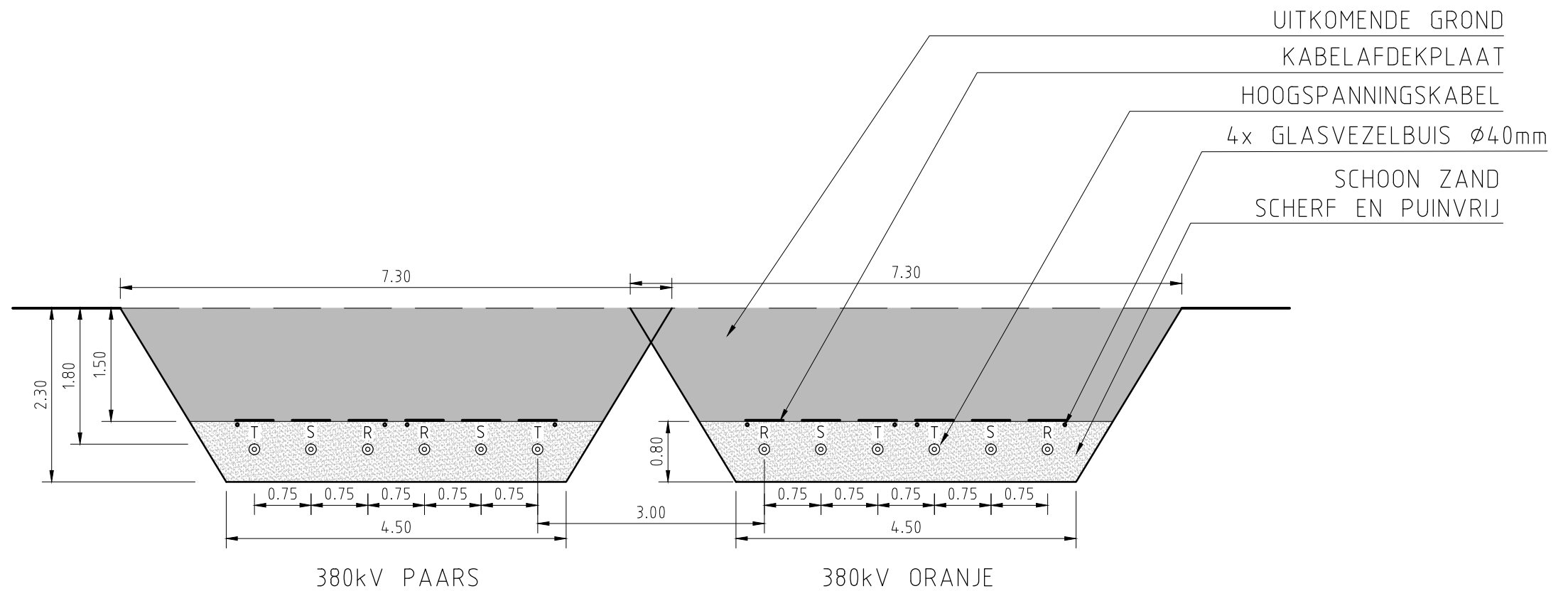
BENAMING: ALGEMEEN PLAN  
150kV TRACE  
HDD'S ONDER NIEUWKERKERTOCHT

Tekening\_Nr.: VIR-0.000.511  
Referentie\_Nr.: TP13141-K-X-11  
Wijz.: 3.0



**SONDERINGEN**  
SCHAAL 1 : 200

10cm  
8cm  
6cm  
4cm  
2cm  
0cm



SLEUFDOORSNEDE 380kV  
OPEN ONTGRAVING  
SCHAAL 1 : 100

LEGENDA:



UITKOMENDE GROND



SCHON ZAND

DOORSNEDE CONFORM  
DOC. ENSOL-RPT-2012.020 REV.2 [PAG. 5]

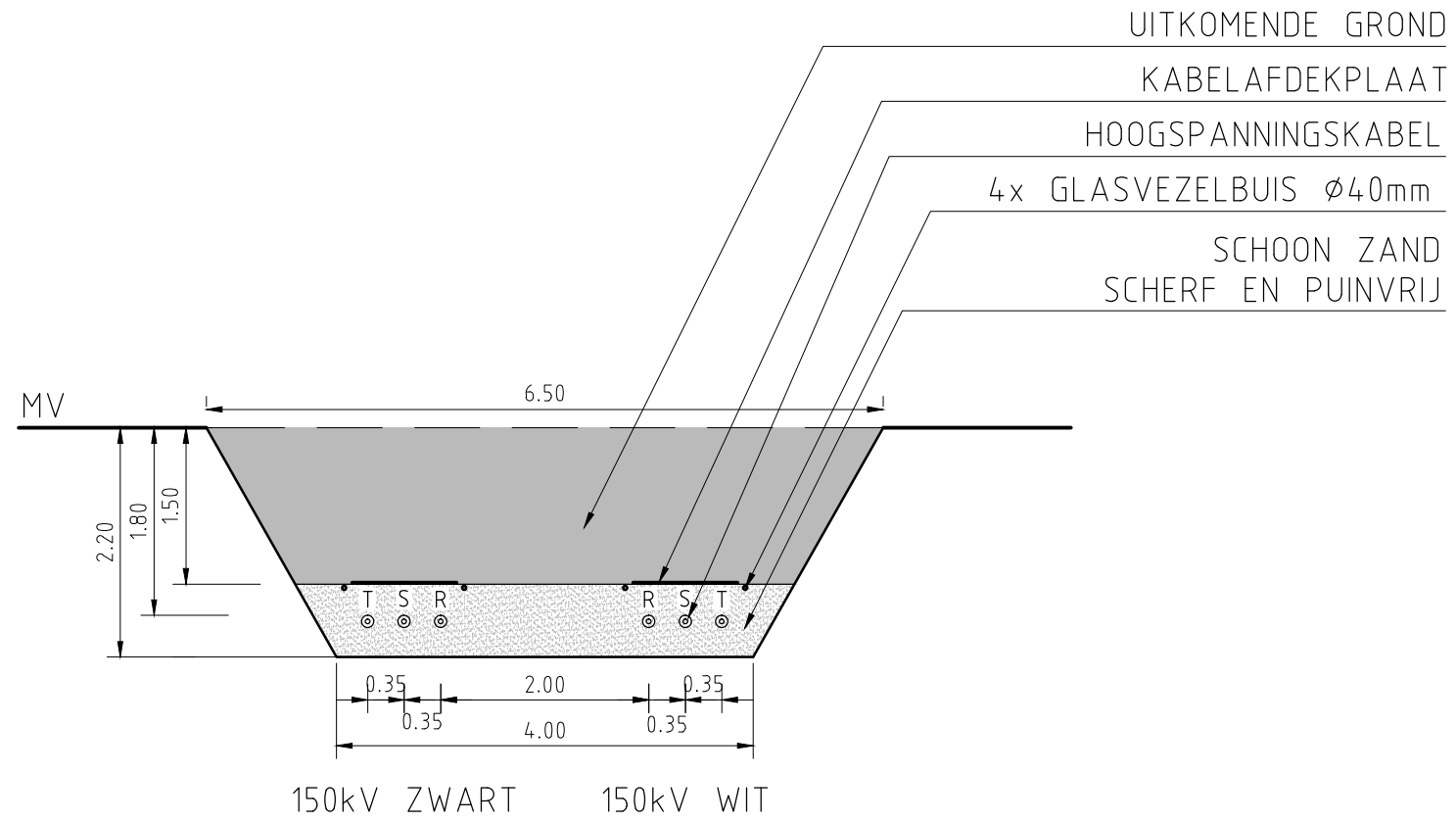
2.0	15-11-13	OPMERKINGEN RFA/RFC VERWERKT	SMA	JRH
1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
Wijz.	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.



Volker Staal en Funderingen bv  
Quarantaineweg 10  
3089 KP Rotterdam  
Postbus 54548  
3008 KA Rotterdam  
Telefoon 010-2992288  
Telefax 010-2992277  
Handelsreg. Rotterdam 24229578

OPDRACHTGEVER :	TENNET	Bijz. :	-
PROJECT :	RANDSTAD NOORD 380kV & 150kV	Schaal :	1 : 100
BENAMING :	PRINCIPE TEKENING SLEUFDOORSNEDE 380kV STATION VIJFHUIZEN-OSP DRIE MERENWEG	Datum :	17-07-13
		Get. :	SMA
		Gez. :	JRH
		Formaat :	A4

Tekening Nr. :	VIR-0.000.512	WIJZ. :	2.0
Referentie Nr. :	TP13141-K-X-21		



SLEUFDOORSNEDE 150kV  
OPEN ONTGRAVING  
SCHAAL 1 : 100

LEGENDA:



UITKOMENDE GROND



SCHOON ZAND

DOORSNEDE CONFORM  
DOC. ENSOL-RPT-2012.020 REV.2 [PAG. 5]

2.0	15-11-13	OPMERKINGEN RFA/RFC VERWERKT	SMA	JRH
1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
Wijz.	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.



Volker Staal en Funderingen bv  
Quarantaineweg 10  
3089 KP Rotterdam  
Postbus 54548  
3008 KA Rotterdam  
Telefoon 010-2992288  
Telefax 010-2992277  
Handelsreg. Rotterdam 24229578

OPDRACHTGEVER : TENNET

PROJECT : RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV

BENAMING :

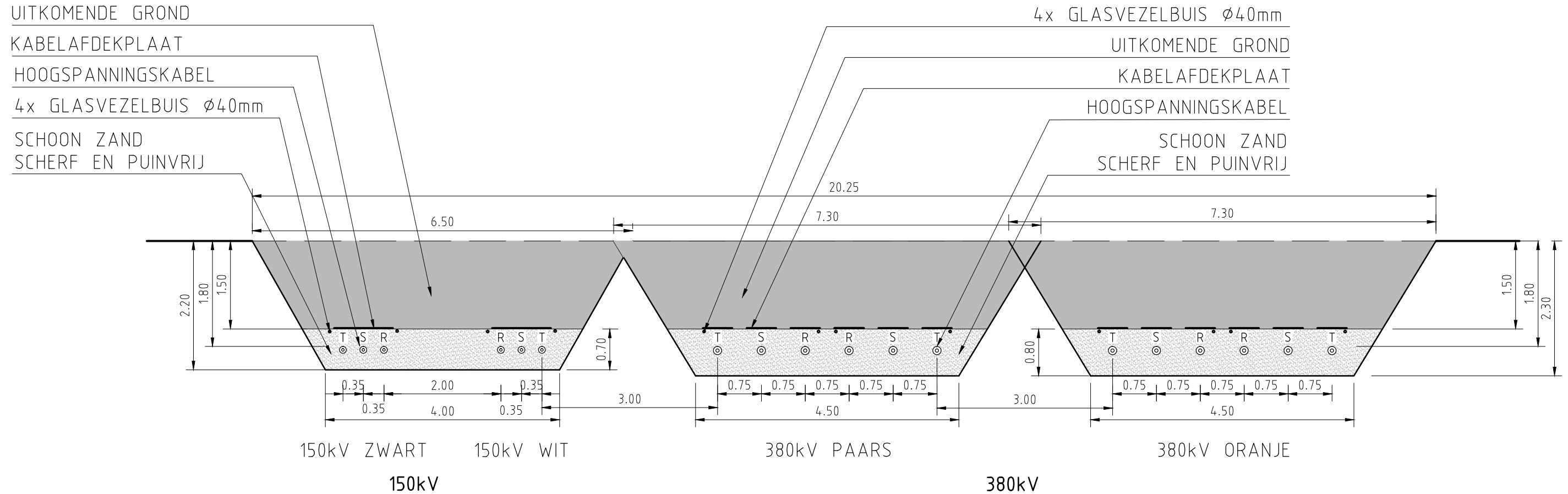
PRINCIPE TEKENING  
SLEUFDOORSNEDE 150kV  
STATION VIJFHUIZEN-OSP DRIE MERENWEG

Bijz. : -  
Schaal : 1 : 100  
Datum : 17-07-13  
Get. : SMA  
Gez. : JRH  
Formaat : A4

Tekening Nr. :  
VIR-0.000.513  
Referentie Nr. :  
TP13141-K-X-22

Wijz. :  
2.0

10cm  
8cm  
6cm  
4cm  
2cm  
0cm



SLEUFDOORSNEDE COMBI 380kV / 150kV  
OPEN ONTGRAVING  
SCHAAL 1 : 100

LEGENDA:



UITKOMENDE GROND



SCHOOON ZAND

DOORSNEDE CONFORM  
DOC. ENSOL-RPT-2012.020 REV.2 [PAG. 5]

2.0	15-11-13	OPMERKINGEN RFA/RFC VERWERKT	SMA	JRH
1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
Wijz.	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.



Volker Staal en Funderingen bv  
Quarantaineweg 10  
3089 KP Rotterdam  
Postbus 54548  
3008 KA Rotterdam  
Telefoon 010-2992288  
Telefax 010-2992277  
Handelsreg. Rotterdam 24229578

OPDRACHTGEVER : TENNET

PROJECT : RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV

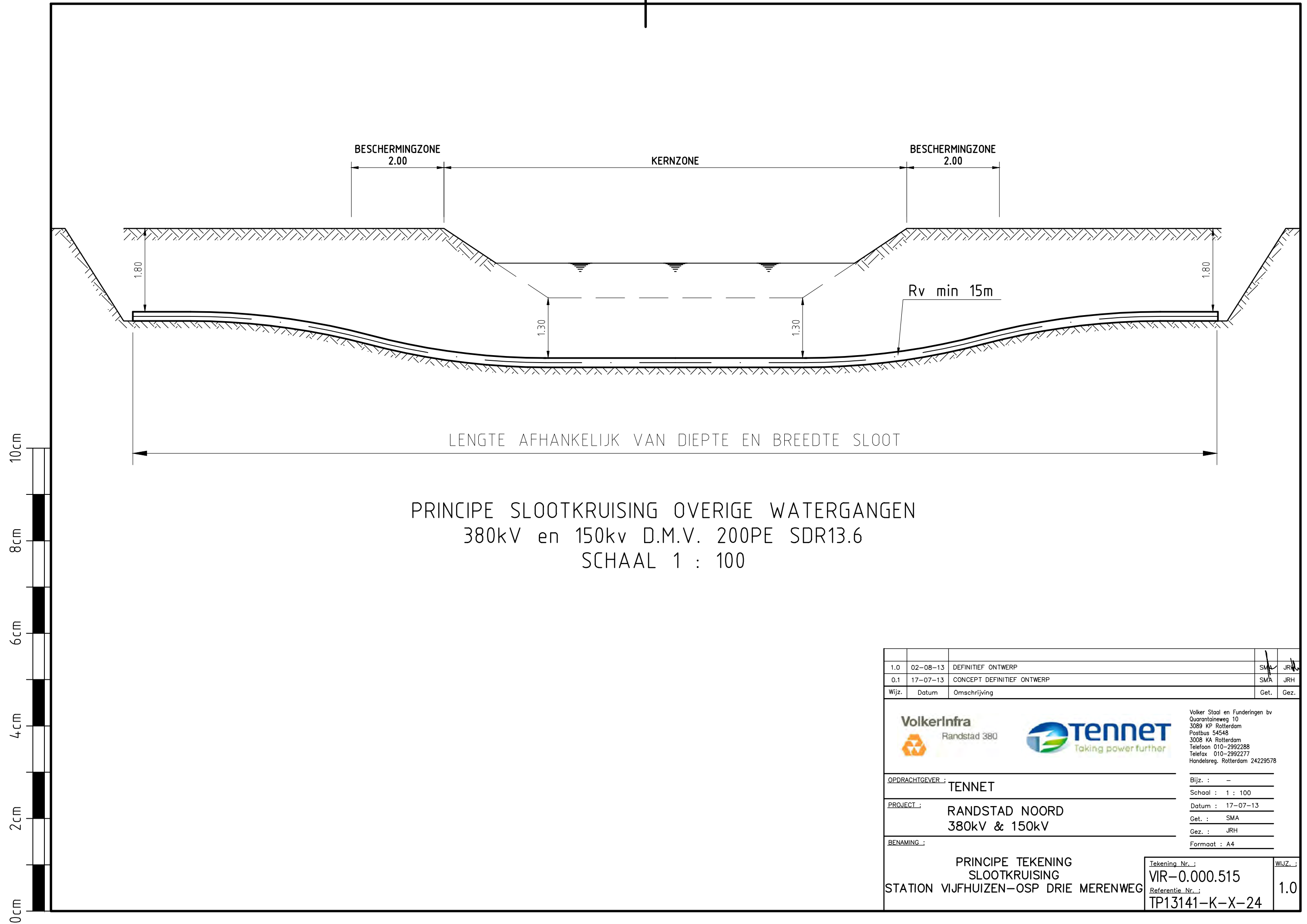
BENAMING :

PRINCIPE TEKENING  
SLEUFDOORSNEDE 380kV 150kV  
STATION VIJFHUIZEN-OSP DRIE MERENWEG

Bijz. : -  
Schaal : 1 : 100  
Datum : 17-07-13  
Get. : SMA  
Gez. : JRH  
Formaat : A4

Tekening Nr. : VIR-0.000.514  
Referentie Nr. : TP13141-K-X-23

WIJZ. : 2.0



PRINCIPE SLOOTKRUISING OVERIGE WATERGANGEN  
 380kV en 150kV D.M.V. 200PE SDR13.6  
 SCHAAL 1 : 100

1.0	02-08-13	DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
0.1	17-07-13	CONCEPT DEFINITIEF ONTWERP	SMA	JRH
Wijz.	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.

**VolkerInfra** Randstad 380 **Tennet** taking power further

Volker Staal en Funderingen bv  
 Quarantaineweg 10  
 3089 KP Rotterdam  
 Postbus 54548  
 3008 KA Rotterdam  
 Telefoon 010-2992288  
 Telefax 010-2992277  
 Handelsreg. Rotterdam 24229578

OPDRACHTGEVER: TENNET  
 PROJECT: RANDSTAD NOORD  
 380kV & 150kV  
 BENAMING: PRINCIPE TEKENING  
 SLOOTKRUISING  
 STATION VIJFHUIZEN-OSP DRIE MERENWEG

Bijz.: -  
 Schaal: 1 : 100  
 Datum: 17-07-13  
 Get.: SMA  
 Gez.: JRH  
 Formaat: A4

Tekening Nr.: VIR-0.000.515  
 Referentie Nr.: TP13141-K-X-24  
 WIJZ.: 1.0



# Berekeningen X-01 HDD kruising Provinciale weg N205 t.h.v. Vijfhuizen

## Civiele Werkzaamheden R380 Noordring Perceel 1: Vijfhuizen – Zuidelijke Ringvaart

**Documentnummer:** : VIR-0.000.516  
**Referentienummer:** : TP13141-doc-01  
**Documentstatus:** : Definitief  
**Datum:** : 15-11-2013  
**Versie:** : 2.0

Opdrachtgever:



Opdrachtnemer:



	Naam	Functie	Paraaf	Datum
Opsteller	M. Hurman	Civil Engineer		15-11-2013
Gecontroleerd	J. Hermus	Groepsleider Civiel		15-11-2013
Gecontroleerd	M. Molema	Disciplineleider		15-11-2013
Geautoriseerd / Vrijgave	M. Roohé	Projectmanager		



## DOCUMENT HISTORIE

Revisie	Omschrijving/Belangrijkste wijzigingen	Datum
0.1	Concept definitief ontwerp	17-07-2013
1.0	Definitief Ontwerp	02-08-2013
2.0	Opmerkingen RFA/ RFC	15-11-2013



## Inhoud

1. Inleiding .....	4
2. Uitgangspunten .....	5
2.1 Algemeen.....	5
2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren .....	5
2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis .....	5
2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase .....	5
2.5 Kwelproblematiek.....	6
2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring.....	6
2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting.....	6
2.5.3 Kwel op lange termijn.....	6
3. Conclusies.....	7
3.1 Muddrukken tijdens boren.....	7
3.2 Sterkte tijdens installeren.....	8
3.2.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens installeren .....	8
3.2.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens installeren .....	8
3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik.....	9
3.3.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens gebruik .....	9
3.3.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens gebruik .....	9
4. Bijlagen .....	10
4.1 Tekening VIR-0.000501, Referentienr. TP13141-K-X-01 .....	10
4.2 Muddrukberekening.....	11
4.3 Trekkrachten berekening .....	12
4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase.....	13
4.5 Grondonderzoek .....	14



## 1. Inleiding

In de Randstad wordt de komende jaren een sterke toename verwacht in de vraag naar electriciteit. Om de elektriciteitsvoorziening in de toekomst veilig te stellen wordt er door TenneT een nieuwe 380kV hoogspanningsverbinding tussen Beverwijk – Vijfhuizen – Bleiswijk – Wateringen gerealiseerd. Dit project wordt Randstad380kV genoemd.

Project Randstad380 Noordring is de tweede fase van het project en bestaat uit een hoogspanningsverbinding van Beverwijk via Vijfhuizen naar Bleiswijk.

Naast de aanleg van een 380kV hoogspanningsverbinding wordt er ook een 150kV hoogspanningsverbinding gerealiseerd. In verband met de aanleg van beide hoogspanningsverbindingen moet de N205 ter hoogte van Vijfhuizen gekruist worden. Deze kruising wordt uitgevoerd door middel van een aantal horizontaal gestuurde boringen. In de boringen worden de volgende mantelbuizen geïnstalleerd:

380kV :

- HDD 01 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 02 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 03 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 04 4x Ø250 PE100 SDR11

150kV :

- HDD 01 4x Ø200 PE100 SDR11
- HDD 02 4x Ø200 PE100 SDR11

In dit rapport worden de voor de boringen benodigde berekeningen uitgevoerd.

*Hiertoe worden de volgende aspecten bekeken:*

- De bij het boren te verwachten muddrukken en de maximaal toelaatbare muddrukken.
- De benodigde trekkracht voor het intrekken van de mantelbuizen en de hierbij optredende spanningen in de buizen.
- De sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase.
- Mogelijke kwelproblematiek.

Bovenstaande berekeningen worden uitgevoerd met spreadsheet-programma's.

*Uitgangspunten van deze berekeningen zijn de normen:*

- NEN 3650-1:2012, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1 algemeen
- NEN 3650-3:2012 ontwerp, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 3 Kunststoffen
- NEN 3651:2012, Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken.

*Grondonderzoek:*

- Gegevens grondonderzoek afkomstig van Fugro, opdrachtnr. 1010-0117-003 Bijlage 4.5

*Bijbehorende tekeningen:*

- Algemeen plantekening op A4 formaat Bijlage 4.1



## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Algemeen

De belangrijkste ontwerpgegevens van de mantelbuizen, die gelden voor de boringen:

Kenmerk	380kV HDD 1 t/m 4	150kV HDD 1 en 2
Materiaal	PE	PE
Kwaliteit	PE100	PE100
Treksterkte	10 N/mm <sup>2</sup>	10 N/mm <sup>2</sup>
Aantal buizen	4	4
Diameter	250 mm	200 mm
Wanddikte	22.7 mm (SDR 11)	18.2 mm (SDR 11)

### 2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren

Voor het afvoeren van de afgeboorde grond is in het boorgat een minimale muddruk nodig. Tevens mag de druk in het boorgat niet groter worden dan de maximaal toelaatbare muddruk. Bij overschrijding van deze druk bestaat het gevaar voor bezwijken van de grond en uitstromen van boorvloeistof aan het maaiveld. Voor de muddrukberekening worden de minst diepe boringen (380kV HDD 1 en 2) als maatgevend beschouwd.

De maximaal toelaatbare muddruk en de minimaal benodigde muddrukken zijn berekend in Bijlage 4.2. De resultaten worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd.

### 2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de mantelbuis in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de buis optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend. Voor de boringen ten behoeve van 380kV worden de langste en diepste boringen (380kV HDD 3 en 4) als maatgevend beschouwd. De trekkrachten van de boringen ten behoeve van 150kV (150kV HDD 1 en 2) worden apart berekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.3. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.

### 2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase

Voor de sterkte van de mantelbuizen worden voor een aantal locaties doorsnedeberendingen gemaakt. De volgende doorsneden worden beschouwd:

380kV:

- Punt met de grootste dekking (ca. 30m-maaiveld), hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.
- Diepte van  $8 \times D_{\text{gat}}$ , hierbij wordt met neutrale gronddruk gerekend.

150kV:

- Punt met de grootste dekking (ca. 23m-maaiveld), hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.
- Diepte van  $8 \times D_{\text{gat}}$ , hierbij wordt met neutrale gronddruk gerekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.4. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.



## 2.5 Kwelproblematiek

In het kader van de kwelproblematiek worden de hieronder vermelde situaties bekeken.

- Tijdens de uitvoering van de boring
- Tijdens het maken van de aansluiting
- Op lange termijn

### 2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring

De intredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van 4.4m-N.A.P. De uittredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van 4.5m-N.A.P. Het hart van de maatgevende boringen (380kV HDD 3 en 4) ligt op het diepste punt op 28m-N.A.P.

Het eerste watervoerende zandpakket ligt op een diepte van ca. 9m-N.A.P. en wordt aangeboord.

Volgens de door de opdrachtgever verstrekte informatie bedraagt de gemiddelde stijghoogte van het spanningswater in het eerste watervoerende pakket ca. 4.1m-N.A.P.

De stijghoogte van het spanningswater is hoger dan het maaiveld niveau.

Op het grensvlak werkt een opwaartse waterdruk van  $(4.1 - 9) \times 10 \text{ kN/m}^3 = 49 \text{ kN/m}^2$

De bentonietkolom oefent bij een bentoniet gewicht van  $12 \text{ kN/m}^3$  een neerwaartse kracht uit van  $(4.5 - 9) \times 12 \text{ kN/m}^3 = 54 \text{ kN/m}^2$

De neerwaartse druk van de bentonietkolom is groter dan de opwaartse waterdruk, er is hiermee geen gevaar voor kwel tijdens de uitvoering van de boringen.

Muduitbraken ter plaatse van de watergangen zijn volgens de berekeningen niet te verwachten (zie hoofdstuk 3 of bijlage 4.2). Kwel vanuit het watervoerende zandpakket naar de watergangen is hierdoor niet te verwachten.

### 2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting

Ten tijde van het maken van de aansluitingen moet tijdelijk een ontgraving van ca. 3m-maaiveld worden gemaakt, waarbij een kwelscherm met kleikist dient te worden aangebracht.

Op het grensvlak werkt een opwaartse waterdruk van  $(4.1 - 9) \times 10 \text{ kN/m}^3 = 49 \text{ kN/m}^2$

De bentonietkolom oefent bij een bentoniet gewicht van  $12 \text{ kN/m}^3$  een neerwaartse kracht uit van  $(7.5 - 9) \times 12 \text{ kN/m}^3 = 18 \text{ kN/m}^2$

Hoewel het gebruik van zwaardere bentoniet een oplossing zou kunnen zijn, kan hier ook met verzwaarde bentoniet geen evenwicht worden bereikt.

Tijdens het maken van de aansluitingen dient daarom kortdurend spanningsbemaling te worden toegepast.

### 2.5.3 Kwel op lange termijn

Zowel aan de intrede- als aan de uittredezijde dienen kwelschermen in kleikisten geplaatst te worden om de kwel op lange termijn te voorkomen.



### 3. Conclusies

#### 3.1 Muddrukken tijdens boren

Overzicht minimum en maximum muddrukken tijdens boren:

Locatie		Afstand tot intredepunt	Minimaal benodigde muddruk (Bijlage 4.2)	Maximaal toelaatbare muddruk (Bijlage 4.2)
IN	Intredepunt	0 m		
A		58 m	180 kN/m <sup>2</sup>	389 kN/m <sup>2</sup>
B		95 m	222 kN/m <sup>2</sup>	478 kN/m <sup>2</sup>
C		123 m	229 kN/m <sup>2</sup>	570 kN/m <sup>2</sup>
D		146 m	235 kN/m <sup>2</sup>	580 kN/m <sup>2</sup>
E		180 m	243 kN/m <sup>2</sup>	560 kN/m <sup>2</sup>
F		213 m	251 kN/m <sup>2</sup>	676 kN/m <sup>2</sup>
G		234 m	257 kN/m <sup>2</sup>	680 kN/m <sup>2</sup>
H		254 m	262 kN/m <sup>2</sup>	529 kN/m <sup>2</sup>
I		280 m	268 kN/m <sup>2</sup>	555 kN/m <sup>2</sup>
J		302 m	274 kN/m <sup>2</sup>	497 kN/m <sup>2</sup>
K		330 m	281 kN/m <sup>2</sup>	547 kN/m <sup>2</sup>
L		352 m	272 kN/m <sup>2</sup>	414 kN/m <sup>2</sup>
M		387 m	209 kN/m <sup>2</sup>	229 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uittredepunt	422 m		

De maximaal toelaatbare muddruk wordt nergens overschreden. Tijdens het boren van de eindfase van de pilot kunnen (na doorsnede M) muduitbraken voorkomen. Tijdens de uitvoering dient hier rekening mee gehouden te worden door in de eindfase van de pilotboring zo weinig mogelijk bentoniet te verpompen met een zo laag mogelijke druk.



### 3.2 Sterkte tijdens installeren

#### 3.2.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

<b>380kV HDD 3 en 4</b>	Smax (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	7,2 N/mm <sup>2</sup>	72 %	
Spanning tijdens intrekken	5,9 N/mm <sup>2</sup>	59 %	
Trekkkracht			454 kN

De mantelbuizen worden leeg in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkkracht van maximaal 45 ton verwacht.

Vanwege implosiegevaar alle mantelbuizen van de boringen (380kV HDD 1 t/m 4) direct na intrekken vullen met water.

#### 3.2.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

<b>150kV HDD 1 en 2</b>	Smax (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	6,8 N/mm <sup>2</sup>	68 %	
Spanning tijdens intrekken	5,5 N/mm <sup>2</sup>	55 %	
Trekkkracht			275 kN

De mantelbuizen worden leeg in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkkracht van maximaal 27 ton verwacht.

Vanwege implosiegevaar alle mantelbuizen van de boringen (150kV HDD 1 en 2) direct na intrekken vullen met water.





### 3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik

#### 3.3.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens gebruik

Overzicht van de berekende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met de grootste dekking:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	0,8 N/mm <sup>2</sup>	10 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		0,9 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,72 m	waterkolom

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met een diepte van  $8xD_{gat}$ :

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	2,3 N/mm <sup>2</sup>	29 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		2,4 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,72 m	waterkolom

Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.

#### 3.3.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens gebruik

Overzicht van de berekende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met de grootste dekking:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	0,7 N/mm <sup>2</sup>	9 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		0,8 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,89 m	waterkolom

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met een diepte van  $8xD_{gat}$ :

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	2,0 N/mm <sup>2</sup>	25 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		2,1 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,89 m	waterkolom

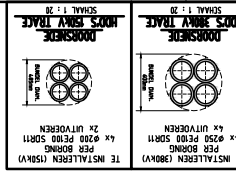
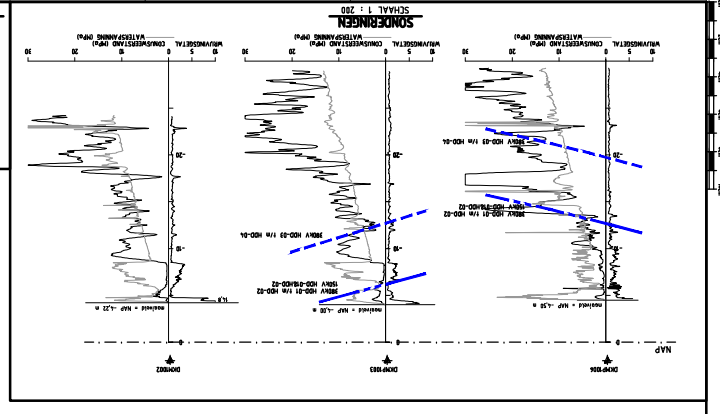
Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.



---

## 4. Bijlagen

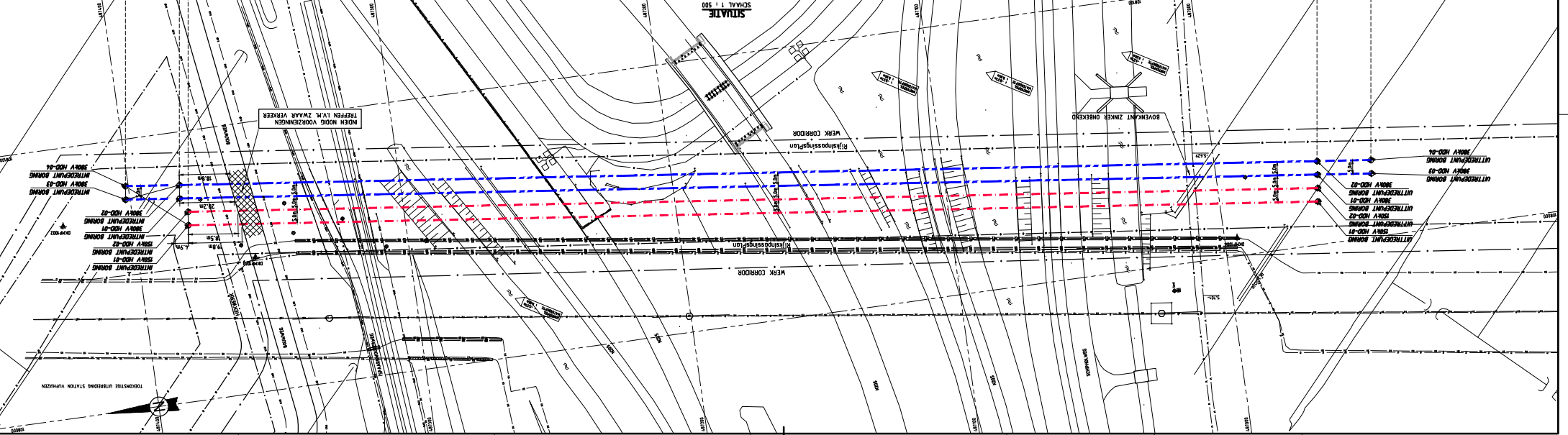
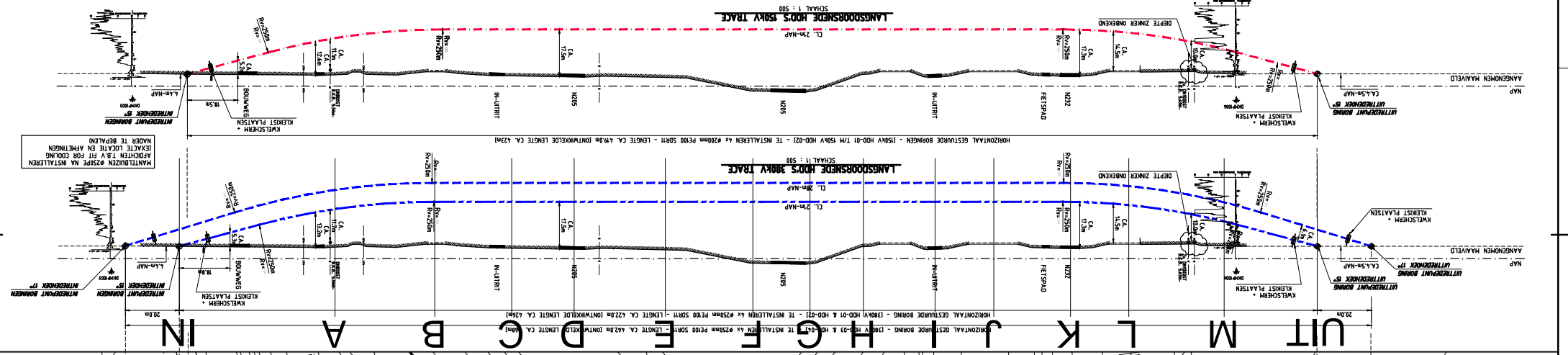
### 4.1 Tekening VIR-0.000501, Referentienr. TP13141-K-X-01



PLANT OMSCHRIJVING	NO	BOORDE	BOORDE	BOORDE	BOORDE
INTERVENTIE BOORING HOD-01	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-02	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-03	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-04	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-05	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-06	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-07	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-08	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-09	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-10	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-11	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-12	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-13	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-14	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-15	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-16	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-17	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-18	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-19	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42
INTERVENTIE BOORING HOD-20	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42	487387.42

ALGEMEEN PLAN  
 380KV & 150KV TRACE  
 RANDSTAD NOORD  
 TENNET  
 380KV & 150KV  
 WOLKENTRA  
 TINET  
 380KV & 150KV  
 HOD'S ONDER ZONES  
 WIR-0,000,501  
 131414-K-X-01  
 20

HORIZONTALE GESTUURDE BOORINGEN - (380KV HOD-01 & HOD-02) - TE INSTALLEN KX Ø250mm P280 SORT - LENGTE CA. 422m (ONTWIKKELD LENGTE CA. 426m)  
 HORIZONTALE GESTUURDE BOORINGEN - (150KV HOD-01 & HOD-02) - TE INSTALLEN KX Ø250mm P280 SORT - LENGTE CA. 678m (ONTWIKKELD LENGTE CA. 679m)  
 HORIZONTALE GESTUURDE BOORINGEN - (150KV HOD-03) - TE INSTALLEN KX Ø250mm P280 SORT - LENGTE CA. 422m (ONTWIKKELD LENGTE CA. 426m)





---

## 4.2 Muddrukberkening

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-01 380kV HDD1 en 2 kruising N205 t.h.v. Vijfhuizen
Berekend door	EHO

Te installeren buis of bundel		
Uitwendige diameter buis/bundel	d	600 mm

Boorstelling		
Type boorstelling		100 ton
Uitwendige diameter pilotbuis	d-uitw.	127 mm
Inwendige diameter pilotbuis	d-inw.	109 mm

Boorvloeistof		
Volumegewicht boorvloeistof	$v_{bo}$	10,50 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht grond / boorvloeistof mengsel	$v_b$	12,00 kN/m <sup>3</sup>
Schijnbare viscositeit	visc	100 MarshFunnelseconden
Yieldpoint boorvloeistof	$y_b$	0,01 kN/m <sup>2</sup>
Viscositeit	eta	0,11 Pas

Boorbuizen		
Lengte boorbuis	L	6 m
Lengte koppeling	L-kopp	0,5 m
Inwendige diameter koppeling	d-kop	89 mm
Nik. Ruwheid	k	1 mm

**SAMENVATTING INVOER/RESULTATEN**

Lokatie	Omschrijving	Afstand tot intredepunt	Diepte cl t.o.v. ref. lijn [m]	Pmin* in pilot gat	Pmax* toelaatbaar in gat tijdens ruimen
IN	Intredepunt	0,0	0,0 m	-	0 kN/m2
A		57,7	-13,8 m	180	389 kN/m2
B		94,7	-16,5 m	222	478 kN/m2
C		123,2	-16,5 m	229	570 kN/m2
D		146,4	-16,5 m	235	580 kN/m2
E		180,2	-16,5 m	243	560 kN/m2
F		212,7	-16,5 m	251	676 kN/m2
G		233,9	-16,5 m	257	680 kN/m2
H		253,7	-16,5 m	262	529 kN/m2
I		280,3	-16,5 m	268	555 kN/m2
J		302,0	-16,5 m	274	497 kN/m2
K		330,4	-16,5 m	281	547 kN/m2
L		352,1	-15,3 m	272	414 kN/m2
M		387,4	-9,3 m	209	229 kN/m2
UIT	Uittredepunt	422,0	-0,1 m	-	0 kN/m2
				Pmin benodigd bij max. mud debiet	
<b>noot *: Pmin in pilot gat vergelijken met Pmax tijdens ruimen is de meest ongunstige benadering</b>					

**Berekening van de maximaal toelaatbare boorvloei­stof­druk­ken P'max  
volgens NEN 3650-1:2003 bijlage E.2**

**INVOER/UITVOER**

Lokatie	IN	A	B	C	D
Grondsoort (zand / klei)	-	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	-	<b>14,1</b>	<b>14,7</b>	<b>17,2</b>	<b>17,6</b> m
Diepte water onder mv (+)	-	<b>1,6</b>	<b>-0,5</b>	<b>2</b>	<b>2,3</b> m
Hoek inwendige wrijving	-	<b>27,5</b>	<b>30</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b> gr
Volumegewicht nat	-	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>20</b> kN/m3
Volumegewicht droog	-	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>18</b> kN/m3
Cohesie	-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	-	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	-	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b> MPa
Rpmax	-	0,45	0,53	0,44	0,43 m
Elasticiteitsmodulus	-	9500	15200	15200	15200 kN/m2
P'max in gat	-	389	478	570	580 kN/m2

Location	E	F	G	H	I
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	<b>17,8</b>	<b>22,8</b>	<b>23</b>	<b>16,6</b>	<b>17,6</b> m
Diepte water onder mv (+)	<b>2,5</b>	<b>7,5</b>	<b>7,7</b>	<b>1,4</b>	<b>2,4</b> m
Hoek inwendige wrijving	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b> gr
Volumegewicht nat	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b> kN/m3
Volumegewicht droog	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b> kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b> MPa
Rpmax	0,45	0,37	0,37	0,47	0,45 m
Elasticiteitsmodulus	15200	15200	15200	15200	15200 kN/m2
P'max in gat	560	676	680	529	555 kN/m2

Location	J	K	L	M	UIT
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	-
Gronddekking	<b>15,2</b>	<b>17,3</b>	<b>14</b>	<b>9,2</b>	- m
Diepte water onder mv (+)	<b>-0,5</b>	<b>2,1</b>	<b>-0,5</b>	<b>1,1</b>	- m
Hoek inwendige wrijving	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>30</b>	<b>27,5</b>	- gr
Volumegewicht nat	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	- kN/m3
Volumegewicht droog	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	- kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	- kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	-
CPT Conusweerstand: qc	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	- MPa
Rpmax	0,51	0,46	0,43	0,35	- m
Elasticiteitsmodulus	15200	15200	9500	3800	- kN/m2
P'max in gat	497	547	414	229	kN/m2



---

### 4.3 Trekrachten berekening

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de leiding in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN 3650-1:2012 gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de leiding optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.

# Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

## INVOER

### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-01 150kV HDD 1 en 2 kruising N205 t.h.v. Vijfhuizen
Berekend door	EHO

### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	200 mm
Wanddikte	$d$	18,2 mm
Dikte externe coating	$c-e$	0 mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0 kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0 mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0 kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY buizen met flexibele verbindingen		pe100
Elasticiteitsmodulus	E	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	$sg$	955 kg/m <sup>3</sup>
		nee

### Maatvoering

Schets			
Lengte boring	L	423 m	
Afstand	A-B	31 m	
Afstand	A-C	96 m	A-H1 96 m
Afstand	A-D	326 m	A-H2 326 m
Afstand	A-E	391 m	
Afstand	A-F	423 m	
Straal boor profiel	$R_1$	250 m	excl. 10% marge
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	0	
Straal boor profiel	$R_2$	250 m	excl. 10% marge
Straal rollenbaan	$R_3$	50 m	
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	15 graden	(bij punt A)
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0 graden	(+ naar beneden ri. rig zijde)
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	0 graden	
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	15 graden	(bij punt F)
Aantal buizen	aantal, n	4 buis/buizen	--
Bundel gekoppeld		nee	
Buisvulling in boorgat	leeg		Buisvulling (water) ook op rolstellen nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012	
Pipe Pusher capaciteit	0 kN	nee	
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen		nee	

## SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	275 kN	27 ton
SI max in boorgat	SI	6,8 N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	5,5 N/mm <sup>2</sup>	
		67,9 % S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>



## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2 ,f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

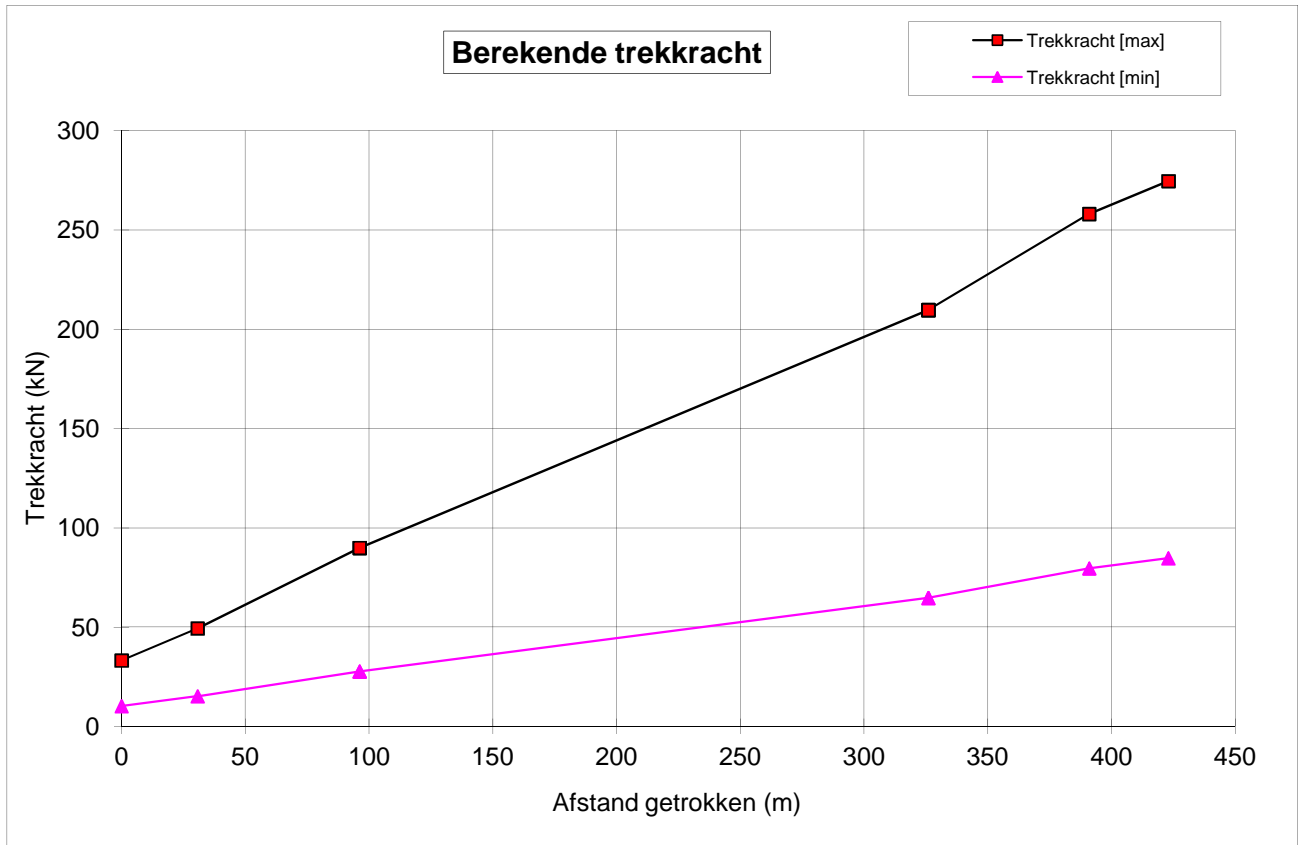
Diverse gegevens					
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel		10 N/mm <sup>2</sup>		
Soortelijk gewicht bentoniet	sg		1200 kg/m <sup>3</sup>		
Doorsnedeoppervlak	Abuis		10395 mm <sup>2</sup>		per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel			0 mm <sup>3</sup>		
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel			0 mm <sup>4</sup>		
Weerstandmoment	W		433754 mm <sup>3</sup>		per buis
Traagheidsmoment	I		43375426 mm <sup>4</sup>		per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>		1735017 mm <sup>3</sup>	voor:	4 buis/buiz
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>		173501703 mm <sup>4</sup>	voor:	4 buis/buiz
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g	omlaag	0,3971 kN/m1streng		"
gewicht vull x aantal buizen	g vull	omhoog	0,0000 kN/m1streng		"
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra	omhoog	0,0000 kN/m1streng		"
opdrijving x aantal buizen	g opw	omhoog	-1,5080 kN/m1streng		"
g eff in gat = g-gopw	g eff	omhoog	-1,1109 kN/m1streng		"
g eff op rolstellen	g eff	omlaag	0,3971 kN/m1streng		"
$\lambda = \sqrt{\sqrt{(k_v \times B / 4 / E / I)}}$	$\lambda$		0,002244 mm <sup>-1</sup>		
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>		0,04 N/mm <sup>3</sup>		"
Oplegbreedte van de bundel	B		528 mm		
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_1$	Q <sub>r1</sub>		0,0028 N/mm <sup>2</sup>		"
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_h$	Q <sub>rh</sub>		0,0000 N/mm <sup>2</sup>		"
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_2$	Q <sub>r2</sub>		0,0028 N/mm <sup>2</sup>		"
Reductiefactor voor bundel = $n \times 1/n^{0.3}$	b'		2,639 x Omtrek van een buis		

Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	423	392	327	327	97	97	32	0	
T <sub>1</sub> (kN)	18,48	17,14	14,27	14,27	4,24	4,24	1,40	0	
L <sub>2</sub> (m)	0	31	66	0	230	0	65	32	
T <sub>2</sub> (kN)	0	10,30	21,98	0,00	77,12	0,00	21,81	10,74	
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	0,92	0,00	0,00	0,00	0,92	0	
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	2,45	2,45	1,93	1,93	8,87	9	
F x f (totale kracht, kN)	18	27	50	50	116	116	143	153	
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	33	49	90	90	210	210	258	275	
<i>De te verwachten trekkracht ligt tussen</i>			<i>85 kN en 275 kN</i>						
<i>De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk</i>							<i>305 kN</i>		
<i>De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid</i>									

Spanningen in boorgat								
Totale spanning in boorgat								
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	0,8	1,2	2,2	2,2	5,0	5,0	6,2	6,6
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
SI tot	0,8	1,2	2,7	2,2	5,0	5,0	6,8	6,6

Spanningen op rollenbaan			
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling			
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R	Sr	2,6 N/mm <sup>2</sup>	
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>	M	3,6 kNm	total
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal	SI	5,5 N/mm <sup>2</sup>	

# GRAFIEK



## Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

### INVOER

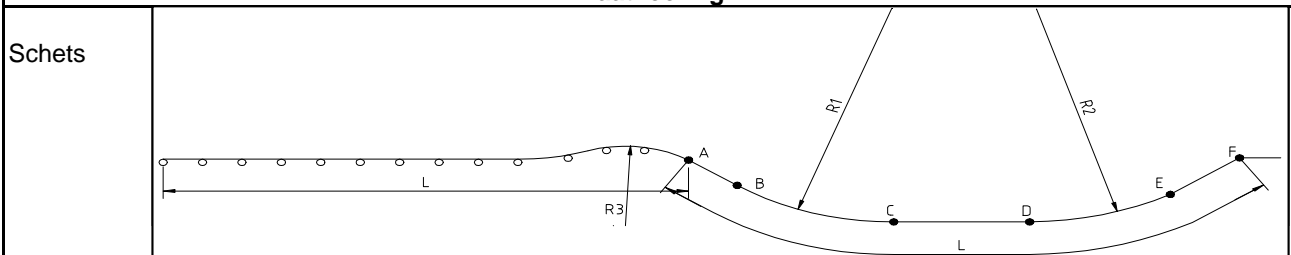
#### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-01 380kV HDD 3 en 4 kruising N205 t.h.v. Vijfhuizen
Berekend door	EHO

#### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	250 mm
Wanddikte	$d$	22,7 mm
Dikte externe coating	$c-e$	0 mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0 kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0 mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0 kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY buizen met flexibele verbindingen		pe100
Elasticiteitsmodulus	E	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	$sg$	955 kg/m <sup>3</sup>
		nee

#### Maatvoering



Lengte boring	L	468 m		
Afstand	A-B	43 m		
Afstand	A-C	117 m	A-H1	117 m
Afstand	A-D	351 m	A-H2	351 m
Afstand	A-E	425 m		
Afstand	A-F	468 m		
Straal boor profiel	$R_1$	250 m		excl. 10% marge
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	0		
Straal boor profiel	$R_2$	250 m		excl. 10% marge
Straal rollenbaan	$R_3$	50 m		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	17 graden		(bij punt A)
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0 graden		(+ naar beneden ri. rig zijde)
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	0 graden		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	17 graden		(bij punt F)
Aantal buizen	aantal, n	4 buis/buizen		--
Bundel gekoppeld		nee		
Buisvulling in boorgat	leeg		Buisvulling (water) ook op rolstellen	nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012		
Pipe Pusher capaciteit	0 kN	nee		
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen		nee		

### SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	454 kN	45 ton
SI max in boorgat	SI	7,2 N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	5,9 N/mm <sup>2</sup>	
		72,4 % S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>

## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2 ,f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

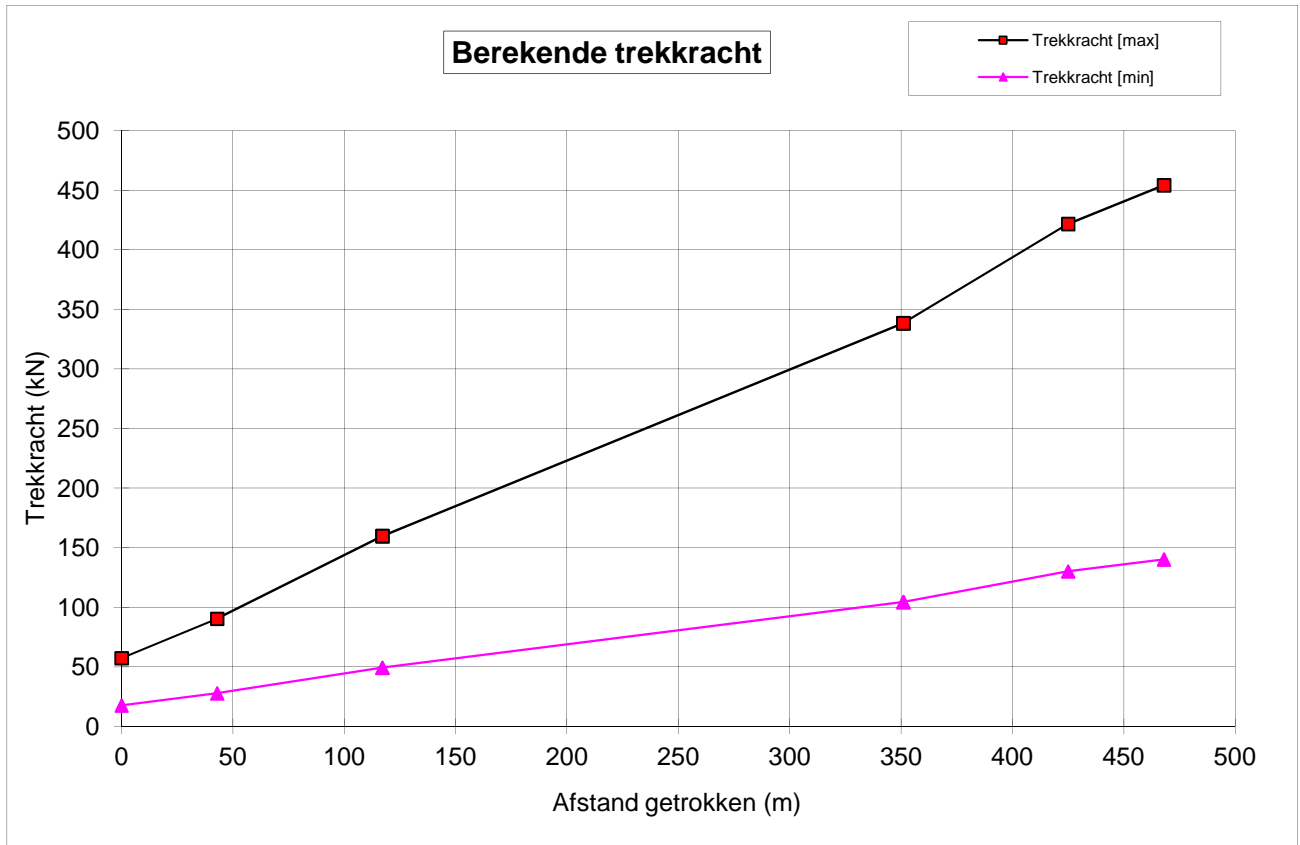
Diverse gegevens					
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel		10 N/mm <sup>2</sup>		
Soortelijk gewicht bentoniet	sg		1200 kg/m <sup>3</sup>		
Doorsnedeoppervlak	Abuis		16210 mm <sup>2</sup>		per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel			0 mm <sup>3</sup>		
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel			0 mm <sup>4</sup>		
Weerstandmoment	W		845832 mm <sup>3</sup>		per buis
Traagheidsmoment	I		105728989 mm <sup>4</sup>		per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>		3383328 mm <sup>3</sup>	voor:	4 buis/buiz
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>		422915957 mm <sup>4</sup>	voor:	4 buis/buiz
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g	omlaag	0,6192 kN/m1streng		"
gewicht vull x aantal buizen	g vull	omhoog	0,0000 kN/m1streng		"
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra	omhoog	0,0000 kN/m1streng		"
opdrijving x aantal buizen	g opw	omhoog	-2,3562 kN/m1streng		"
g eff in gat = g-gopw	g eff	omhoog	-1,7370 kN/m1streng		"
g eff op rolstellen	g eff	omlaag	0,6192 kN/m1streng		"
$\lambda = \text{sqrt}(\text{sqrt}(k_v \times B / 4 / E / I))$	$\lambda$		0,001899 mm <sup>-1</sup>		
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>		0,04 N/mm <sup>3</sup>		"
Oplegbreedte van de bundel	B		660 mm		
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B / R_1$	Q <sub>r1</sub>		0,0040 N/mm <sup>2</sup>		"
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B / R_h$	Q <sub>rh</sub>		0,0000 N/mm <sup>2</sup>		"
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B / R_2$	Q <sub>r2</sub>		0,0040 N/mm <sup>2</sup>		"
Reductiefactor voor bundel = $n \times 1/n^{0.3}$	b'		2,639 x Omtrek van een buis		

Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	468	425	351	351	117	117	43	0	
T <sub>1</sub> (kN)	31,88	28,95	23,90	23,90	7,97	7,97	2,93	0	
L <sub>2</sub> (m)	0	43	74	0	234	0	74	43	
T <sub>2</sub> (kN)	0	21,28	36,81	0,00	116,05	0,00	36,71	21,33	
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	1,91	0,00	0,00	0,00	1,91	0	
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	4,90	4,90	3,96	3,96	16,69	16	
F x f (totale kracht, kN)	32	50	89	89	188	188	234	252	
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	57	90	160	160	338	338	422	454	
De te verwachten trekkracht ligt tussen			140 kN	en	454 kN				
De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk							505 kN		
De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid									

Spanningen in boorgat								
Totale spanning in boorgat								
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	0,9	1,4	2,5	2,5	5,2	5,2	6,5	7,0
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0
SI tot	0,9	1,4	3,2	2,5	5,2	5,2	7,2	7,0

Spanningen op rollenbaan			
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling			
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R	Sr	3,3 N/mm <sup>2</sup>	
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>	M	5,7 kNm	total
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal	SI	5,9 N/mm <sup>2</sup>	

# GRAFIEK





---

## 4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-01 150kV HDD1 en 2, punt met diepte van 8x de gatdiameter</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>18,20</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV 0,5x load model 2</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>0</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>nvt</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>5,1</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>17</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>neutraal</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>1,1</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>27,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		ja	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		0 mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	1000 kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	G	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	E'	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	E	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		veld	

Langsspanningen indien van toepassing			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters	Sq bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters		0	
		0	
		0	
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	0,00 N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>rechte leiding onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	ix	1	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	0	>=0

Overige gegevens			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	502,38 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	55,21 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	90,9 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	181,8 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	d	18,2 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,21 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,10 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	18,2 mm	
Weerstandmoment van de buis	W	0,43 *10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	I	43,38 *10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	f	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	f	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,1160 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor



## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	2,0	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	25 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	2,1 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Qn	f	1,10
Totaal factor Qp	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	9,34 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	9,34 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa      veen: 0,2; klei:1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		10 mm
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		8 mm
$z_{\text{max reken}}$		10 mm
$q_n$	0,0467	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	0,1658	N/mm <sup>2</sup> Qp met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$		0,1191 N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$		0,012027 N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel		0,058 N/mm <sup>3</sup>
u		0,1      autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$		20 mm
u x $D_o \leq z_{\text{max reken}}$		10 mm
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,137	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$		27,46 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP Qk is hoger dan Qp

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$		0 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$		0 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	14 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	0 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	35,0 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	18,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	5,1 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	14,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma' - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,20 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,43
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	10,16 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	1,39 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond}$ reken	$Q \times f$	10,27 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	9,48 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	1,50 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,30 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
$K_n$	$K_n$	0,54	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	4,56 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_{y2}/2 \times \sin 60$		12,68 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	6,01 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	3,83 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	3,83 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,64
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,64
	$d_{y1}/2$	3,01 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  4,56 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  4,56 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  4,56 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  4,56 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_n$	4,56 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	4,56 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	0,33 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	-0,25 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	4,10 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	4,10 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m$ , toel	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	--------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$Q_{grond}$	10,27 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	
$S_q$ bodem	3,97 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top	2,50 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden	-2,57 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_v) / E' l_w))$		
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q$ bodem	3,97 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	2,50 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-2,57 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$Q_{h,grond}$	4,10 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	
$S_q$ bodem	-0,97 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top	-0,97 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden	0,97 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$Q_{h,grond}$	4,10 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	
$S_q$ bodem	-0,97 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top	-0,97 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden	-0,97 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	1,50 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,30 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,12 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,08 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,12 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,12 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,12 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuurverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,11121E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	nvt	
	$S_{rl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 \cdot S \cdot De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D \left( (0.113 \cdot Q - 0.096 \cdot 0.866 \cdot Q_{n,h} + 0.071 \cdot Q_{indir}) \cdot rg^3 \right) / (E' \cdot lw + 0.061 \cdot kh \cdot rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	4,3 mm	
	2,1 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E \cdot lw / Dg^3$	25,08 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,91 N/mm <sup>2</sup> 19,11 bar 191,11 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,39 bar 23,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	3,97	2,50	2,57 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,97	-0,97	-0,97 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,12	0,07	0,08 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	3,12	1,61	1,68 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a \cdot i_x \cdot S_{b,x} + S_{T;x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a \cdot (S_y max + i_y \cdot S_{b,x})$	2,03	1,05	1,09 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	25	13	14 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	2,1 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%



**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-01 150kV HDD1 en 2, punt met grootste dekking</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>18,20</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV load model 3</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>0</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>nvt</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>23,2</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>18</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>gered. pleistoceen</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>7,2</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>35</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		ja	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		0 mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	1000 kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	G	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	E	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		veld	

Langsspanningen indien van toepassing			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model (+ is trek)			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters	Sq bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters		0	
		0	
		0	
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	0,00 N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		rechte leiding onder-bocht	
Spanningsverhogende factor	ix	1	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	0	>=0

Overige gegevens			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	502,38 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	55,21 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	90,9 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	181,8 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	d	18,2 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,21 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,10 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	18,2 mm	
Weerstandsmoment van de buis	W	$0,43 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	I	$43,38 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	f	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	f	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,1160 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	0,7	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	9 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	0,8 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor $Q_n$	f	1,10
Totaal factor $Q_p$	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	51,52 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	51,52 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		5 mm
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		4 mm
$z_{\text{max}} \text{ reken}$		5 mm
$q_n$	0,2576	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	3,2458	N/mm <sup>2</sup> $Q_p$ met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	2,9882	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,643669	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058	N/mm <sup>3</sup>
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2012 C.4.2.3
u x $D_o$	20	mm
u x $D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$	5	mm
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,268	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	53,66	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP  $Q_k$  is hoger dan  $Q_p$

#### Berekening gereduceerde gronddrukken

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	14 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	0 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	35,0 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	18,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	23,2 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	14,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma' - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,20 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,43
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	11,10 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	1,52 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. pleistoceen	
$Q_{grond}$ reken	$Q \times f$	1,67 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	51,68 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	7,50 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	1,50 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,43	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	19,64 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_{y2}/2 \times \sin 60$		4,38 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	2,08 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	-7,32 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	-7,32 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	-3,52
	$d_{y2}'/d_{y1}$	-3,52
	$d_{y1}/2$	1,04 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  19,64 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  19,64 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  19,64 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  19,64 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_n$	19,64 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	19,64 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen		0,36 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene		-0,25 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	$Q_{h,n,r}$	0,36 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos		0,32 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{ toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	---------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$Q_{grond}$	1,67 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	0,64 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,41 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,42 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$			
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q \text{ bodem}$	0,64 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ top}$	0,41 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ zijden}$	-0,42 N/mm <sup>2</sup>	

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	0,32 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	-0,08 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-0,08 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,08 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	7,50 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	1,50 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q \text{ bodem}$	0,58 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,37 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,38 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,58 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,58 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,58 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,11121E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	nvt	
	$S_{rl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>



Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * I_w + 0.061 * k_h * r_g^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	1,6 mm	
	0,8 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * I_w / Dg^3$	25,08 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,91 N/mm <sup>2</sup> 19,11 bar 191,11 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,39 bar 23,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	0,64	0,41	0,42 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,08	-0,08	-0,08 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,58	0,37	0,38 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	1,15	0,70	0,72 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_y max + i_y * S_{b,x})$	<b>0,75</b>	<b>0,45</b>	<b>0,47</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	9	6	6 % < 100%

Deflectie	
Deflectie	0,8 % van uitwendige diameter

Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis			
Spanningen in omtreksrichting	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in langsrichting	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b;x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b;x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-01 380kV HDD3 en 4, punt met diepte van 8x de gatdiameter</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>250</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>250</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>22,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV 0,5x load model 2</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>0</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>nvt</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>6</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>17</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>neutraal</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>1,1</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,049</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0343</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>27,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		ja	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		0 mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	1000 kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	G	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	E	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		veld	

Langsspanningen indien van toepassing			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters	Sq bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters		0	
		0	
		0	
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	0,00 N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		rechte leiding onder-bocht	
Spanningsverhogende factor	ix	1	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	0	>=0

Overige gegevens			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	974,76 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	85,88 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	113,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	227,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	d	22,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,33 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,15 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,49 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	22,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	W	$0,85 * 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	I	$105,73 * 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	f	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	f	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0980 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0583 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	2,3	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	29	% toetswaarde <100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	2,4 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,72 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0441 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0309 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Qn	f	1,10
Totaal factor Qp	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	13,25 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	13,25 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal	veen	
E-modulus aanvulmateriaal	1 MPa	veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	13 mm	
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	10 mm	
$z_{\text{max reken}}$	13 mm	
$q_n$	0,0530	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	0,1802	N/mm <sup>2</sup> <span style="margin-left: 20px;">Qp met <math>f_m = 0,10</math></span>
$q_p - q_n$	0,1272	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,009970	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,049	N/mm <sup>3</sup>
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2012 C.4.2.3
u x $D_o$	25 mm	
u x $D_o \leq z_{\text{max reken}}$	13 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,150	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	37,43	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP Qk is hoger dan Qp

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	14 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	0 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,20 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	35,0 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	18,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	6,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,31 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	14,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma' - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,26 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,43
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	9,83 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	2,10 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond}$ reken	$Q \times f$	14,58 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	13,47 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	1,25 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,54	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	6,42 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_{y2}/2 \times \sin 60$		18,94 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	8,50 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	5,41 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	5,41 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,64
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,64
	$d_{y1}/2$	4,25 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  6,42 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  6,42 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  6,42 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  6,42 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_n$	6,42 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	6,42 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen		0,49 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene		-0,32 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	$Q_{h,n,r}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos		5,78 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk		5,78 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f



#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m$ , toel	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	--------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$Q_{grond}$	14,58 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	4,53 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	2,85 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-2,93 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$			
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q$ bodem	4,53 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ top	2,85 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ zijden	-2,93 N/mm <sup>2</sup>	

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h,grond}$	5,78 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	-1,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-1,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	1,09 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h,grond}$	5,78 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	-1,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-1,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-1,09 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	1,25 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,06 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,06 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,10 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		1,38962E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	nvt	
	$S_{rl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	20,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * I_w + 0.061 * k_h * r_g^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	6,0 mm	
	2,4 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * I_w / Dg^3$	24,90 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,90 N/mm <sup>2</sup> 18,97 bar 189,72 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,37 bar 23,72 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	4,53	2,85	2,93 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-1,09	-1,09	-1,09 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,10	0,06	0,06 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	3,53	1,82	1,90 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_y max + i_y * S_{b,x})$	2,30	1,18	1,23 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	29	15	15 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	2,4 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-01 380kV HDD3 en 4, punt met grootste dekking</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>250</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>250</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>22,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV load model 3</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>0</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>nvt</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>30</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>18</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b>	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>gered. pleistoceen</b>	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>7,2</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,049</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0343</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>35</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>veld</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>rechte leiding onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	974,76 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	85,88 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	113,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	227,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	22,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,33 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,15 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,49 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	22,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,85 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$105,73 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0980 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0583 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	0,8	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	10 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	0,9 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,72 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0441 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0309 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Qn	f	1,10
Totaal factor Qp	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	78,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	78,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa      veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		6 mm
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		5 mm
$z_{\text{max}} \text{ reken}$		6 mm
$q_n$	0,3120	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	4,0560	N/mm <sup>2</sup> Qp met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	3,7440	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,656215	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,049	N/mm <sup>3</sup>
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2012 C.4.2.3
u x $D_o$	25 mm	
u x $D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$	6 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,282	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	70,46	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

#### Berekening gereduceerde gronddrukken

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	14 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	0 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,20 m



Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	35,0 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	18,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	30,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,31 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	14,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma' - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,26 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,43
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	10,40 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	2,22 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. pleistoceen	
$Q_{grond}$ reken	$Q \times f$	2,44 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	78,25 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	7,50 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	1,88 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,43	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	29,59 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_y/2 \times \sin 60$		6,28 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	2,82 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	-11,44 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	-11,44 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	-4,06
	$d_{y2}'/d_{y1}$	-4,06
	$d_{y1}/2$	1,41 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  29,59 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  29,59 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  29,59 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  29,59 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_h$	29,59 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_h$	29,59 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	0,52 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	-0,32 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,52 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	0,47 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{ toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	---------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$Q_{grond}$	2,44 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	0,76 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,48 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,49 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$			
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q \text{ bodem}$	0,76 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ top}$	0,48 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ zijden}$	-0,49 N/mm <sup>2</sup>	

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	0,47 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	-0,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-0,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,09 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	7,50 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	1,88 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q \text{ bodem}$	0,58 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,37 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,38 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,58 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,58 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,58 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		1,38962E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	nvt	
	$S_{rl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	20,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * I_w + 0.061 * k_h * r_g^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
$k_h$ reken	0	
$d =$	2,2 mm	
	0,9 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * I_w / Dg^3$	24,90 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,90 N/mm <sup>2</sup> 18,97 bar 189,72 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,37 bar 23,72 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	0,76	0,48	0,49 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,09	-0,09	-0,09 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,58	0,37	0,38 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$	1,25	0,76	0,78 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	0,81	0,49	0,51 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	10	6	6 % < 100%

Deflectie	
Deflectie	0,9 % van uitwendige diameter

Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%



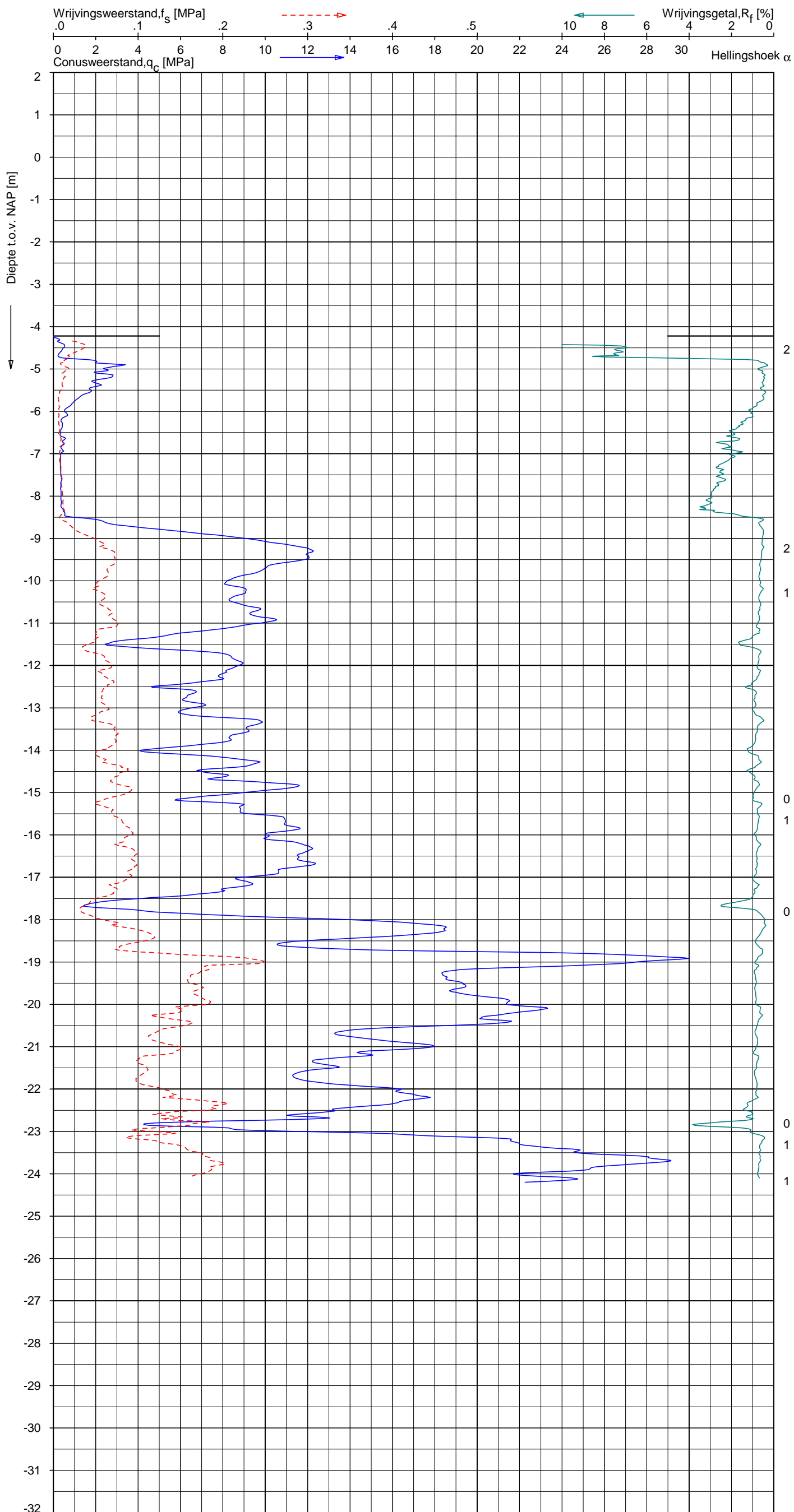
---

## 4.5 Grondonderzoek

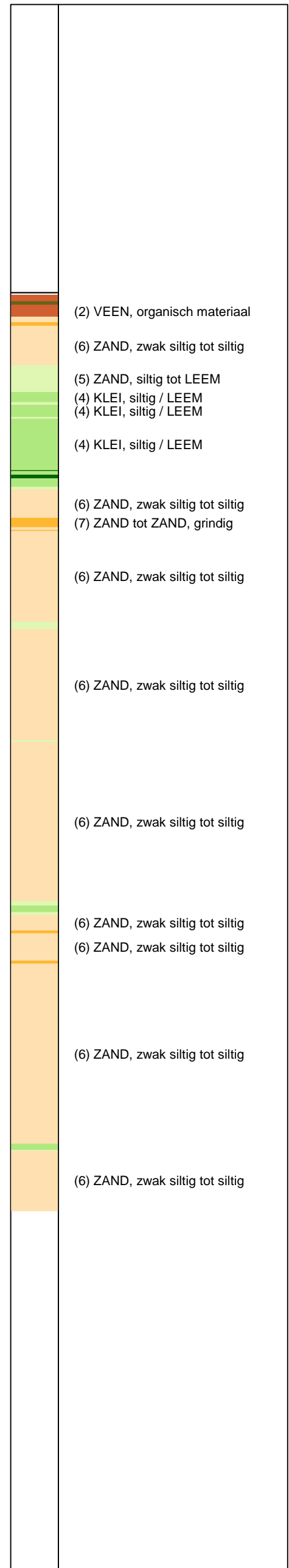
UNIPLOT 05.21.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-02-21 15:39:55

1010-0117-003

DKM1002 - 1



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



Opg. : DVB/AVS d.d. 21-Jan-2013 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 108070.4 Y = 487421.1  
 Get. : VALKF d.d. 2013-02-21 MV = NAP -4.22 m  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

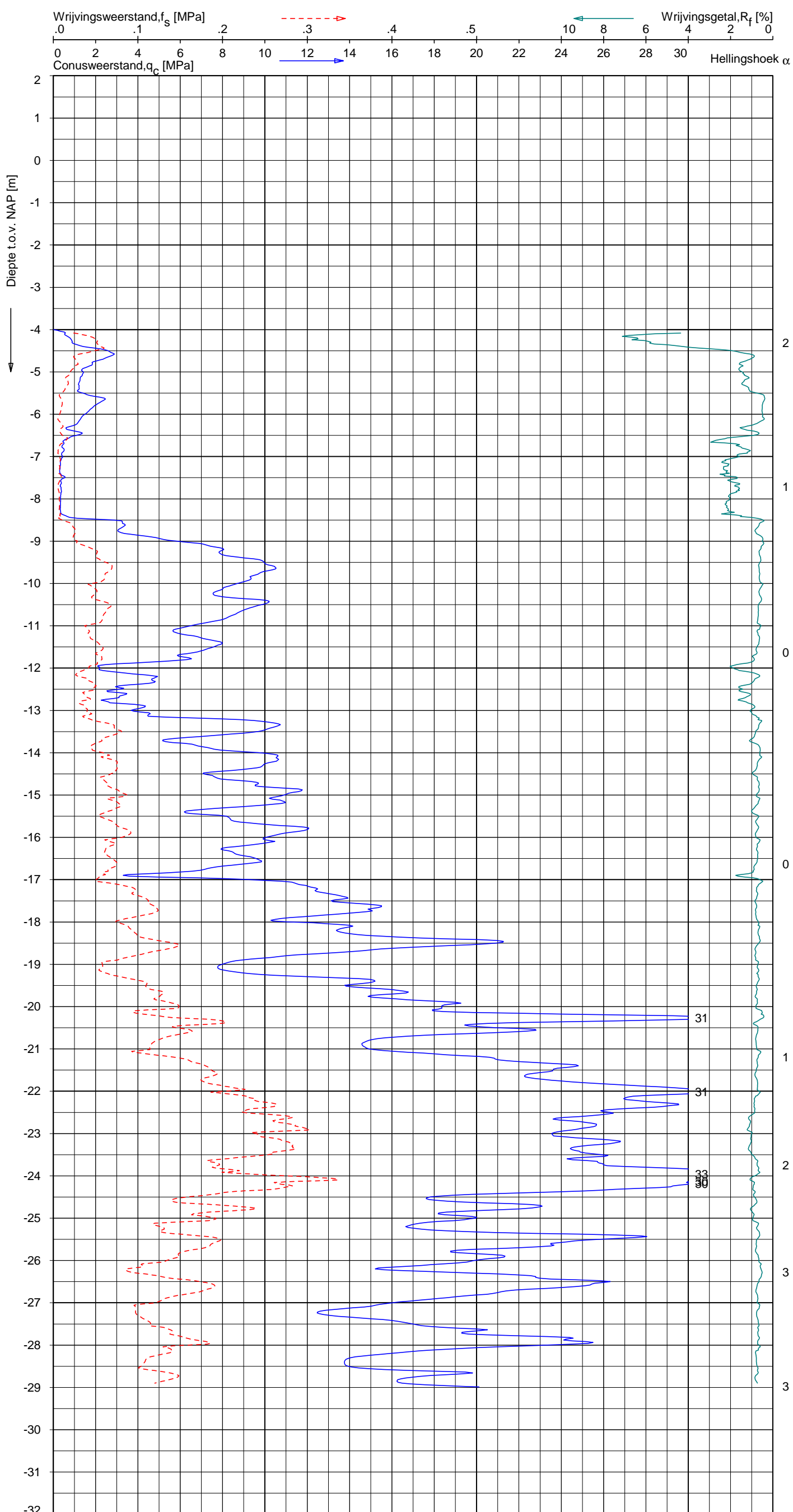
Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1002



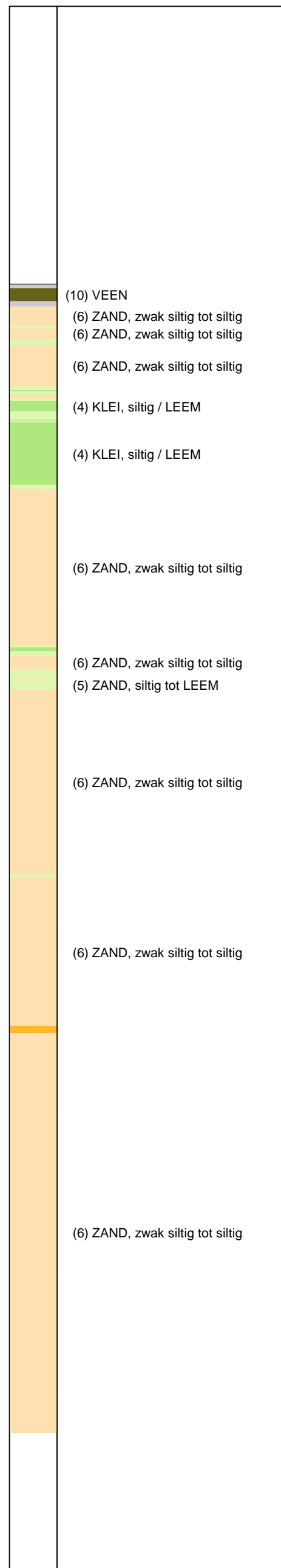
UNIPLOT 05.21.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-02-05 08:53:03

1010-0117-003

DKMP1003 - 1



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



Opg.: DVB/AVS d.d. 21-Jan-2013 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 108049.9  
Get.: UNISTART d.d. 2013-01-29 MV = NAP -4.00 m Y = 487356.9

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

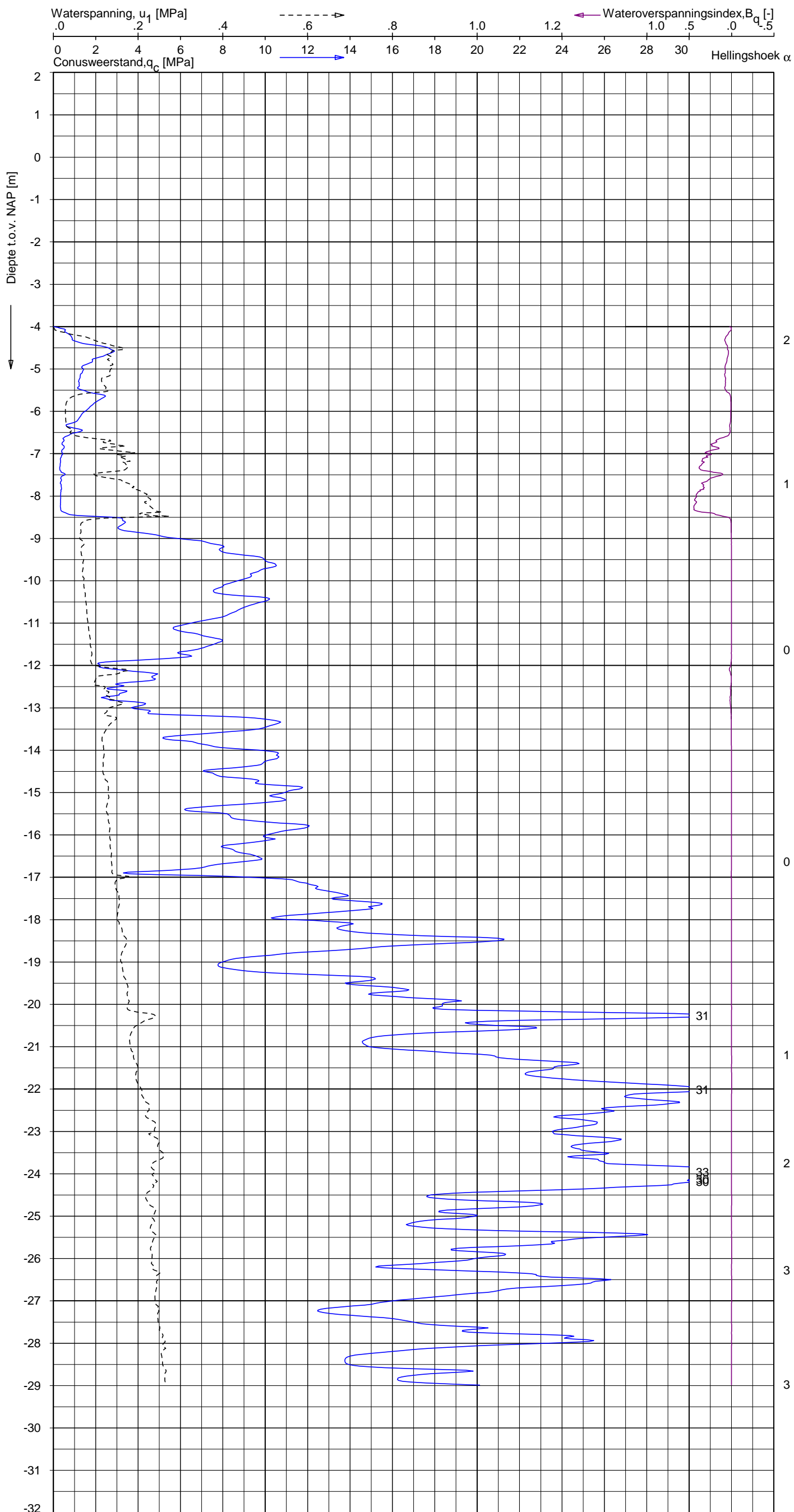
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
Sond. DKMP1003

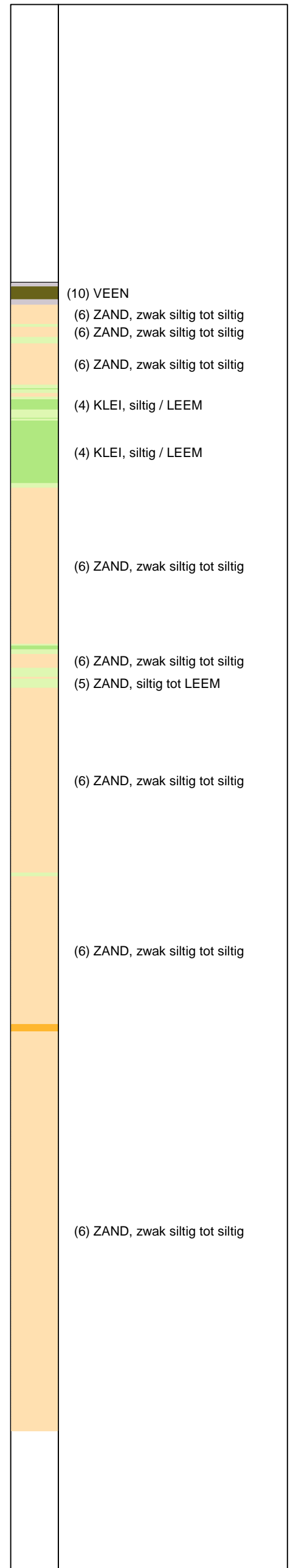
UNIPLOT 05.21.nl / QcU1Class-N3.cmd / 2013-02-05 08:53:38

1010-0117-003

DKMP1003 - 1



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



Opg. : DVB/AVS d.d. 21-Jan-2013 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 108049.9 Y = 487356.9  
 Get. : UNISTART d.d. 2013-01-29 MV = NAP -4.00 m  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

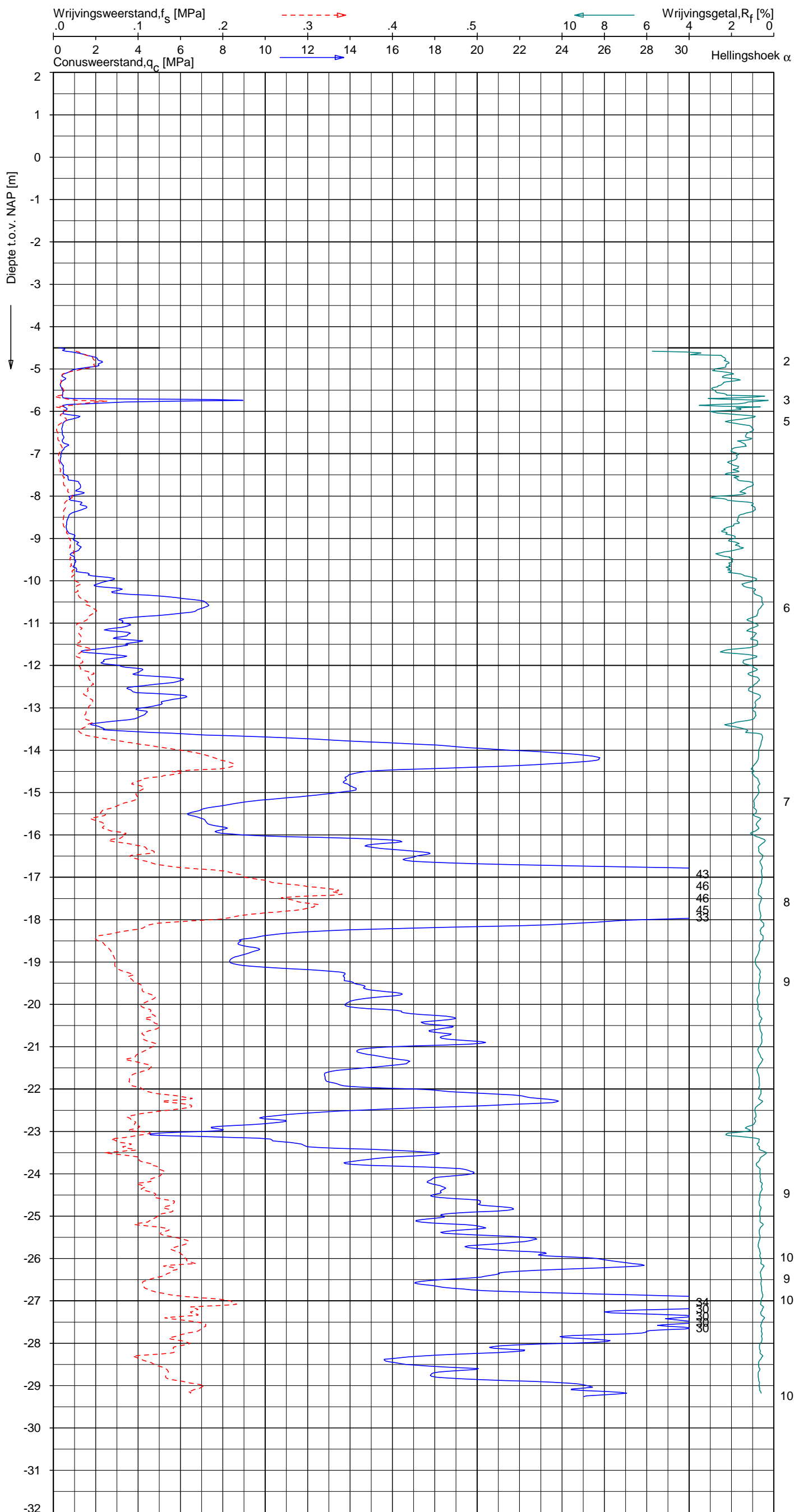
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1003

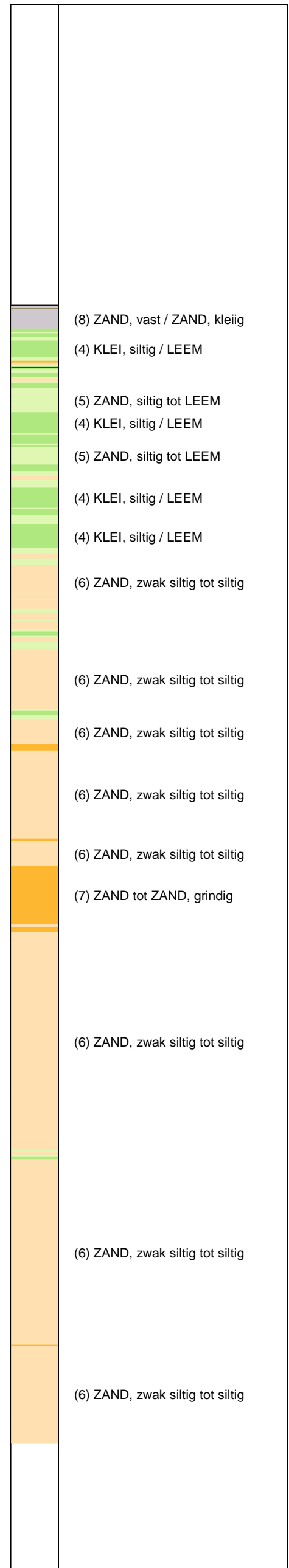
UNIPLOT 05.21.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-02-05 08:53:08

1010-0117-003

DKMP1006 - 1



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



Opg.: DVB/AVS d.d. 21-Jan-2013 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 108006.7 Y = 486995.4  
 Get.: VALKF d.d. 2013-02-05 MV = NAP -4.50 m  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



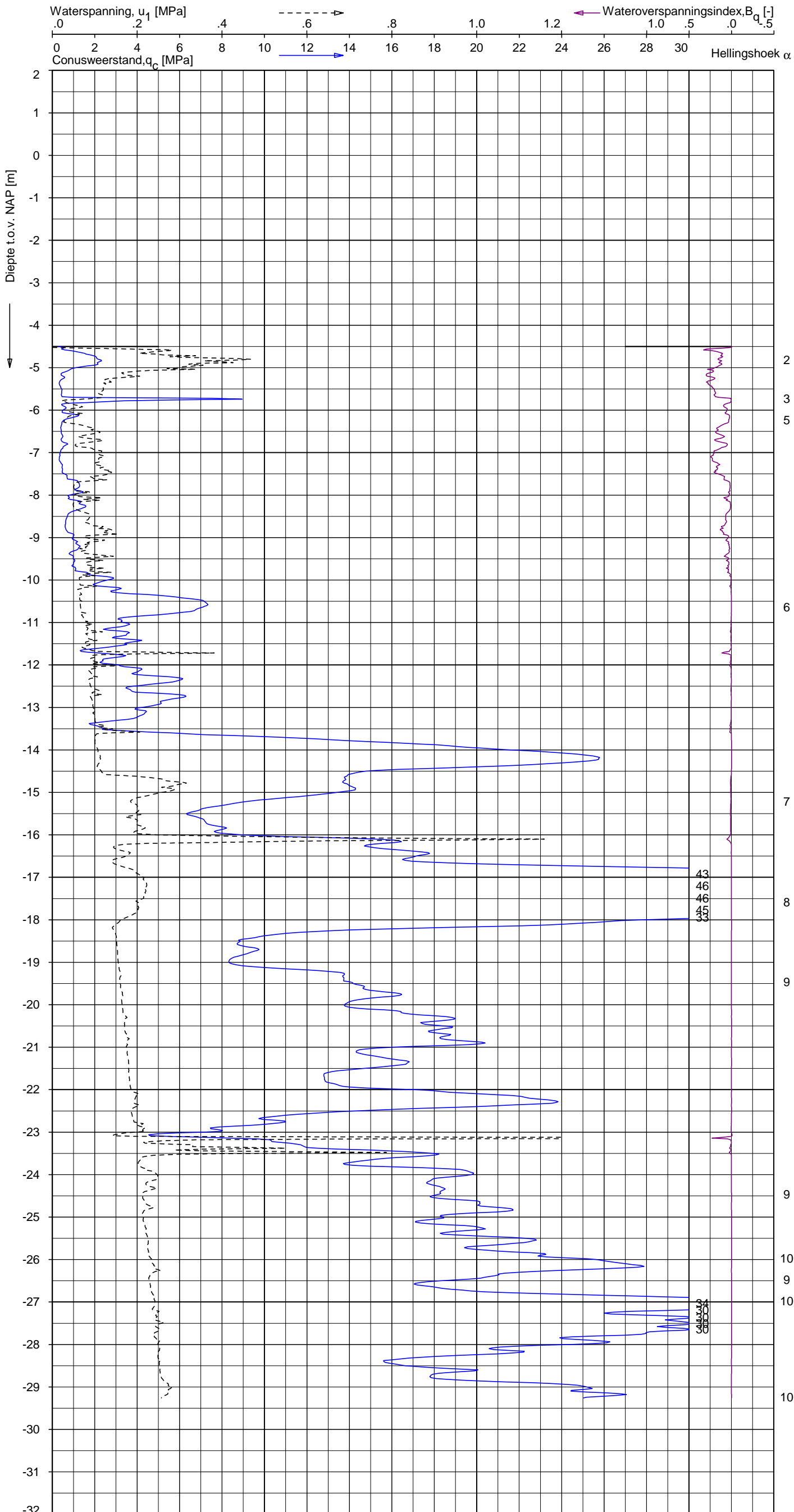
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1006

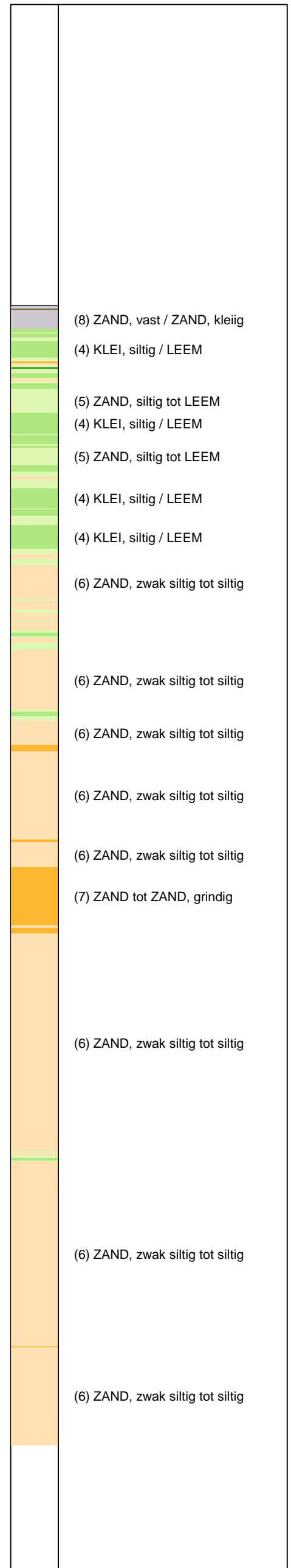
UNIPLOT 05.21.nl / QcU1Class-N3.cmd / 2013-02-05 08:53:40

1010-0117-003

DKMP1006 - 1



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



Opg.: DVB/AVS d.d. 21-Jan-2013 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 108006.7 Y = 486995.4  
 Get.: VALKF d.d. 2013-02-05 MV = NAP -4.50 m

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1006

# Berekeningen X-02 HDD kruising Kromme Spieringweg te Vijfhuizen

## Civiele Werkzaamheden R380 Noordring Perceel 1: Vijfhuizen – Zuidelijke Ringvaart

Documentnummer: : VIR-0.000.517  
Referentienummer: : TP13141-doc-02  
Documentstatus: : Definitief  
Datum: : 15-11-2013  
Versie: : 2.0

Opdrachtgever:



Opdrachtnemer:

	Naam	Functie	Paraaf	Datum
Opsteller	E.M.P. Hooglander	Civil Engineer		15-11-2013
Gecontroleerd	J. Hermus	Groepsleider Civiel		15-11-2013
Gecontroleerd	M. Molema	Disciplineleider		15-11-2013
Geautoriseerd / Vrijgave	M. Roohé	Projectmanager		15-11-2013



## DOCUMENT HISTORIE

Revisie	Omschrijving/Belangrijkste wijzigingen	Datum
0.1	Concept definitief ontwerp	17-07-2013
1.0	Definitief Ontwerp	02-08-2013
2.0	Opmerkingen RFA/ RFC verwerkt	15-11-2013



## Inhoud

1. Inleiding .....	4
2. Uitgangspunten .....	5
2.1 Algemeen.....	5
2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren.....	5
2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis .....	5
2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase.....	5
2.5 Kwelproblematiek.....	6
2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring .....	6
2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting .....	6
2.5.3 Kwel op lange termijn .....	6
3. Conclusies.....	7
3.1 Muddrukken tijdens boren 380kV.....	7
3.2 Muddrukken tijdens boren 150kV.....	7
3.3 Sterkte tijdens installeren.....	8
3.3.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens installeren.....	8
3.3.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens installeren.....	8
3.4 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik.....	9
3.4.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens gebruik.....	9
3.4.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens gebruik.....	9
4. Bijlagen .....	10
4.1 Tekening VIR-0.000502, Referentienr. TP13141-K-X-02 .....	10
4.2 Muddrukberekening.....	11
4.3 Trekkrachten berekening.....	12
4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase .....	13
4.5 Grondonderzoek .....	14



## 1. Inleiding

In de Randstad wordt de komende jaren een sterke toename verwacht in de vraag naar electriciteit. Om de elektriciteitsvoorziening in de toekomst veilig te stellen wordt er door TenneT een nieuwe 380kV hoogspanningsverbinding tussen Beverwijk – Vijfhuizen – Bleiswijk – Wateringen gerealiseerd. Dit project wordt Randstad380kV genoemd.

Project Randstad380 Noordring is de tweede fase van het project en bestaat uit een hoogspanningsverbinding van Beverwijk via Vijfhuizen naar Bleiswijk.

Naast de aanleg van een 380kV hoogspanningsverbinding wordt er ook een 150kV hoogspanningsverbinding gerealiseerd. In verband met de aanleg van beide hoogspanningsverbindingen moet de Kromme Spieringweg te Vijfhuizen gekruist worden. Deze kruising wordt uitgevoerd door middel van een aantal horizontaal gestuurde boringen. In de boringen worden de volgende mantelbuizen geïnstalleerd:

380kV :

- HDD 01 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 02 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 03 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 04 4x Ø250 PE100 SDR11

150kV :

- HDD 01 4x Ø200 PE100 SDR13.6/ SDR11
- HDD 02 4x Ø200 PE100 SDR13.6/ SDR11

In dit rapport worden de voor de boringen benodigde berekeningen uitgevoerd.

Voor de 150 kV mantelbuizen worden de berekeningen uitgevoerd op basis van PE100 ø200 SDR13.6. De vraagspecificatie schrijft SDR11 voor. Hiermee wordt de meest ongunstige situatie berekend.

*Hiertoe worden de volgende aspecten bekeken:*

- De bij het boren te verwachten muddrukken en de maximaal toelaatbare muddrukken.
- De benodigde trekkracht voor het intrekken van de mantelbuizen en de hierbij optredende spanningen in de buizen.
- De sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase.
- Mogelijke kwelproblematiek.

Bovenstaande berekeningen worden uitgevoerd met spreadsheet-programma's.

*Uitgangspunten van deze berekeningen zijn de normen:*

- NEN 3650-1:2012, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1 algemeen
- NEN 3650-3:2012 ontwerp, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 3 Kunststoffen
- NEN 3651:2012, Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken.

*Grondonderzoek:*

- Gegevens grondonderzoek afkomstig van Fugro, opdrachtnr. 1010-0117-003 Bijlage 4.5

*Bijbehorende tekeningen:*

- Algemeen plantekening op A4 formaat Bijlage 4.1





## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Algemeen

De belangrijkste ontwerpgegevens van de mantelbuizen, die gelden voor de boringen:

Kenmerk	380kV HDD 1 t/m 4	150kV HDD 1 en 2
Materiaal	PE	PE
Kwaliteit	PE100	PE100
Treksterkte	10 N/mm <sup>2</sup>	10 N/mm <sup>2</sup>
Aantal buizen	4	4
Diameter	250 mm	200 mm
Wanddikte	22.7 mm (SDR 11)	14.7 mm (SDR 13.6)

### 2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren

Voor het afvoeren van de afgeboorde grond is in het boorgat een minimale muddruk nodig. Tevens mag de druk in het boorgat niet groter worden dan de maximaal toelaatbare muddruk. Bij overschrijding van deze druk bestaat het gevaar voor bezwijken van de grond en uitstromen van boorvloeistof aan het maaiveld. Voor zowel de boringen ten behoeve van 380kV als voor 150kV wordt apart een muddrukberekening uitgevoerd.

De maximaal toelaatbare muddruk en de minimaal benodigde muddrukken zijn berekend in Bijlage 4.2. De resultaten worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd.

### 2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de mantelbuis in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de buis optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend. Voor zowel de boringen ten behoeve van 380kV als voor 150kV wordt apart een trekkrachtberekening uitgevoerd.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.3. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.

### 2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase

Voor de sterkte van de mantelbuizen worden voor een aantal locaties doorsnede-berekeningen gemaakt. De volgende doorsneden worden beschouwd:

380kV:

- Punt met de grootste dekking onder de weg (ca. 13m-maaiveld), hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.
- Diepte van  $8x D_{\text{gat}}$ , hierbij wordt met neutrale gronddruk gerekend (*niet in bijlage, niet maatgevend*).
- Punt op de overgang van het samendrukbare grondmassief naar het vastere zandpakket. Dit punt heeft een dekking van ca. 8.1m-maaiveld, hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.

150kV:

- Punt met de grootste dekking (ca. 8m-maaiveld), hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.
- Diepte van  $8x D_{\text{gat}}$ , hierbij wordt met neutrale gronddruk gerekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.4. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.



## 2.5 Kwelproblematiek

In het kader van de kwelproblematiek worden de hieronder vermelde situaties bekeken.

- Tijdens de uitvoering van de boring
- Tijdens het maken van de aansluiting
- Op lange termijn

### 2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring

De intredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van 4.8m-N.A.P. De uittredepunten van de boringen hebben een (aangenomen) maaiveldhoogte van 3.7m-N.A.P. Het hart van de maatgevende boringen (380kV HDD 1 t/m 4) ligt op het diepste punt op 17m-N.A.P.

Het eerste watervoerende zandpakket ligt op een diepte van ca. 13m-N.A.P. en wordt aangeboord.

Volgens de door de opdrachtgever verstrekte informatie bedraagt de gemiddelde stijghoogte van het spanningswater in het eerste watervoerende pakket ca. 4.7m-N.A.P.

De stijghoogte van het spanningswater is lager dan het maaiveld niveau en daarmee is er geen gevaar voor kwel tijdens de uitvoering van de boringen.

Muduitbraken ter plaatse van de watergangen zijn volgens de berekeningen niet te verwachten (zie hoofdstuk 3 of bijlage 4.2). Kwel vanuit het watervoerende zandpakket naar de watergangen is hierdoor niet te verwachten.

### 2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting

Ten tijde van het maken van de aansluitingen moet tijdelijk een ontgraving van ca. 3m-maaiveld worden gemaakt, waarbij een kwelscherm met kleikist dient te worden aangebracht.

Op het grensvlak werkt een opwaartse waterdruk van  $(4.7 - 13) \times 10 \text{ kN/m}^3 = 83 \text{ kN/m}^2$   
De bentonietkolom oefent bij een bentoniet gewicht van  $12 \text{ kN/m}^3$  een neerwaartse kracht uit van  $(7.8 - 13) \times 12 \text{ kN/m}^3 = 62.4 \text{ kN/m}^2$

Hoewel het gebruik van zwaardere bentoniet een oplossing zou kunnen zijn, kan hier ook met verzwaarde bentoniet geen evenwicht worden bereikt.

Tijdens het maken van de aansluitingen dient daarom kortdurend spanningsbemaling te worden toegepast.

### 2.5.3 Kwel op lange termijn

Zowel aan de intrede- als aan de uittredezijde dienen kwelschermen in kleikisten geplaatst te worden om de kwel op lange termijn te voorkomen.



### 3. Conclusies

#### 3.1 Muddrukken tijdens boren 380kV

Overzicht minimum en maximum muddrukken tijdens boren t.b.v. 380kV:

Locatie		Afstand tot intredepunt	Minimaal benodigde muddruk (Bijlage 4.2)	Maximaal toelaatbare muddruk (Bijlage 4.2)
IN	Intredepunt	0 m		
A		15 m	57 kN/m <sup>2</sup>	95 kN/m <sup>2</sup>
B		30 m	113 kN/m <sup>2</sup>	162 kN/m <sup>2</sup>
C		45 m	155 kN/m <sup>2</sup>	356 kN/m <sup>2</sup>
D		53 m	171 kN/m <sup>2</sup>	406 kN/m <sup>2</sup>
E		59 m	179 kN/m <sup>2</sup>	441 kN/m <sup>2</sup>
F		66 m	184 kN/m <sup>2</sup>	384 kN/m <sup>2</sup>
G		80 m	192 kN/m <sup>2</sup>	450 kN/m <sup>2</sup>
H		97 m	202 kN/m <sup>2</sup>	450 kN/m <sup>2</sup>
I		114 m	211 kN/m <sup>2</sup>	450 kN/m <sup>2</sup>
J		131 m	221 kN/m <sup>2</sup>	450 kN/m <sup>2</sup>
K		149 m	218 kN/m <sup>2</sup>	368 kN/m <sup>2</sup>
L		166 m	191 kN/m <sup>2</sup>	298 kN/m <sup>2</sup>
M		183 m	146 kN/m <sup>2</sup>	111 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uittredepunt	200 m		

Uit de resultaten blijkt dat tijdens het boren van de eindfase van de pilot (na doorsnede L) muduitbraken kunnen voorkomen. Tijdens de uitvoering dient hier rekening mee gehouden te worden door in de eindfase van de pilotboring zo weinig mogelijk bentoniet te verpompen met een zo laag mogelijke druk.

#### 3.2 Muddrukken tijdens boren 150kV

Overzicht minimum en maximum muddrukken tijdens boren t.b.v. 150kV:

Locatie		Afstand tot intredepunt	Minimaal benodigde muddruk (Bijlage 4.2)	Maximaal toelaatbare muddruk (Bijlage 4.2)
IN	Intredepunt	0 m		
A		10 m	43 kN/m <sup>2</sup>	80 kN/m <sup>2</sup>
B		28 m	100 kN/m <sup>2</sup>	117 kN/m <sup>2</sup>
C		34 m	106 kN/m <sup>2</sup>	162 kN/m <sup>2</sup>
D		40 m	106 kN/m <sup>2</sup>	124 kN/m <sup>2</sup>
E		55 m	78 kN/m <sup>2</sup>	110 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uittredepunt	70 m		

De maximaal toelaatbare muddruk wordt nergens overschreden. Er zijn hierdoor tijdens het boren van de pilotboring geen muduitbraken te verwachten.



### 3.3 Sterkte tijdens installeren

#### 3.3.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

<b>380kV HDD 1 t/m 4</b>	Smax (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	2,2 N/mm <sup>2</sup>	22 %	
Spanning tijdens intrekken	5,4 N/mm <sup>2</sup>	54 %	
Trekkraft			70 kN

De mantelbuizen worden gevuld met bentoniet in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkraft van maximaal 7 ton verwacht.

#### 3.3.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

<b>150kV HDD 1 en 2</b>	Smax (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	3,7 N/mm <sup>2</sup>	37 %	
Spanning tijdens intrekken	4,8 N/mm <sup>2</sup>	48 %	
Trekkraft			61 kN

De mantelbuizen worden leeg in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkraft van maximaal 6 ton verwacht.

Vanwege implosiegevaar alle mantelbuizen van de boringen (150kV HDD 1 en 2) direct na intrekken vullen met water.

### 3.4 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik

#### 3.4.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens gebruik

Overzicht van de berekende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met de grootste dekking onder de weg:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	0,6 N/mm <sup>2</sup>	7 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		0,6 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,72 m	waterkolom

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt op de overgang in het grondmassief:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	1,5 N/mm <sup>2</sup>	19 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		1,6 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,72 m	waterkolom

Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.

#### 3.4.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens gebruik

Overzicht van de berekende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met de grootste dekking:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	2,3 N/mm <sup>2</sup>	29 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		3,1 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		11,89 m	waterkolom

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met een diepte van  $8x D_{gat}$ :

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	2,3 N/mm <sup>2</sup>	29 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		3,0 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		11,89 m	waterkolom

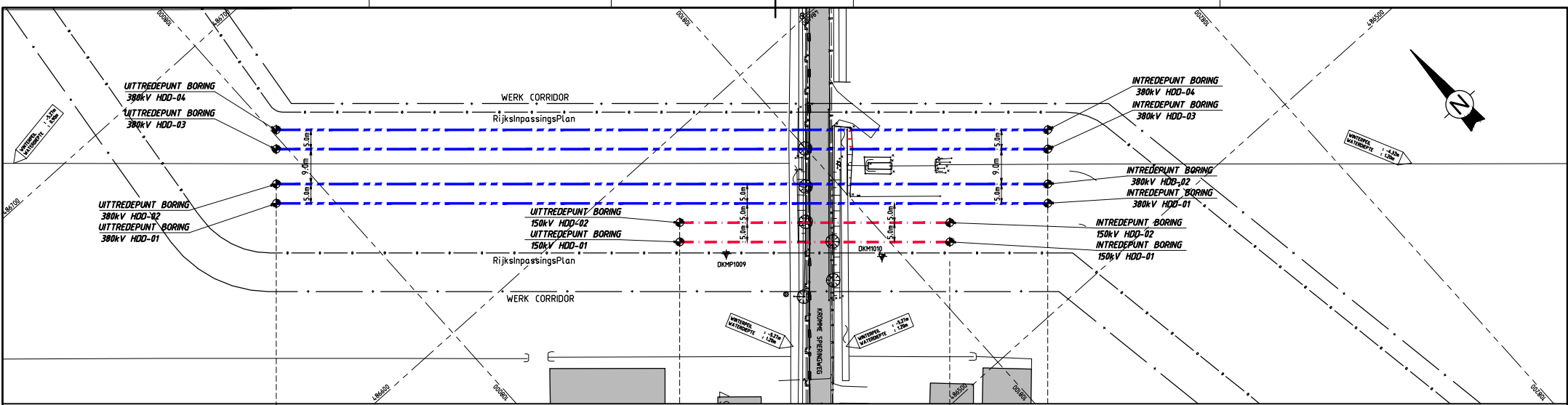
Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.



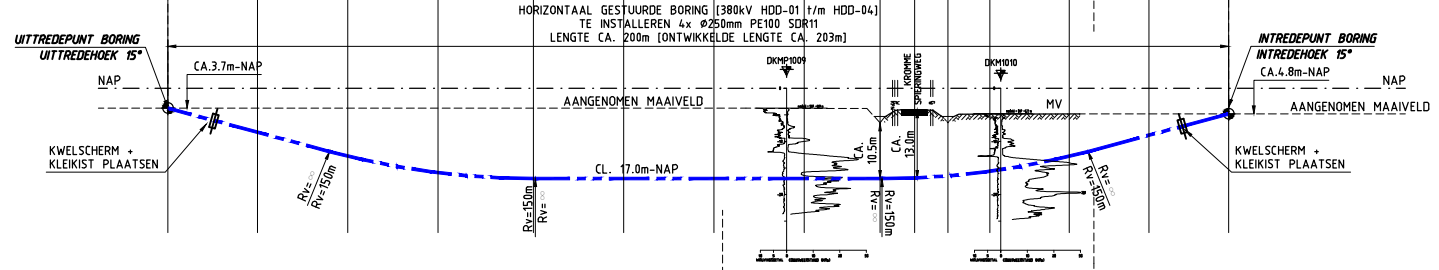
---

## 4. Bijlagen

### 4.1 Tekening VIR-0.000502, Referentienr. TP13141-K-X-02

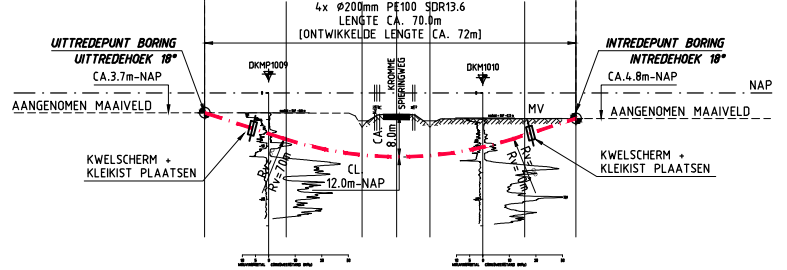


**SITUATIE**  
SCHAAL 1 : 500

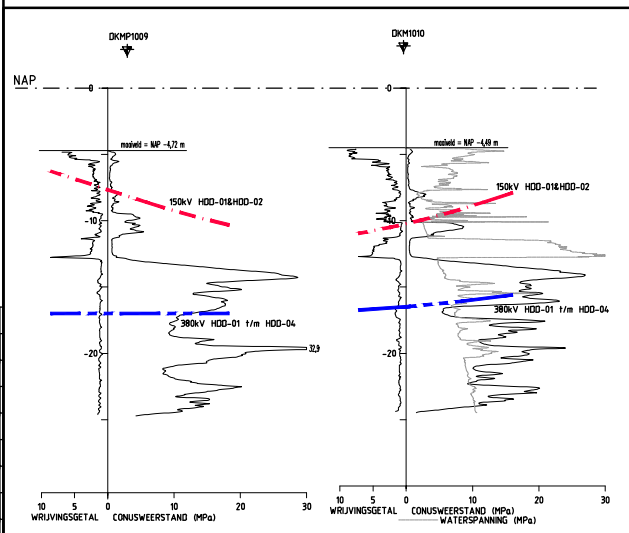


**LANGSDOORSNEDE HDD'S 380kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 500

**SITUATIE**  
SCHAAL 1 : 500

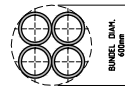


**LANGSDOORSNEDE HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 500



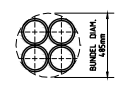
**SONDERINGEN**  
SCHAAL 1 : 200

TE INSTALLEREN (380kV)  
PER BORING  
4x Ø250 PE100 SDR11  
4x UITVOEREN



**DOORSNEDE  
HDD'S 380kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 20

TE INSTALLEREN (150kV)  
PER BORING  
4x Ø200 PE100 SDR13.6  
2x UITVOEREN



**DOORSNEDE  
HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 20

COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RD		
PUNT OMSCHRIJVING	X	Y
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	108137.12	486522.01
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	107988.43	486655.60
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	108140.46	486525.73
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	107991.77	486659.32
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	108146.50	486532.46
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	107997.82	486666.05
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	108149.84	486536.18
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	108001.16	486669.77
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	108111.57	486531.52
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	108059.50	486578.30
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	108114.92	486535.24
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	108062.85	486582.02

**OPMERKINGEN:**  
 -SITUATIE ONTVANGEN VAN OPDRACHTGEVER  
 -BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN INGETEKEND A.D.H.V. KLIK GEGEVENS  
 -GRONDONDERZOEK AFKOMSTIG VAN SIEGRO RAPPORT (OPDR.NR.1010-011-003)  
 -DIEPTE WATERGANGEN GENOMEN VAN LEGGER HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND.  
 -EXACTE LIGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN VOOR AANVANG WERKZAAMHEDEN NADER TE BEPALLEN EN INDIEN NODIG TIJDELIJK ONTLEGGEN OF BOORPROFIEL HIEROP AAN TE PASSES.

0.1	17-07-13	CONCEPT DO		SMA	JRH
WG:	Datum	Omschrijving		Get.	Gez.

**Volkerinfra** (Hollandse BOD) **Tennet** (Tuning power together)

**OPDRACHTGEVER:** TENNET

**PROJECT:** RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV

**BENAMING:** ALGEMEEN PLAN  
380kV & 150kV TRACE  
HDD'S ONDER  
KROMME SPIERINGWEG

Bijz.: -  
 School: 1 : 500  
 Datum: 17-07-13  
 Get.: SMA  
 Gez.: JRH  
 Formaat: A0

Tekening Nr.: VIR-0.000.502  
 Referentie Nr.: TP13141-K-X-02

MNZ.: 0.1



---

## 4.2 Muddrukberkening



**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-02 150kV HDD1 en 2 Kromme Spieringweg te Vijfhuizen
Berekend door	EHO

Te installeren buis of bundel		
Uitwendige diameter buis/bundel	d	485 mm

Boorstelling		
Type boorstelling		27 ton
Uitwendige diameter pilotbuis	d-uitw.	89 mm
Inwendige diameter pilotbuis	d-inw.	66 mm

Boorvloeistof		
Volumegewicht boorvloeistof	$V_{bo}$	10,50 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht grond / boorvloeistof mengsel	$V_b$	12,00 kN/m <sup>3</sup>
Schijnbare viscositeit	visc	100 MarshFunnelseconden
Yieldpoint boorvloeistof	$y_b$	0,01 kN/m <sup>2</sup>
Viscositeit	eta	0,11 Pas

Boorbuizen		
Lengte boorbuis	L	4,6 m
Lengte koppeling	L-kopp	0,5 m
Inwendige diameter koppeling	d-kop	61 mm
Nik. Ruwheid	k	1 mm

**SAMENVATTING INVOER/RESULTATEN**

Lokatie	Omschrijving	Afstand tot intredepunt	Diepte cl t.o.v ref. lijn [m]	Pmin* in pilot gat	Pmax* toelaatbaar in gat tijdens ruimen
IN	Intredepunt	0,0	0,0 m	-	0 kN/m2
A		9,6	-3,1 m	43	80 kN/m2
B		27,5	-7,0 m	100	117 kN/m2
C		33,8	-7,2 m	106	162 kN/m2
D		40,3	-6,9 m	106	124 kN/m2
E		54,6	-3,9 m	78	110 kN/m2
F			m	0	kN/m2
G			m	0	kN/m2
H			m	0	kN/m2
I			m	0	kN/m2
J			m	0	kN/m2
K			m	0	kN/m2
L			m	0	kN/m2
M			m	0	kN/m2
UIT	Uittredepunt	70,0	1,1 m	-	0 kN/m2
				Pmin benodigd bij max. mud debiet	
<b>noot *: Pmin in pilot gat vergelijken met Pmax tijdens ruimen is de meest ongunstige benadering</b>					

**Berekening van de maximaal toelaatbare boorvloei­stof­druk­ken P'max  
volgens NEN 3650-1:2003 bijlage E.2**

**INVOER/UITVOER**

Lokatie	IN	A	B	C	D
Grondsoort (zand / klei)	-	<b>klei</b>	<b>klei</b>	<b>klei</b>	<b>klei</b>
Gronddekking	-	<b>3,1</b>	<b>5,3</b>	<b>8</b>	<b>5,2</b> m
Diepte water onder mv (+)	-	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>-1,2</b> m
Hoek inwendige wrijving	-	<b>17,5</b>	<b>17,5</b>	<b>17,5</b>	<b>17,5</b> gr
Volumegewicht nat	-	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b> kN/m3
Volumegewicht droog	-	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b> kN/m3
Cohesie	-	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	-	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	-	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b> MPa
Rpmax	-	1,55	2,65	4,00	2,60 m
Elasticiteitsmodulus	-	750	750	750	750 kN/m2
P'max in gat	-	80	117	162	124 kN/m2

Location	E	F	G	H	I
Grondsoort (zand / klei)	<b>klei</b>				
Gronddekking	<b>5,0</b>				m
Diepte water onder mv (+)	<b>1,2</b>				m
Hoek inwendige wrijving	<b>17,5</b>				gr
Volumegewicht nat	<b>14</b>				kN/m3
Volumegewicht droog	<b>14</b>				kN/m3
Cohesie	<b>0</b>				kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>				
CPT Conusweerstand: qc	<b>0,5</b>				MPa
Rpmax	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00 m
Elasticiteitsmodulus	750	0	0	0	0 kN/m2
P'max in gat	110				kN/m2

Location	J	K	L	M	UIT
Grondsoort (zand / klei)					-
Gronddekking					- m
Diepte water onder mv (+)					- m
Hoek inwendige wrijving					- gr
Volumegewicht nat					- kN/m3
Volumegewicht droog					- kN/m3
Cohesie					- kN/m2
Dwarscontractiecoefficient					-
CPT Conusweerstand: qc					- MPa
Rpmax	0,00	0,00	0,00	0,00	- m
Elasticiteitsmodulus	0	0	0	0	- kN/m2
P'max in gat					kN/m2

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-02 380kV HDD1 t/m 4 Kromme Spieringweg te Vijfhuizen
Berekend door	EHO

Te installeren buis of bundel		
Uitwendige diameter buis/bundel	d	600 mm

Boorstelling		
Type boorstelling		27 ton
Uitwendige diameter pilotbuis	d-uitw.	89 mm
Inwendige diameter pilotbuis	d-inw.	66 mm

Boorvloeistof		
Volumegewicht boorvloeistof	$V_{bo}$	10,50 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht grond / boorvloeistof mengsel	$V_b$	12,00 kN/m <sup>3</sup>
Schijnbare viscositeit	visc	100 MarshFunnelseconden
Yieldpoint boorvloeistof	$y_b$	0,01 kN/m <sup>2</sup>
Viscositeit	eta	0,11 Pas

Boorbuizen		
Lengte boorbuis	L	4,6 m
Lengte koppeling	L-kopp	0,5 m
Inwendige diameter koppeling	d-kop	61 mm
Nik. Ruwheid	k	1 mm

**SAMENVATTING INVOER/RESULTATEN**

Lokatie	Omschrijving	Afstand tot intredepunt	Diepte cl t.o.v ref. lijn [m]	Pmin* in pilot gat	Pmax* toelaatbaar in gat tijdens ruimen
IN	Intredepunt	0,0	0,0 m	-	0 kN/m <sup>2</sup>
A		15,0	-4,0 m	57	95 kN/m <sup>2</sup>
B		30,0	-8,0 m	113	162 kN/m <sup>2</sup>
C		45,0	-10,8 m	155	356 kN/m <sup>2</sup>
D		52,9	-11,7 m	171	406 kN/m <sup>2</sup>
E		59,2	-12,1 m	179	441 kN/m <sup>2</sup>
F		65,7	-12,2 m	184	384 kN/m <sup>2</sup>
G		80,0	-12,2 m	192	450 kN/m <sup>2</sup>
H		97,0	-12,2 m	202	450 kN/m <sup>2</sup>
I		114,0	-12,2 m	211	450 kN/m <sup>2</sup>
J		131,0	-12,2 m	221	450 kN/m <sup>2</sup>
K		149,0	-11,1 m	218	368 kN/m <sup>2</sup>
L		166,0	-8,0 m	191	298 kN/m <sup>2</sup>
M		183,0	-3,5 m	146	111 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uittredepunt	199,9	1,1 m	-	0 kN/m <sup>2</sup>

Pmin benodigd bij max. mud debiet

**noot \*: Pmin in pilot gat vergelijken met Pmax tijdens ruimen is de meest ongunstige benadering**

**Berekening van de maximaal toelaatbare boorvloei­stof­druk­ken P'max  
volgens NEN 3650-1:2003 bijlage E.2**

**INVOER/UITVOER**

Lokatie	IN	A	B	C	D
Grondsoort (zand / klei)	-	<b>klei</b>	<b>klei</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	-	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>10,8</b>	<b>10,5</b> m
Diepte water onder mv (+)	-	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>-1,2</b> m
Hoek inwendige wrijving	-	<b>17,5</b>	<b>17,5</b>	<b>30</b>	<b>32,5</b> gr
Volumegewicht nat	-	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>19</b> kN/m3
Volumegewicht droog	-	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>17</b> kN/m3
Cohesie	-	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	-	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	-	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>8</b>	<b>10</b> MPa
Rpmax	-	2,00	4,00	0,37	0,39 m
Elasticiteitsmodulus	-	750	750	15200	19000 kN/m2
P'max in gat	-	95	162	356	406 kN/m2

Location	E	F	G	H	I
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	<b>13,0</b>	<b>10,5</b>	<b>13,3</b>	<b>13,3</b>	<b>13,3</b> m
Diepte water onder mv (+)	<b>1,2</b>	<b>-1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b> m
Hoek inwendige wrijving	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b> gr
Volumegewicht nat	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b> kN/m3
Volumegewicht droog	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b> kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b> MPa
Rpmax	0,30	0,35	0,30	0,30	0,30 m
Elasticiteitsmodulus	15200	15200	15200	15200	15200 kN/m2
P'max in gat	441	384	450	450	450 kN/m2

Location	J	K	L	M	UIT
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>klei</b>	-
Gronddekking	<b>13,3</b>	<b>12,1</b>	<b>9</b>	<b>4,5</b>	- m
Diepte water onder mv (+)	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	- m
Hoek inwendige wrijving	<b>32,5</b>	<b>30</b>	<b>27,5</b>	<b>17,5</b>	- gr
Volumegewicht nat	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>14</b>	- kN/m3
Volumegewicht droog	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	- kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	- kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	-
CPT Conusweerstand: qc	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>0,5</b>	- MPa
Rpmax	0,30	0,25	0,36	2,25	- m
Elasticiteitsmodulus	15200	9500	13300	750	- kN/m2
P'max in gat	450	368	298	111	kN/m2



---

### 4.3 Trekrachten berekening

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de leiding in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN 3650-1:2012 gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de leiding optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.

# Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

## INVOER

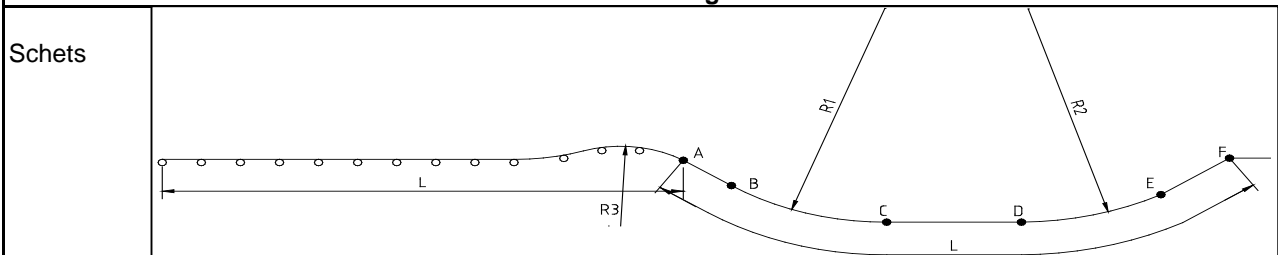
### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-02 150kV HDD 1 en 2 Kromme Spieringweg te Vijfhuizen
Berekend door	EHO

### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	200 mm
Wanddikte	$d$	14,7 mm
Dikte externe coating	$c-e$	0 mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0 kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0 mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0 kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY		pe100
buizen met flexibele verbindingen		nee
Elasticiteitsmodulus	E	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	$sg$	955 kg/m <sup>3</sup>

### Maatvoering



Lengte boring	L	72 m		
Afstand	A-B	16 m		
Afstand	A-C	38 m	A-H1	38 m
Afstand	A-D	38 m	A-H2	38 m
Afstand	A-E	60 m		
Afstand	A-F	72 m		
Straal boor profiel	$R_1$	70 m	excl. 10% marge	
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	0		
Straal boor profiel	$R_2$	70 m	excl. 10% marge	
Straal rollenbaan	$R_3$	50 m		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	18 graden	(bij punt A)	
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0 graden	(+ naar beneden ri. rig zijde)	
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	0 graden		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	18 graden	(bij punt F)	
Aantal buizen	aantal, n	4 buis/buizen	--	
Bundel gekoppeld		nee		
Buisvulling in boorgat	leeg		Buisvulling (water) ook op rolstellen	nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012		
Pipe Pusher capaciteit	0 kN	nee		
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen		nee		

## SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	61 kN	6 ton
SI max in boorgat	SI	3,7 N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	4,8 N/mm <sup>2</sup>	
		48,0 % S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>

## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2 ,f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

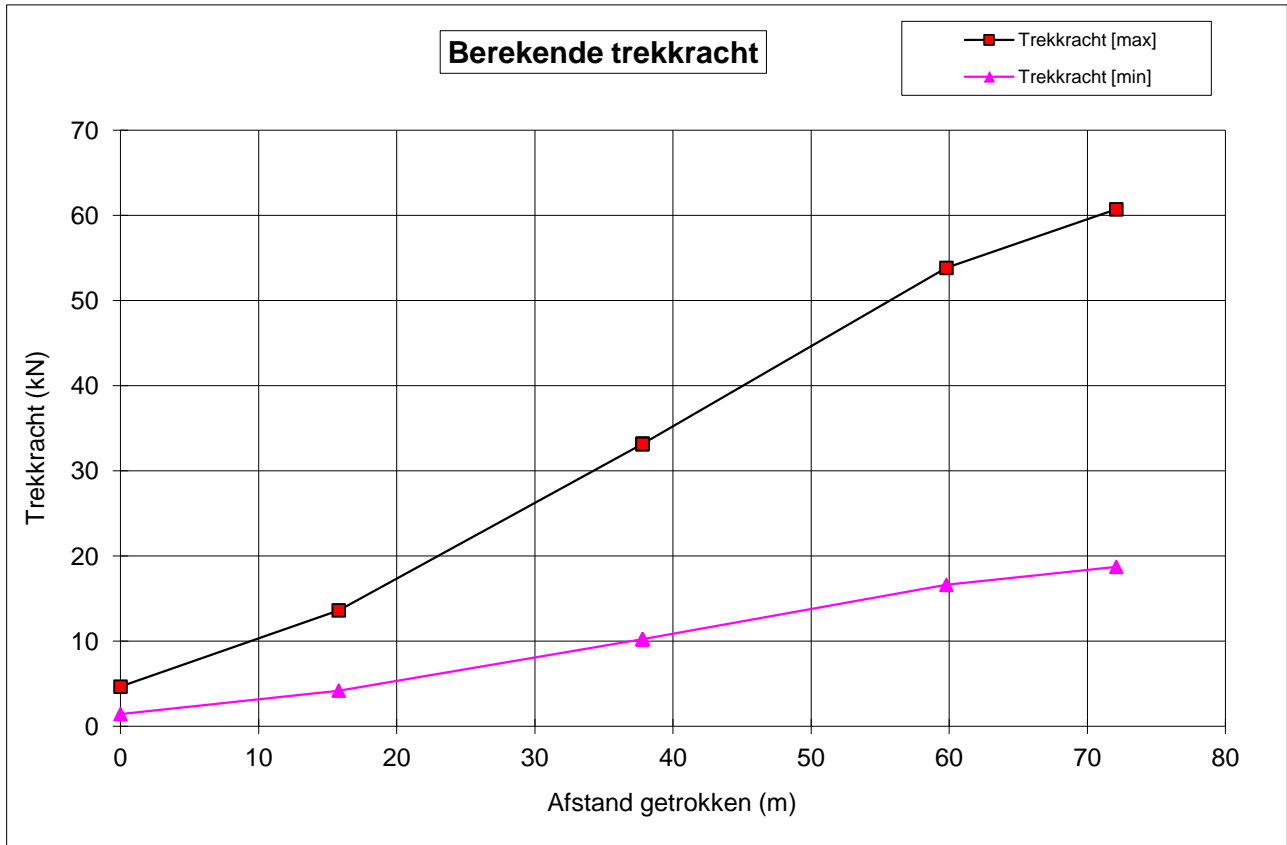
Diverse gegevens		
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel	10 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht bentoniet	sg	1200 kg/m <sup>3</sup>
Doorsnedeoppervlak	Abuis	8557 mm <sup>2</sup> per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>3</sup>
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>4</sup>
Weerstandmoment	W	369597 mm <sup>3</sup> per buis
Traagheidsmoment	I	36959671 mm <sup>4</sup> per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>	1478387 mm <sup>3</sup> voor: 4 buis/buis
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>	147838683 mm <sup>4</sup> voor: 4 buis/buis
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g omlaag	0,3269 kN/m1streng "
gewicht vull x aantal buizen	g vull omhoog	0,0000 kN/m1streng "
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra omhoog	0,0000 kN/m1streng "
opdrijving x aantal buizen	g opw omhoog	-1,5080 kN/m1streng "
g eff in gat = g-gopw	g eff omhoog	-1,1811 kN/m1streng "
g eff op rolstellen	g eff omlaag	0,3269 kN/m1streng "
$\lambda = \text{sqrt}(\text{sqrt}(k_v \times B / 4 / E / I))$	$\lambda$	0,002335 mm <sup>-1</sup>
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>	0,04 N/mm <sup>3</sup> "
Oplegbreedte van de bundel	B	528 mm
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B / R_1$	Q <sub>r1</sub>	0,0094 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B / R_h$	Q <sub>rh</sub>	0,0000 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B / R_2$	Q <sub>r2</sub>	0,0094 N/mm <sup>2</sup> "
Reductiefactor voor bundel = $n \times 1/n^{0.3}$	b'	2,639 x Omtrek van een buis

Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	72	56	34	34	34	34	34	12	0
T <sub>1</sub> (kN)	2,59	2,02	1,23	1,23	1,23	1,23	0,44		0
L <sub>2</sub> (m)	0	16	22	0	0	0	22	12	
T <sub>2</sub> (kN)	0	5,55	7,72	0,00	0,00	0,00	7,72	4,32	
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	2,93	0,00	0,00	0,00	2,93	0	
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	1,00	1,00	1,00	1,00	2,62	3	
F x f (totale kracht, kN)	3	8	18	18	18	18	30	34	
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	5	14	33	33	33	33	54	61	
<i>De te verwachten trekkracht ligt tussen</i>			<i>19 kN en</i>		<i>61 kN</i>				
<i>De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk</i>							<i>67 kN</i>		
<i>De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid</i>									

Spanningen in boorgat								
Totale spanning in boorgat								
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	0,1	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,6	1,8
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0
SI tot	0,1	0,4	3,1	1,0	1,0	1,0	3,7	1,8

Spanningen op rollenbaan		
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling		
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R	Sr	2,6 N/mm <sup>2</sup>
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>	M	3,0 kNm
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal	SI	4,8 N/mm <sup>2</sup> total

# GRAFIEK





# Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

## INVOER

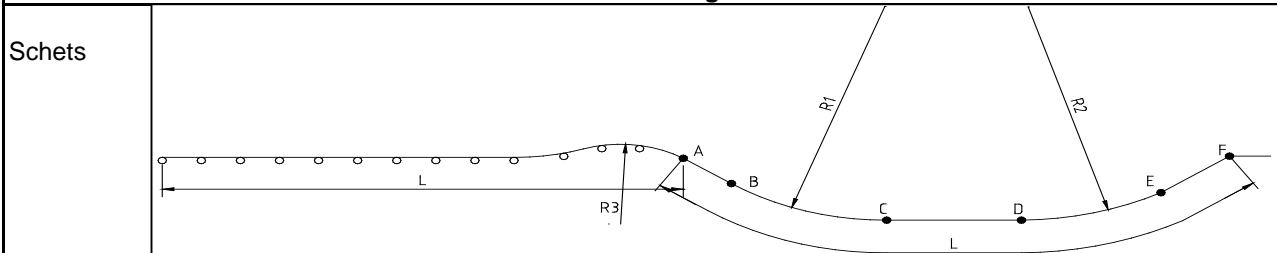
### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-02 380kV HDD 1 t/m 4 Kromme Spieringweg te Vijfhuizen
Berekend door	EHO

### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	250 mm
Wanddikte	$d$	22,7 mm
Dikte externe coating	$c-e$	0 mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0 kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0 mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0 kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY		pe100
buizen met flexibele verbindingen		nee
Elasticiteitsmodulus	E	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	sg	955 kg/m <sup>3</sup>

### Maatvoering



Lengte boring	L	203 m		
Afstand	A-B	32 m		
Afstand	A-C	71 m	A-H1	71 m
Afstand	A-D	136 m	A-H2	136 m
Afstand	A-E	175 m		
Afstand	A-F	203 m		
Straal boor profiel	$R_1$	150 m	excl. 10% marge	
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	0		
Straal boor profiel	$R_2$	150 m	excl. 10% marge	
Straal rollenbaan	$R_3$	50 m		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	15 graden	(bij punt A)	
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0 graden	(+ naar beneden ri. rig zijde)	
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	0 graden		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	15 graden	(bij punt F)	
Aantal buizen	aantal, n	4 buis/buizen	--	
Bundel gekoppeld		nee		
Buisvulling in boorgat	bentoniet		Buisvulling (water) ook op rolstellen	nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012		
Pipe Pusher capaciteit	0 kN	nee		
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen		nee		

## SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	70 kN	7 ton
SI max in boorgat	SI	2,2 N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	5,4 N/mm <sup>2</sup>	
		53,6 % S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>

## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2 ,f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

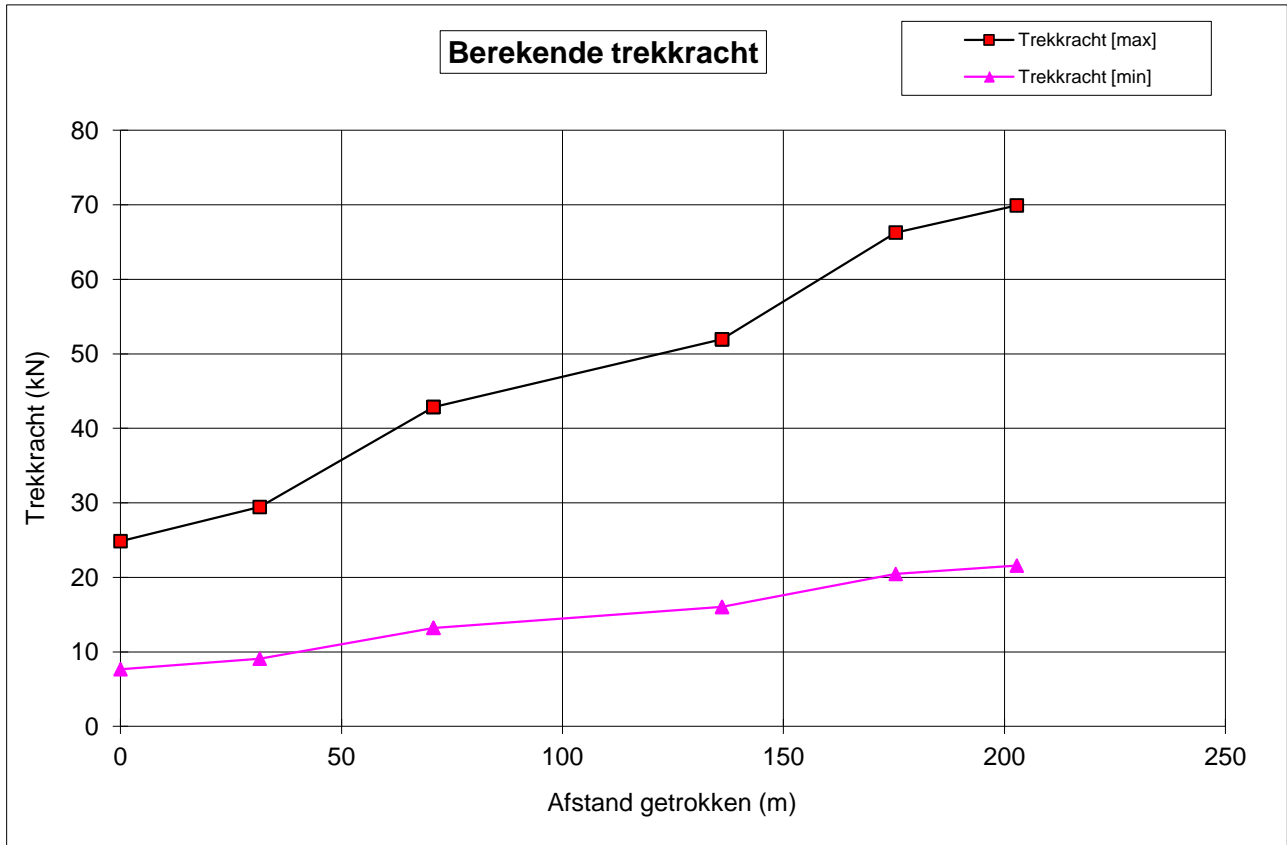
Diverse gegevens		
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel	10 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht bentoniet	sg	1200 kg/m <sup>3</sup>
Doorsnedeoppervlak	Abuis	16210 mm <sup>2</sup> per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>3</sup>
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>4</sup>
Weerstandmoment	W	845832 mm <sup>3</sup> per buis
Traagheidsmoment	I	105728989 mm <sup>4</sup> per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>	3383328 mm <sup>3</sup> voor: 4 buis/buiz
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>	422915957 mm <sup>4</sup> voor: 4 buis/buiz
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g omlaag	0,6192 kN/m1streng "
gewicht vull x aantal buizen	g vull omlaag	1,5781 kN/m1streng "
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra omhoog	0,0000 kN/m1streng "
opdrijving x aantal buizen	g opw omhoog	-2,3562 kN/m1streng "
g eff in gat = g-gopw	g eff omhoog	-0,1589 kN/m1streng "
g eff op rolstellen	g eff omlaag	0,6192 kN/m1streng "
$\lambda = \text{sqrt}(\text{sqrt}(k_v \times B / 4 / E / I))$	$\lambda$	0,001899 mm <sup>-1</sup>
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>	0,04 N/mm <sup>3</sup> "
Oplegbreedte van de bundel	B	660 mm
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B / R_1$	Q <sub>r1</sub>	0,0066 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B / R_h$	Q <sub>rh</sub>	0,0000 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B / R_2$	Q <sub>r2</sub>	0,0066 N/mm <sup>2</sup> "
Reductiefactor voor bundel = $n \times 1/n^{0.3}$	b'	2,639 x Omtrek van een buis

Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	203	171	132	132	67	67	27	0	
T <sub>1</sub> (kN)	13,81	11,67	8,99	8,99	4,54	4,54	1,87	0	
L <sub>2</sub> (m)	0	32	39	0	65	0	39	27	
T <sub>2</sub> (kN)	0	4,69	5,85	0,00	9,73	0,00	5,85	4,08	
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	3,18	0,00	0,00	0,00	3,18	0	
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	1,10	1,10	0,87	0,87	2,48	2	
F x f (totale kracht, kN)	14	16	24	24	29	29	37	39	
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	25	29	43	43	52	52	66	70	
<i>De te verwachten trekkracht ligt tussen</i>			<i>22 kN en 70 kN</i>						
<i>De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk</i>							<i>78 kN</i>		
<i>De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid</i>									

Spanningen in boorgat									
Totale spanning in boorgat									
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	0,4	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	1,0	1,1	
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	
SI tot	0,4	0,5	1,9	0,7	0,8	0,8	2,2	1,1	

Spanningen op rollenbaan		
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling		
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R	Sr	3,3 N/mm <sup>2</sup>
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>	M	5,7 kNm total
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal	SI	5,4 N/mm <sup>2</sup>

# GRAFIEK





---

## 4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-02 150kV HDD1 en 2, punt met een diepte van 8x de gatdiameter</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>13,6</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>14,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV 0,5x load model 2</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>0</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>nvt</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>5,1</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>15</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>klei</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>neutraal</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>1,2</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>17,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>veld</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model (+ is trek)			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>rechte leiding onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	ix	<b>1</b>	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	<b>0</b>	>=0

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	264,71 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	36,02 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	92,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	185,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	14,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,23 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,08 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	14,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,37 * 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$36,96 * 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	1,60	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0928 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	2,3	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	29	% toetswaarde <100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	3,0 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	11,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Qn	f	1,10
Totaal factor Qp	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	7,50 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	7,50 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa      veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		10 mm
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		8 mm
$z_{\text{max}} \text{ reken}$		10 mm
$q_n$	0,0375	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	0,1331	N/mm <sup>2</sup> Qp met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	0,0956	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,009658	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058	N/mm <sup>3</sup>
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	20 mm	
u x $D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$	10 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,114	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	22,82	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP Qk is hoger dan Qp

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holocéen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holocéen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	8,1 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	8,1 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m



Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	0,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	6,5 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o * B_1 * (\gamma' - c_h / B_1) / (K * \tan \phi_h) * (1 - e^{-(K * h_h * \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,54 kN/m
$F_{max} = (h * \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) * 2B_1$	$F_{max}$	24,56 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,09
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 * (3H - 2h) * \alpha) / (2 C * H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 * k_v))))$		
	$F_r$	11,20 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h * \gamma'_h - F_r / 2B_1) * D_o$	$Q_{n,r2}$	5,96 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,21 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	7,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o * B_1 * \gamma') / (K * \tan \phi) * (1 - e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h * h_h * D_o * e^{-(K * h * \tan \phi) / B_1}$		
	$Q_{n,r}$	5,96 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond}$ reken	$Q * f$	8,25 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	7,60 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	1,50 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,30 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
$K_n$	$K_n$	0,70	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	4,78 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_{y2} \times \sin 60$		20,65 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	9,79 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	5,19 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	5,19 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,53
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,53
	$d_{y1}/2$	4,90 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  4,78 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  4,78 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  4,78 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  4,78 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		klei	
drukloos	$Q_n$	4,78 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	4,78 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	1,55 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	2,52 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	4,31 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	4,31 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{ toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	---------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$Q_{grond}$	8,25 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	4,99 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	3,14 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-3,22 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$			
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q \text{ bodem}$	4,99 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ top}$	3,14 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ zijden}$	-3,22 N/mm <sup>2</sup>	

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	4,31 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	-1,58 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-1,58 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	1,58 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	4,31 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	-1,58 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-1,58 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-1,58 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	1,50 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,30 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q \text{ bodem}$	0,18 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,11 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,12 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
$S_q$ bodem		0,18 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,18 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,18 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuurverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
$S_t$		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,04566E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$		
$S_r$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$		
nvt		
$S_{rl}$		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
$S_l$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
$Q$		0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * I_w + 0.061 * k_h * r_g^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	6,1 mm	
	3,0 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * I_w / Dg^3$	12,48 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	0,95 N/mm <sup>2</sup> 9,51 bar 95,10 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,12 N/mm <sup>2</sup> 1,19 bar 11,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	4,99	3,14	3,22 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-1,58	-1,58	-1,58 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,18	0,11	0,12 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	3,58	1,67	1,76 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_y max + i_y * S_{b,x})$	2,33	1,09	1,14 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	29	14	14 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	3,0 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-02 150kV HDD1 en 2, punt met de grootste dekking</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>13,6</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>14,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV load model 2</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>70</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>onder</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>8</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>15</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>klei</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>gered. holocene</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>0,5</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>17,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	G	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	E	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	ix	<b>1</b>	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	<b>0</b>	>=0

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	264,71 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	36,02 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	92,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	185,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	d	14,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,23 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,08 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	14,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	W	$0,37 * 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	I	$36,96 * 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	f	1,60	
Totaalfactor horizontale bedding	f	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0928 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor



## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	2,3	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	29	% toetswaarde <100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	3,1 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	11,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Qn	f	1,10
Totaal factor Qp	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	9,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	9,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa      veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		8 mm
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		6 mm
$z_{\text{max reken}}$		8 mm
$q_n$	0,0450	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	0,2250	N/mm <sup>2</sup> Qp met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$		0,1800 N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$		0,022768 N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel		0,058 N/mm <sup>3</sup>
u		0,1      autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$		20 mm
u x $D_o \leq z_{\text{max reken}}$		8 mm
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,162	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$		32,31 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP Qk is hoger dan Qp

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$		0 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$		0 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	8,1 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	8,1 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	0,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	5,6 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma' - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,35 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	21,33 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,08
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	9,17 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	5,28 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,21 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	7,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	5,28 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. holoceen	
$Q_{grond\ reken}$	$Q \times f$	5,81 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	9,10 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	2,50 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,50 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
$K_n$	$K_n$	0,70	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	5,81 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_{y2}/2 \times \sin 60$		15,47 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	7,33 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	1,75 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	1,75 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,24
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,24
	$d_{y1}/2$	3,67 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  5,81 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  5,81 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  5,81 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  5,81 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		klei	
drukloos	$Q_n$	5,81 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	5,81 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	1,38 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	2,21 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	2,21 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	1,99 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m$ , toel	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	--------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$Q_{grond}$	5,81 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	3,51 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	2,21 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-2,27 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_v) / E' l_w))$			
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q$ bodem	3,51 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ top	2,21 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ zijden	-2,27 N/mm <sup>2</sup>	

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h,grond}$	1,99 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	-0,73 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-0,73 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,73 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h,grond}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	2,50 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,50 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,30 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,19 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,20 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,30 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,30 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,30 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuurverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,04566E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,48 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,21 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,24 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	onder	
	$S_{rl}$	0,43 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * l_w + 0.061 * k_h * rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	6,2 mm	
	3,1 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * l_w / Dg^3$	12,48 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	0,95 N/mm <sup>2</sup> 9,51 bar 95,10 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,12 N/mm <sup>2</sup> 1,19 bar 11,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	3,51	2,21	2,27 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,73	-0,73	-0,73 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,30	0,19	0,20 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,48	0,21	0,24 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	3,56	1,88	1,97 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,43	-0,43	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,43	-0,43	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	<b>0,28</b>	<b>-0,28</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	3	3	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_y max + i_y * S_{b,x})$	<b>2,32</b>	<b>1,22</b>	<b>1,28</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	29	15	16 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	3,1 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%



**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-02 380kV HDD1 t/m 4, punt met grootste dekking onder de weg</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>250</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>250</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>22,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV load model 2</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>150</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>onder</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>13</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>17</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>gered. pleistoceen</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>1,2</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,049</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0343</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>32,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	ix	<b>1</b>	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	<b>0</b>	>=0

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	974,76 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	85,88 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	113,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	227,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	22,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,33 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,15 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,49 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	22,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,85 * 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$105,73 * 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0980 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0583 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	0,6	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	7 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	0,6 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,72 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0441 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0309 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	$f$	1,50
Totaal factor $Q_n$	$f$	1,10
Totaal factor $Q_p$	$f$	1,50
Totaal factor kv omlaag	$f$	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	25,75 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	25,75 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa      veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		9 mm
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		7 mm
$z_{\text{max reken}}$		9 mm
$q_n$	0,1030	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	0,6386	N/mm <sup>2</sup> $Q_p$ met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	0,5356	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,061796	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,049	N/mm <sup>3</sup>
$u$	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
$u \times D_o$	25 mm	
$u \times D_o \leq z_{\text{max reken}}$	9 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,282	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	70,61	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP  $Q_k$  is hoger dan  $Q_p$

#### Berekening gereduceerde gronddrukken

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$		0 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$		0 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	8,1 m
Dikte samendrukbare grondmassief	$H$	8,1 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,20 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	4,9 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,31 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	6,5 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma' - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	1,13 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	29,59 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,09
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	11,84 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	8,32 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,26 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	7,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	1,60 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. pleistoceen	
$Q_{grond\ reken}$	$Q \times f$	1,76 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	25,97 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	2,50 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,63 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,46	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	10,66 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_{y2}/2 \times \sin 60$		3,29 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	1,47 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	-3,66 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	-3,66 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	-2,48
	$d_{y2}'/d_{y1}$	-2,48
	$d_{y1}/2$	0,74 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  10,66 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  10,66 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  10,66 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  10,66 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_n$	10,66 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	10,66 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	0,42 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	3,56 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,42 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	0,38 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{ toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	---------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$Q_{grond}$		1,76 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$		
$S_q \text{ bodem}$		0,55 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ top}$		0,34 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ zijden}$		-0,35 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$			
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q \text{ bodem}$	0,55 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ top}$	0,34 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ zijden}$	-0,35 N/mm <sup>2</sup>	

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$Q_{h, grond}$		0,38 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$		
$S_q \text{ bodem}$		-0,07 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ top}$		-0,07 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ zijden}$		0,07 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$Q_{h, grond}$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$		
$S_q \text{ bodem}$		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ top}$		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ zijden}$		0,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	2,50 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,63 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	0,19 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,12 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,13 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,19 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,19 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,19 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		1,38962E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,22 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,11 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	onder	
	$S_{rl}$	0,25 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>



Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	20,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * I_w + 0.061 * k_h * r_g^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	1,5 mm	
	0,6 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * I_w / Dg^3$	24,90 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,90 N/mm <sup>2</sup> 18,97 bar 189,72 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,37 bar 23,72 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	0,55	0,34	0,35 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,07	-0,07	-0,07 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,19	0,12	0,13 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,22	0,10	0,11 N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$	0,89	0,49	0,52 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,25	-0,25	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,25	-0,25	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	<b>0,16</b>	<b>-0,16</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	2	2	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	<b>0,58</b>	<b>0,32</b>	<b>0,34</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	7	4	4 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	0,6 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,0	0,0	0,0
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	0,0	0,0	0,0
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-02 380kV HDD1 t/m 4, punt tpv overgang in grondmassief</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>250</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>250</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>22,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV 0,5x load model 2</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>150</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>onder</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>8,1</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>15</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>klei</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>gered. holoceen</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>0,5</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,049</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0343</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>17,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	974,76 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	85,88 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	113,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	227,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	22,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,33 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,15 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,49 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	22,7 mm	
Weerstandsmoment van de buis	$W$	$0,85 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$105,73 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	1,60	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0784 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0583 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	1,5	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	19 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	1,6 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,72 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0441 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0309 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	$f$	1,50
Totaal factor $Q_n$	$f$	1,10
Totaal factor $Q_p$	$f$	1,50
Totaal factor kv omlaag	$f$	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	11,38 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	11,38 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		11 mm
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		9 mm
$z_{\text{max reken}}$		11 mm
$q_n$	0,0455	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	0,1929	N/mm <sup>2</sup> $Q_p$ met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	0,1474	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,013426	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,049	N/mm <sup>3</sup>
$u$	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
$u \times D_o$	25	mm
$u \times D_o \leq z_{\text{max reken}}$	11	mm
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,151	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	37,86	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP  $Q_k$  is hoger dan  $Q_p$

#### Berekening gereduceerde gronddrukken

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	8,1 m
Dikte samendrukbare grondmassief	$H$	8,1 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,20 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	0,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,31 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	5,6 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o * B_1 * (\gamma' - c_h / B_1) / (K * \tan \phi_h) * (1 - e^{-(K * h_h * \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,83 kN/m
$F_{max} = (h * \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) * 2B_1$	$F_{max}$	26,02 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,09
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 * (3H - 2h) * \alpha) / (2 C * H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 * k_v))))$		
	$F_r$	9,90 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h * \gamma'_h - F_r / 2B_1) * D_o$	$Q_{n,r2}$	7,36 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,26 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	7,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o * B_1 * \gamma') / (K * \tan \phi) * (1 - e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h * h_h * D_o * e^{-(K * h * \tan \phi) / B_1}$		
	$Q_{n,r}$	7,36 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. holoceen	
$Q_{grond\ reken}$	$Q \times f$	8,10 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

<b>Berekening horizontale steundrukken</b>			
<i>Neutrale steundruk</i>			
$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	11,53 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	1,25 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,70	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	7,17 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°
<i>Iowa steundruk</i>			
dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_y/2 \times \sin 60$		10,76 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar
hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk			
deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	4,83 mm	
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	1,37 mm	
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	1,37 mm	
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,28	
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,28	
	$d_{y1}/2$	2,41 mm	
<i>Zandgrond en drukloos</i>			
$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$		7,17 kN/m <sup>1</sup> buis	altijd toelaatbaar
<i>Zandgrond en lagedrukleiding</i>			
$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$		7,17 kN/m <sup>1</sup> buis	als $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$ toelaatbaar
<i>Zandgrond en drukleiding</i>			
steundruk niet toelaatbaar		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	als $d_{y1}/2 < dE$ toelaatbaar
<i>Klei/veengrond drukloos</i>			
$Q_h = Q_{h,n}$		7,17 kN/m <sup>1</sup> buis	altijd toelaatbaar
<i>Klei/veengrond en lagedrukleiding</i>			
$Q_h = Q_{h,n}$		7,17 kN/m <sup>1</sup> buis	als $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$ toelaatbaar
In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk			
grondsoort		klei	
drukloos	$Q_h$	7,17 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_h$	7,17 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

<b>Berekening gereduceerde horizontale steundrukken</b>		
$Q_{hr}$ pleistoceen		1,92 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene		3,11 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$		
	$Q_{h,n,r}$	3,11 kN/m <sup>1</sup> buis

<b>In rekening te brengen horizontale steundrukken</b>		
drukloos		2,80 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f
druk		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f



#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

Materiaalgegevens		
Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)		
$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$Q_{grond}$	8,10 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	2,52 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	1,58 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-1,63 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
<i>Reroundingeffect</i>	$S_q \text{ bodem}$	2,52 N/mm <sup>2</sup>
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q \text{ top}$	1,58 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-1,63 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)		
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h,grond}$	2,80 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	-0,53 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-0,53 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,53 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)		
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h,grond}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)		
Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	1,25 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q \text{ bodem}$	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,06 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,06 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,10 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuurverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		1,24291E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,20 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,10 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	onder	
	$S_{rl}$	0,25 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	20,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * I_w + 0.061 * k_h * r_g^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	3,9 mm	
	1,6 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * I_w / Dg^3$	24,90 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,90 N/mm <sup>2</sup> 18,97 bar 189,72 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,37 bar 23,72 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	2,52	1,58	1,63 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,53	-0,53	-0,53 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,10	0,06	0,06 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,20	0,09	0,10 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	2,28	1,20	1,26 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,25	-0,25	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,25	-0,25	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,16	-0,16	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	2	2	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_y max + i_y * S_{b,x})$	1,48	0,78	0,82 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	19	10	10 % < 100%

Deflectie	
Deflectie	1,6 % van uitwendige diameter

Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b;x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b;x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%



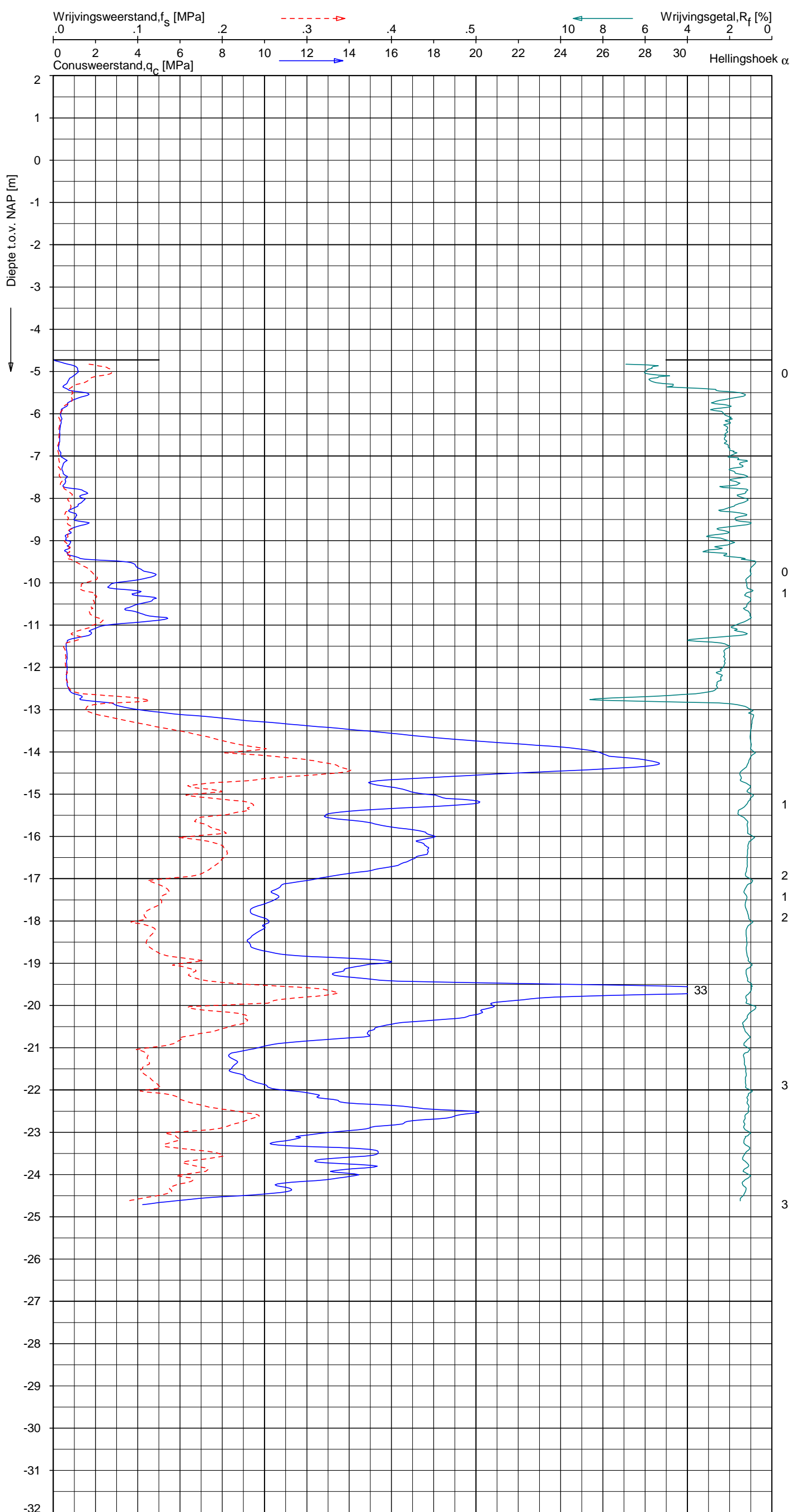
---

## 4.5 Grondonderzoek

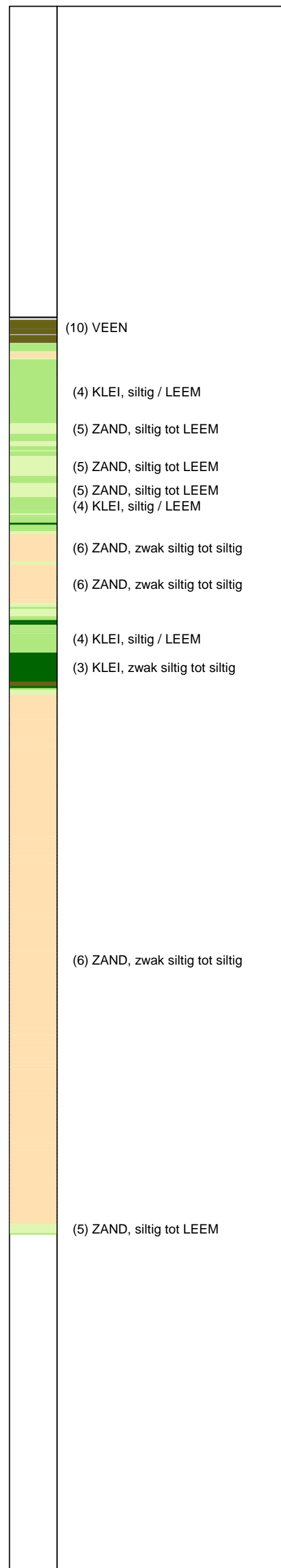
UNIPLOT 05.21.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-01-24 16:54:34

1010-0117-003

DKM1010 - 1



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



Opg. : GEV/PJW d.d. 18-Jan-2013 conus : F7.5CKE2HA/B X = 108096.0  
 Get. : VALKF d.d. 2013-01-24 MV = NAP -4.72 m Y = 486540.5

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

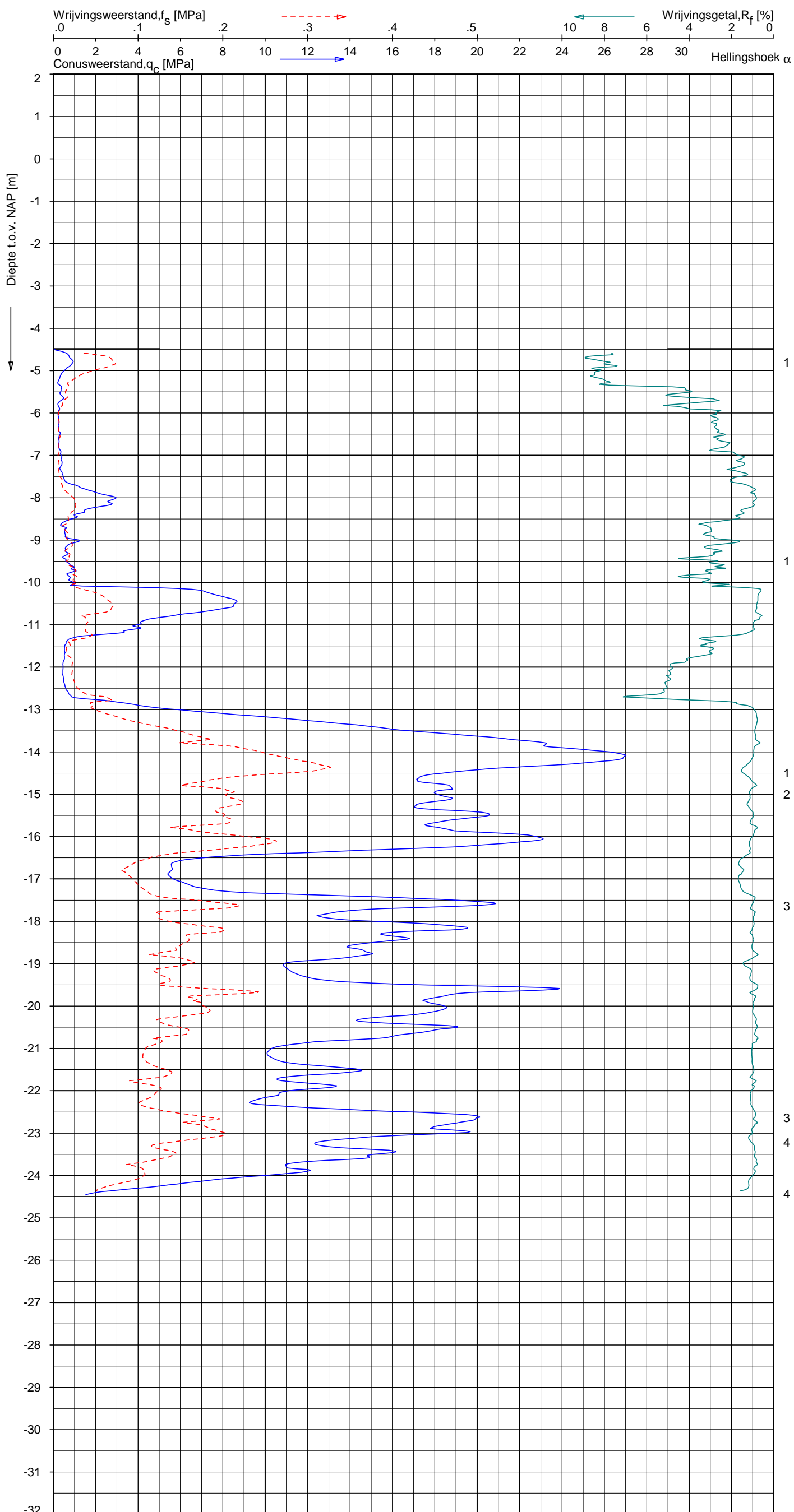
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1010

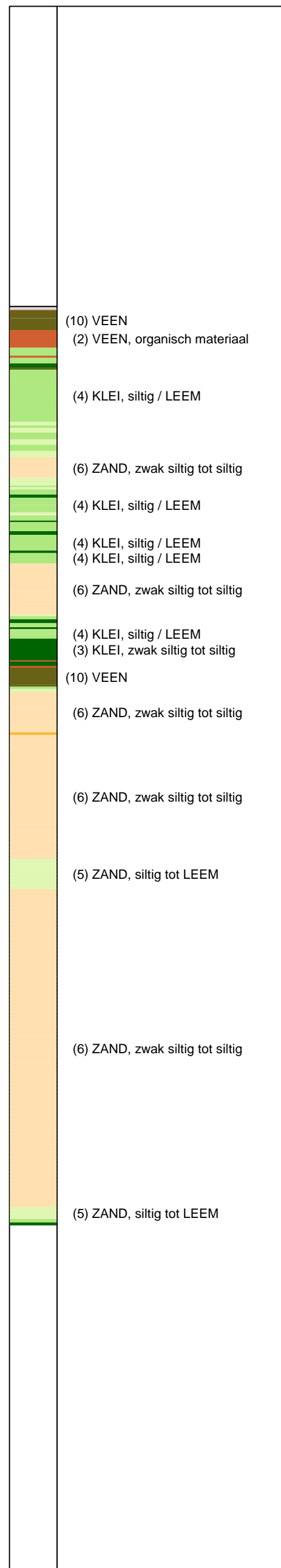
UNIPLOT 05.21.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-01-24 16:54:31

1010-0117-003

DKMP1009 - 1



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



Opg. : GEV/PJW d.d. 17-Jan-2013 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 108066.5 Y = 486567.9  
 Get. : VALKF d.d. 2013-01-24 MV = NAP -4.49 m  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2. Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm. Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

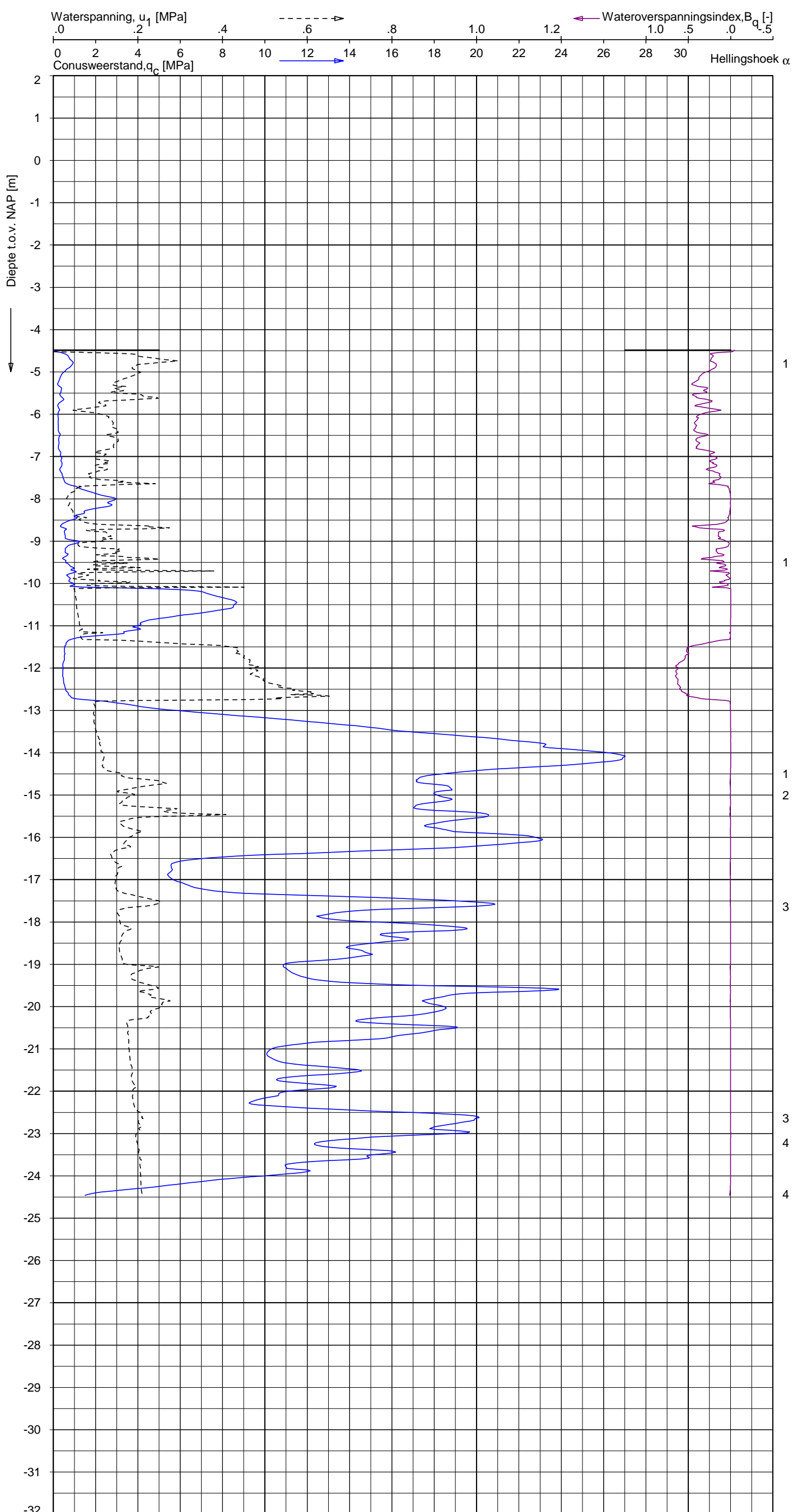
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1009

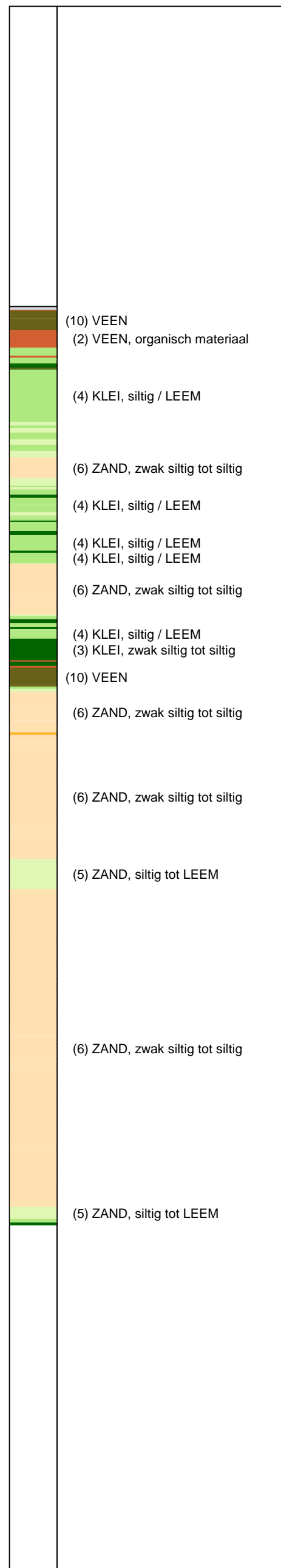
UNIPLOT 05.21.nl / QcU1Class-N3.cmd / 2013-01-24 16:58:06

1010-0117-003

DKMP1009 - 1



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



Opg.: GEV/PJW d.d. 17-Jan-2013 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 108066.5 Y = 486567.9  
 Get.: VALKF d.d. 2013-01-24 MV = NAP -4.49 m

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1009



# Berekeningen X-03 HDD kruising Provinciale weg N201 t.h.v. Qruquius

## Civiele Werkzaamheden R380 Noordring Perceel 1: Vijfhuizen – Zuidelijke Ringvaart

Documentnummer: : VIR-0.000.518  
Referentienummer: : TP13141-doc-03  
Documentstatus: : Definitief  
Datum: : 15-11-2013  
Versie: : 2.0

Opdrachtgever:



Opdrachtnemer:



	Naam	Functie	Paraaf	Datum
Opsteller	M.Huurman	Civil Engineer		15-11-2013
Gecontroleerd	J. Hermus	Groepsleider Civiel		15-11-2013
Gecontroleerd	M. Molema	Disciplineleider		15-11-2013
Geautoriseerd / Vrijgave	M. Roohé	Projectmanager		15-11-2013



## DOCUMENT HISTORIE

Revisie	Omschrijving/Belangrijkste wijzigingen	Datum
0.1	Concept definitief ontwerp	17-07-2013
1.0	Definitief Ontwerp	02-08-2013
2.0	Opmerkingen RFA/ RFC verwerkt	15-11-2013



## Inhoud

1. Inleiding.....	4
2. Uitgangspunten .....	5
2.1 Algemeen.....	5
2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren.....	5
2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis .....	5
2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase .....	5
2.5 Kwelproblematiek.....	6
2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring.....	6
2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting .....	6
2.5.3 Kwel op lange termijn .....	6
3. Conclusies .....	7
3.1 Muddrukken tijdens boren .....	7
3.2 Sterkte tijdens installeren .....	8
3.2.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens installeren.....	8
3.2.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens installeren.....	8
3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik.....	9
3.3.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens gebruik.....	9
3.3.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens gebruik.....	9
4. Bijlagen.....	10
4.1 Tekening VIR-0.000503, Referentienr. TP13141-K-X-03.....	10
4.2 Muddrukberekening.....	11
4.3 Trekkrachten berekening.....	12
4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase .....	13
4.5 Grondonderzoek.....	14



## 1. Inleiding

In de Randstad wordt de komende jaren een sterke toename verwacht in de vraag naar electriciteit. Om de elektriciteitsvoorziening in de toekomst veilig te stellen wordt er door TenneT een nieuwe 380kV hoogspanningsverbinding tussen Beverwijk – Vijfhuizen – Bleiswijk – Wateringen gerealiseerd. Dit project wordt Randstad380kV genoemd.

Project Randstad380 Noordring is de tweede fase van het project en bestaat uit een hoogspanningsverbinding van Beverwijk via Vijfhuizen naar Bleiswijk.

Naast de aanleg van een 380kV hoogspanningsverbinding wordt er ook een 150kV hoogspanningsverbinding gerealiseerd. In verband met de aanleg van beide hoogspanningsverbindingen moet de N201 ter hoogte van Qruquius gekruist worden. Deze kruising wordt uitgevoerd door middel van een aantal horizontaal gestuurde boringen. In de boringen worden de volgende mantelbuizen geïnstalleerd:

380kV :

- HDD 01 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 02 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 03 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 04 4x Ø250 PE100 SDR11

150kV :

- HDD 01 7x Ø200 PE100 SDR11

In dit rapport worden de voor de boringen benodigde berekeningen uitgevoerd.

*Hiertoe worden de volgende aspecten bekeken:*

- De bij het boren te verwachten muddrukken en de maximaal toelaatbare muddrukken.
- De benodigde trekkracht voor het intrekken van de mantelbuizen en de hierbij optredende spanningen in de buizen.
- De sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase.
- Mogelijke kwelproblematiek.

Bovenstaande berekeningen worden uitgevoerd met spreadsheet-programma's.

*Uitgangspunten van deze berekeningen zijn de normen:*

- NEN 3650-1:2012, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1 algemeen
- NEN 3650-3:2012 ontwerp, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 3 Kunststoffen
- NEN 3651:2012, Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken.

*Grondonderzoek:*

- Gegevens grondonderzoek afkomstig van Fugro, opdrachtnr. 1010-0117-003 Bijlage 4.5

*Bijbehorende tekeningen:*

- Algemeen plantekening op A4 formaat Bijlage 4.1



## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Algemeen

*De belangrijkste ontwerpgegevens van de mantelbuizen, die gelden voor de boringen:*

Kenmerk	<b>380kV</b> HDD 1 t/m 4	<b>150kV</b> HDD 1
Materiaal	PE	PE
Kwaliteit	PE100	PE100
Treksterkte	10 N/mm <sup>2</sup>	10 N/mm <sup>2</sup>
Aantal buizen	4	7
Diameter	250 mm	200 mm
Wanddikte	22.7 mm (SDR 11)	18.2 mm (SDR 11)

### 2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren

Voor het afvoeren van de afgeboorde grond is in het boorgat een minimale muddruk nodig. Tevens mag de druk in het boorgat niet groter worden dan de maximaal toelaatbare muddruk. Bij overschrijding van deze druk bestaat het gevaar voor bezwijken van de grond en uitstromen van boorvloeistof aan het maaiveld. Voor de muddrukberekening worden de minst diepe boringen (380kV HDD 1 t/m 4) als maatgevend beschouwd.

De maximaal toelaatbare muddruk en de minimaal benodigde muddrukken zijn berekend in Bijlage 4.2. De resultaten worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd.

### 2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de mantelbuis in het boorgat in te trekken worden de wrijvingscoëfficiënten volgens de NEN gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de buis optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend. Voor zowel de boringen ten behoeve van 380kV als voor 150kV wordt apart een trekkrachtberekening uitgevoerd.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.3. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.

### 2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase

Voor de sterkte van de mantelbuizen worden voor een aantal locaties doorsnede-berekeningen gemaakt. De volgende doorsneden worden beschouwd:

380kV:

- Punt met de grootste dekking (ca. 17m-maaiveld), hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.
- Diepte van  $8x D_{\text{gat}}$ , hierbij wordt met neutrale gronddruk gerekend.

150kV:

- Punt met de grootste dekking (ca. 25m-maaiveld), hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.
- Diepte van  $8x D_{\text{gat}}$ , hierbij wordt met neutrale gronddruk gerekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.4. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.



## 2.5 Kwelproblematiek

In het kader van de kwelproblematiek worden de hieronder vermelde situaties bekeken.

- Tijdens de uitvoering van de boring
- Tijdens het maken van de aansluiting
- Op lange termijn

### 2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring

De intredepunten van de maatgevende boringen (150kV HDD 1) hebben een maaiveldhoogte van 4.3m-N.A.P. De uittredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van 4.8m-N.A.P. Het hart van de boringen ligt op het diepste punt op 28m-N.A.P.

Het eerste watervoerende zandpakket ligt op een diepte van ca. 10m-N.A.P. en wordt aangeboord.

Volgens de door de opdrachtgever verstrekte informatie bedraagt de gemiddelde stijghoogte van het spanningswater in het eerste watervoerende pakket ca. 4.7m-N.A.P.

De stijghoogte van het spanningswater is hoger dan het maaiveld niveau.

Op het grensvlak werkt een opwaartse waterdruk van  $(4.7 - 10) \times 10 \text{ kN/m}^3 = 53 \text{ kN/m}^2$

De bentonietkolom oefent bij een bentoniet gewicht van  $12 \text{ kN/m}^3$  een neerwaartse kracht uit van  $(4.8 - 10) \times 12 \text{ kN/m}^3 = 62.4 \text{ kN/m}^2$

De neerwaartse druk van de bentonietkolom is groter dan de opwaartse waterdruk, er is hiermee geen gevaar voor kwel tijdens de uitvoering van de boringen.

Muduitbraken ter plaatse van de watergangen zijn volgens de berekeningen niet te verwachten (zie hoofdstuk 3 of bijlage 4.2). Kwel vanuit het watervoerende zandpakket naar de watergangen is hierdoor niet aan de orde.

### 2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting

Ten tijde van het maken van de aansluitingen moet tijdelijk een ontgraving van ca. 3m-maaiveld worden gemaakt, waarbij een kwelscherm met kleikist dient te worden aangebracht.

Op het grensvlak werkt een opwaartse waterdruk van  $(4.7 - 10) \times 10 \text{ kN/m}^3 = 53 \text{ kN/m}^2$

De bentonietkolom oefent bij een bentoniet gewicht van  $12 \text{ kN/m}^3$  een neerwaartse kracht uit van  $(7.8 - 10) \times 12 \text{ kN/m}^3 = 26.4 \text{ kN/m}^2$

Hoewel het gebruik van zwaardere bentoniet een oplossing zou kunnen zijn, kan hier ook met verzwaarde bentoniet geen evenwicht worden bereikt.

Tijdens het maken van de aansluitingen dient daarom kortdurend spanningsbemaling te worden toegepast.

### 2.5.3 Kwel op lange termijn

Zowel aan de intrede- als aan de uittredezijde dienen kwelschermen in kleikisten geplaatst te worden om de kwel op lange termijn te voorkomen.

### 3. Conclusies

#### 3.1 Muddrukken tijdens boren

Overzicht minimum en maximum muddrukken tijdens boren:

Locatie		Afstand tot intredepunt	Minimaal benodigde muddruk (Bijlage 4.2)	Maximaal toelaatbare muddruk (Bijlage 4.2)
IN	Intredepunt	0 m		
A		21 m	85 kN/m <sup>2</sup>	164 kN/m <sup>2</sup>
B		43 m	159 kN/m <sup>2</sup>	226 kN/m <sup>2</sup>
C		73 m	224 kN/m <sup>2</sup>	429 kN/m <sup>2</sup>
D		100 m	245 kN/m <sup>2</sup>	534 kN/m <sup>2</sup>
E		128 m	262 kN/m <sup>2</sup>	544 kN/m <sup>2</sup>
F		156 m	277 kN/m <sup>2</sup>	521 kN/m <sup>2</sup>
G		183 m	293 kN/m <sup>2</sup>	519 kN/m <sup>2</sup>
H		211 m	308 kN/m <sup>2</sup>	516 kN/m <sup>2</sup>
I		238 m	324 kN/m <sup>2</sup>	514 kN/m <sup>2</sup>
J		265 m	340 kN/m <sup>2</sup>	511 kN/m <sup>2</sup>
K		293 m	355 kN/m <sup>2</sup>	506 kN/m <sup>2</sup>
L		321 m	345 kN/m <sup>2</sup>	396 kN/m <sup>2</sup>
M		348 m	297 kN/m <sup>2</sup>	199 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uittredepunt	377 m		

Uit de resultaten blijkt dat tijdens het boren van de eindfase van de pilot (na doorsnede L) muduitbraken kunnen voorkomen. Tijdens de uitvoering dient hier rekening mee gehouden te worden door in de eindfase van de pilotboring zo weinig mogelijk bentoniet te verpompen met een zo laag mogelijke druk.



### 3.2 Sterkte tijdens installeren

#### 3.2.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

<b>380kV HDD 1 t/m 4</b>	<b>Smax (Bijlage 4.3)</b>	<b>max % &lt;100%</b>	
Spanning in boorgat	2,5 N/mm <sup>2</sup>	25 %	
Spanning tijdens intrekken	5,7 N/mm <sup>2</sup>	57 %	
Trekkraft			116 kN

De mantelbuizen worden gevuld met bentoniet in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkraft van maximaal 12 ton verwacht.

#### 3.2.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

<b>150kV HDD 1</b>	<b>Smax (Bijlage 4.3)</b>	<b>max % &lt;100%</b>	
Spanning in boorgat	2,5 N/mm <sup>2</sup>	25 %	
Spanning tijdens intrekken	5,5 N/mm <sup>2</sup>	55 %	
Trekkraft			148 kN

De mantelbuizen worden gevuld met bentoniet in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkraft van maximaal 15 ton verwacht.



### 3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik

#### 3.3.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens gebruik

Overzicht van de berekende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met de grootste dekking:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	0,8 N/mm <sup>2</sup>	9 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		0,8 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,72 m	waterkolom

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met een diepte van  $8x D_{gat}$ :

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	2,3 N/mm <sup>2</sup>	28 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		2,4 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,72 m	waterkolom

Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.

#### 3.3.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens gebruik

Overzicht van de berekende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met de grootste dekking:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	0,7 N/mm <sup>2</sup>	8 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		0,7 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,89 m	waterkolom

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met een diepte van  $8x D_{gat}$ :

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	2,2 N/mm <sup>2</sup>	28 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		2,4 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,89 m	waterkolom

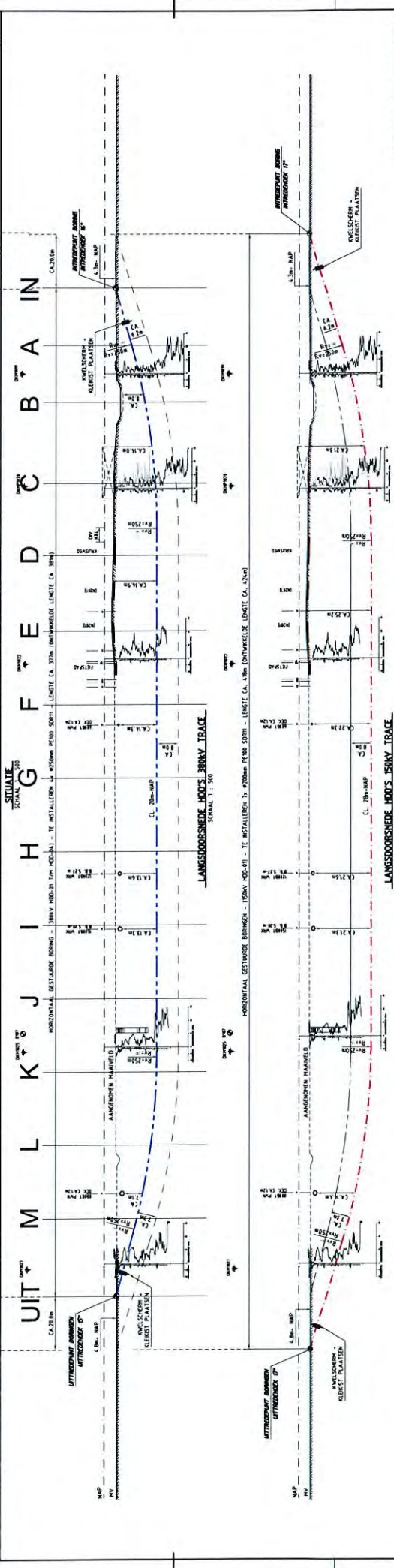
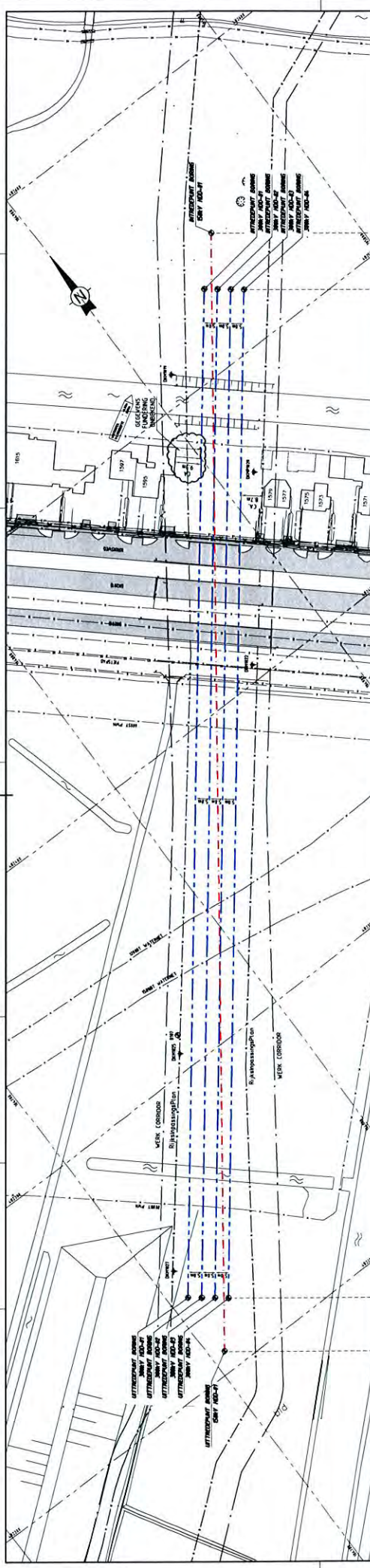
Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.



---

## **4. Bijlagen**

### **4.1 Tekening VIR-0.000503, Referentienr. TP13141-K-X-03**



MAKELIJKER WISSE VAN INSTALLEREN  
VAN DE LIGGING VAN DE  
IMPACT LOCATE EN AFWIJKEN  
VAN DE TEGENLIJN

TE INSTALLEREN (150KV)  
4x 4700 PERIODE SORTI  
4x 4700 PERIODE SORTI  
TE UITVOEREN

TE INSTALLEREN (150KV)  
7x 4700 PERIODE SORTI  
7x 4700 PERIODE SORTI  
TE UITVOEREN

COÖRDINATEN LIST OP BASIS VAN RD	SCHAAL 1:20	
PUNT	PROYECTIE	Y
1	44208.42	44208.42
2	44208.42	44208.42
3	44208.42	44208.42
4	44208.42	44208.42
5	44208.42	44208.42
6	44208.42	44208.42
7	44208.42	44208.42
8	44208.42	44208.42
9	44208.42	44208.42
10	44208.42	44208.42
11	44208.42	44208.42
12	44208.42	44208.42
13	44208.42	44208.42
14	44208.42	44208.42
15	44208.42	44208.42
16	44208.42	44208.42
17	44208.42	44208.42
18	44208.42	44208.42
19	44208.42	44208.42
20	44208.42	44208.42

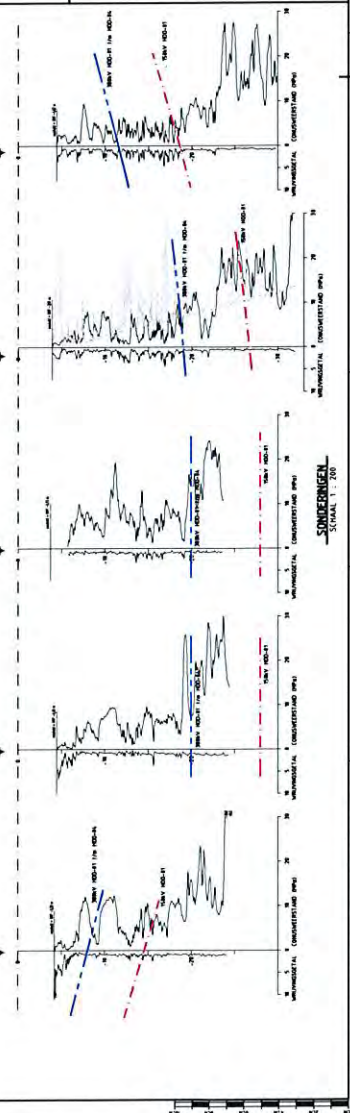
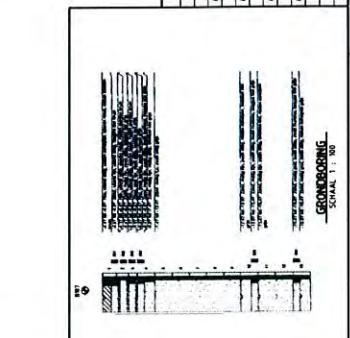
**VolkerWtW**  
 Technisch Bureau  
 Nieuwe Dijk 11  
 3715 LB Veenendaal  
 T: 0334 611111  
 F: 0334 611112  
 E: info@volkerwtw.nl  
 W: www.volkerwtw.nl

**DOORSNIJDE**  
 HOEDS 150KV TRACE  
 SCHAAL 1:70

**DOORSNIJDE**  
 HOEDS 150KV TRACE  
 SCHAAL 1:70

RANDSTAD NOORD  
 350V & 150V  
 ALGEMEEN PLAN  
 350V & 150V TRACE  
 HOED S ONDER KRUISWEG (N201)

Project: 150KV HV  
 Datum: 15-03-2017  
 Tekenaar: [Name]  
 Getuimd: [Name]  
 Schaal: 1:200





---

## 4.2 Muddrukberkening

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-03 380kV HDD1 t/m 4 Kruising N201 t.h.v. Qruquius
Berekend door	MHU

Te installeren buis of bundel	
Uitwendige diameter buis/bundel	d 600 mm

Boorstelling	
Type boorstelling	27 ton
Uitwendige diameter pilotbuis	d-uitw. 89 mm
Inwendige diameter pilotbuis	d-inw. 66 mm

Boorvloeistof	
Volumegewicht boorvloeistof	$V_{bo}$ 10,50 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht grond / boorvloeistof mengsel	$V_b$ 12,00 kN/m <sup>3</sup>
Schijnbare viscositeit	visc 100 MarshFunnelseconden
Yieldpoint boorvloeistof	$y_b$ 0,01 kN/m <sup>2</sup>
Viscositeit	eta 0,11 Pas

Boorbuizen	
Lengte boorbuis	L 4,6 m
Lengte koppeling	L-kopp 0,5 m
Inwendige diameter koppeling	d-kop 61 mm
Nik. Ruwheid	k 1 mm

**SAMENVATTING INVOER/RESULTATEN**

Lokatie	Omschrijving	Afstand tot intredepunt	Diepte cl t.o.v ref. lijn [m]	Pmin* in pilot gat	Pmax* toelaatbaar in gat tijdens ruimen
IN	Intredepunt	0,0	0,0 m	-	0 kN/m2
A		21,4	-6,1 m	85	164 kN/m2
B		42,7	-11,2 m	159	226 kN/m2
C		73,1	-15,2 m	224	429 kN/m2
D		100,1	-15,7 m	245	534 kN/m2
E		128,4	-15,7 m	262	544 kN/m2
F		155,9	-15,7 m	277	521 kN/m2
G		183,4	-15,7 m	293	519 kN/m2
H		210,9	-15,7 m	308	516 kN/m2
I		238,4	-15,7 m	324	514 kN/m2
J		265,9	-15,7 m	340	511 kN/m2
K		293,4	-15,7 m	355	506 kN/m2
L		320,9	-13,5 m	345	396 kN/m2
M		348,4	-8,2 m	297	199 kN/m2
UIT	Uitredepunt	377,4	-0,5 m	-	0 kN/m2

Pmin benodigd bij max. mud debiet

**noot \*: Pmin in pilot gat vergelijken met Pmax tijdens ruimen is de meest ongunstige benadering**

**Berekening van de maximaal toelaatbare boorvloei­stof­druk­ken P'max  
volgens NEN 3650-1:2003 bijlage E.2**

**INVOER/UITVOER**

Lokatie	IN	A	B	C	D
Grondsoort (zand / klei)	-	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	-	<b>6</b>	<b>8,6</b>	<b>15,8</b>	<b>16,7</b> m
Diepte water onder mv (+)	-	<b>1,6</b>	<b>-0,9</b>	<b>2</b>	<b>2,7</b> m
Hoek inwendige wrijving	-	<b>27,5</b>	<b>27,5</b>	<b>30</b>	<b>32,5</b> gr
Volumegewicht nat	-	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>19</b> kN/m3
Volumegewicht droog	-	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>17</b> kN/m3
Cohesie	-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	-	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	-	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>8</b> MPa
Rpmax	-	0,23	0,22	0,20	0,26 m
Elasticiteitsmodulus	-	3800	3800	7600	15200 kN/m2
P'max in gat	-	164	226	429	534 kN/m2

Location	E	F	G	H	I
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	<b>17,1</b>	<b>16,2</b>	<b>16,1</b>	<b>16</b>	<b>15,9</b> m
Diepte water onder mv (+)	<b>3,1</b>	<b>2,2</b>	<b>2,1</b>	<b>2</b>	<b>1,9</b> m
Hoek inwendige wrijving	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b> gr
Volumegewicht nat	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b> kN/m3
Volumegewicht droog	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b> kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b> MPa
Rpmax	0,25	0,27	0,27	0,27	0,27 m
Elasticiteitsmodulus	15200	15200	15200	15200	15200 kN/m2
P'max in gat	544	521	519	516	514 kN/m2

Location	J	K	L	M	UIT
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	-
Gronddekking	<b>15,8</b>	<b>15,6</b>	<b>13,3</b>	<b>7,7</b>	- m
Diepte water onder mv (+)	<b>1,8</b>	<b>1,7</b>	<b>1,6</b>	<b>1,2</b>	- m
Hoek inwendige wrijving	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>30</b>	<b>27,5</b>	- gr
Volumegewicht nat	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	- kN/m3
Volumegewicht droog	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	- kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	- kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	-
CPT Conusweerstand: qc	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	- MPa
Rpmax	0,27	0,27	0,24	0,21	- m
Elasticiteitsmodulus	15200	15200	9500	3800	- kN/m2
P'max in gat	511	506	396	199	kN/m2



### 4.3 Trekrachten berekening

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de leiding in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN 3650-1:2012 gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de leiding optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.

## Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

### INVOER

#### Projectgegevens

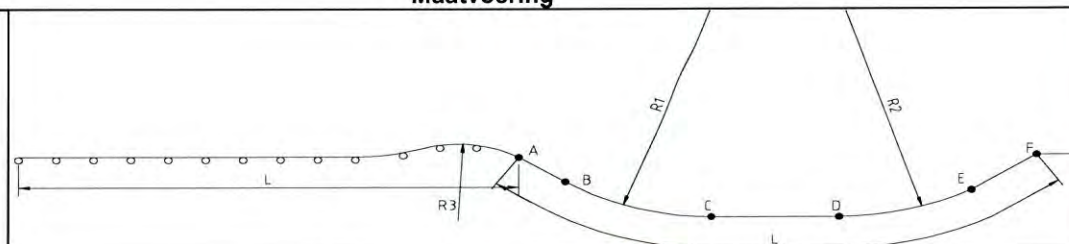
Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad 380kV Noordring</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-03 150kV HDD 1 Krusing N201 t.h.v. Qruquius</b>
Berekend door	<b>MHU</b>

#### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	<b>200 mm</b>
Wanddikte	$d$	<b>18,2 mm</b>
Dikte externe coating	$c-e$	<b>0 mm</b>
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	<b>0 kg/m<sup>3</sup></b>
Dikte interne coating	$c-i$	<b>0 mm</b>
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	<b>0 kg/m<sup>3</sup></b>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY		<b>pe100</b>
buizen met flexibele verbindingen		<b>nee</b>
Elasticiteitsmodulus	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	$sg$	955 kg/m <sup>3</sup>

#### Maatvoering

Schets



Lengte boring	$L$	<b>424 m</b>		
Afstand	A-B	<b>42 m</b>		
Afstand	A-C	<b>116 m</b>	A-H1	<b>116 m</b>
Afstand	A-D	<b>306 m</b>	A-H2	<b>306 m</b>
Afstand	A-E	<b>380 m</b>		
Afstand	A-F	<b>424 m</b>		
Straal boor profiel	$R_1$	<b>250 m</b>	excl. 10% marge	
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	<b>0</b>		
Straal boor profiel	$R_2$	<b>250 m</b>	excl. 10% marge	
Straal rollenbaan	$R_3$	<b>50 m</b>		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	<b>17 graden</b>	(bij punt A)	
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	<b>0 graden</b>	(+ naar beneden ri. rig zijde)	
Horizontale hoek middenstuk	$\alpha_{hor}$	<b>0 graden</b>		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	<b>17 graden</b>	(bij punt F)	
Aantal buizen	aantal, n	<b>7 buis/buizen</b>	--	
Bundel gekoppeld		<b>nee</b>		
Buisvulling in boorgat	<b>bentoniet</b>		Buisvulling (water) ook op rolstellen	<b>nee</b>
Extra buisvulling in boorgat	<b>0,00 kN/m<sup>1</sup></b>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	<b>nee</b>
Streng wordt uitgelegd op	<b>rollen &gt; NEN3650</b>	Afstand tussen rolstellen	<b>10 m</b>	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		<b>NEN3650:2012</b>		
Pipe Pusher capaciteit	<b>0</b>	kN	<b>nee</b>	
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen			<b>nee</b>	

### SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	<b>148 kN</b>	15 ton
SI max in boorgat	SI	<b>2,5 N/mm<sup>2</sup></b>	
SI max tijdens intrekken	SI	<b>5,5 N/mm<sup>2</sup></b>	
		55,4 % S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>



## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2, f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

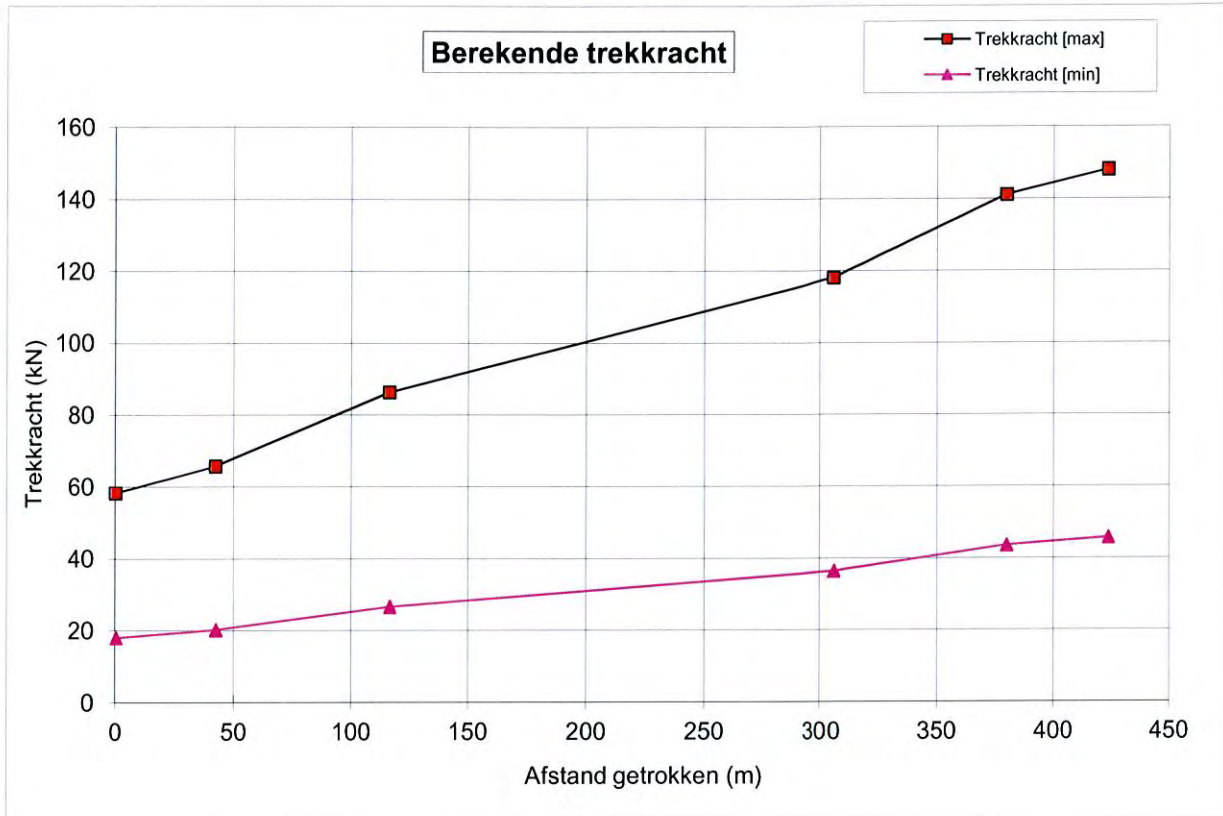
Diverse gegevens			
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel	10 N/mm <sup>2</sup>	
Soortelijk gewicht bentoniet	sg	1200 kg/m <sup>3</sup>	
Doorsnedeoppervlak	Abuis	10395 mm <sup>2</sup>	per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>4</sup>	
Weerstandmoment	W	433754 mm <sup>3</sup>	per buis
Traagheidsmoment	I	43375426 mm <sup>4</sup>	per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>	3036280 mm <sup>3</sup>	voor: 7 buis/buiz
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>	303627980 mm <sup>4</sup>	voor: 7 buis/buiz
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g	omlaag 0,6949 kN/m1streng	"
gewicht vull x aantal buizen	g vull	omlaag 1,7658 kN/m1streng	"
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra	omhoog 0,0000 kN/m1streng	"
opdriving x aantal buizen	g opw	omhoog -2,6389 kN/m1streng	"
g eff in gat = g-gopw	g eff	omhoog -0,1783 kN/m1streng	"
g eff op rolstellen	g eff	omlaag 0,6949 kN/m1streng	"
$\lambda = \sqrt{\sqrt{k_v \times B/4/E/I}}$	$\lambda$	0,002152 mm <sup>-1</sup>	
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>	0,04 N/mm <sup>3</sup>	"
Oplegbreedte van de bundel	B	781 mm	
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_1$	Q <sub>r1</sub>	0,0031 N/mm <sup>2</sup>	"
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_h$	Q <sub>rh</sub>	0,0000 N/mm <sup>2</sup>	"
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_2$	Q <sub>r2</sub>	0,0031 N/mm <sup>2</sup>	"
Reductiefactor voor bundel = $n \times 1/n^{0.3}$	b'	3,905 x Omtrek van een buis	

Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	424	382	308	308	119	119	44	1	
T <sub>1</sub> (kN)	32,41	29,19	23,52	23,52	9,06	9,06	3,39	0	
L <sub>2</sub> (m)	0	42	74	0	189	0	74	44	
T <sub>2</sub> (kN)	0	7,33	12,92	0,00	32,95	0,00	12,92	7,63	
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	1,55	0,00	0,00	0,00	1,55	0	
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	2,63	2,63	1,78	1,78	5,78	5	
F x f (totale kracht, kN)	32	37	48	48	66	66	78	82	
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	58	66	86	86	118	118	141	148	
De te verwachten trekkracht ligt tussen			46 kN	en	148 kN				
De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk							165 kN		
De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid									

Spanningen in boorgat									
Totale spanning in boorgat									
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	0,8	0,9	1,2	1,2	1,6	1,6	1,9	2,0	
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	
SI tot	0,8	0,9	1,8	1,2	1,6	1,6	2,5	2,0	

Spanningen op rollenbaan			
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling			
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R	Sr	2,6 N/mm <sup>2</sup>	
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>	M	6,4 kNm	total
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal	SI	5,5 N/mm <sup>2</sup>	

## GRAFIEK



## Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

### INVOER

#### Projectgegevens

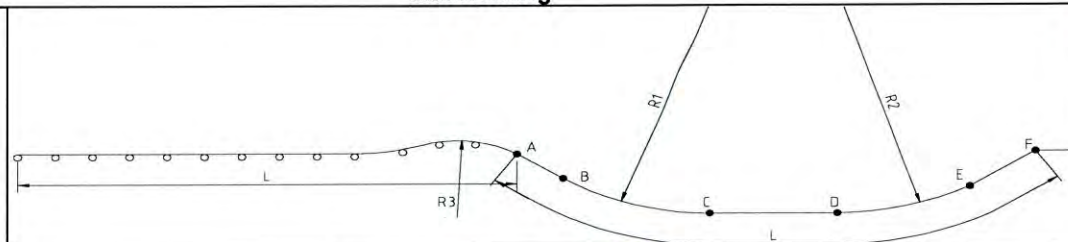
Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad 380kV Noordring</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-03 380kV HDD 1 t/m 4 Kruising N201 t.h.v. Qruquius</b>
Berekend door	<b>MHU</b>

#### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	<b>250 mm</b>
Wanddikte	$d$	<b>22,7 mm</b>
Dikte externe coating	$c-e$	<b>0 mm</b>
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	<b>0 kg/m<sup>3</sup></b>
Dikte interne coating	$c-i$	<b>0 mm</b>
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	<b>0 kg/m<sup>3</sup></b>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY		<b>pe100</b>
buizen met flexibele verbindingen		<b>nee</b>
Elasticiteitsmodulus	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	$sg$	955 kg/m <sup>3</sup>

#### Maatvoering

Schets



Lengte boring	$L$	<b>381 m</b>		
Afstand	A-B	<b>26 m</b>		
Afstand	A-C	<b>91 m</b>	A-H1	<b>91 m</b>
Afstand	A-D	<b>289 m</b>	A-H2	<b>289 m</b>
Afstand	A-E	<b>359 m</b>		
Afstand	A-F	<b>381 m</b>		
Straal boor profiel	$R_1$	<b>250 m</b>	excl. 10% marge	
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	<b>0</b>		
Straal boor profiel	$R_2$	<b>250 m</b>	excl. 10% marge	
Straal rollenbaan	$R_3$	<b>50 m</b>		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	<b>15 graden</b>	(bij punt A)	
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	<b>0 graden</b>	(+ naar beneden ri. rig zijde)	
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	<b>0 graden</b>		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	<b>16 graden</b>	(bij punt F)	
Aantal buizen	aantal, n	<b>4 buis/buizen</b>	--	
Bundel gekoppeld		<b>nee</b>		
Buisvulling in boorgat	<b>bentoniet</b>		Buisvulling (water) ook op rolstellen	<b>nee</b>
Extra buisvulling in boorgat	<b>0,00 kN/m<sup>1</sup></b>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	<b>nee</b>
Streng wordt uitgelegd op	<b>rollen &gt; NEN3650</b>	Afstand tussen rolstellen	<b>10 m</b>	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		<b>NEN3650:2012</b>		
Pipe Pusher capaciteit	<b>0</b>	kN	<b>nee</b>	
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen			<b>nee</b>	

### SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	<b>116 kN</b>	12 ton
SI max in boorgat	SI	<b>2,5 N/mm<sup>2</sup></b>	
SI max tijdens intrekken	SI	<b>5,7 N/mm<sup>2</sup></b>	
		<b>57,0 % S-toel</b>	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>

## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2, f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

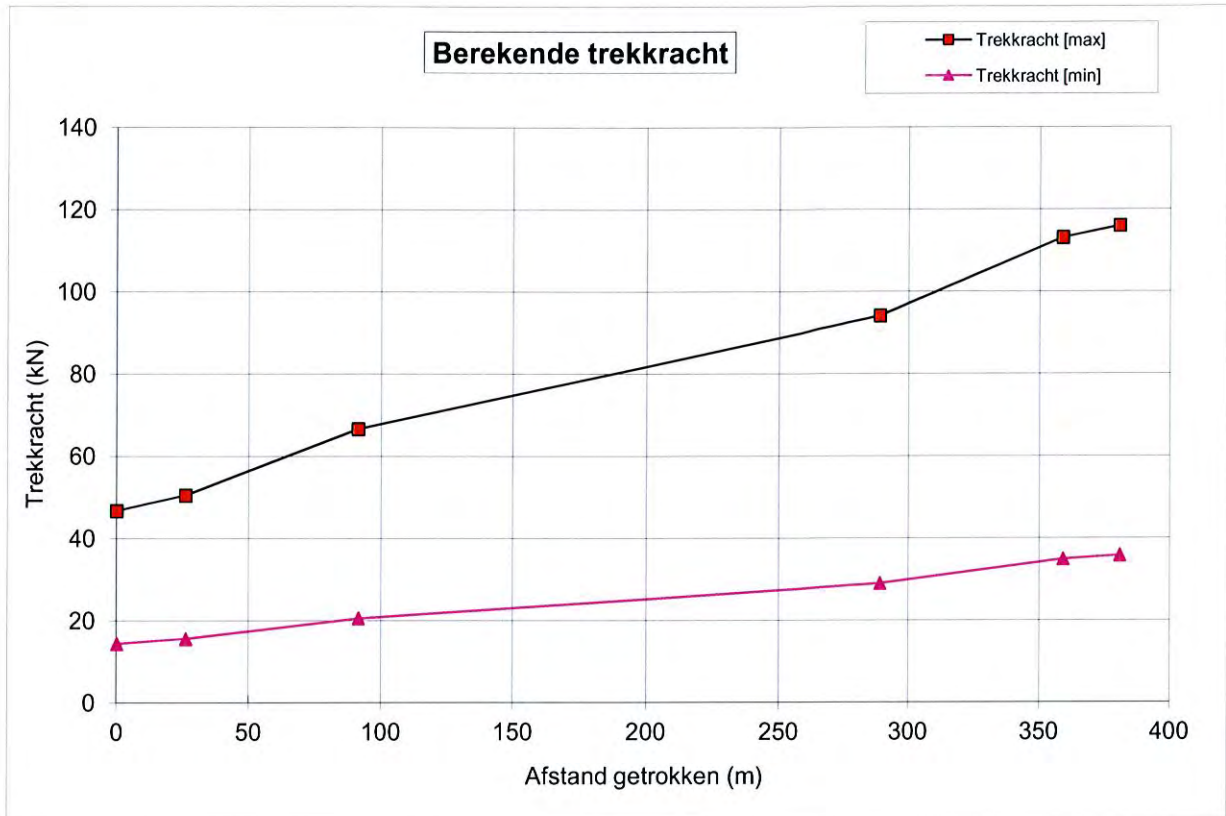
Diverse gegevens		
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel	10 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht bentoniet	sg	1200 kg/m <sup>3</sup>
Doorsnedeoppervlak	Abuis	16210 mm <sup>2</sup> per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>3</sup>
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>4</sup>
Weerstandmoment	W	845832 mm <sup>3</sup> per buis
Traagheidsmoment	I	105728989 mm <sup>4</sup> per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>	3383328 mm <sup>3</sup> voor: 4 buis/buiz
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>	422915957 mm <sup>4</sup> voor: 4 buis/buiz
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g omlaag	0,6192 kN/m1streng "
gewicht vull x aantal buizen	g vull omlaag	1,5781 kN/m1streng "
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra omhoog	0,0000 kN/m1streng "
opdriving x aantal buizen	g opw omhoog	-2,3562 kN/m1streng "
g eff in gat = g-gopw	g eff omhoog	-0,1589 kN/m1streng "
g eff op rolstellen	g eff omlaag	0,6192 kN/m1streng "
$\lambda = \sqrt{\sqrt{k_v \times B/4/E/I}}$	$\lambda$	0,001899 mm <sup>-1</sup>
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>	0,04 N/mm <sup>3</sup> "
Oplegbreedte van de bundel	B	660 mm
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_1$	Q <sub>r1</sub>	0,0040 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_h$	Q <sub>rh</sub>	0,0000 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_2$	Q <sub>r2</sub>	0,0040 N/mm <sup>2</sup> "
Reductiefactor voor bundel = $n \times 1/n^{0.3}$	b'	2,639 x Omtrek van een buis

Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	381	355	290	290	92	92	22	0	
T <sub>1</sub> (kN)	25,95	24,19	19,73	19,73	6,27	6,27	1,51	0	
L <sub>2</sub> (m)	0	26	65	0	198	0	70	22	
T <sub>2</sub> (kN)	0	3,86	9,74	0,00	29,45	0,00	10,40	3,26	
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	1,91	0,00	0,00	0,00	1,91	0	
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	1,79	1,79	1,09	1,09	4,10	4	
F x f (totale kracht, kN)	26	28	37	37	52	52	63	64	
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	47	50	67	67	94	94	113	116	
De te verwachten trekkracht ligt tussen			36 kN	en	116 kN				
De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk							129 kN		
De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid									

Spanningen in boorgat								
Totale spanning in boorgat								
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	0,7	0,8	1,0	1,0	1,5	1,5	1,7	1,8
SI = f x (I / W) / R	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0
SI tot	0,7	0,8	1,8	1,0	1,5	1,5	2,5	1,8

Spanningen op rollenbaan		
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling		
Sr kromming = f x E x (I / W) / R	Sr	3,3 N/mm <sup>2</sup>
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>	M	5,7 kNm total
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal	SI	5,7 N/mm <sup>2</sup>

## GRAFIEK





---

## 4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-03 150kV HDD1, punt met diepte van 8x de gatdiameter
Berekend door	MHU

Buisgegevens			
Materiaal soort		PE	
Uitwendige diameter	$D_e$	200 mm	
Uitwendige isolatie/coating	e	0	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	200 mm	
SDR waarde		11	
Wanddikte	$d_n$	18,20 mm	
Materiaalkwaliteit		PE100	
Treksterkte	Strek	10 N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	S	1	
Ontwerpdruk	$p_d$	0 bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
		0	
Verkeersklasse		NVN-ENV 0,5x load model 2	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	0 K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	0 m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		nvt	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		ja	ja, nee

Grondgegevens			
Dekking	H	6 m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	sg	16 kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		zand	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		neutraal	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	1,6 m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	0 mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	0,058 N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	0,0406 N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	27,5 °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	30 °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	30 °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	1,30E-04 mm/mm/K	
Sleufbreedte		smaller dan 1,5D	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>veld</b>	

### Langsspanningen indien van toepassing

#### Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening

Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )

Inclusief totaalwaarden op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen & belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening

Inclusief totaalwaarden op grondparameters		<b>0</b>
		<b>0</b>
		<b>0</b>
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>

Rechte buis of gevormde bocht

**rechte leiding  
onder-bocht**

Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

### Overige gegevens

Wandraagheidsmoment	$I_w$	502,38 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	55,21 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	90,9 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	181,8 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	18,2 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,21 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,10 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	18,2 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,43 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$43,38 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,1160 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde



## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	2,2	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_{m, allow}$	28	% toetswaarde <100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_{m, allow}$	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	2,4 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

## BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens			
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522	N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365	N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0	mm
Totaal factor uitvoeringszakking	$f$	1,50	
Totaal factor $Q_n$	$f$	1,10	
Totaal factor $Q_p$	$f$	1,50	
Totaal factor $k_v$ omlaag	$f$	2,00	
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00	

Berekening verticale gronddrukken			
<i>Neutrale grondbelasting</i>			
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	10,40 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>			
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	10,40 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>			
Grondtype aanvulmateriaal		veen	
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa	veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		9 mm	
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		7 mm	
$z_{\text{max}} \text{ reken}$		9 mm	
$q_n$		0,0520	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$		0,2080	N/mm <sup>2</sup>
$q_p - q_n$		0,1560	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$		0,017089	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel		0,058	N/mm <sup>3</sup>
$u$		0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
$u \times D_o$		20	mm
$u \times D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$		9	mm
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$		0,161	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$		32,13 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

**LET OP  $Q_k$  is hoger dan  $Q_p$**

### Berekening gereduceerde gronddrukken

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur			
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$		0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$		0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

Gegevens holoceen			
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5	graden
Cohesie	$c_h$	1	kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15	kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0	m
Dikte samendrukbare grondmassief	$H$	0	m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18	m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	6,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma_h$	15,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving		
	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holocene pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,21 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma$	9,67 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma) / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi) / B_1}$		
	$Q_{n,r}$	1,38 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond}$ reken	Q x f	11,44 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

<b>Berekening horizontale steundrukken</b>			
<i>Neutrale steundruk</i>			
Q <sub>n</sub> buisasniveau	Q <sub>n</sub> buisas	10,52 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
P <sub>v</sub> buisasniveau	P <sub>v</sub> buisas	1,25 kN/m <sup>2</sup>	
Q <sub>v</sub> buisasniveau	Q <sub>v</sub> buisas	0,25 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,54	Neutrale gronddruk coefficient
Q <sub>h</sub> = (Q <sub>n</sub> +Q <sub>v</sub> ) x Kn x sin(60)	Q <sub>n,neutraal</sub>	5,02 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°
<i>Iowa steundruk</i>			
dE	dE	0 mm	
iowa max = Do x 2k <sub>n</sub> /3 x dE x sin 60		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
Q <sub>h, iowa</sub> = Do x 2k <sub>n</sub> /3 x d <sub>y</sub> /2 x sin 60		13,99 kN/m <sup>1</sup> buis	
Q <sub>h, reken</sub> = Q <sub>h, iowa</sub> , min	Q <sub>n,iowa,reken</sub>	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar
hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk			
deflectie zonder steundruk	d <sub>y1</sub>	6,63 mm	
deflectie met neutrale steundr. en iowa	d <sub>y2</sub>	4,23 mm	
deflectie met neutrale steundruk	d <sub>y2'</sub>	4,23 mm	
	d <sub>y2</sub> /d <sub>y1</sub>	0,64	
	d <sub>y2'</sub> /d <sub>y1</sub>	0,64	
	d <sub>y1</sub> /2	3,31 mm	
<i>Zandgrond en drukloos</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub> + Q <sub>h, iowa</sub>		5,02 kN/m <sup>1</sup> buis	altijd toelaatbaar
<i>Zandgrond en lagedrukleiding</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub> + Q <sub>h, iowa</sub>		5,02 kN/m <sup>1</sup> buis	als fr > dy <sub>2</sub> /dy <sub>1</sub> toelaatbaar
<i>Zandgrond en drukleiding</i>			
steundruk niet toelaatbaar		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	als dy <sub>1</sub> /2 < dE toelaatbaar
<i>Klei/veengrond drukloos</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub>		5,02 kN/m <sup>1</sup> buis	altijd toelaatbaar
<i>Klei/veengrond en lagedrukleiding</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub>		5,02 kN/m <sup>1</sup> buis	als fr > dy <sub>2</sub> '/dy <sub>1</sub> toelaatbaar
In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk			
grondsoort		zand	
drukloos	Q <sub>n</sub>	5,02 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	Q <sub>n</sub>	5,02 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

<b>Berekening gereduceerde horizontale steundrukken</b>			
Q <sub>hr</sub> pleistoceen		0,36 kN/m <sup>1</sup> buis	
Q <sub>hr</sub> holoceen		-0,25 kN/m <sup>1</sup> buis	
Q <sub>h,n,r</sub> = { tan <sup>2</sup> (45-0.5φ) x Q <sub>n,r</sub> - 2 x c x Do x tan(45-0.5φ) } x sin 60	Q <sub>h,n,r</sub>	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	

<b>In rekening te brengen horizontale steundrukken</b>			
drukloos		4,52 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk		4,52 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

Materiaalgegevens		
Toelaatbare treksterkte (lange duur)	R <sub>m, toel</sub>	8 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	S <sub>p</sub>	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk		
S <sub>pl</sub>	S <sub>pl</sub>	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)		
	Q <sub>grond</sub>	11,44 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	S <sub>q</sub> bodem	4,42 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> top	2,79 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> zijden	-2,86 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)			
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E \cdot I_w))$			
Reroundingeffect	f <sub>rr</sub>	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	S <sub>q</sub> bodem	4,42 N/mm <sup>2</sup>	
	S <sub>q</sub> top	2,79 N/mm <sup>2</sup>	
	S <sub>q</sub> zijden	-2,86 N/mm <sup>2</sup>	

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)		
	Q <sub>h, grond</sub>	4,52 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	S <sub>q</sub> bodem	-1,06 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> top	-1,06 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> zijden	1,06 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)		
	Q <sub>h, grond</sub>	4,52 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	S <sub>q</sub> bodem	-1,06 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> top	-1,06 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> zijden	-1,06 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)		
Stootcoëfficiënt	S	1
Verkeersbelasting	P <sub>v</sub>	1,25 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	Q <sub>v</sub>	0,25 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	S <sub>q</sub> bodem	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> top	0,06 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> zijden	-0,06 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
$S_q$ bodem		0,10 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,10 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,10 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
$S_t$		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,11121E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$		
$S_r$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$		
nvt		
$S_{rl}$		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
$S_l$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$	$Q$	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 \cdot S \cdot De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D \cdot ((0.113 \cdot Q - 0.096 \cdot 0.866 \cdot Q_{n,h} + 0.071 \cdot Q_{indir}) \cdot rg^3) / (E' \cdot lw + 0.061 \cdot kh \cdot rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	4,7 mm	
	2,4 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E \cdot lw / Dg^3$	25,08 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,91 N/mm <sup>2</sup> 19,11 bar 191,11 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,39 bar 23,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	4,42	2,79	2,86 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-1,06	-1,06	-1,06 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,10	0,06	0,06 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$	3,46	1,78	1,86 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T,x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a \cdot i_x \cdot S_{b,x} + S_{T,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a \cdot (S_{y,max} + i_y \cdot S_{b,x})$	2,25	1,16	1,21 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	28	14	15 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	2,4 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_i$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_n$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T,x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%



# 1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

rev10a: 26-09-2011

## INVOER

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-03 150kV HDD1, punt met grootste dekking
Berekend door	MHU

Buisgegevens			
Materiaal soort		PE	
Uitwendige diameter	$D_e$	200 mm	
Uitwendige isolatie/coating	e	0	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	200 mm	
SDR waarde		11	
Wanddikte	$d_n$	18,20 mm	
Materiaalkwaliteit		PE100	
Treksterkte	Strek	10 N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	S	1	
Ontwerpdruk	$p_d$	0 bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		0	
		NVN-ENV load model 3	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	0 K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	0 m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		nvt	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		ja	ja, nee

Grondgegevens			
Dekking	H	25,2 m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	sg	17 kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		zand	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		gered. pleistoceen	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	3 m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	0 mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	0,058 N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	0,0406 N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	32,5 °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	30 °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	30 °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	1,30E-04 mm/mm/K	
Sleufbreedte		smaller dan 1,5D	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>veld</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>rechte leiding</b>	
		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	ix	<b>1</b>	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	<b>0</b>	>=0

<b>Overige gegevens</b>			
Wandraagheidsmoment	$I_w$	502,38 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	55,21 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	90,9 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	181,8 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	18,2 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,21 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,10 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	18,2 mm	
Weerstandsmoment van de buis	$W$	0,43 *10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	43,38 *10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,1160 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	0,7	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	8 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

Deflectie bij drukloze leiding	0,7 % Do	voldoet
--------------------------------	----------	---------

Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk	23,89 m waterkolom
---	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	$f$	1,50
Totaal factor $Q_n$	$f$	1,10
Totaal factor $Q_p$	$f$	1,50
Totaal factor $k_v$ omlaag	$f$	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	41,28 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	41,28 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal	veen	
E-modulus aanvulmateriaal	1 MPa	veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	4 mm	
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	4 mm	
$z_{\text{max}} \text{ reken}$	4 mm	
$q_n$	0,2064 N/mm <sup>2</sup>	
$q_p (f_m=0,10)$	2,8070 N/mm <sup>2</sup>	$Q_p$ met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	2,6006 N/mm <sup>2</sup>	
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,583842 N/mm <sup>3</sup>	
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058 N/mm <sup>3</sup>	
$u$	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
$u \times D_o$	20 mm	
$u \times D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$	4 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,254 N/mm <sup>2</sup>	
$Q_k$	50,73 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

LET OP  $Q_k$  is hoger dan  $Q_p$

#### Berekening gereduceerde gronddrukken

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0 m
Dikte samendrukbare grondmassief	$H$	0 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	25,2 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holocene	$\gamma_h$	15,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving		
$k_v$	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
$\delta_d$	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holocene pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,21 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma$	8,19 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma) / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi) / B_1}$		
	$Q_{n,r}$	1,17 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. pleistoceen	
$Q_{grond \text{ reken}}$	Q x f	1,28 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

<b>Berekening horizontale steundrukken</b>			
<i>Neutrale steundruk</i>			
Q <sub>n</sub> buisasniveau	Q <sub>n</sub> buisas	41,42 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
P <sub>v</sub> buisasniveau	P <sub>v</sub> buisas	7,50 kN/m <sup>2</sup>	
Q <sub>v</sub> buisasniveau	Q <sub>v</sub> buisas	1,50 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,46	Neutrale gronddruk coefficient
Q <sub>n</sub> = (Q <sub>n</sub> +Q <sub>v</sub> ) x Kn x sin(60)	Q <sub>h,neutraal</sub>	17,20 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°
<i>Iowa steundruk</i>			
dE	dE	0 mm	
iowa max = Do x 2k <sub>n</sub> /3 x dE x sin 60		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
Q <sub>n, iowa</sub> = Do x 2k <sub>n</sub> /3 x d <sub>y</sub> /2 x sin 60		3,92 kN/m <sup>1</sup> buis	
Q <sub>n, reken</sub> = Q <sub>h, iowa</sub> , min	Q <sub>h,iowa,reken</sub>	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar
hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk			
deflectie zonder steundruk	d <sub>y1</sub>	1,86 mm	
deflectie met neutrale steundr. en iowa	d <sub>y2</sub>	-6,37 mm	
deflectie met neutrale steundruk	d <sub>y2'</sub>	-6,37 mm	
	d <sub>y2</sub> /d <sub>y1</sub>	-3,42	
	d <sub>y2</sub> /d <sub>y1</sub>	-3,42	
	d <sub>y1</sub> /2	0,93 mm	
<i>Zandgrond en drukloos</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub> + Q <sub>h, iowa</sub>		17,20 kN/m <sup>1</sup> buis	altijd toelaatbaar
<i>Zandgrond en lagedrukleiding</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub> + Q <sub>h, iowa</sub>		17,20 kN/m <sup>1</sup> buis	als fr > dy <sub>2</sub> /dy <sub>1</sub> toelaatbaar
<i>Zandgrond en drukleiding</i>			
steundruk niet toelaatbaar		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	als dy <sub>1</sub> /2 < dE toelaatbaar
<i>Klei/veengrond drukloos</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub>		17,20 kN/m <sup>1</sup> buis	altijd toelaatbaar
<i>Klei/veengrond en lagedrukleiding</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub>		17,20 kN/m <sup>1</sup> buis	als fr > dy <sub>2</sub> '/dy <sub>1</sub> toelaatbaar
In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk			
grondsoort		zand	
drukloos	Q <sub>h</sub>	17,20 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	Q <sub>h</sub>	17,20 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

<b>Berekening gereduceerde horizontale steundrukken</b>		
Q <sub>hr</sub> pleistoceen		0,30 kN/m <sup>1</sup> buis
Q <sub>hr</sub> holocene		-0,25 kN/m <sup>1</sup> buis
Q <sub>h,n,r</sub> = { tan <sup>2</sup> (45-0.5φ) x Q <sub>n,r</sub> - 2 x c x Do x tan(45-0.5φ) } x sin 60	Q <sub>h,n,r</sub>	0,30 kN/m <sup>1</sup> buis

<b>In rekening te brengen horizontale steundrukken</b>		
drukloos		0,27 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f
druk		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

Materiaalgegevens		
Toelaatbare treksterkte (lange duur)	R <sub>m</sub> , toel	8 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	S <sub>p</sub>	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk		
Spl	S <sub>pl</sub>	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)		
	Q <sub>grond</sub>	1,28 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	S <sub>q</sub> bodem	0,49 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> top	0,31 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> zijden	-0,32 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)			
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E \cdot I_w))$			
Reroundingeffect	f <sub>rr</sub>	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	S <sub>q</sub> bodem	0,49 N/mm <sup>2</sup>	
	S <sub>q</sub> top	0,31 N/mm <sup>2</sup>	
	S <sub>q</sub> zijden	-0,32 N/mm <sup>2</sup>	

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)		
	Q <sub>h,grond</sub>	0,27 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	S <sub>q</sub> bodem	-0,06 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> top	-0,06 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> zijden	0,06 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)		
	Q <sub>h,grond</sub>	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	S <sub>q</sub> bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)		
Stootcoëfficiënt	S	1
Verkeersbelasting	P <sub>v</sub>	7,50 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	Q <sub>v</sub>	1,50 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	S <sub>q</sub> bodem	0,58 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> top	0,37 N/mm <sup>2</sup>
	S <sub>q</sub> zijden	-0,38 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
$S_q$ bodem		0,58 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,58 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,58 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
$S_t$		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,11121E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$		
$S_r$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rt} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$		
nvt		
$S_{rt}$		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
$S_i$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_i$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_i$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
$Q$		0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$		
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>



Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 \cdot S \cdot De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D \left( (0.113 \cdot Q - 0.096 \cdot 0.866 \cdot Q_{n,h} + 0.071 \cdot Q_{indir}) \cdot rg^3 \right) / (E' \cdot lw + 0.061 kh \cdot x \cdot rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	1,5 mm	
	0,7 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E \cdot lw / Dg^3$	25,08 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,91 N/mm <sup>2</sup> 19,11 bar 191,11 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,39 bar 23,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	0,49	0,31	0,32 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,06	-0,06	-0,06 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,58	0,37	0,38 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$	1,01	0,61	0,63 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T,x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a \cdot i_x \cdot S_{b,x} + S_{T,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a \cdot (S_{y,max} + i_y \cdot S_{b,x})$	0,66	0,40	0,41 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	8	5	5 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	0,7 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b;x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_y max + i_y * S_{b;x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-03 380kV HDD1 t/m 4, punt met diepte van 8x de gatdiameter
Berekend door	EHO

Buisgegevens			
Materiaal soort		PE	
Uitwendige diameter	$D_e$	250 mm	
Uitwendige isolatie/coating	e	0	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	250 mm	
SDR waarde		11	
Wanddikte	$d_n$	22,70 mm	
Materiaalkwaliteit		PE100	
Treksterkte	Strek	10 N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	S	1	
Ontwerpdruk	$p_d$	0 bar	mantelbuis: geen inw. druk
Verkeersklasse		0	
		NVN-ENV 0,5x load model 2	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	0 K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	0 m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		nvt	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		ja	ja, nee

Grondgegevens			
Dekking	H	6 m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	sg	16 kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		zand	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		neutraal	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	1,6 m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	0 mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	0,049 N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	0,0343 N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	27,5 °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	30 °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	30 °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	1,30E-04 mm/mm/K	
Sleufbreedte		smaller dan 1,5D	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>veld</b>	

### Langspanningen indien van toepassing

#### Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening

Bereken met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )

Inclusief totaal factoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen & belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening

Inclusief totaal factoren op grondparameters		<b>0</b>
		<b>0</b>
		<b>0</b>
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>

Rechte buis of gevormde bocht **rechte leiding**  
**onder-bocht**

Spanningsverhogende factor	ix	<b>1</b>	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	<b>0</b>	>=0

### Overige gegevens

Wandraagheidsmoment	$I_w$	974,76 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	85,88 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	113,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	227,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	22,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,33 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,15 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,49 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	22,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	0,85 *10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	105,73 *10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0980 N/mm <sup>3</sup>	incl totaal factor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0583 N/mm <sup>3</sup>	incl totaal factor

**2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

**SAMENVATTING RESULTATEN STAAL**

<i>Uitvoerresultaten-elastisch/plastisch</i>		<b>Leiding voldoet aan alle toetsen</b>	
Belastingcombinatie 2	BC2, S <sub>p</sub>	0 N/mm <sup>2</sup>	0 % toetswaarde <b>voldoet</b>
	drukloos		
Belastingcombinatie 3	BC3, S <sub>v</sub>	4 N/mm <sup>2</sup>	23 % toetswaarde <b>voldoet</b>
	onder druk		
Belastingcombinatie 4	BC4, S <sub>v</sub>	nvt	N/mm <sup>2</sup>
		nvt	% toetswaarde <b>nvt</b>
<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>		2,2 % Do	<b>voldoet</b>

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	2,3	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	28	% toetswaarde <100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

Deflectie bij drukloze leiding	2,4 % Do	voldoet
--------------------------------	----------	---------

Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk	23,72 m waterkolom
---	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens			
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0441	N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0309	N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0	mm
Totaal factor uitvoeringszakking	$f$	1,50	
Totaal factor $Q_n$	$f$	1,10	
Totaal factor $Q_p$	$f$	1,50	
Totaal factor kv omlaag	$f$	2,00	
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00	

Berekening verticale gronddrukken			
<i>Neutrale grondbelasting</i>			
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	13,00 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>			
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	13,00 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>			
Grondtype aanvulmateriaal		veen	
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa	veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		13 mm	
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		10 mm	
$z_{\text{max reken}}$		13 mm	
$q_n$		0,0520 N/mm <sup>2</sup>	
$q_p (f_m=0,10)$		0,1768 N/mm <sup>2</sup>	$Q_p$ met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$		0,1248 N/mm <sup>2</sup>	
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$		0,009782 N/mm <sup>3</sup>	
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel		0,049 N/mm <sup>3</sup>	
$u$		0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
$u \times D_o$		25 mm	
$u \times D_o \leq z_{\text{max reken}}$		13 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$		0,147 N/mm <sup>2</sup>	
$Q_k$		36,84 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

LET OP  $Q_k$  is hoger dan  $Q_p$

#### Berekening gereduceerde gronddrukken

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur	
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holocéen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holocéen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0 m
Dikte samendrukbare grondmassief	$H$	0 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,20 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	6,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,31 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	15,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma'_h - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving		
	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holocene pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,26 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	9,67 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	2,15 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond}$ reken	Q x f	14,30 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f



<b>Berekening horizontale steundrukken</b>			
<i>Neutrale steundruk</i>			
Q <sub>n</sub> buisniveau	Q <sub>n</sub> buisas	13,19 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
P <sub>v</sub> buisniveau	P <sub>v</sub> buisas	1,25 kN/m <sup>2</sup>	
Q <sub>v</sub> buisniveau	Q <sub>v</sub> buisas	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,54	Neutrale gronddruk coefficient
Q <sub>n</sub> = (Q <sub>n</sub> +Q <sub>v</sub> ) x Kn x sin(60)	Q <sub>h,neutraal</sub>	6,29 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°
<i>Iowa steundruk</i>			
dE	dE	0 mm	
iowa max = Do x 2k <sub>n</sub> /3 x dE x sin 60		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
Q <sub>n</sub> , iowa = Do x 2k <sub>n</sub> /3 x d <sub>y</sub> /2 x sin 60		18,59 kN/m <sup>1</sup> buis	
Q <sub>n</sub> , reken = Q <sub>h</sub> , iowa, min	Q <sub>h,iowa,reken</sub>	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar
hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk			
deflectie zonder steundruk	d <sub>y1</sub>	8,35 mm	
deflectie met neutrale steundr. en iowa	d <sub>y2</sub>	5,31 mm	
deflectie met neutrale steundruk	d <sub>y2'</sub>	5,31 mm	
	d <sub>y2</sub> /d <sub>y1</sub>	0,64	
	d <sub>y2'</sub> /d <sub>y1</sub>	0,64	
	d <sub>y1</sub> /2	4,17 mm	
<i>Zandgrond en drukloos</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub> + Q <sub>h</sub> , iowa		6,29 kN/m <sup>1</sup> buis	altijd toelaatbaar
<i>Zandgrond en lagedrukleiding</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub> + Q <sub>h</sub> , iowa		6,29 kN/m <sup>1</sup> buis	als fr > dy <sub>2</sub> /dy <sub>1</sub> toelaatbaar
<i>Zandgrond en drukleiding</i>			
steundruk niet toelaatbaar		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	als dy <sub>1</sub> /2 < dE toelaatbaar
<i>Klei/veengrond drukloos</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub>		6,29 kN/m <sup>1</sup> buis	altijd toelaatbaar
<i>Klei/veengrond en lagedrukleiding</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub>		6,29 kN/m <sup>1</sup> buis	als fr > dy <sub>2</sub> '/dy <sub>1</sub> toelaatbaar
In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk			
grondsoort		zand	
drukloos	Q <sub>h</sub>	6,29 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	Q <sub>h</sub>	6,29 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

<b>Berekening gereduceerde horizontale steundrukken</b>		
Q <sub>hr</sub> pleistoceen		0,56 kN/m <sup>1</sup> buis
Q <sub>hr</sub> holocene		-0,32 kN/m <sup>1</sup> buis
Q <sub>h,n,r</sub> = { tan <sup>2</sup> (45-0.5φ) x Q <sub>n,r</sub> - 2 x c x Do x tan(45-0.5φ) } x sin 60	Q <sub>h,n,r</sub>	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

<b>In rekening te brengen horizontale steundrukken</b>		
drukloos		5,66 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f
druk		5,66 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

**4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

**BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING STAAL**

**Materiaalgegevens**

Vloeigrens bij 20gr	$R_e$	10 N/mm <sup>2</sup>	
Vloeigrens bij temperatuur	$R_{e(t)}$	10 N/mm <sup>2</sup>	
Toetswaarde BC2		9 N/mm <sup>2</sup>	$S \times R_{e(t)} / 1,1$
Toetswaarde BC3 en BC4		15 N/mm <sup>2</sup>	$S \times 0,85 \times (R_e + R_{e(t)}) / 1,1$

**Belastingcombinatie BC2, alleen inwendige druk**

Ontwerpdruk	bf	1,25	
$S_p = (bf \times p_d \times D_g) / (20 \times d)$		0,00 N/mm <sup>2</sup>	
Incidentele druk	bf	1,10	
$S_p = (bf \times p_{inc} \times D_g) / (20 \times d)$		0,00 N/mm <sup>2</sup>	
$S_p$ max		0,00 N/mm <sup>2</sup>	

**Belastingcombinatie BC3 en BC4**

**Staalspecifieke rekenfactoren**

Belastingfactor gewicht/vulling	bf	1,10 -
Belastingfactor verkeersbelasting	bf	1,35 -
Belastingfactor temperatuurverschil	bf	1,10
Belastingfactor opgelegde vervorming	bf	1,10
Belastingfactor ontwerpdruk	bf	1,15 -

**Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk**

$S_p = (bf \times p_d \times D_g) / (20 \times d)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
--	-------	------------------------

**Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk**

$S_{pl} = 0,3 \times S_p$ (lange veldstrekking)	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	----------	------------------------

**Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)**

$S_q = K \times (Q_{grond} \times bf + Q_{eg} \times bf + Q_{vu} \times bf - Q_{op} \times bf) \times r_g / W_w$		
$S_q$ bodem		4,48 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		2,82 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		-2,89 N/mm <sup>2</sup>

**Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)**

$f_{rr} = 1 / (1 + (2 \times bf \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E I_w)$			
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00	voor direct over te dragen belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q$ bodem	4,48 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ top	2,82 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ zijden	-2,89 N/mm <sup>2</sup>	

**Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)**

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	-1,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-1,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	1,07 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)		
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	-1,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-1,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	1,07 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)		
Stootcoëfficiënt	S	1
Verkeersbelasting	$P_v$	1,25 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,42 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_v \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,13 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,08 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,08 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,13 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,08 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,05 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil		
$S_t = \alpha_g \times d_t \times bf \times E$	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale buigstraal		
$\lambda^2$		1,39E-05
$M = 0.322 \times K \times (EI/R) \times \lambda^2 \times r_g$	$S_r$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_p = bf \times M / W_w$	$S_r$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale buigstraal		
	$R_v$	0 m
$S_{rl} = (E \times D) / (2 \times R_v)$		nvt buigingsrichting van de elastische buigstraal
	$S_{rl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. uitvoeringszetting		
$\lambda =$ stijfheidsverhouding grond/buis		
$\lambda = \sqrt{\sqrt{(k_v \times bf \times D_e / (4EI))}}$	$\lambda$	3,73E-03 mm <sup>-1</sup>
$L = 2 \times 10.43 \times \sqrt{\sqrt{(4 \times E \times I / D_e / k_v / bf)}}$	L	5596 mm
lengte fictieve ligger reken	L	40000 mm
$\alpha = (6 - (\lambda^2 \times L^2)) / (6 \times (2 + \lambda \times L))$	$\alpha$	-24,52
$Q_z = y_c / ((5 \times L^4) / (384 \times E \times I) + (2 \times \alpha \times L^3) / (32 \times E \times I \times \lambda))$	$Q_z$	0,00 N/mm <sup>1</sup>
Zettingsbelasting	$M_A$	0,00 * 10 <sup>6</sup> N/mm
$M_A = (Q_z \times L \times \alpha) / (2 \times \lambda)$	$M_C$	0,00 * 10 <sup>6</sup> N/mm
$M_C = Q_z \times L^2 / 8 + M_A$		
$x = (\arctan(1 / (1 - 2 \times \alpha))) / \lambda$		5 mm
$M_{A1} = -Q_z \times L \times (e^{(-\lambda \times x)}) \times ((1 - \alpha) \times \sin(\lambda \times x) - \alpha \times \cos(\lambda \times x)) / (2 \times \lambda)$	$M_{A1}$	0,00 * 10 <sup>6</sup> N/mm

$$S_i = M/W$$

punt A1, oplegzone, dwarskracht is nul	$S_i$	0,00 N/mm <sup>2</sup>	trek boven
punt A, grens oplegzone/zetting	$S_i$	0,00 N/mm <sup>2</sup>	trek boven
punt C, midden zettingsgebied	$S_i$	0,00 N/mm <sup>2</sup>	trek onder

#### Spanningen in omtrekriching t.g.v. uitvoeringszetting (leiding drukloos)

$$y = Q_z * L * \lambda * (e^{-(\lambda * x)}) * ((1 - \alpha) * \cos(\lambda * x) + \alpha * \sin(\lambda * x)) / (k_v * D_e)$$

	$y_{A1}$	0,00 mm	
	$y_A$	0,00 mm	$x=0$
$Q_r = k_v * y * D_e$	$Q_{rA1}$	0,00 N/mm <sup>1</sup>	
	$Q_{rA}$	0,00 N/mm <sup>1</sup>	
$S = K * Q * r_g / W_w$	punt A		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>	

#### Spanningen in omtrek t.g.v. zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening (leiding drukloos)

Indirect over te dragen bovenbelasting	$Q$	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K * Q * r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Totaal ( inclusief  $S_y$  t.g.v. moment in langsrichting (alleen van toepassing voor bochten))

	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtrek t.g.v. uitvoerings- of ligger model zetting en/of buigstraal (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 * b_f * x_p * d * r_g^3 * k_y) / (E * I_w)))$	punt A	
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00 voor indirect over te dragen belasting
$S_q = S_q * f_{rr}$	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Deflectie (leiding drukloos)

$d_y = ((k_y * (Q - 0.096 * Q_{n,h}) * r_g^3) / (E * I_w))$	5,62 mm
	2,25 % Do
Toelaatbaar	37,50 mm 15,00 % Do

## TOETSINGEN

<b>Belastingcombinatie BC2, alleen inwendige druk</b>	
Maximum van ontwerp en incidentele overdruk	
S <sub>p</sub>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup> 0 % toetswaarde

<b>Belastingcombinatie BC3, uitwendige belastingen, drukloos</b>					
		<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>	
S <sub>p</sub>	Inwendige druk	0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>q</sub>	Grondbelasting +/-	4,48	2,82	2,89	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>q</sub>	Steundruk -/+	-1,07	-1,07	-1,07	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>ver</sub>	Verkeersbelasting +/-	0,13	0,08	0,08	N/mm <sup>2</sup>
SI	Zetting liggermodel +/-	0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>r</sub>	Vertikale gronddruk buigstraal +/-	0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>y</sub> totaal (omtreksrichting, max)		3,53	1,83	1,91	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>y</sub> totaal (omtreksrichting, min)		-3,53	-1,83	-1,91	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>pl</sub>	Inwendige druk	0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
SI	Zetting liggermodel	0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>t</sub>	temperatuur	0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>ri</sub>	buigstraal	0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>x</sub> totaal (langsrichting)		0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>v</sub> = sqrt(S <sub>x</sub> <sup>2</sup> +S <sub>y,max</sub> <sup>2</sup> -S <sub>x</sub> *S <sub>y,max</sub> )		3,53	1,83	1,91	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>v</sub> = sqrt(S <sub>x</sub> <sup>2</sup> +S <sub>y,min</sub> <sup>2</sup> -S <sub>x</sub> *S <sub>y,min</sub> )		3,53	1,83	1,91	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>v</sub> maatgevend		<b>3,53</b>	<b>1,83</b>	<b>1,91</b>	N/mm <sup>2</sup>
		23	12	12	% toetswaarde

<b>Belastingcombinatie BC4 niet van toepassing voor een mantelbuis</b>					
		<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>	
S <sub>p</sub>	Inwendige druk				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>q</sub>	Grondbelasting +/-				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>q</sub>	Steundruk -/+				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>ver</sub>	Verkeersbelasting +/-				N/mm <sup>2</sup>
SI	Zetting liggermodel +/-				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>r</sub>	Vertikale gronddruk buigstraal +/-				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>y</sub> totaal (omtreksrichting, max)					N/mm <sup>2</sup>
S <sub>y</sub> totaal (omtreksrichting, min)					N/mm <sup>2</sup>
S <sub>pl</sub>	Inwendige druk				N/mm <sup>2</sup>
SI	Zetting liggermodel				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>t</sub>	temperatuur				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>ri</sub>	bochtstraal				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>x</sub> totaal (langsrichting)					N/mm <sup>2</sup>
S <sub>v</sub> = sqrt(S <sub>x</sub> <sup>2</sup> +S <sub>y,max</sub> <sup>2</sup> -S <sub>x</sub> *S <sub>y,max</sub> )					N/mm <sup>2</sup>
S <sub>v</sub> = sqrt(S <sub>x</sub> <sup>2</sup> +S <sub>y,min</sub> <sup>2</sup> -S <sub>x</sub> *S <sub>y,min</sub> )					N/mm <sup>2</sup>
S <sub>v</sub> maatgevend					N/mm <sup>2</sup>
					% toetswaarde

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

Materiaalgegevens		
Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m$ , toel	8 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk		
Spl	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)		
	Qgrond	14,30 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	4,44 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	2,80 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-2,87 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E \cdot I_w))$	$f_{rr}$	1,00
Reroundingeffect		voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q$ bodem	4,44 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	2,80 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-2,87 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)		
	Qh,grond	5,66 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	-1,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-1,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	1,07 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)		
	Qh,grond	5,66 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	-1,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-1,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-1,07 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)		
Stootcoëfficiënt	S	1
Verkeersbelasting	$P_v$	1,25 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,06 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,06 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,10 N/mm <sup>2</sup>
<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		1,38962E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$		
	$S_r$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>
<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$		
	nvt	
	$S_{rl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>
<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>
<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 \cdot S \cdot De$	20,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D \left( (0.113 \cdot Q - 0.096 \cdot 0.866 \cdot Q_{n,h} + 0.071 \cdot Q_{indir}) \cdot rg^3 \right) / (E' \cdot lw + 0.061 \cdot kh \cdot rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	5,9 mm	
	2,4 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E \cdot lw / Dg^3$	24,90 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,90 N/mm <sup>2</sup> 18,97 bar 189,72 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,37 bar 23,72 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>			
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	4,44	2,80	2,87 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-1,07	-1,07	-1,07 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,10	0,06	0,06 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$	3,47	1,79	1,87 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>			
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T,x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
<i>Toetsing</i>			
$S_x = S_{pl} + a \cdot i_x \cdot S_{b,x} + S_{T,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a \cdot (S_{y,max} + i_y \cdot S_{b,x})$	2,26	1,16	1,21 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	28	15	15 % < 100%



<b>Deflectie</b>	
Deflectie	2,4 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T,x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_y max + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-03 380kV HDD1 t/m 4, punt met de grootste dekking
Berekend door	EHO

Buisgegevens			
Materiaal soort		PE	
Uitwendige diameter	$D_e$	250 mm	
Uitwendige isolatie/coating	e	0	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	250 mm	
SDR waarde		11	
Wanddikte	$d_n$	22,70 mm	
Materiaalkwaliteit		PE100	
Treksterkte	Strek	10 N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	S	1	
Ontwerpdruk	$p_d$	0 bar	mantelbuis: geen inw. druk
Verkeersklasse		0	
		NVN-ENV load model 3	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	0 K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	0 m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		nvt	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		ja	ja, nee

Grondgegevens			
Dekking	H	17,2 m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	sg	17 kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		zand	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		gered. pleistoceen	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	3 m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	0 mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	0,049 N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	0,0343 N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	32,5 °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	30 °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	30 °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	1,30E-04 mm/mm/K	
Sleufbreedte		smaller dan 1,5D	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. IOWA-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	<b>955</b> kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	<b>300</b> N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	<b>1200</b> N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>veld</b>	

### Langsspanningen indien van toepassing

#### Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening

Bereken met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )

Inclusief totaal factoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen & belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening

Inclusief totaal factoren op grondparameters		<b>0</b>
		<b>0</b>
		<b>0</b>
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>

Rechte buis of gevormde bocht **rechte leiding**  
**onder-bocht**

Spanningsverhogende factor	ix	<b>1</b>	<b>&gt;=1</b>
Spanningsverhogende factor	iy	<b>0</b>	<b>&gt;=0</b>

### Overige gegevens

Wandraagheidsmoment	$I_w$	<b>974,76</b> mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	<b>85,88</b> mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	<b>113,7</b> mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	<b>227,3</b> mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	<b>22,7</b> mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	<b>0,33</b> kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	<b>0,15</b> kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	<b>0,49</b> kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	<b>22,7</b> mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	<b>0,85</b> *10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	<b>105,73</b> *10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	<b>2,00</b>	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	<b>1,70</b>	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	<b>0,0980</b> N/mm <sup>3</sup>	incl totaal factor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	<b>0,0583</b> N/mm <sup>3</sup>	incl totaal factor

**2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

**SAMENVATTING RESULTATEN STAAL**

<i>Uitvoerresultaten-elastisch/plastisch</i>		<b>Leiding voldoet aan alle toetsen</b>	
Belastingcombinatie 2	BC2, S <sub>p</sub>	0 N/mm <sup>2</sup>	0 % toetswaarde <b>voldoet</b>
	drukloos		
Belastingcombinatie 3	BC3, S <sub>v</sub>	1 N/mm <sup>2</sup>	9 % toetswaarde <b>voldoet</b>
	onder druk		
Belastingcombinatie 4	BC4, S <sub>v</sub>	<b>nvt</b> N/mm <sup>2</sup>	<b>nvt</b> % toetswaarde <b>nvt</b>
		<b>nvt</b>	
<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>		1,0 % Do	<b>voldoet</b>

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	0,8	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	9	% toetswaarde <100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	0,8 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,72 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

## BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens			
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0441	N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0309	N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0	mm
Totaal factor uitvoeringszakking	$f$	1,50	
Totaal factor $Q_n$	$f$	1,10	
Totaal factor $Q_p$	$f$	1,50	
Totaal factor $k_v$ omlaag	$f$	2,00	
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00	

Berekening verticale gronddrukken			
<i>Neutrale grondbelasting</i>			
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	37,60 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>			
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	37,60 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>			
Grondtype aanvulmateriaal		veen	
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa	veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		8 mm	
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		6 mm	
$z_{\text{max}} \text{ reken}$		8 mm	
$q_n$		0,1504	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$		1,1852	N/mm <sup>2</sup>
$q_p - q_n$		1,0348	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$		0,137325	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel		0,049	N/mm <sup>3</sup>
$u$		0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
$u \times D_o$		25 mm	
$u \times D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$		8 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$		0,312	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$		77,92 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

**LET OP  $Q_k$  is hoger dan  $Q_p$**

### Berekening gereduceerde gronddrukken

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur			
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$		0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$		0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

Gegevens holocene			
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5	graden
Cohesie	$c_n$	1	kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holocene	$\gamma_h$	15	kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_n$	0	m
Dikte samendrukbare grondmassief	$H$	0	m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,20	m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	17,2 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,31 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	15,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma'_h - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving		
	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,26 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	8,74 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	1,94 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. pleistoceen	
$Q_{grond \text{ reken}}$	$Q \times f$	2,14 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	37,82 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	7,50 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	1,88 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
$K_n$	$K_n$	0,46	Neutrale gronddruk coefficient

$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	15,91 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°
--	--------------------------	------------------------------	---------------------------------

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_v/2 \times \sin 60$		5,89 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	2,64 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	-5,02 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2'}$	-5,02 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	-1,90
	$d_{y2'}/d_{y1}$	-1,90
	$d_{y1}/2$	1,32 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$	15,91 kN/m <sup>1</sup> buis	altijd toelaatbaar
--------------------------------------	------------------------------	--------------------

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$	15,91 kN/m <sup>1</sup> buis	als $f_{rr} > dy2/dy1$ toelaatbaar
--------------------------------------	------------------------------	------------------------------------

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	als $dy1/2 < dE$ toelaatbaar
----------------------------	-----------------------------	------------------------------

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$	15,91 kN/m <sup>1</sup> buis	altijd toelaatbaar
-----------------	------------------------------	--------------------

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$	15,91 kN/m <sup>1</sup> buis	als $f_{rr} > dy2'/dy1$ toelaatbaar
-----------------	------------------------------	-------------------------------------

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_h$	15,91 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_h$	15,91 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	0,51 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holoceen	-0,32 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,51 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	0,46 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f



#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING STAAL

Materiaalgegevens		
Vloeigrens bij 20gr	$R_e$	10 N/mm <sup>2</sup>
Vloeigrens bij temperatuur	$R_{e(t)}$	10 N/mm <sup>2</sup>
Toetswaarde BC2		9 N/mm <sup>2</sup> $S \times R_{e(t)} / 1,1$
Toetswaarde BC3 en BC4		15 N/mm <sup>2</sup> $S \times 0,85 \times (R_e + R_{e(t)}) / 1,1$

Belastingcombinatie BC2, alleen inwendige druk		
Ontwerpdruk	bf	1,25
$S_p = (bf \times p_d \times D_g) / (20 \times d)$		0,00 N/mm <sup>2</sup>
Incidentele druk	bf	1,10
$S_p = (bf \times p_{inc} \times D_g) / (20 \times d)$		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_p$ max		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Belastingcombinatie BC3 en BC4		
--------------------------------	--	--

Staalspecifieke rekenfactoren		
Belastingfactor gewicht/vulling	bf	1,10 -
Belastingfactor verkeersbelasting	bf	1,35 -
Belastingfactor temperatuurverschil	bf	1,10
Belastingfactor opgelegde vervorming	bf	1,10
Belastingfactor ontwerpdruk	bf	1,15 -

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_p = (bf \times p_d \times D_g) / (20 \times d)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_{pl} = 0.3 \times S_p$ (lange veldstrekking)	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)		
$S_q = K \times (Q_{grond} \times bf + Q_{eg} \times bf + Q_{vu} \times bf - Q_{op} \times bf) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,69 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,44 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,45 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)		
$f_{rr} = 1 / (1 + (2 \times bf \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E I_w)$		
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00 voor direct over te dragen belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q$ bodem	0,69 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,44 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,45 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)		
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	-0,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-0,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,09 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)		
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)		
Stootcoëfficiënt	S	1
Verkeersbelasting	$P_v$	7,50 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S \times bf$	$Q_v$	2,53 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_v \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,79 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,50 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,51 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,79 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,50 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,30 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil		
$S_t = \alpha_g \times d_t \times bf \times E$	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale buigstraal		
$\lambda^2$		1,39E-05
$M = 0.322 \times K \times (EI/R) \times \lambda^2 \times r_g$	$S_r$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_p = bf \times M / W_w$	$S_r$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale buigstraal		
	$R_v$	0 m
$S_{rl} = (E \times D) / (2 \times R_v)$		nvt buigingsrichting van de elastische buigstraal
	$S_{rl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. uitvoeringszetting		
$\lambda =$ stijfheidsverhouding grond/buis		
$\lambda = \sqrt{\sqrt{(k_v \times bf \times D_o / (4EI))}}$	$\lambda$	3,73E-03 mm <sup>-1</sup>
$L = 2 \times 10.43 \times \sqrt{\sqrt{(4 \times E \times I / D_o / k_v / bf)}}$	L	5596 mm
lengte fictieve ligger reken	L	40000 mm
$\alpha = (6 - (\lambda^2 \times L^2)) / (6 \times (2 + \lambda \times L))$	$\alpha$	-24,52
$Q_z = y_c / ((5 \times L^4) / (384 \times E \times I) + (2 \times \alpha \times L^3) / (32 \times E \times I \times \lambda))$	$Q_z$	0,00 N/mm <sup>1</sup>
Zettingsbelasting	$M_A$	0,00 * 10 <sup>6</sup> N/mm
$M_A = (Q_z \times L \times \alpha) / (2 \times \lambda)$	$M_C$	0,00 * 10 <sup>6</sup> N/mm
$M_C = Q_z \times L^2 / 8 + M_A$		
$x = (\arctan(1 / (1 - 2 \times \alpha))) / \lambda$		5 mm
$M_{A1} = -Q_z \times L \times (e^{(-\lambda \times x)}) \times ((1 - \alpha) \times \sin(\lambda \times x) - \alpha \times \cos(\lambda \times x)) / (2 \times \lambda)$	$M_{A1}$	0,00 * 10 <sup>6</sup> N/mm

$$S_i = M/W$$

punt A1, oplegzone, dwarskracht is nul	$S_i$	0,00 N/mm <sup>2</sup>	trek boven
punt A, grens oplegzone/zetting	$S_i$	0,00 N/mm <sup>2</sup>	trek boven
punt C, midden zettingsgebied	$S_i$	0,00 N/mm <sup>2</sup>	trek onder

#### Spanningen in omtrekrichting t.g.v. uitvoeringszetting (leiding drukloos)

$$y = Q_z * L * \lambda * (e^{(-\lambda * x)}) * ((1 - \alpha) * \cos(\lambda * x) + \alpha * \sin(\lambda * x)) / (k_v * D_e)$$

	$y_{A1}$	0,00 mm	
	$y_A$	0,00 mm	$x=0$
$Q_r = k_v * y * D_e$	$Q_{rA1}$	0,00 N/mm <sup>1</sup>	
	$Q_{rA}$	0,00 N/mm <sup>1</sup>	
$S = K * Q * r_g / W_w$			punt A
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>	

#### Spanningen in omtrek t.g.v. zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening (leiding drukloos)

Indirect over te dragen bovenbelasting	$Q$	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K * Q * r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Totaal ( inclusief  $S_y$  t.g.v. moment in langsrichting (alleen van toepassing voor bochten))

	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtrek t.g.v. uitvoerings- of ligger model zetting en/of buigstraal (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 * b_f * x_p_d * r_g^3 * k_y) / E * I_w))$			punt A
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00	voor indirect over te dragen belasting
$S_q = S_q * f_{rr}$			
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>	

#### Deflectie (leiding drukloos)

$d_y = ((k_y * (Q - 0.096 * Q_{n,h}) * r_g^3) / (E * I_w))$	2,42 mm	
	0,97 % Do	
Toelaatbaar	37,50 mm	15,00 % Do

## TOETSINGEN

Belastingcombinatie BC2, alleen inwendige druk	
Maximum van ontwerp en incidentele overdruk	
S <sub>p</sub>	0,00 N/mm <sup>2</sup> 0 % toetswaarde

Belastingcombinatie BC3, uitwendige belastingen, drukloos					
		<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>	
S <sub>p</sub>	Inwendige druk	0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>q</sub>	Grondbelasting +/-	0,69	0,44	0,45	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>q</sub>	Steundruk -/+	-0,09	-0,09	-0,09	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>ver</sub>	Verkeersbelasting +/-	0,79	0,50	0,51	N/mm <sup>2</sup>
SI	Zetting liggermodel +/-	0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>r</sub>	Vertikale gronddruk buigstraal +/-	0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>y</sub> totaal (omtreksrichting, max)		1,39	0,85	0,87	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>y</sub> totaal (omtreksrichting, min)		-1,39	-0,85	-0,87	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>pl</sub>	Inwendige druk	0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
SI	Zetting liggermodel	0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>t</sub>	temperatuur	0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>ri</sub>	buigstraal	0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>x</sub> totaal (langsrichting)		0,00	0,00	0,00	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>v</sub> = sqrt(S <sub>x</sub> <sup>2</sup> +S <sub>y,max</sub> <sup>2</sup> -S <sub>x</sub> *S <sub>y,max</sub> )		1,39	0,85	0,87	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>v</sub> = sqrt(S <sub>x</sub> <sup>2</sup> +S <sub>y,min</sub> <sup>2</sup> -S <sub>x</sub> *S <sub>y,min</sub> )		1,39	0,85	0,87	N/mm <sup>2</sup>
S <sub>v</sub> maatgevend		<b>1,39</b>	<b>0,85</b>	<b>0,87</b>	N/mm <sup>2</sup>
		9	5	6	% toetswaarde

Belastingcombinatie BC4 niet van toepassing voor een mantelbuis					
		<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>	
S <sub>p</sub>	Inwendige druk				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>q</sub>	Grondbelasting +/-				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>q</sub>	Steundruk -/+				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>ver</sub>	Verkeersbelasting +/-				N/mm <sup>2</sup>
SI	Zetting liggermodel +/-				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>r</sub>	Vertikale gronddruk buigstraal +/-				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>y</sub> totaal (omtreksrichting, max)					N/mm <sup>2</sup>
S <sub>y</sub> totaal (omtreksrichting, min)					N/mm <sup>2</sup>
S <sub>pl</sub>	Inwendige druk				N/mm <sup>2</sup>
SI	Zetting liggermodel				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>t</sub>	temperatuur				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>ri</sub>	bochtstraal				N/mm <sup>2</sup>
S <sub>x</sub> totaal (langsrichting)					N/mm <sup>2</sup>
S <sub>v</sub> = sqrt(S <sub>x</sub> <sup>2</sup> +S <sub>y,max</sub> <sup>2</sup> -S <sub>x</sub> *S <sub>y,max</sub> )					N/mm <sup>2</sup>
S <sub>v</sub> = sqrt(S <sub>x</sub> <sup>2</sup> +S <sub>y,min</sub> <sup>2</sup> -S <sub>x</sub> *S <sub>y,min</sub> )					N/mm <sup>2</sup>
S <sub>v</sub> maatgevend					N/mm <sup>2</sup>
					% toetswaarde

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

Materiaalgegevens		
Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{ toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk		
Spl	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)		
$Q_{\text{grond}}$		2,14 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{\text{grond}} + Q_{\text{eg}} + Q_{\text{vu}} - Q_{\text{op}}) \times r_g / W_w$	$S_q \text{ bodem}$	0,66 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,42 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,43 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)			
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' I_w))$			
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q \text{ bodem}$	0,66 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ top}$	0,42 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ zijden}$	-0,43 N/mm <sup>2</sup>	

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)		
$Q_{h, \text{grond}}$		0,46 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$S_q \text{ bodem}$	-0,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-0,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,09 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)		
$Q_{h, \text{grond}}$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)		
Stootcoëfficiënt	S	1
Verkeersbelasting	$P_v$	7,50 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	1,88 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q \text{ bodem}$	0,58 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,37 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,38 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
$S_q$ bodem		0,58 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,58 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,58 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
$S_t$		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal		
$\lambda^2$		1,38962E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$		
$S_r$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$		
nvt		
$S_{rl}$		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
$S_i$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_i$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_i$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
$Q$		0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 \cdot S \cdot De$	20,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D \cdot ((0.113 \cdot Q - 0.096 \cdot 0.866 \cdot Q_{n,h} + 0.071 \cdot Q_{indir}) \cdot rg^3) / (E' \cdot lw + 0.061 \cdot kh \cdot rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	2,1 mm	
	0,8 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E \cdot lw / Dg^3$	24,90 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,90 N/mm <sup>2</sup> 18,97 bar 189,72 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,37 bar 23,72 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>			
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	0,66	0,42	0,43 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,09	-0,09	-0,09 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,58	0,37	0,38 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$	1,16	0,70	0,72 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>			
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_i$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T,x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
<i>Toetsing</i>			
$S_x = S_{pl} + a \cdot i_x \cdot S_{b,x} + S_{T,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a \cdot (S_{y,max} + i_y \cdot S_{b,x})$	0,75	0,45	0,47 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	9	6	6 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	0,8 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{q,ver}$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{q,ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T,x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

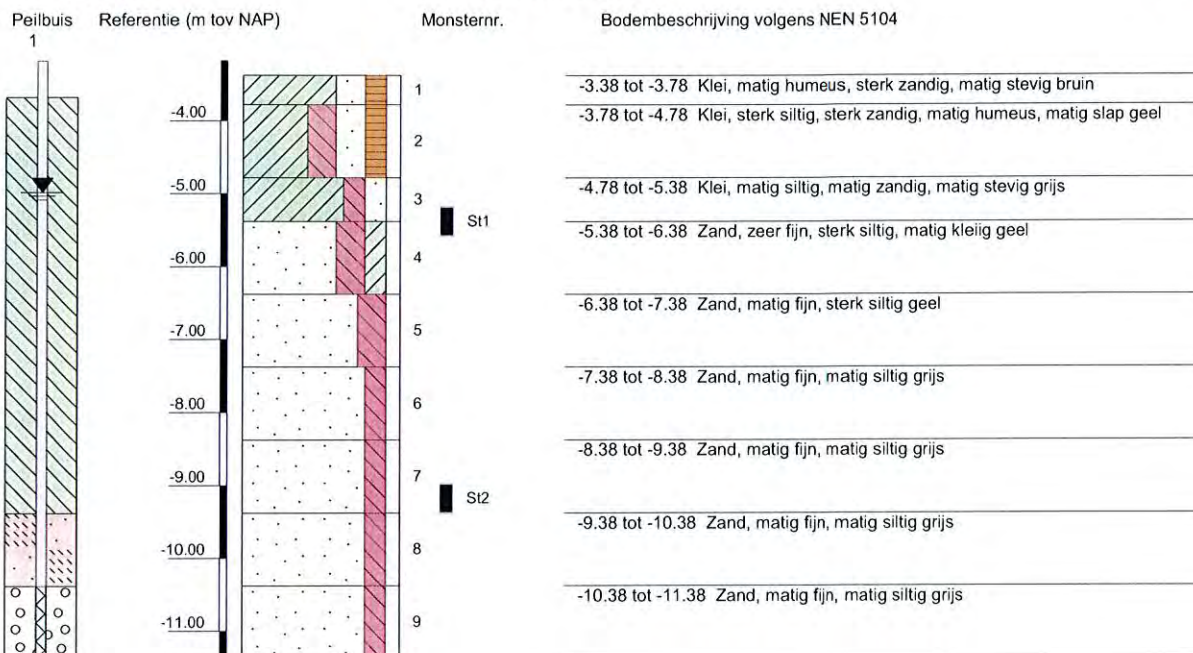
<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_y max + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%





---

## 4.5 Grondonderzoek

**Boring: B106**
**Veldclassificatie**


## Algemene opmerking:

X: 104848.304	GWS (m tov NAP):	MV (m tov NAP): -3.38	Boorvloeistof:	Datum uitvoering: 10-12-2012
Y: 482427.198	GHG (m tov NAP):	bk PB1 (m tov NAP): -3.18	WS PB1 (m tov NAP): -4.98	Boormeester: ahd
Coördinatenstelsel: RD	GLG (m tov NAP):	bk PB2 (m tov NAP):	WS PB2 (m tov NAP):	Geclassificeerd door: ahd
		bk PB3 (m tov NAP):	WS PB3 (m tov NAP):	

**BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1**

Fugro GeoServices B.V.

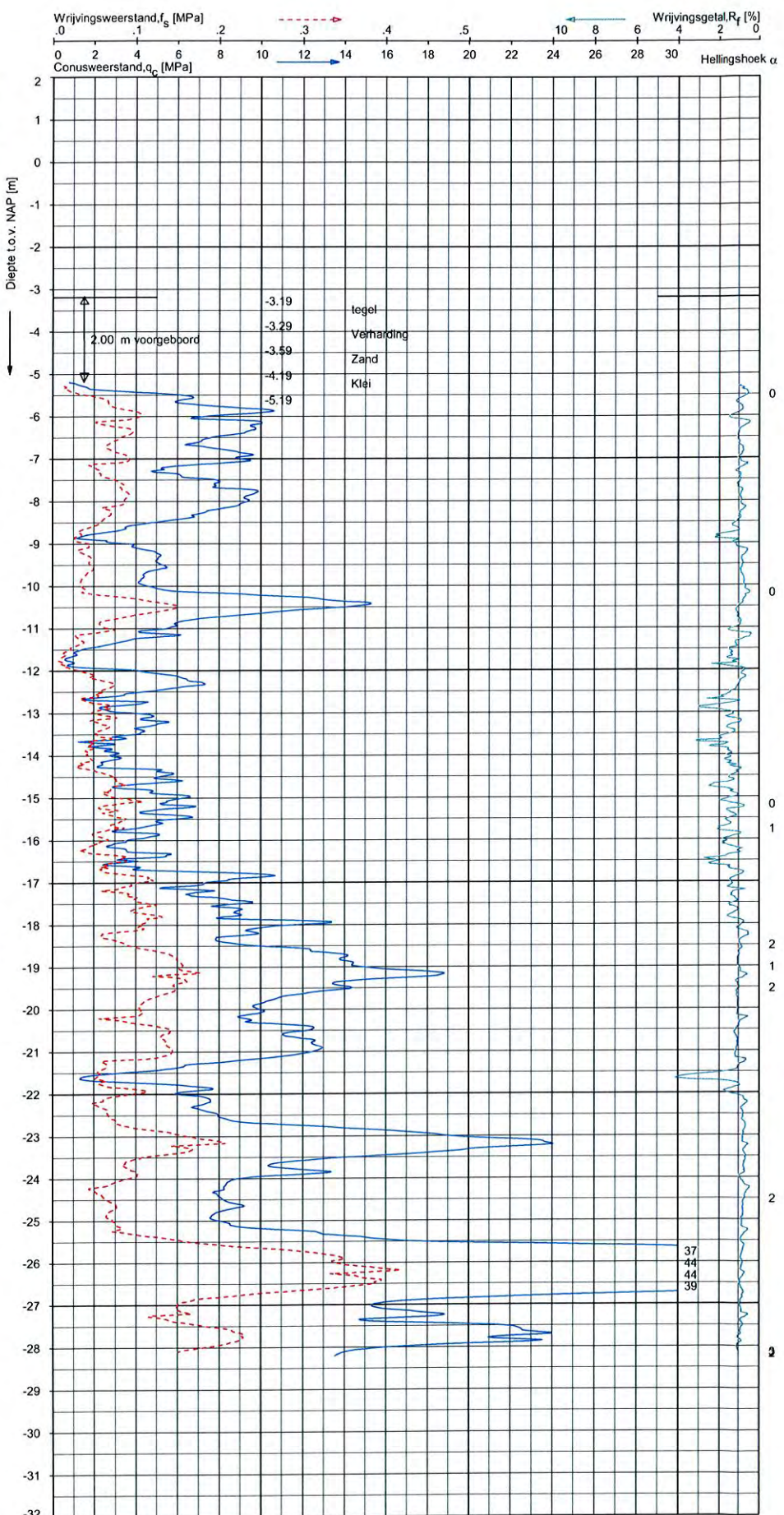
Geotechnisch onderzoek project R380 Noordring-zuid

**1010-0117-003**

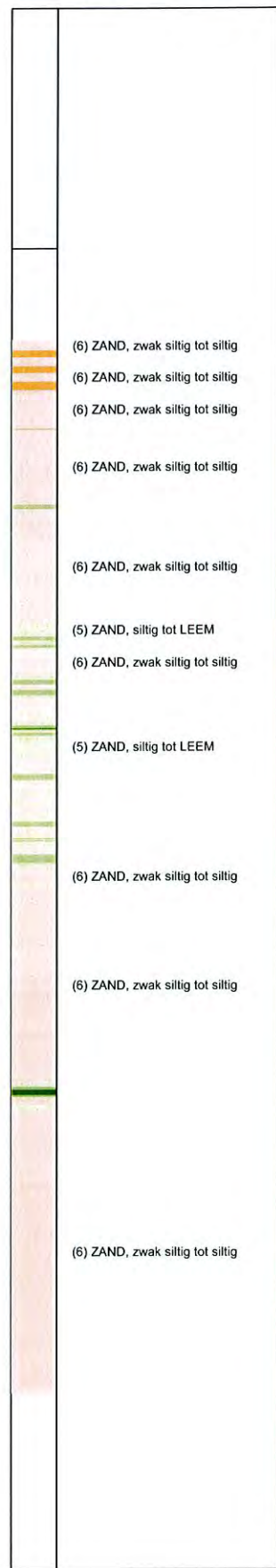
LNJRFLOT\_06.2011/06FCH08-N3.0m/2012-12-19 14:57:21

1010-0117-003

DKM1021 -1



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



Opg.: JBN/GEV d.d. 30-Nov-2012 conus: F7.5CKEZHAB X = 104874.2  
 Get.: VALKF d.d. 2012-12-19 MV = NAP -3.19 m Y = 482460.9  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen



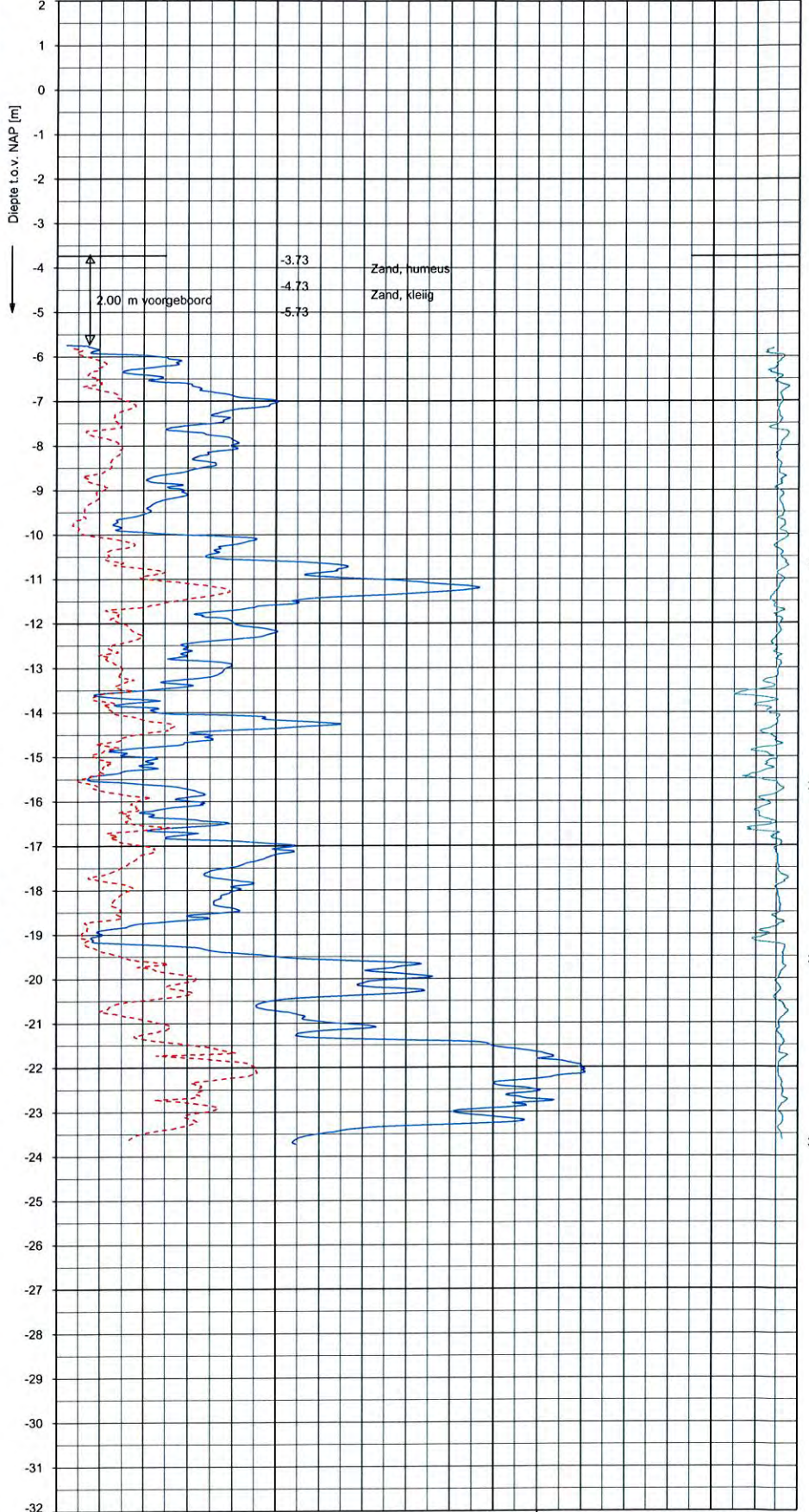
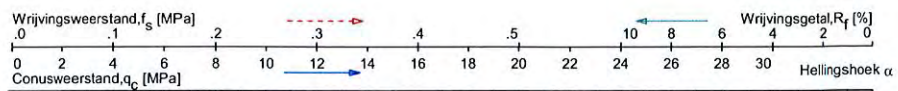
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1021

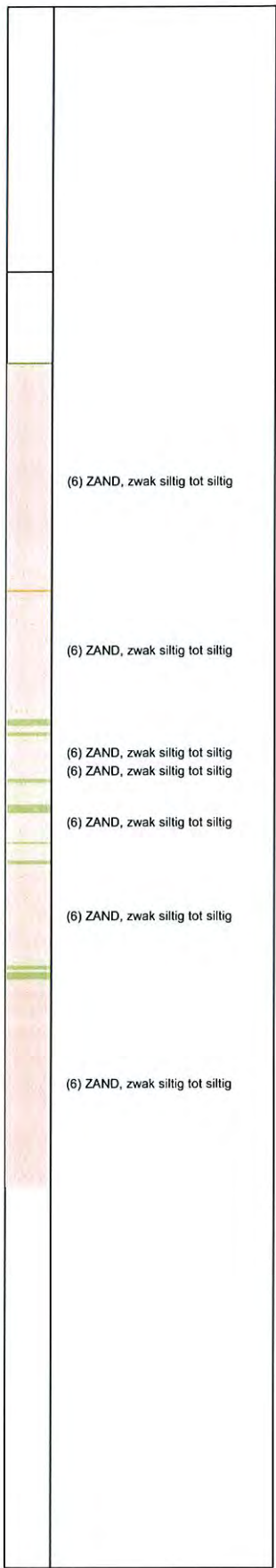
UNIPILOT 05.20.01 / OefSchied-N3.rnd / 2012-12-19 14:57:23

1010-0117-003

DKM1022 - 1



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



Opdr.: SC d.d. 03-Dec-2012 conus: F7.5CKE2HA/B X = 104868.8 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Gel.: VALKF d.d. 2012-12-19 MV = NAP -3.73 m Y = 482405.7 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mmf.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

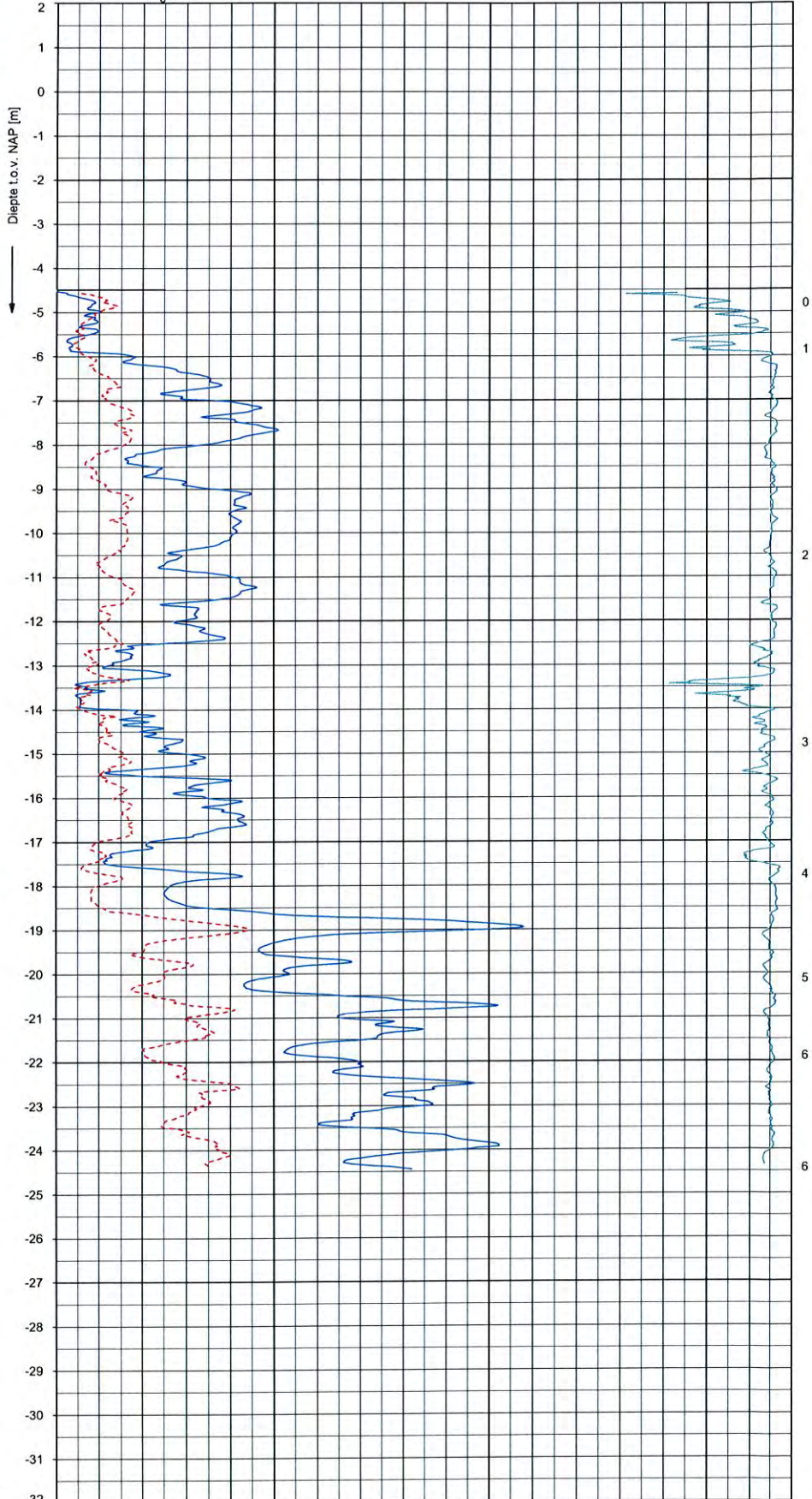
Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1022

UNIPL0T\_05.20.nl / Qd\Fichiers-N3.pmd / 2012-12-19 14:57:26

1010-0117-003

DKM1024 - 1

Wrijvingsweerstand,  $f_s$  [MPa]      Wrijvingsgetal,  $R_f$  [%]  
 Conusweerstand,  $q_c$  [MPa]      Hellingshoek  $\alpha$



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



Opg.: JWV d.d. 14-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HA/B X = 104785.5 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Get.: UNISTART d.d. 2012-12-19 MV = NAP -4.49 m Y = 482338.6 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bij. Elektrisch sonderen



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

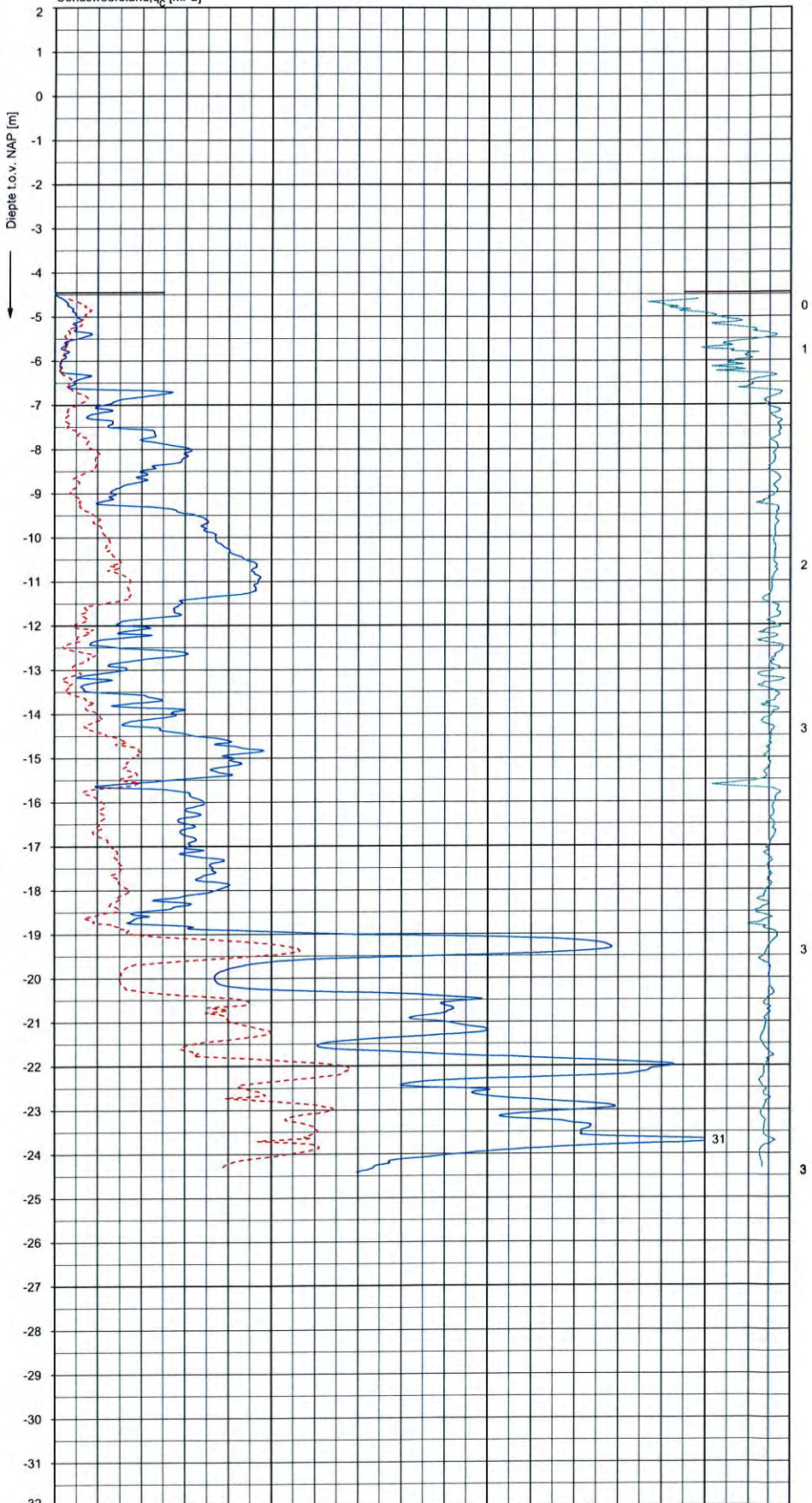
Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1024

UNIPLOT 05.20.01 / QdF-Chase-N3.cnd / 2012-12-19 14:57:29

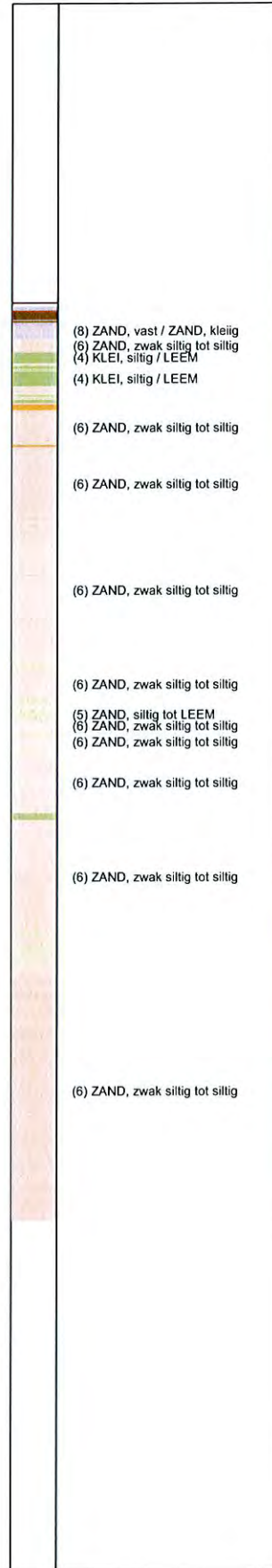
1010-0117-003

DKM1025 - 1

Wrijvingsweerstand,  $f_s$  [MPa]      Wrijvingsgetal,  $R_f$  [%]  
Conusweerstand,  $q_c$  [MPa]      Hellingshoek  $\alpha$



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



Opg.: JVV/ d.d. 14-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HAB X = 104759.5 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
Get.: UNISTART d.d. 2012-12-19 MV = NAP -4.45 m Y = 482306.5 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

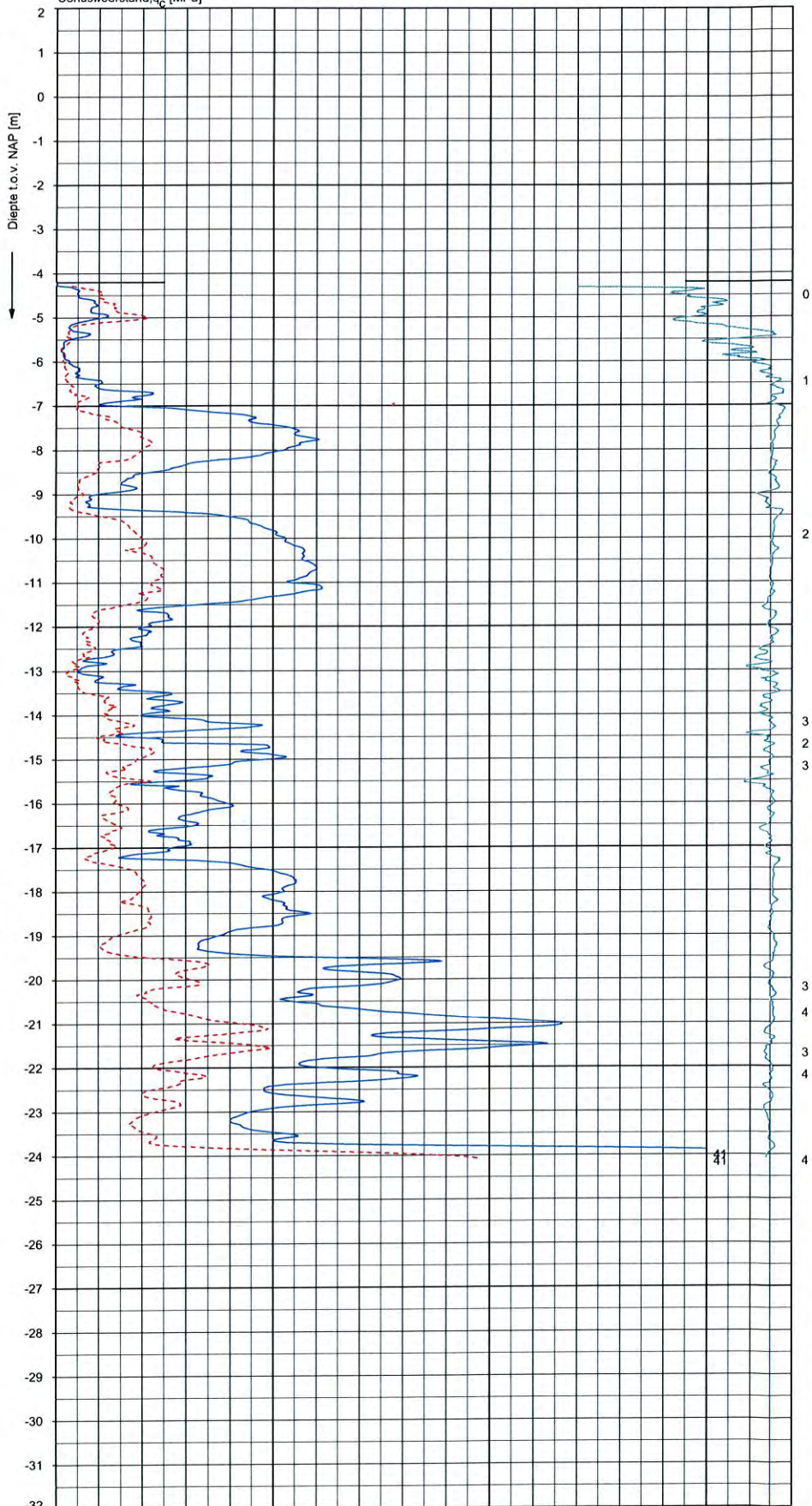
Opdr. 1010-0117-003  
Sond. DKM1025

UNIPL07 05.20/m / Oefschak-N3.cnd / 2012-12-19 14:57:31

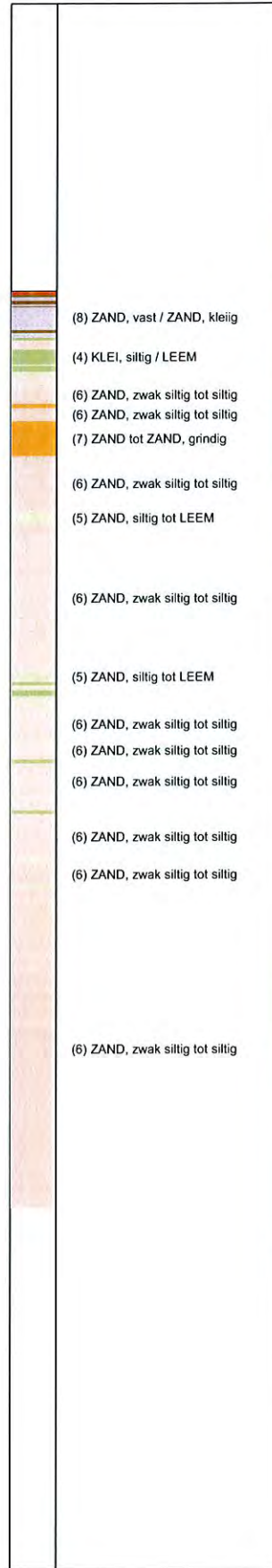
1010-0117-003

DKM1027 -1

Wrijvingsweerstand,  $f_s$  (MPa)      Wrijvingsgetal,  $R_f$  (%)  
 0    .1    .2    .3    .4    .5    10    8    6    4    2    0  
 Conusweerstand,  $q_c$  (MPa)      Hellingshoek  $\alpha$



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



Opg.: JWV d.d. 14-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HAB X = 104708.5  
 Get.: UNISTART d.d. 2012-12-19 MV = NAP -4.20 m Y = 482242.9  
 Sondering volgens norm NEN 5140, Klasse 2.  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mmf.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1027

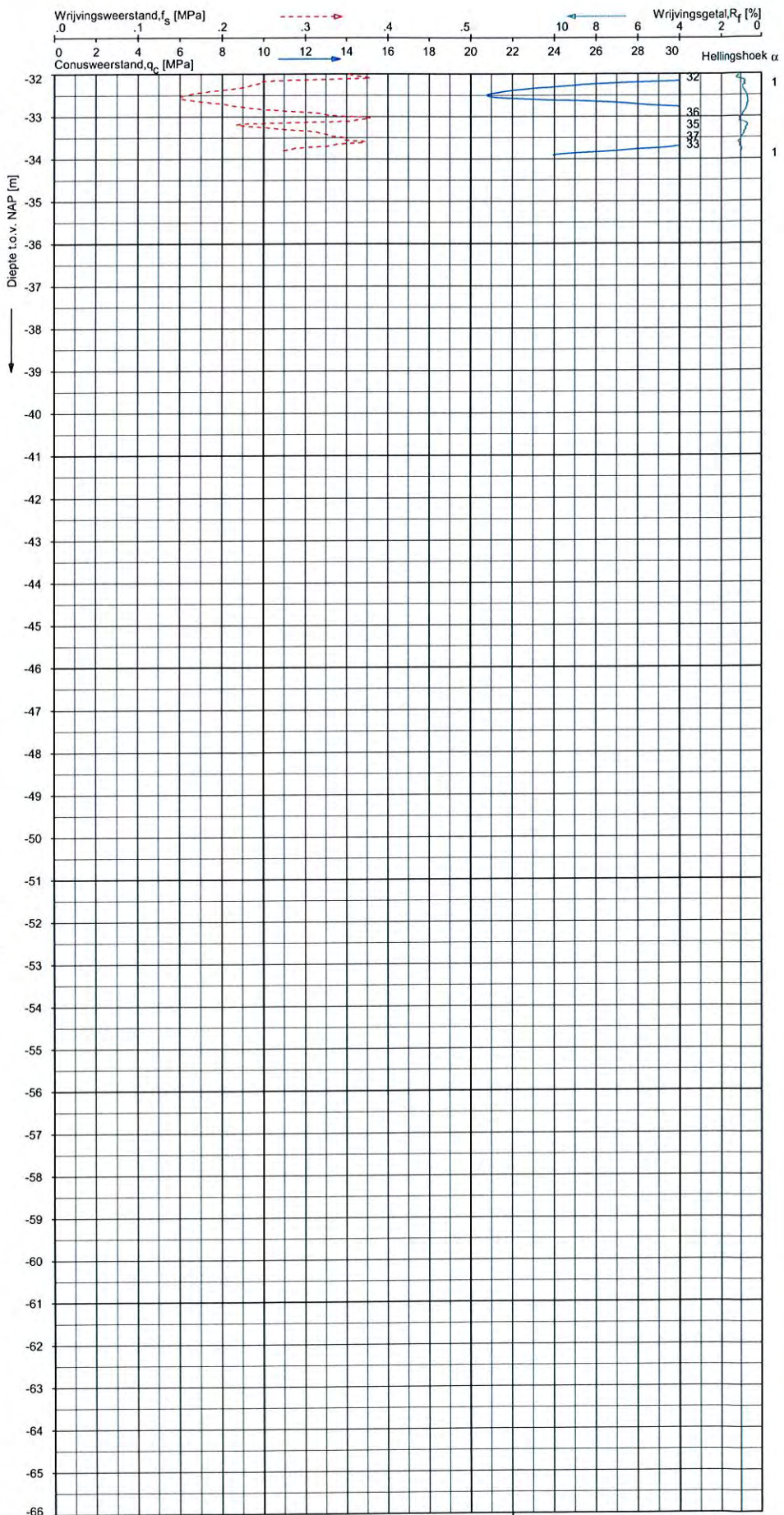




LNIPLOT 06.2011 / GEF-Claas-43.cmf / 2012-12-19 15:08:00

1010-0117-003

DKMP1020 -2



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

	(6) ZAND, zwak siltig tot siltig
--	----------------------------------

Opg.: JBN/GEV d.d. 30-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>B P1 X = 104912.8 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2  
 Get.: VALKF d.d. 2012-12-19 MV = NAP -3.91 m Y = 482462.8 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bij. Elektrisch sonderen



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

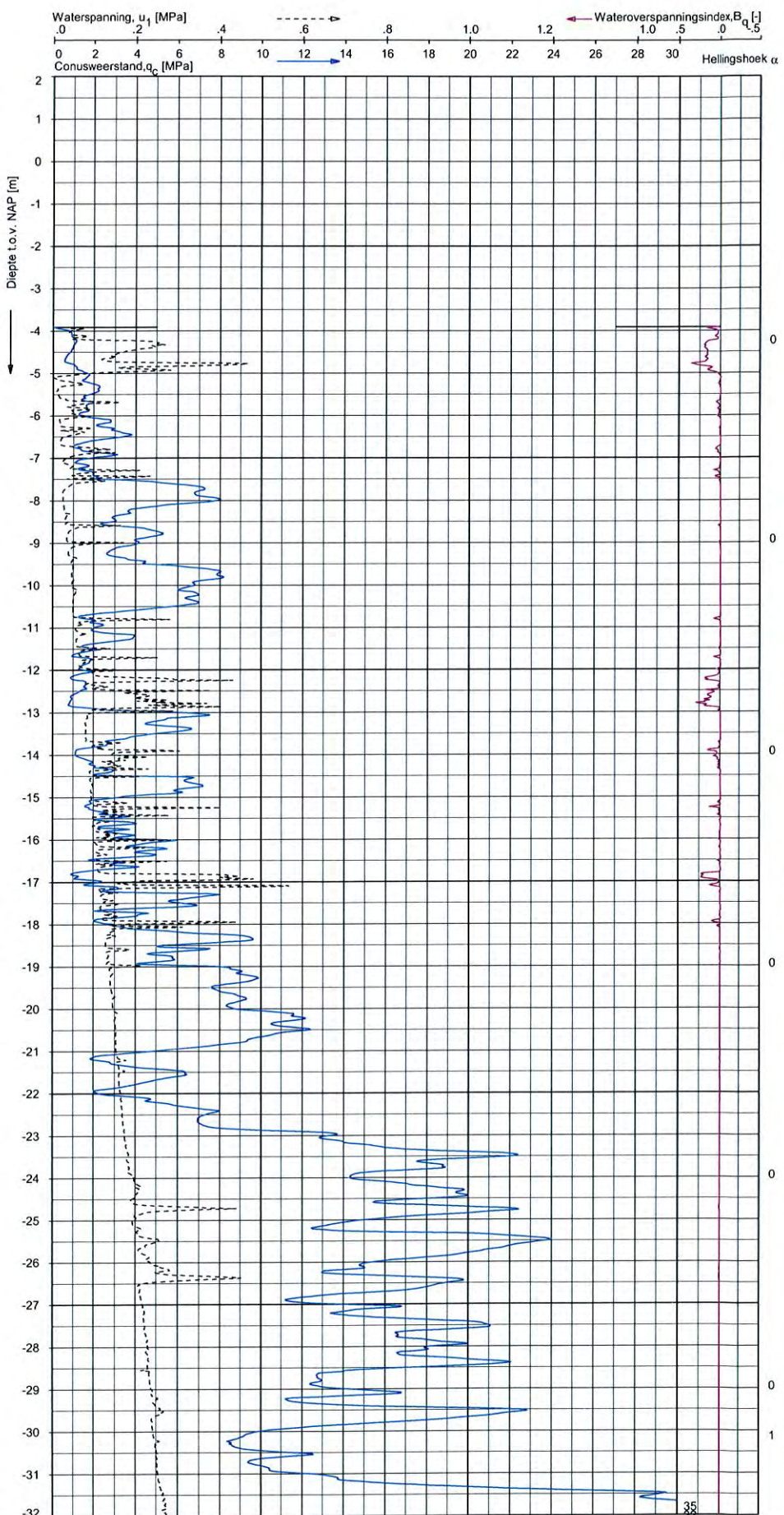
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1020

UNIPELOT\_0520.nl / Geotechnisch Onderzoek / 2012-12-19 15:08:49

1010-0117-003

DKMP1020 -1



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



Opg.: JBN/GEV d.d. 30-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HAW1B P1 X = 104912.8 Sondering volgens norm NEN 5140, Klasse 2  
 Gef.: VALKF d.d. 2012-12-19 MV = NAP -3.91 m Y = 482462.8 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm  
 Specificaties conform bij. Elektrisch sonderen

SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

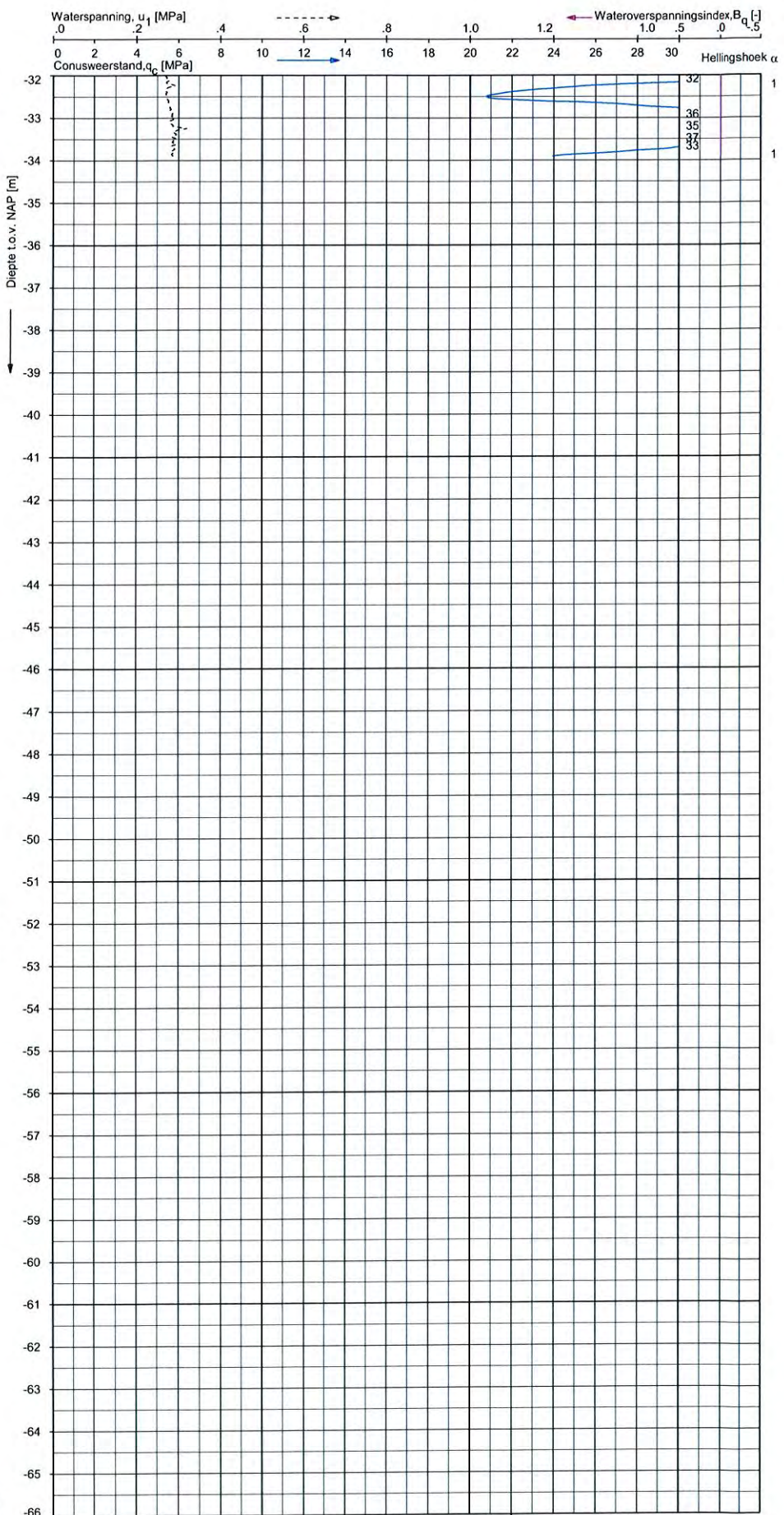
Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1020



JUNIPLOT 06/20/11 / Geotechniek-NL/2012-12-19 15:08:50

1010-0117-003

DKMP1020 -2



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

	(6) ZAND, zwak siltig tot siltig
--	----------------------------------

Opg.: JBN/GEV d.d. 30-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HAW1/B P1 X = 104912.8 Sondering volgens norm NEN 5140, Klasse 2.  
 Get.: VALKF d.d. 2012-12-19 MV = NAP -3.91 m Y = 482462.8 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen



SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1020

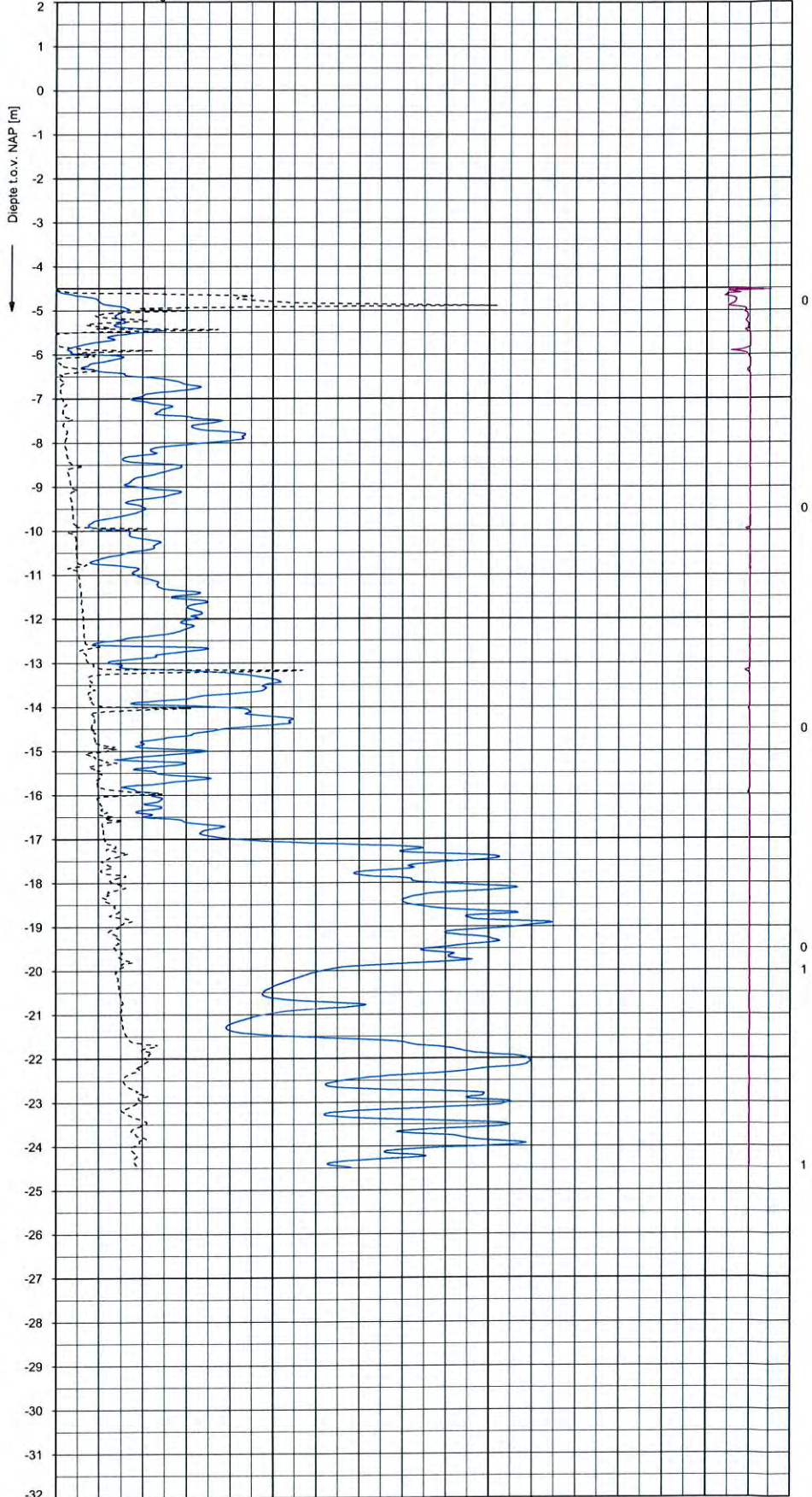


UNIPLOT 05.20.nl / QdUTClass-N3.cmf / 2012-12-19 15:08:52

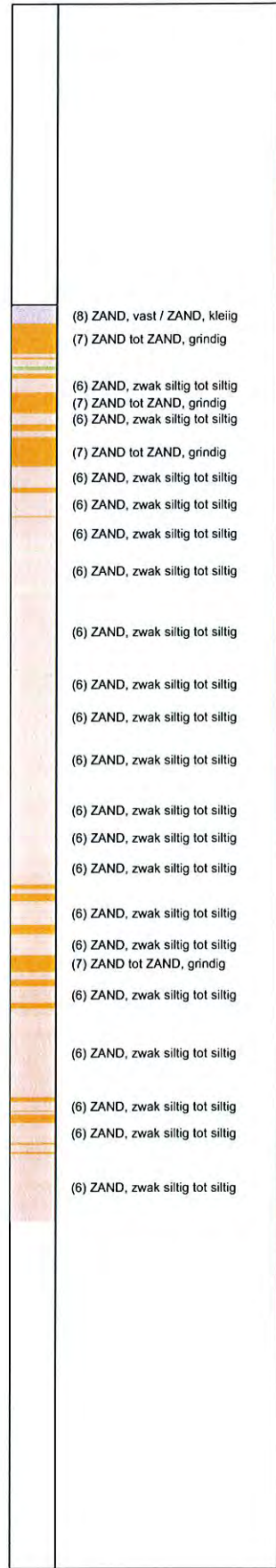
1010-0117-003

DKMP1023 - 1

Waterspanning,  $u_1$  [MPa] -----> Wateroverspanningsindex,  $B_{q_1}$  [-]  
 Conusweerstand,  $q_c$  [MPa] -----> Hellingshoek  $\alpha$



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



Opg.: J/WV/ d.d. 14-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HAW\_1/B P1 X = 104830.7 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Gel.: UNISTART d.d. 2012-12-19 MV = NAP -4.49 m Y = 482354.2 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mmr.  
 Specificaties conform bij. Elektrisch sonderen

SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

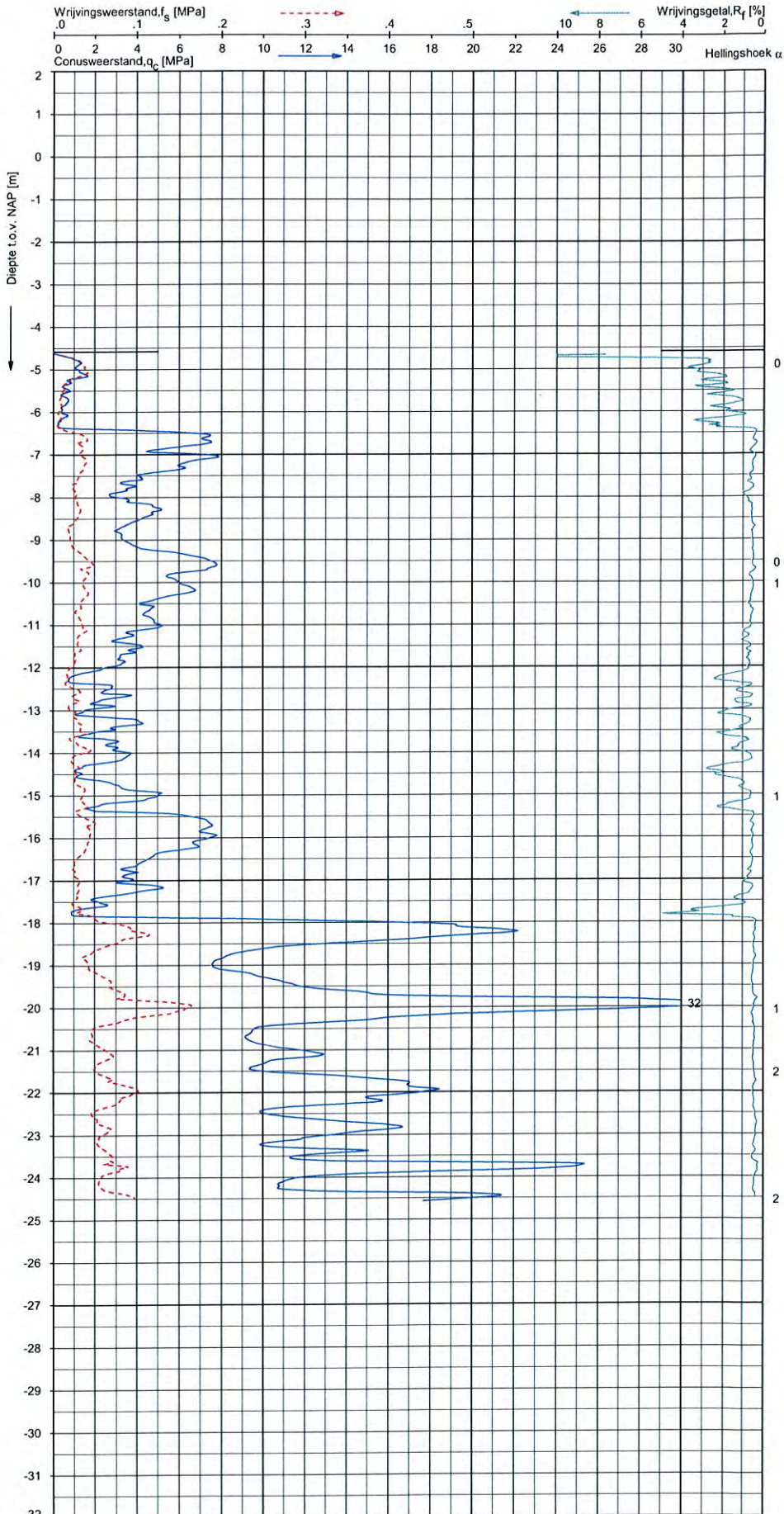
Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1023



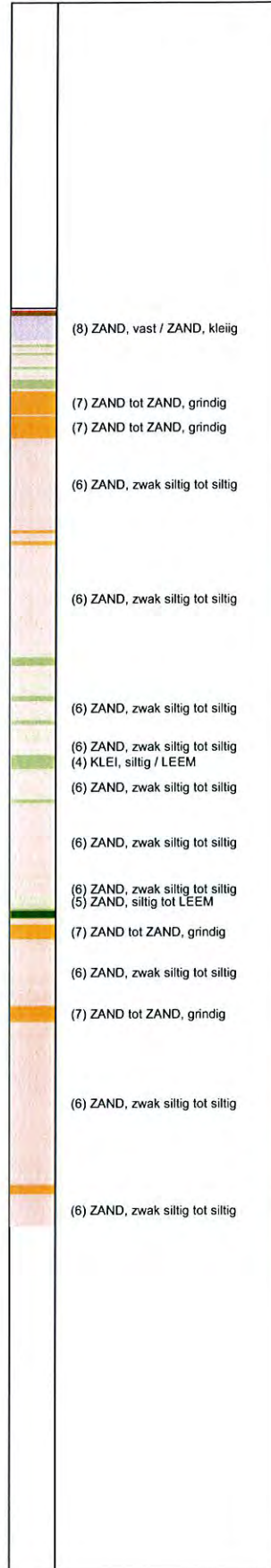
UNIPL0T 05.20.nl / OefFile-N3.pmf / 2012-12-19 15:08:06

1010-0117-003

DKMP1026 - 1



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



Opg.: JVV/ d.d. 14.Nov-2012 conus: F7.SKEZHAW<sub>1</sub>B P1 X = 104734.9 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Oet.: VALKF d.d. 2012-12-19 MV = NAP -4.58 m Y = 482275.7 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bij. Elektrisch sonderen



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1026

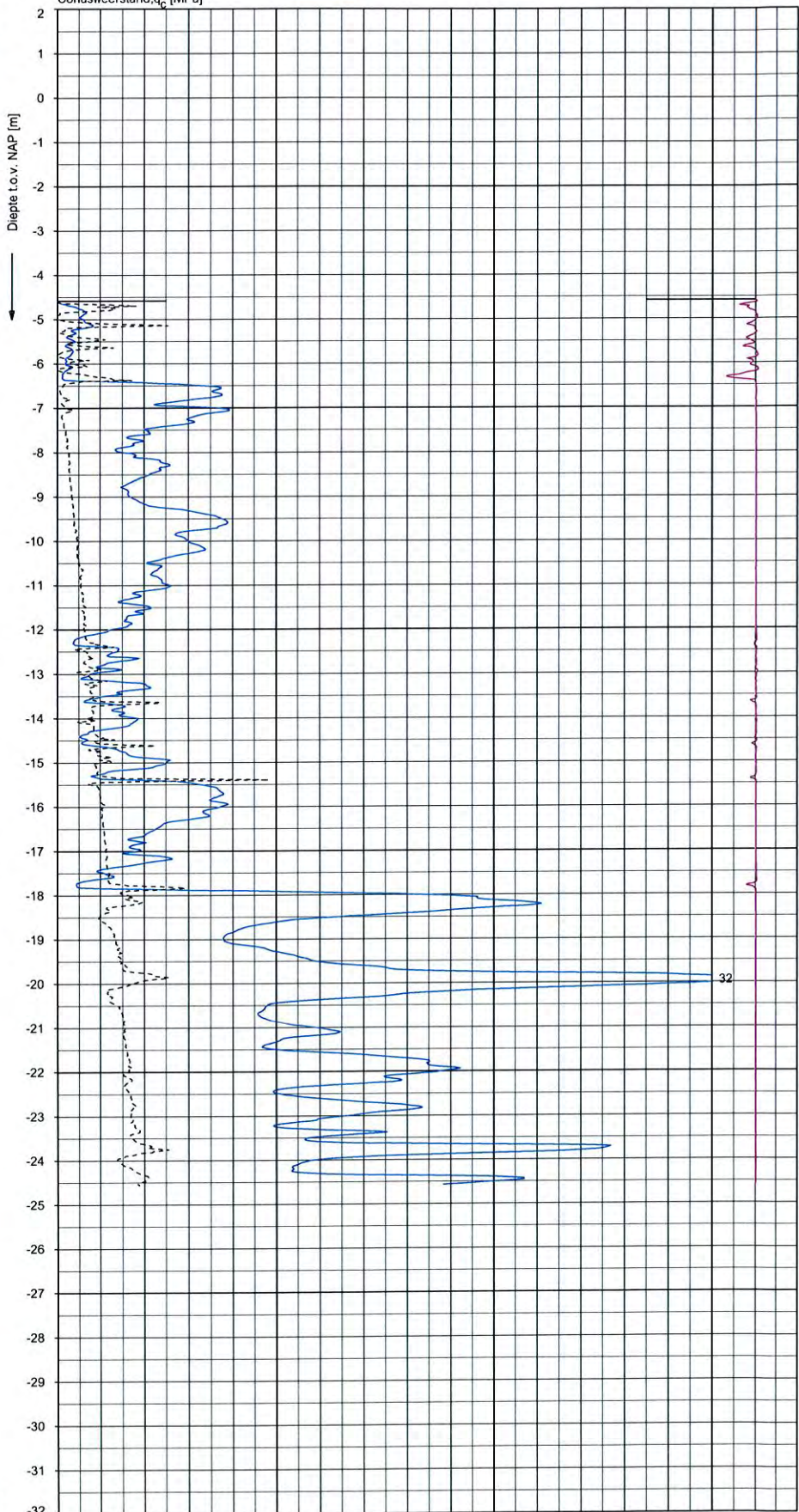
UNI\PILOT\_06-20\11\Geotechniek\3\2012-12-19 15:08:55

1010-0117-003

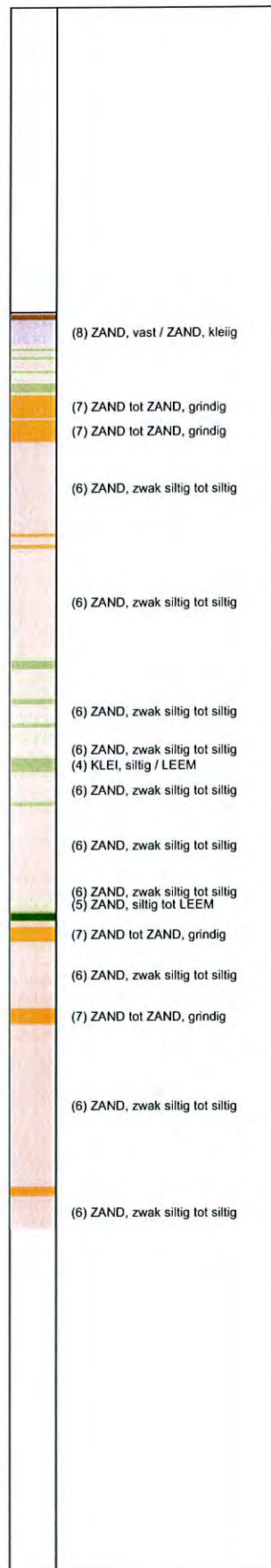
DKMP 1026 - 1

Waterspanning,  $u_1$  [MPa]       $\leftarrow$  Wateroverspanningsindex,  $B_{q,1}$  [-]

Conusweerstand,  $q_c$  [MPa]       $\rightarrow$  Hellingshoek  $\alpha$



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



Opg.: JWW/ d.d. 14-Nov-2012      conus: F7.5CKEZHAW1/B P1    X = 104734.9    Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2  
 Gel.: VALKF/ d.d. 2012-12-19      MV = NAP -4.58 m      Y = 482275.7    Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mm  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen

SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
Sond. DKMP1026



# Berekeningen X-04 HDD langs Provinciale weg N205 t.h.v. Zwaanshoek

## Civiele Werkzaamheden R380 Noordring Perceel 1: Vijfhuizen – Zuidelijke Ringvaart

**Documentnummer:** : VIR-0.000.519  
**Referentienummer:** : TP13141-doc-04  
**Documentstatus:** : Definitief  
**Datum:** : 15-11-2013  
**Versie:** : 2.0

Opdrachtgever:



Opdrachtnemer:

	Naam	Functie	Paraaf	Datum
Opsteller	M. Hurman	Civil Engineer		15-11-2013
Gecontroleerd	J. Hermus	Groepsleider Civiel		15-11-2013
Gecontroleerd	M. Molema	Disciplineleider		15-11-2013
Geautoriseerd / Vrijgave	M. Roohé	Projectmanager		





## DOCUMENT HISTORIE

Revisie	Omschrijving/Belangrijkste wijzigingen	Datum
0.1	Concept definitief ontwerp	17-07-2013
1.0	Definitief Ontwerp	02-08-2013
2.0	Opmerkingen RFA/ RFC	15-11-2013



## Inhoud

1. Inleiding .....	4
2. Uitgangspunten .....	5
2.1 Algemeen.....	5
2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren .....	5
2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis .....	5
2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase .....	5
2.5 Kwelproblematiek.....	6
2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring.....	6
2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting.....	6
2.5.3 Kwel op lange termijn.....	6
3. Conclusies.....	7
3.1 Muddrukken tijdens boren.....	7
3.2 Sterkte tijdens installeren.....	8
3.2.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens installeren .....	8
3.2.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens installeren .....	8
3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik.....	9
3.3.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens gebruik .....	9
3.3.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens gebruik .....	9
4. Bijlagen .....	10
4.1 Tekening VIR-0.000504, Referentienr. TP13141-K-X-04 .....	10
4.2 Muddrukberekening.....	11
4.3 Trekkrachten berekening .....	12
4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase.....	13
4.5 Grondonderzoek .....	14



## 1. Inleiding

In de Randstad wordt de komende jaren een sterke toename verwacht in de vraag naar electriciteit. Om de elektriciteitsvoorziening in de toekomst veilig te stellen wordt er door TenneT een nieuwe 380kV hoogspanningsverbinding tussen Beverwijk – Vijfhuizen – Bleiswijk – Wateringen gerealiseerd. Dit project wordt Randstad380kV genoemd.

Project Randstad380 Noordring is de tweede fase van het project en bestaat uit een hoogspanningsverbinding van Beverwijk via Vijfhuizen naar Bleiswijk.

Naast de aanleg van een 380kV hoogspanningsverbinding wordt er ook een 150kV hoogspanningsverbinding gerealiseerd. In verband met de aanleg van beide hoogspanningsverbindingen moet een waterpartij langs de N205 ter hoogte van Zwaanshoek gekruist worden. Deze kruising wordt uitgevoerd door middel van een aantal horizontaal gestuurde boringen. In de boringen worden de volgende mantelbuizen geïnstalleerd:

380kV :

- HDD 01 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 02 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 03 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 04 4x Ø250 PE100 SDR11

150kV :

- HDD 01 4x Ø200 PE100 SDR11
- HDD 02 4x Ø200 PE100 SDR11

In dit rapport worden de voor de boringen benodigde berekeningen uitgevoerd.

*Hiertoe worden de volgende aspecten bekeken:*

- De bij het boren te verwachten muddrukken en de maximaal toelaatbare muddrukken.
- De benodigde trekkracht voor het intrekken van de mantelbuizen en de hierbij optredende spanningen in de buizen.
- De sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase.
- Mogelijke kwelproblematiek.

Bovenstaande berekeningen worden uitgevoerd met spreadsheet-programma's.

*Uitgangspunten van deze berekeningen zijn de normen:*

- NEN 3650-1:2012, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1 algemeen
- NEN 3650-3:2012 ontwerp, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 3 Kunststoffen
- NEN 3651:2012, Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken.

*Grondonderzoek:*

- Gegevens grondonderzoek afkomstig van Fugro, opdrachtnr. 1010-0117-003 Bijlage 4.5

*Bijbehorende tekeningen:*

- Algemeen plantekening op A4 formaat Bijlage 4.1

## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Algemeen

De belangrijkste ontwerpgegevens van de mantelbuizen, die gelden voor de boringen:

Kenmerk	380kV HDD 1 t/m 4	150kV HDD 1 en 2
Materiaal	PE	PE
Kwaliteit	PE100	PE100
Treksterkte	10 N/mm <sup>2</sup>	10 N/mm <sup>2</sup>
Aantal buizen	4	4
Diameter	250 mm	200 mm
Wanddikte	22.7 mm (SDR 11)	18.2 mm (SDR 11)

### 2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren

Voor het afvoeren van de afgeboorde grond is in het boorgat een minimale muddruk nodig. Tevens mag de druk in het boorgat niet groter worden dan de maximaal toelaatbare muddruk. Bij overschrijding van deze druk bestaat het gevaar voor bezwijken van de grond en uitstromen van boorvloeistof aan het maaiveld. Voor de muddrukberekening worden de boringen met de grootste te installeren bundel en de kleinste dekking (380kV HDD 3 en 4) als maatgevend beschouwd.

De maximaal toelaatbare muddruk en de minimaal benodigde muddrukken zijn berekend in Bijlage 4.2. De resultaten worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd.

### 2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de mantelbuis in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de buis optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend. Voor zowel de boringen ten behoeve van 380kV als voor 150kV wordt apart een trekkrachtberekening uitgevoerd.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.3. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.

### 2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase

Voor de sterkte van de mantelbuizen worden voor een aantal locaties doorsnede-berekeningen gemaakt. De volgende doorsneden worden beschouwd:

380kV:

- Punt met de grootste dekking onder de weg (ca. 20m-maaiveld), hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.
- Diepte van  $8 \times D_{\text{gat}}$ , hierbij wordt met neutrale gronddruk gerekend (*niet in bijlage, niet maatgevend*).
- Punt op de overgang van het samendrukbare grondmassief naar het vastere zandpakket. Dit punt heeft een dekking van ca. 7.7m-maaiveld, hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.

150kV:

- Punt met de grootste dekking (ca. 15m-maaiveld), hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.
- Diepte van  $8 \times D_{\text{gat}}$ , hierbij wordt met neutrale gronddruk gerekend (*niet in bijlage, niet maatgevend*).
- Punt op de overgang van het samendrukbare grondmassief naar het vastere zandpakket. Dit punt heeft een dekking van ca. 7.7m-maaiveld, hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.4. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.



## 2.5 Kwelproblematiek

In het kader van de kwelproblematiek worden de hieronder vermelde situaties bekeken.

- Tijdens de uitvoering van de boring
- Tijdens het maken van de aansluiting
- Op lange termijn

### 2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring

De intredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van 4.5m-N.A.P. De uittredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van 4.7m-N.A.P. Het hart van de boringen ligt op het diepste punt op 20m-N.A.P.

Het eerste watervoerende zandpakket ligt op een diepte van ca. 6.5m-N.A.P. en wordt aangeboord.

Volgens de door de opdrachtgever verstrekte informatie bedraagt de gemiddelde stijghoogte van het spanningswater in het eerste watervoerende pakket ca. 5.3m-N.A.P.

De stijghoogte van het spanningswater is lager dan het maaiveld niveau en daarmee is er geen gevaar voor kwel tijdens de uitvoering van de boringen.

Muduitbraken ter plaatse van de watergangen zijn volgens de berekeningen niet te verwachten (zie hoofdstuk 3 of bijlage 4.2). Kwel vanuit het watervoerende zandpakket naar de watergangen is hierdoor niet te verwachten.

### 2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting

Ten tijde van het maken van de aansluitingen moet tijdelijk een ontgraving van ca. 3m-maaiveld worden gemaakt, waarbij een kwelscherm met kleikist dient te worden aangebracht.

Op het grensvlak werkt een opwaartse waterdruk van  $(5.3 - 6.5) \times 10 \text{ kN/m}^3 = 12 \text{ kN/m}^2$

De bentonietkolom oefent bij een bentoniet gewicht van  $12 \text{ kN/m}^3$  een neerwaartse kracht uit van  $(7.7 - 6.5) \times 12 \text{ kN/m}^3 = 14.4 \text{ kN/m}^2$

De neerwaartse druk van de bentonietkolom is groter dan de opwaartse waterdruk, het verschil is echter gering.

Indien nodig kan kortdurend spanningsbemaling worden toegepast.

### 2.5.3 Kwel op lange termijn

Zowel aan de intrede- als aan de uittredezijde dienen kwelschermen in kleikisten geplaatst te worden om de kwel op lange termijn te voorkomen.



### 3. Conclusies

#### 3.1 Muddrukken tijdens boren

Overzicht minimum en maximum muddrukken tijdens boren:

Locatie		Afstand tot intredepunt	Minimaal benodigde muddruk (Bijlage 4.2)	Maximaal toelaatbare muddruk (Bijlage 4.2)
IN	Intredepunt	0 m		
A		13 m	47 kN/m <sup>2</sup>	120 kN/m <sup>2</sup>
B		47 m	147 kN/m <sup>2</sup>	351 kN/m <sup>2</sup>
C		80 m	201 kN/m <sup>2</sup>	493 kN/m <sup>2</sup>
D		114 m	216 kN/m <sup>2</sup>	503 kN/m <sup>2</sup>
E		147 m	224 kN/m <sup>2</sup>	503 kN/m <sup>2</sup>
F		181 m	233 kN/m <sup>2</sup>	503 kN/m <sup>2</sup>
G		214 m	242 kN/m <sup>2</sup>	503 kN/m <sup>2</sup>
H		248 m	231 kN/m <sup>2</sup>	466 kN/m <sup>2</sup>
I		281 m	177 kN/m <sup>2</sup>	224 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uitiredepunt	315 m		

De maximaal toelaatbare muddruk wordt nergens overschreden. Tijdens het boren van de eindfase van de pilot kunnen muduitbraken voorkomen. Tijdens de uitvoering dient hier rekening mee gehouden te worden door in de eindfase van de pilotboring zo weinig mogelijk bentoniet te verpompen met een zo laag mogelijke druk.



## 3.2 Sterkte tijdens installeren

### 3.2.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

<b>380kV HDD 1 t/m 4</b>	Smax (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	5.1 N/mm <sup>2</sup>	51 %	
Spanning tijdens intrekken	5.6 N/mm <sup>2</sup>	56 %	
Trekkracht			309 kN

De mantelbuizen worden leeg in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkracht van maximaal 31 ton verwacht.

### 3.2.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

<b>150kV HDD 1 en 2</b>	Smax (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	7,7 N/mm <sup>2</sup>	77 %	
Spanning tijdens intrekken	5,6 N/mm <sup>2</sup>	56 %	
Trekkracht			307 kN

De mantelbuizen worden leeg in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkracht van maximaal 31 ton verwacht.

### 3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik

#### 3.3.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens gebruik

Overzicht van de berekende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met de grootste dekking:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	0,3 N/mm <sup>2</sup>	4 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		0,3 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,72 m	waterkolom

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt op de overgang in het grondmassief:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	2,2 N/mm <sup>2</sup>	28 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		2,3 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,72 m	waterkolom

Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.

#### 3.3.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens gebruik

Overzicht van de berekende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met de grootste dekking:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	0,2 N/mm <sup>2</sup>	3 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		0,3 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,89 m	waterkolom

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt op de overgang in het grondmassief:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	2,2 N/mm <sup>2</sup>	28 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		2,3 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,89 m	waterkolom

Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.





---

## 4. Bijlagen

### 4.1 Tekening VIR-0.000504, Referentienr. TP13141-K-X-04





---

## 4.2 Muddrukberkening

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-04 380kV HDD3 en 4 langs N205 t.h.v. Zwaanshoek
Berekend door	EHO

Te installeren buis of bundel		
Uitwendige diameter buis/bundel	d	600 mm

Boorstelling		
Type boorstelling		100 ton
Uitwendige diameter pilotbuis	d-uitw.	127 mm
Inwendige diameter pilotbuis	d-inw.	109 mm

Boorvloeistof		
Volumegewicht boorvloeistof	$v_{bo}$	10,50 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht grond / boorvloeistof mengsel	$v_b$	12,00 kN/m <sup>3</sup>
Schijnbare viscositeit	visc	100 MarshFunnelseconden
Yieldpoint boorvloeistof	$y_b$	0,01 kN/m <sup>2</sup>
Viscositeit	eta	0,11 Pas

Boorbuizen		
Lengte boorbuis	L	6 m
Lengte koppeling	L-kopp	0,5 m
Inwendige diameter koppeling	d-kop	89 mm
Nik. Ruwheid	k	1 mm

**SAMENVATTING INVOER/RESULTATEN**

Lokatie	Omschrijving	Afstand tot intredepunt	Diepte cl t.o.v ref. lijn [m]	Pmin* in pilot gat	Pmax* toelaatbaar in gat tijdens ruimen
IN	Intredepunt	0,0	0,0 m	-	0 kN/m2
A		13,4	-3,6 m	47	120 kN/m2
B		46,9	-11,3 m	147	351 kN/m2
C		80,4	-15,1 m	201	493 kN/m2
D		113,9	-15,6 m	216	503 kN/m2
E		147,4	-15,6 m	224	503 kN/m2
F		180,9	-15,6 m	233	503 kN/m2
G		214,3	-15,7 m	242	503 kN/m2
H		247,9	-14,1 m	231	466 kN/m2
I		281,4	-8,9 m	177	224 kN/m2
J			m	0	kN/m2
K			m	0	kN/m2
L			m	0	kN/m2
M			m	0	kN/m2
UIT	Uittredepunt	314,9	-0,3 m	-	0 kN/m2
				Pmin benodigd bij max. mud debiet	
<b>noot *: Pmin in pilot gat vergelijken met Pmax tijdens ruimen is de meest ongunstige benadering</b>					

**Berekening van de maximaal toelaatbare boorvloei­stof­druk­ken P'max  
volgens NEN 3650-1:2003 bijlage E.2**

**INVOER/UITVOER**

Lokatie	IN	A	B	C	D
Grondsoort (zand / klei)	-	<b>klei</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	-	<b>3,7</b>	<b>11,2</b>	<b>15,1</b>	<b>15,5</b> m
Diepte water onder mv (+)	-	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b> m
Hoek inwendige wrijving	-	<b>20</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b> gr
Volumegewicht nat	-	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b> kN/m3
Volumegewicht droog	-	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b> kN/m3
Cohesie	-	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	-	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	-	<b>0,5</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>8</b> MPa
Rpmax	-	1,85	0,45	0,49	0,49 m
Elasticiteitsmodulus	-	750	9500	15200	15200 kN/m2
P'max in gat	-	120	351	493	503 kN/m2

Location	E	F	G	H	I
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	<b>15,5</b>	<b>15,5</b>	<b>15,5</b>	<b>14</b>	<b>8,6</b> m
Diepte water onder mv (+)	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,4</b>	<b>-0,7</b> m
Hoek inwendige wrijving	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>27,5</b> gr
Volumegewicht nat	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>18</b> kN/m3
Volumegewicht droog	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>16</b> kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>2</b> MPa
Rpmax	0,49	0,49	0,49	0,51	0,38 m
Elasticiteitsmodulus	15200	15200	15200	15200	3800 kN/m2
P'max in gat	503	503	503	466	224 kN/m2

Location	J	K	L	M	UIT
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>klei</b>	-
Gronddekking					- m
Diepte water onder mv (+)					- m
Hoek inwendige wrijving					- gr
Volumegewicht nat					- kN/m3
Volumegewicht droog					- kN/m3
Cohesie					- kN/m2
Dwarscontractiecoefficient					-
CPT Conusweerstand: qc					- MPa
Rpmax	0,00	0,00	0,00	0,00	- m
Elasticiteitsmodulus	0	0	0	0	- kN/m2
P'max in gat					kN/m2



---

### 4.3 Trekrachten berekening

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de leiding in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN 3650-1:2012 gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de leiding optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.

# Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

## INVOER

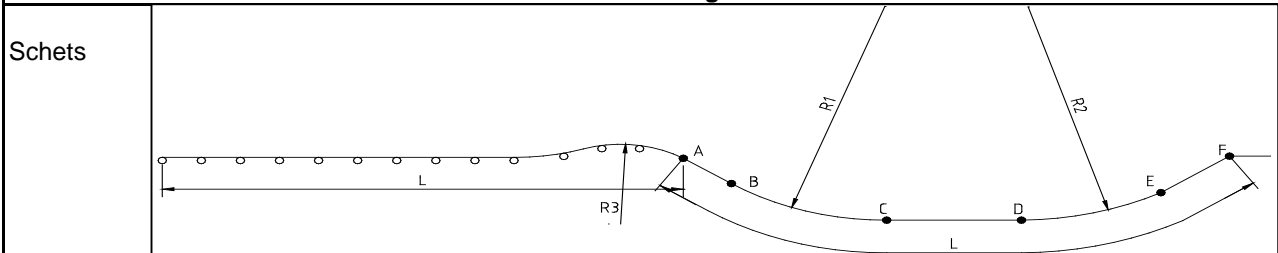
### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-04 150kV HDD 1 en 2 langs N205 t.h.v. Zwaanshoek
Berekend door	EHO

### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	200 mm
Wanddikte	$d$	18,2 mm
Dikte externe coating	$c-e$	0 mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0 kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0 mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0 kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY		pe100
buizen met flexibele verbindingen		nee
Elasticiteitsmodulus	E	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	sg	955 kg/m <sup>3</sup>

### Maatvoering



Lengte boring	L	473 m		
Afstand	A-B	20 m		
Afstand	A-C	98 m	A-H1	98 m
Afstand	A-D	374 m	A-H2	374 m
Afstand	A-E	453 m		
Afstand	A-F	473 m		
Straal boor profiel	$R_1$	300 m	excl. 10% marge	
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	0		
Straal boor profiel	$R_2$	257 m	excl. 10% marge	
Straal rollenbaan	$R_3$	50 m		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	15 graden	(bij punt A)	
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0 graden	(+ naar beneden ri. rig zijde)	
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	0 graden		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	15 graden	(bij punt F)	
Aantal buizen	aantal, n	4 buis/buizen	--	
Bundel gekoppeld		nee		
Buisvulling in boorgat	leeg		Buisvulling (water) ook op rolstellen	nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012		
Pipe Pusher capaciteit	0 kN	nee		
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen		nee		

## SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	307 kN	31 ton
SI max in boorgat	SI	7,7 N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	5,6 N/mm <sup>2</sup>	
		76,9 % S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>

## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2 ,f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

Diverse gegevens		
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel	10 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht bentoniet	sg	1200 kg/m <sup>3</sup>
Doorsnedeoppervlak	Abuis	10395 mm <sup>2</sup> per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>3</sup>
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>4</sup>
Weerstandmoment	W	433754 mm <sup>3</sup> per buis
Traagheidsmoment	I	43375426 mm <sup>4</sup> per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>	1735017 mm <sup>3</sup> voor: 4 buis/buizen
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>	173501703 mm <sup>4</sup> voor: 4 buis/buizen
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g omlaag	0,3971 kN/m1streng "
gewicht vull x aantal buizen	g vull omhoog	0,0000 kN/m1streng "
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra omhoog	0,0000 kN/m1streng "
opdrijving x aantal buizen	g opw omhoog	-1,5080 kN/m1streng "
g eff in gat = g-gopw	g eff omhoog	-1,1109 kN/m1streng "
g eff op rolstellen	g eff omlaag	0,3971 kN/m1streng "
$\lambda = \text{sqrt}(\text{sqrt}(k_v \times B / 4 / E / I))$	$\lambda$	0,002244 mm <sup>-1</sup>
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>	0,04 N/mm <sup>3</sup> "
Oplegbreedte van de bundel	B	528 mm
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B / R_1$	Q <sub>r1</sub>	0,0024 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B / R_h$	Q <sub>rh</sub>	0,0000 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B / R_2$	Q <sub>r2</sub>	0,0028 N/mm <sup>2</sup> "
Reductiefactor voor bundel = n x 1/n <sup>0.3</sup>	b'	2,639 x Omtrek van een buis

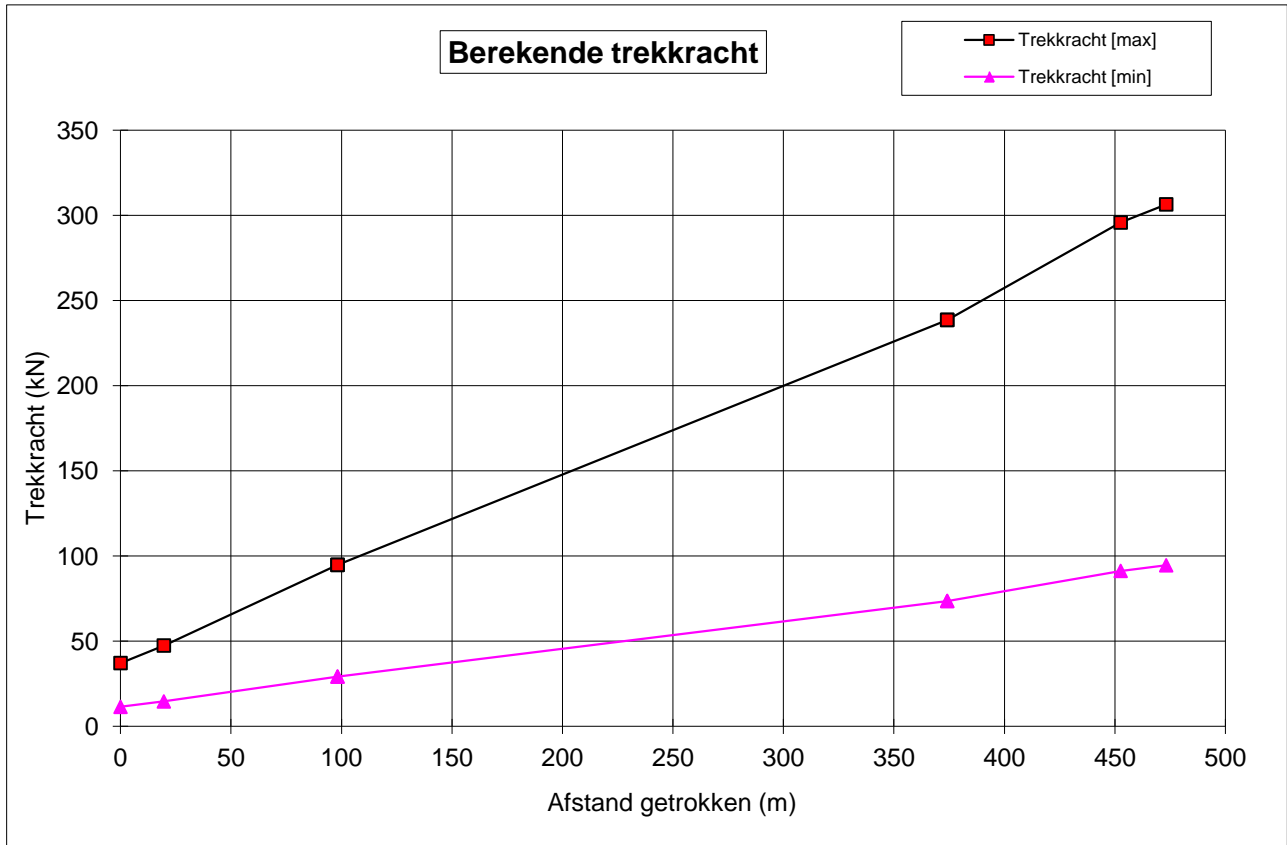
Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	473	454	375	375	99	99	21	21	0
T <sub>1</sub> (kN)	20,67	19,81	16,38	16,38	4,33	4,33	0,90	0,90	0
L <sub>2</sub> (m)	0	20	79	0	276	0	79	79	21
T <sub>2</sub> (kN)	0	6,58	26,38	0,00	92,59	0,00	26,34	26,34	6,91
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	0,77	0,00	0,00	0,00	0,90	0,90	0
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	2,60	2,60	1,97	1,97	9,92	9,92	10
F x f (totale kracht, kN)	21	26	53	53	133	133	164	164	170
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	37	48	95	95	239	239	296	296	307
<i>De te verwachten trekkracht ligt tussen</i>			<i>95 kN en 307 kN</i>						
<i>De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk</i>							<i>341 kN</i>		
<i>De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid</i>									

Spanningen in boorgat									
Totale spanning in boorgat									
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	0,9	1,1	2,3	2,3	5,7	5,7	7,1	7,1	7,4
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6	0,0
SI tot	0,9	1,1	2,8	2,3	5,7	5,7	7,7	7,7	7,4

Spanningen op rollenbaan									
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling									
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R		Sr			2,6 N/mm <sup>2</sup>				
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>		M			3,6 kNm		total		
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal		SI			5,6 N/mm <sup>2</sup>				



# GRAFIEK



# Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

## INVOER

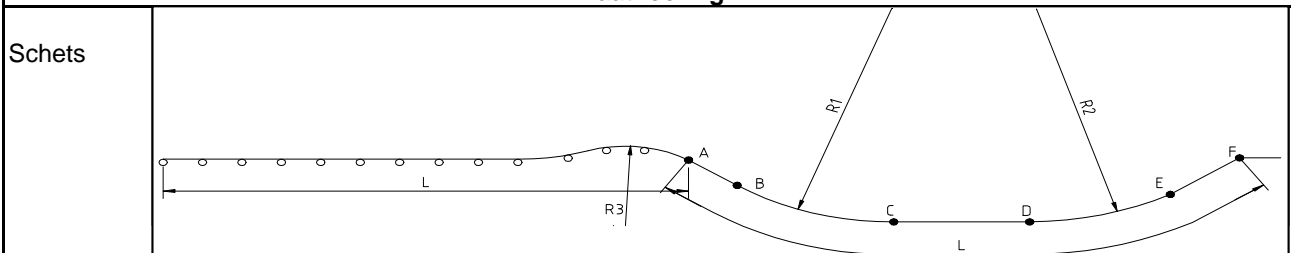
### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-04 380kV HDD 1 t/m 4 langs N205 t.h.v. Zwaanshoek
Berekend door	EHO

### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	250 mm
Wanddikte	$d$	22,7 mm
Dikte externe coating	$c-e$	0 mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0 kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0 mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0 kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY buizen met flexibele verbindingen		pe100
Elasticiteitsmodulus	E	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	$sg$	955 kg/m <sup>3</sup>
		nee

### Maatvoering



Lengte boring	L	318 m		
Afstand	A-B	20 m		
Afstand	A-C	99 m	A-H1	99 m
Afstand	A-D	219 m	A-H2	219 m
Afstand	A-E	297 m		
Afstand	A-F	318 m		
Straal boor profiel	$R_1$	257 m	excl. 10% marge	
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	0		
Straal boor profiel	$R_2$	300 m	excl. 10% marge	
Straal rollenbaan	$R_3$	50 m		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	15 graden	(bij punt A)	
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0 graden	(+ naar beneden ri. rig zijde)	
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	0 graden		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	15 graden	(bij punt F)	
Aantal buizen	aantal, n	4 buis/buizen	--	
Bundel gekoppeld		nee		
Buisvulling in boorgat	leeg		Buisvulling (water) ook op rolstellen	nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012		
Pipe Pusher capaciteit	0 kN	nee		
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen		nee		

## SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	309 kN	31 ton
SI max in boorgat	SI	5,1 N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	5,6 N/mm <sup>2</sup>	
		55,8 % S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>

## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2 ,f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

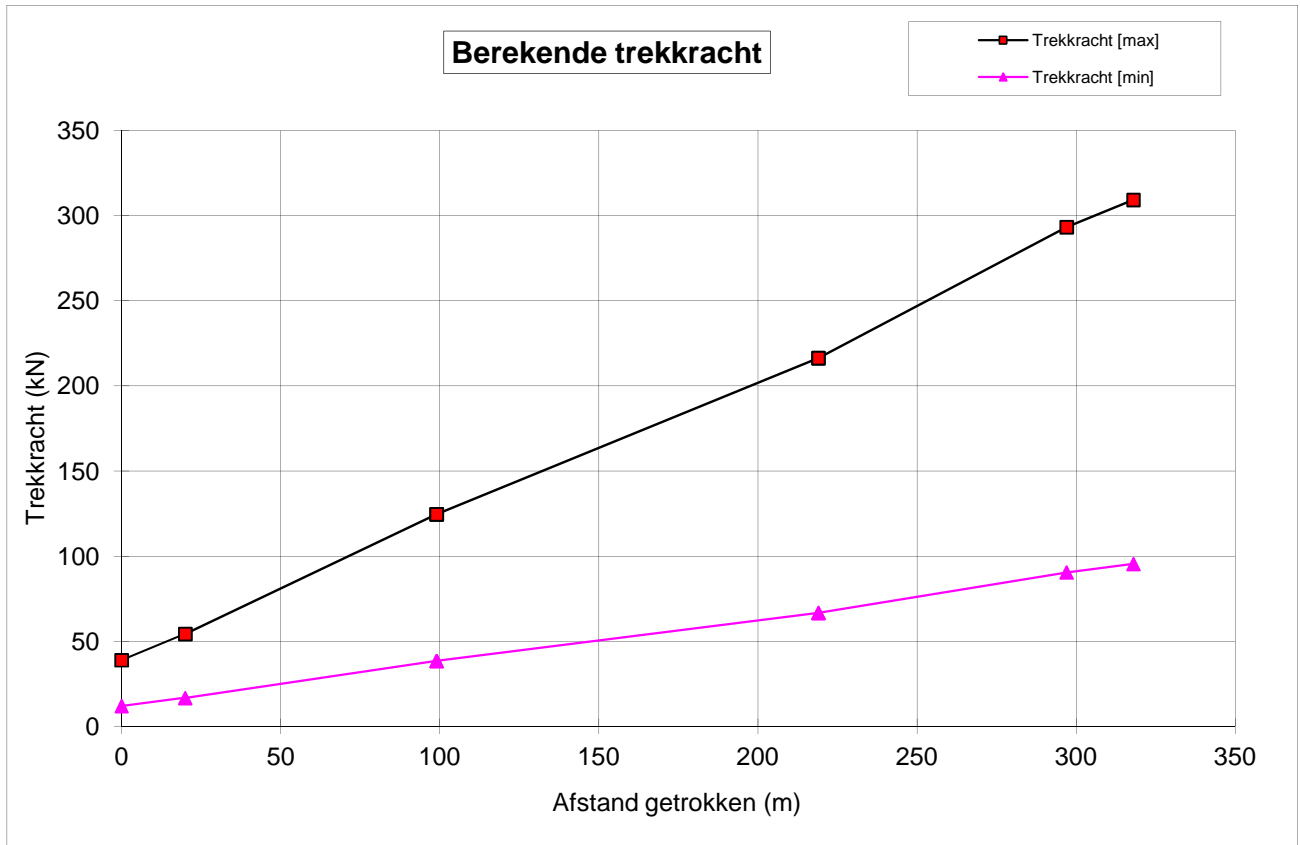
Diverse gegevens					
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel		10 N/mm <sup>2</sup>		
Soortelijk gewicht bentoniet	sg		1200 kg/m <sup>3</sup>		
Doorsnedeoppervlak	Abuis		16210 mm <sup>2</sup>		per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel			0 mm <sup>3</sup>		
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel			0 mm <sup>4</sup>		
Weerstandmoment	W		845832 mm <sup>3</sup>		per buis
Traagheidsmoment	I		105728989 mm <sup>4</sup>		per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>		3383328 mm <sup>3</sup>	voor:	4 buis/buiz
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>		422915957 mm <sup>4</sup>	voor:	4 buis/buiz
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g	omlaag	0,6192 kN/m1streng		"
gewicht vull x aantal buizen	g vull	omhoog	0,0000 kN/m1streng		"
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra	omhoog	0,0000 kN/m1streng		"
opdrijving x aantal buizen	g opw	omhoog	-2,3562 kN/m1streng		"
g eff in gat = g-gopw	g eff	omhoog	-1,7370 kN/m1streng		"
g eff op rolstellen	g eff	omlaag	0,6192 kN/m1streng		"
$\lambda = \sqrt{\sqrt{(k_v \times B/4/E/I)}}$	$\lambda$		0,001899 mm <sup>-1</sup>		
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>		0,04 N/mm <sup>3</sup>		"
Oplegbreedte van de bundel	B		660 mm		
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_1$	Q <sub>r1</sub>		0,0039 N/mm <sup>2</sup>		"
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_h$	Q <sub>rh</sub>		0,0000 N/mm <sup>2</sup>		"
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_2$	Q <sub>r2</sub>		0,0033 N/mm <sup>2</sup>		"
Reductiefactor voor bundel = $n \times 1/n^{0.3}$	b'		2,639 x Omtrek van een buis		

Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	318	298	219	219	99	99	21	21	0
T <sub>1</sub> (kN)	21,66	20,30	14,92	14,92	6,74	6,74	1,43	1,43	0
L <sub>2</sub> (m)	0	20	79	0	120	0	78	78	21
T <sub>2</sub> (kN)	0	9,92	39,19	0,00	59,54	0,00	38,70	38,70	10,42
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	1,85	0,00	0,00	0,00	1,59	1,59	0
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	3,39	3,39	2,96	2,96	10,73	10,73	11
F x f (totale kracht, kN)	22	30	69	69	120	120	163	163	172
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	39	54	125	125	216	216	293	293	309
<i>De te verwachten trekkracht ligt tussen</i>			<i>95 kN en 309 kN</i>						
<i>De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk</i>							<i>344 kN</i>		
<i>De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid</i>									

Spanningen in boorgat								
Totale spanning in boorgat								
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	0,6	0,8	1,9	1,9	3,3	3,3	4,5	4,8
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
SI tot	0,6	0,8	2,6	1,9	3,3	3,3	5,1	4,8

Spanningen op rollenbaan			
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling			
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R	Sr	3,3 N/mm <sup>2</sup>	
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>	M	5,7 kNm	total
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal	SI	5,6 N/mm <sup>2</sup>	

# GRAFIEK





---

## 4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-04 380kV HDD1 t/m 4, punt met grootste dekking</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>250</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>250</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>22,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>0</b>	
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995 alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>0</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>nvt</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>20,4</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>17</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b>	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>gered. pleistoceen</b>	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>6,4</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,049</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0343</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>32,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>veld</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>rechte leiding</b>	
		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	ix	<b>1</b>	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	<b>0</b>	>=0

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	974,76 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	85,88 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	113,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	227,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	22,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,33 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,15 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,49 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	22,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,85 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$105,73 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0980 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0583 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	0,3	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	4 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	0,3 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,72 m waterkolom
--	--------------------



### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0441 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0309 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor $Q_n$	f	1,10
Totaal factor $Q_p$	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	51,70 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	51,70 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		7 mm
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		6 mm
$z_{\text{max reken}}$		7 mm
$q_n$	0,2068	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	1,8943	N/mm <sup>2</sup> $Q_p$ met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	1,6875	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,243897	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,049	N/mm <sup>3</sup>
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	25	mm
u x $D_o \leq z_{\text{max reken}}$	7	mm
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,317	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	79,23	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP  $Q_k$  is hoger dan  $Q_p$

#### Berekening gereduceerde gronddrukken

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	12 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	12 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,20 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	8,4 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,31 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	10,3 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o * B_1 * (\gamma' - c_h / B_1) / (K * \tan \phi_h) * (1 - e^{-(K * h_h * \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	2,48 kN/m
$F_{max} = (h * \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) * 2B_1$	$F_{max}$	70,35 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,48
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 * (3H - 2h) * \alpha) / (2 C * H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 * k_v))))$		
	$F_r$	36,14 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h * \gamma'_h - F_r / 2B_1) * D_o$	$Q_{n,r2}$	16,35 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,26 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	7,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o * B_1 * \gamma') / (K * \tan \phi) * (1 - e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h * h_h * D_o * e^{-(K * h * \tan \phi) / B_1}$		
	$Q_{n,r}$	1,56 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. pleistoceen	
$Q_{grond\ reken}$	$Q \times f$	1,71 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	51,92 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,46	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	20,80 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_y/2 \times \sin 60$		2,16 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	0,97 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	-9,06 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	-9,06 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	-9,35
	$d_{y2}'/d_{y1}$	-9,35
	$d_{y1}/2$	0,48 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  20,80 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  20,80 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  20,80 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  20,80 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_n$	20,80 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	20,80 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	0,41 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	7,30 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,41 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	0,37 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{ toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	---------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

Spl	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
-----	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

	$Q_{\text{grond}}$	1,71 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{\text{grond}} + Q_{\text{eg}} + Q_{\text{vu}} - Q_{\text{op}}) \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	0,53 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,33 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,34 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$		
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q \text{ bodem}$	0,53 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,33 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,34 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

	$Q_{h, \text{grond}}$	0,37 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	-0,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-0,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,07 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

	$Q_{h, \text{grond}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	0
Verkeersbelasting	$P_v$	0,00 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
$S_t$		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		1,38962E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$		
$S_r$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$		
nvt		
$S_{rl}$		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
$S_l$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
$Q$		0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	20,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * l_w + 0.061 * k_h * x * rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	0,8 mm	
	0,3 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * l_w / Dg^3$	24,90 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,90 N/mm <sup>2</sup> 18,97 bar 189,72 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,37 bar 23,72 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	0,53	0,33	0,34 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,07	-0,07	-0,07 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	0,46	0,27	0,27 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_y max + i_y * S_{b,x})$	0,30	0,17	0,18 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	4	2	2 % < 100%

Deflectie	
Deflectie	0,3 % van uitwendige diameter

Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,00	0,00	0,00
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	0,05	0,22	0,23
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-04 380kV HDD1 t/m 4, punt tpv overgang in grondmassief</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>250</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>250</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>22,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>0</b>	
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995 alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>300</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>onder</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>7,7</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>15</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>klei</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>neutraal</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>1,8</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,049</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0343</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>17,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$



HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model (+ is trek)			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	ix	<b>1</b>	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	<b>0</b>	>=0

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	974,76 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	85,88 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	113,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	227,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	22,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,33 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,15 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,49 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	22,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,85 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$105,73 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	1,60	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0784 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0583 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	2,2	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	28	% toetswaarde <100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	2,3 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,72 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0441 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0309 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor $Q_n$	f	1,10
Totaal factor $Q_p$	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	14,13 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	14,13 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal	veen	
E-modulus aanvulmateriaal	1 MPa	veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	11 mm	
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	9 mm	
$z_{\text{max}} \text{ reken}$	11 mm	
$q_n$	0,0565 N/mm <sup>2</sup>	
$q_p (f_m=0,10)$	0,2305 N/mm <sup>2</sup>	$Q_p$ met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	0,1740 N/mm <sup>2</sup>	
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,015452 N/mm <sup>3</sup>	
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,049 N/mm <sup>3</sup>	
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	25 mm	
u x $D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$	11 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,175 N/mm <sup>2</sup>	
$Q_k$	43,81 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

LET OP  $Q_k$  is hoger dan  $Q_p$

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	7,7 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	7,7 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,20 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	0,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,31 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	7,3 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o * B_1 * (\gamma' - c_h / B_1) / (K * \tan \phi_h) * (1 - e^{-(K * h_h * \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	1,43 kN/m
$F_{max} = (h * \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) * 2B_1$	$F_{max}$	31,32 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,04
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 * (3H - 2h) * \alpha) / (2 C * H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 * k_v))))$		
	$F_r$	12,99 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h * \gamma'_h - F_r / 2B_1) * D_o$	$Q_{n,r2}$	8,86 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,26 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	7,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o * B_1 * \gamma') / (K * \tan \phi) * (1 - e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h * h_h * D_o * e^{-(K * h * \tan \phi) / B_1}$		
	$Q_{n,r}$	8,86 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond}$ reken	$Q \times f$	15,54 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	14,28 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,70	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	8,65 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $D_o \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = D_o \times 2k_r/3 \times d_y/2 \times \sin 60$		19,63 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	8,81 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	4,64 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	4,64 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,53
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,53
	$d_{y1}/2$	4,40 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  8,65 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  8,65 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  8,65 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  8,65 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		klei	
drukloos	$Q_n$	8,65 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	8,65 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	2,31 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	3,81 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times D_o \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	7,78 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	7,78 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m$ , toel	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	--------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$Q_{grond}$	15,54 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	
$S_q$ bodem	4,83 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top	3,04 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden	-3,12 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$		
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q$ bodem	4,83 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	3,04 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-3,12 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$Q_{h,grond}$	7,78 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	
$S_q$ bodem	-1,47 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top	-1,47 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden	1,47 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$Q_{h,grond}$	7,78 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	
$S_q$ bodem	-1,47 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top	-1,47 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden	-1,47 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	0
Verkeersbelasting	$P_v$	0,00 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		1,24291E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,04 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,05 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	onder	
	$S_{rl}$	0,13 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 \cdot S \cdot De$	20,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D \left( (0.113 \cdot Q - 0.096 \cdot 0.866 \cdot Q_{n,h} + 0.071 \cdot Q_{indir}) \cdot rg^3 \right) / (E' \cdot lw + 0.061 \cdot kh \cdot rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	5,7 mm	
	2,3 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E \cdot lw / Dg^3$	24,90 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,90 N/mm <sup>2</sup> 18,97 bar 189,72 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,37 bar 23,72 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	4,83	3,04	3,12 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-1,47	-1,47	-1,47 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,10	0,04	0,05 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	3,46	1,61	1,70 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,13	-0,13	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,13	-0,13	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a \cdot i_x \cdot S_{b,x} + S_{T;x}$	<b>0,08</b>	<b>-0,08</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	1	1	0 % < 100%
$S_y = S_p + a \cdot (S_y max + i_y \cdot S_{b,x})$	<b>2,25</b>	<b>1,05</b>	<b>1,11</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	28	13	14 % < 100%



<b>Deflectie</b>	
Deflectie	2,3 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>				
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>				
	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>	
$S_p$ Inwendige druk				N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting				N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk				N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting				N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting				N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal				N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$				N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>				
	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>	
$S_{pl}$ Inwendige druk				N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting				N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal				N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$				N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur				N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>				
	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>	
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	1,05	-0,05	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$				N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$				% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	1,05	1,05	1,00	N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$				N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$				% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-04 150kV HDD1 en 2, punt met de grootste dekking</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>18,20</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>0</b>	
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995 alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>0</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>nvt</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>15,4</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>17</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>gered. pleistoceen</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>1,6</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>32,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>veld</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model (+ is trek)			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>rechte leiding</b>	
		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	502,38 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	55,21 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	90,9 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	181,8 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	18,2 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,21 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,10 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	18,2 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,43 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$43,38 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,1160 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	0,2	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	3 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	0,3 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Qn	f	1,10
Totaal factor Qp	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	24,76 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	24,76 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		6 mm
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		5 mm
$z_{\text{max}} \text{ reken}$		6 mm
$q_n$	0,1238	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	1,0771	N/mm <sup>2</sup> Qp met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	0,9533	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,167296	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058	N/mm <sup>3</sup>
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	20	mm
u x $D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$	6	mm
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,277	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	55,46	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP Qk is hoger dan Qp

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	7,7 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	7,7 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	7,7 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	7,1 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o * B_1 * (\gamma' - c_h / B_1) / (K * \tan \phi_h) * (1 - e^{-(K * h_h * \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,68 kN/m
$F_{max} = (h * \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) * 2B_1$	$F_{max}$	25,22 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,04
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 * (3H - 2h) * \alpha) / (2 C * H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 * k_v))))$		
	$F_r$	11,75 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h * \gamma'_h - F_r / 2B_1) * D_o$	$Q_{n,r2}$	6,14 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,21 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	7,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o * B_1 * \gamma') / (K * \tan \phi) * (1 - e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h * h_h * D_o * e^{-(K * h * \tan \phi) / B_1}$		
	$Q_{n,r}$	1,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. pleistoceen	
$Q_{grond\ reken}$	$Q \times f$	1,10 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	24,90 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,46	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	9,98 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_{y2}/2 \times \sin 60$		1,30 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	0,61 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	-4,16 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	-4,16 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	-6,77
	$d_{y2}'/d_{y1}$	-6,77
	$d_{y1}/2$	0,31 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  9,98 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  9,98 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  9,98 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  9,98 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_n$	9,98 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	9,98 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	0,26 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	2,60 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,26 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	0,23 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m$ , toel	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	--------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$Q_{grond}$	1,10 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	0,42 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,27 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,27 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$			
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q$ bodem	0,42 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ top	0,27 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ zijden	-0,27 N/mm <sup>2</sup>	

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h,grond}$	0,23 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	-0,06 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-0,06 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,06 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h,grond}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	0
Verkeersbelasting	$P_v$	0,00 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>



<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,11121E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$		
	$S_r$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rt} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	nvt	
	$S_{rt}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * I_w + 0.061 * k_h * r_g^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	0,5 mm	
	0,3 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * I_w / Dg^3$	25,08 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,91 N/mm <sup>2</sup> 19,11 bar 191,11 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,39 bar 23,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	0,42	0,27	0,27 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,06	-0,06	-0,06 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	0,37	0,21	0,22 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_y max + i_y * S_{b,x})$	0,24	0,14	0,14 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	3	2	2 % < 100%

Deflectie	
Deflectie	0,3 % van uitwendige diameter

Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,00	0,00	0,00
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	0,07	0,17	0,19
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-04 150kV HDD1 en 2, punt tpv overgang in grondmassief</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>18,20</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>0</b>	
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995 alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>257</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>onder</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>7,7</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>15</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>klei</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>neutraal</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>1,8</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>17,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model (+ is trek)			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	502,38 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	55,21 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	90,9 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	181,8 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	18,2 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,21 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,10 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	18,2 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,43 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$43,38 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	1,60	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0928 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	2,2	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	28	% toetswaarde <100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	2,3 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor $Q_n$	f	1,10
Totaal factor $Q_p$	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	11,30 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	11,30 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal	veen	
E-modulus aanvulmateriaal	1 MPa	veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	8 mm	
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	6 mm	
$z_{\text{max}} \text{ reken}$	8 mm	
$q_n$	0,0565 N/mm <sup>2</sup>	
$q_p (f_m=0,10)$	0,2740 N/mm <sup>2</sup>	$Q_p$ met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	0,2175 N/mm <sup>2</sup>	
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,026994 N/mm <sup>3</sup>	
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058 N/mm <sup>3</sup>	
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	20 mm	
u x $D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$	8 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,187 N/mm <sup>2</sup>	
$Q_k$	37,40 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

LET OP  $Q_k$  is hoger dan  $Q_p$

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	7,7 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	7,7 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	0,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	7,3 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o * B_1 * (\gamma' - c_h / B_1) / (K * \tan \phi_h) * (1 - e^{-(K * h_h * \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,73 kN/m
$F_{max} = (h * \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) * 2B_1$	$F_{max}$	26,06 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,04
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 * (3H - 2h) * \alpha) / (2 C * H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 * k_v))))$		
	$F_r$	12,28 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h * \gamma'_h - F_r / 2B_1) * D_o$	$Q_{n,r2}$	6,32 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,21 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	7,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o * B_1 * \gamma') / (K * \tan \phi) * (1 - e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h * h_h * D_o * e^{-(K * h * \tan \phi) / B_1}$		
	$Q_{n,r}$	6,32 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond}$ reken	$Q \times f$	12,43 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f



### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	11,40 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,70	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	6,90 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $D_o \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = D_o \times 2k_r/3 \times d_y/2 \times \sin 60$		14,76 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	7,00 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	3,69 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	3,69 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,53
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,53
	$d_{y1}/2$	3,50 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  6,90 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  6,90 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  6,90 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  6,90 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		klei	
drukloos	$Q_n$	6,90 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	6,90 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	1,65 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	2,69 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times D_o \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	6,21 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	6,21 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_{m, \text{toel}}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	----------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$Q_{\text{grond}}$	12,43 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{\text{grond}} + Q_{\text{eg}} + Q_{\text{vu}} - Q_{\text{op}}) \times r_g / W_w$	
$S_q$ bodem	4,81 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top	3,03 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden	-3,11 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$		
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q$ bodem	4,81 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	3,03 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-3,11 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$Q_{h, \text{grond}}$	6,21 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	
$S_q$ bodem	-1,46 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top	-1,46 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden	1,46 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$Q_{h, \text{grond}}$	6,21 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	
$S_q$ bodem	-1,46 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top	-1,46 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden	-1,46 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	0
Verkeersbelasting	$P_v$	0,00 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		1,88832E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,04 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,05 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	onder	
	$S_{rl}$	0,12 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 \cdot S \cdot De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D \left( (0.113 \cdot Q - 0.096 \cdot 0.866 \cdot Q_{n,h} + 0.071 \cdot Q_{indir}) \cdot rg^3 \right) / (E' \cdot lw + 0.061 \cdot kh \cdot rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	4,5 mm	
	2,3 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E \cdot lw / Dg^3$	25,08 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,91 N/mm <sup>2</sup> 19,11 bar 191,11 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,39 bar 23,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	4,81	3,03	3,11 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-1,46	-1,46	-1,46 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,09	0,04	0,05 N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$	3,44	1,60	1,69 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,12	-0,12	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,12	-0,12	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a \cdot i_x \cdot S_{b,x} + S_{T;x}$	<b>0,08</b>	<b>-0,08</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	1	1	0 % < 100%
$S_y = S_p + a \cdot (S_{y,max} + i_y \cdot S_{b,x})$	<b>2,23</b>	<b>1,04</b>	<b>1,10</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	28	13	14 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	2,3 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	1,05	-0,05	0,00
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	1,05	1,04	1,10
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%



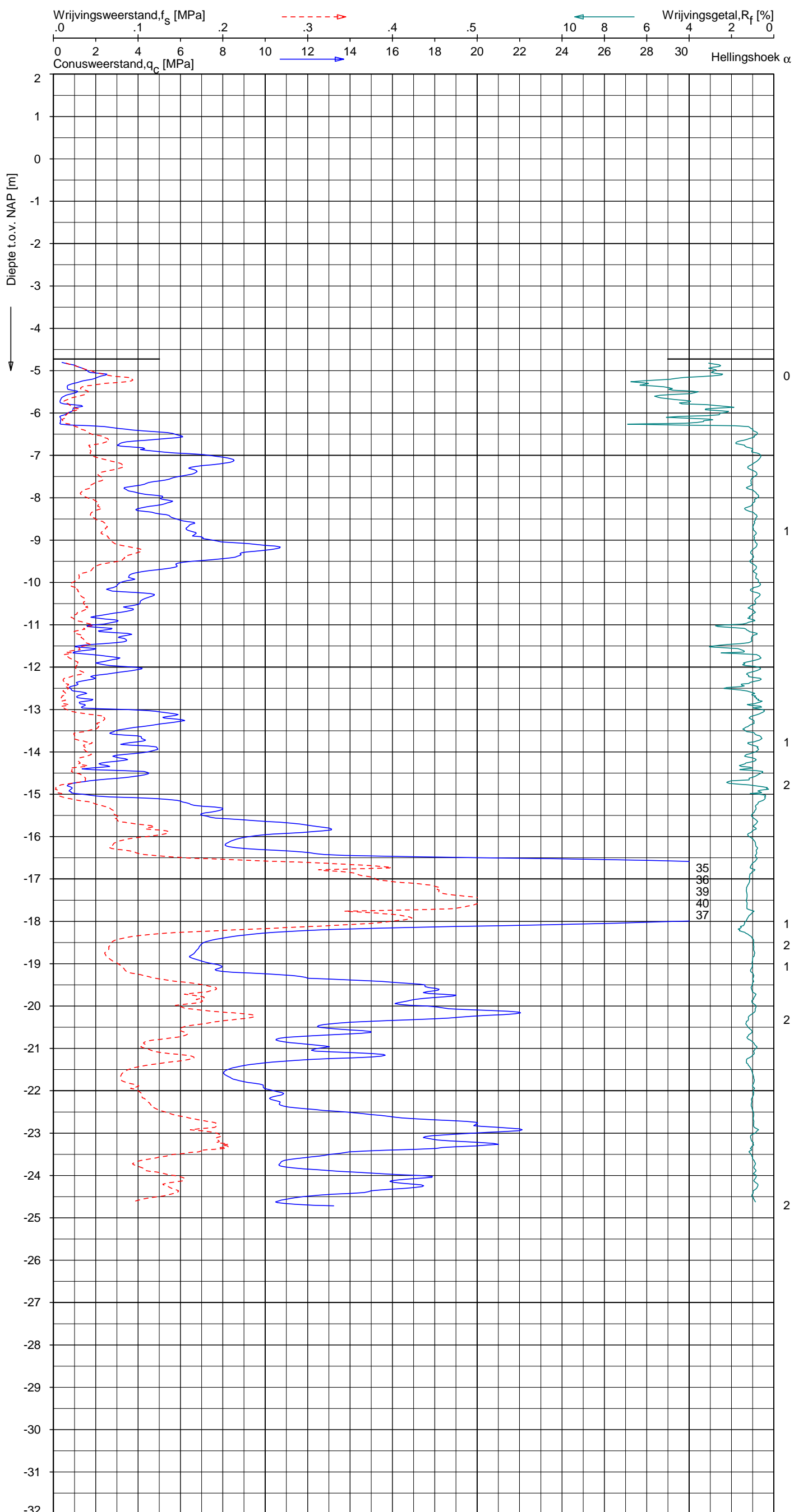
---

## 4.5 Grondonderzoek

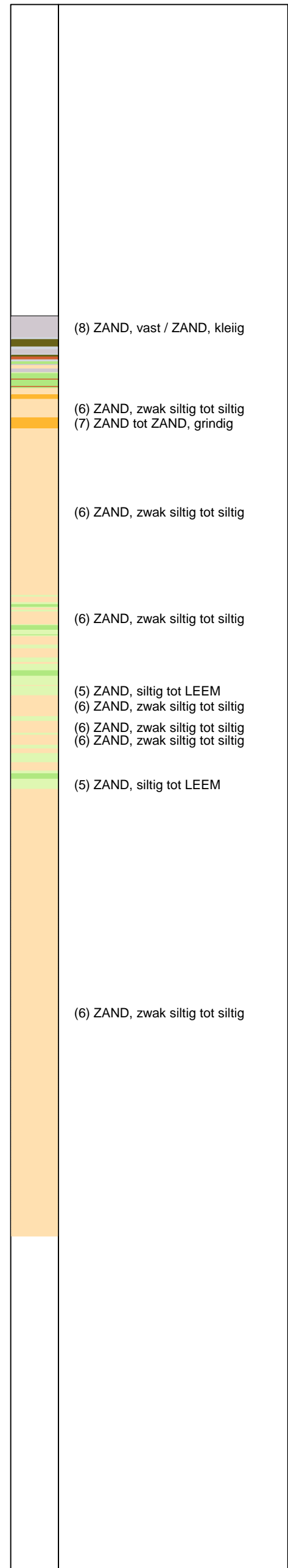
UNIPLOT 05.20.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-12-19 14:57:34

1010-0117-003

DKM1028 - 1



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



Opg. : JWV/ d.d. 14-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 104602.7 Y = 482132.1  
 Get. : VALKF d.d. 2012-12-19 MV = NAP -4.72 m

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1028

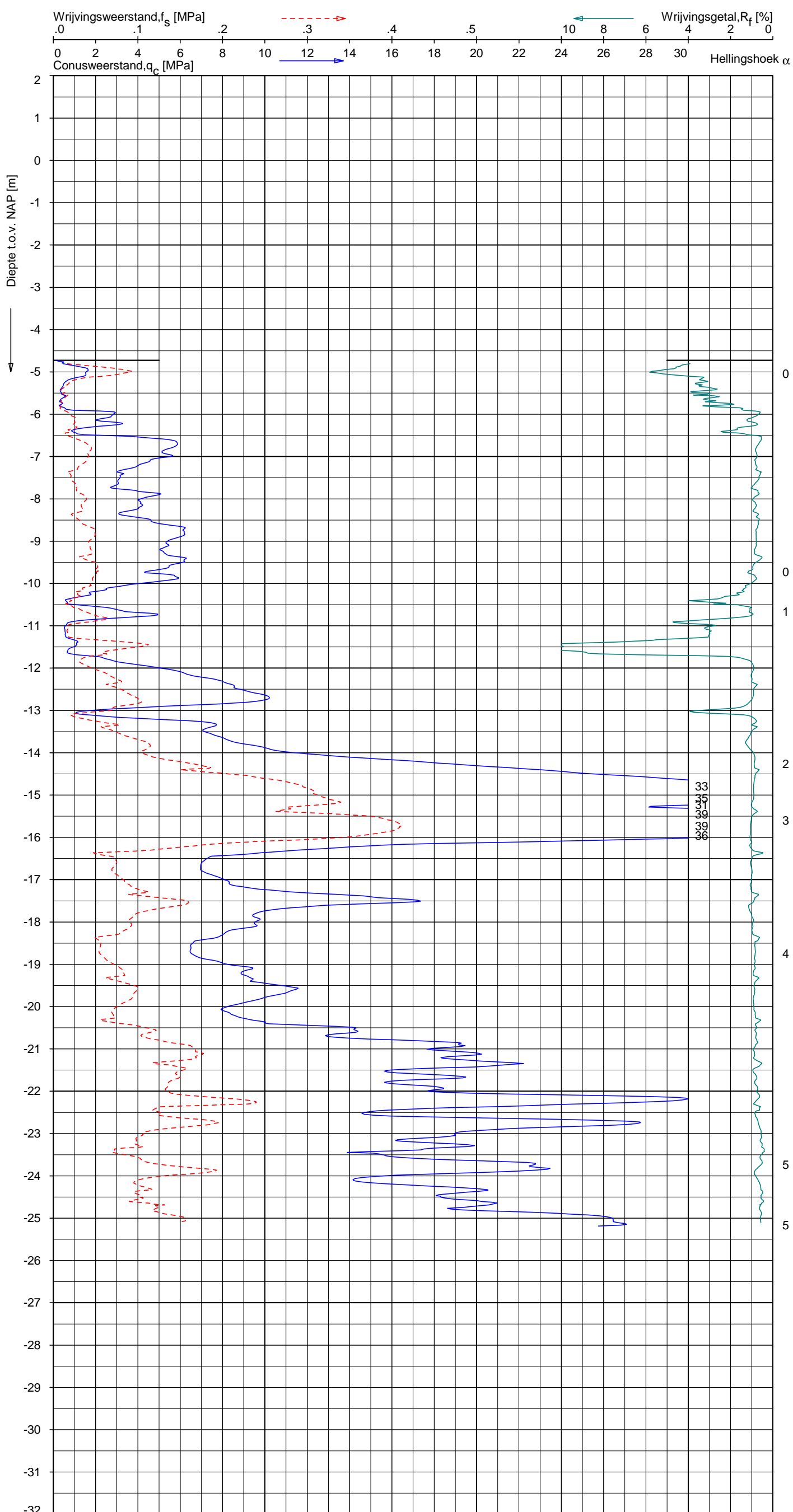




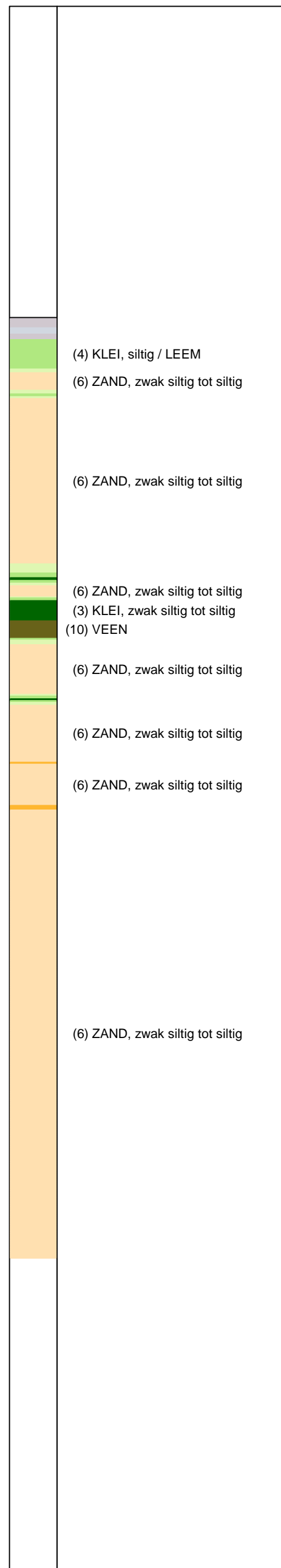
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:23:02

1010-0117-003

DKM1032 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 08-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 104444.9  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.73 m Y = 482031.7

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



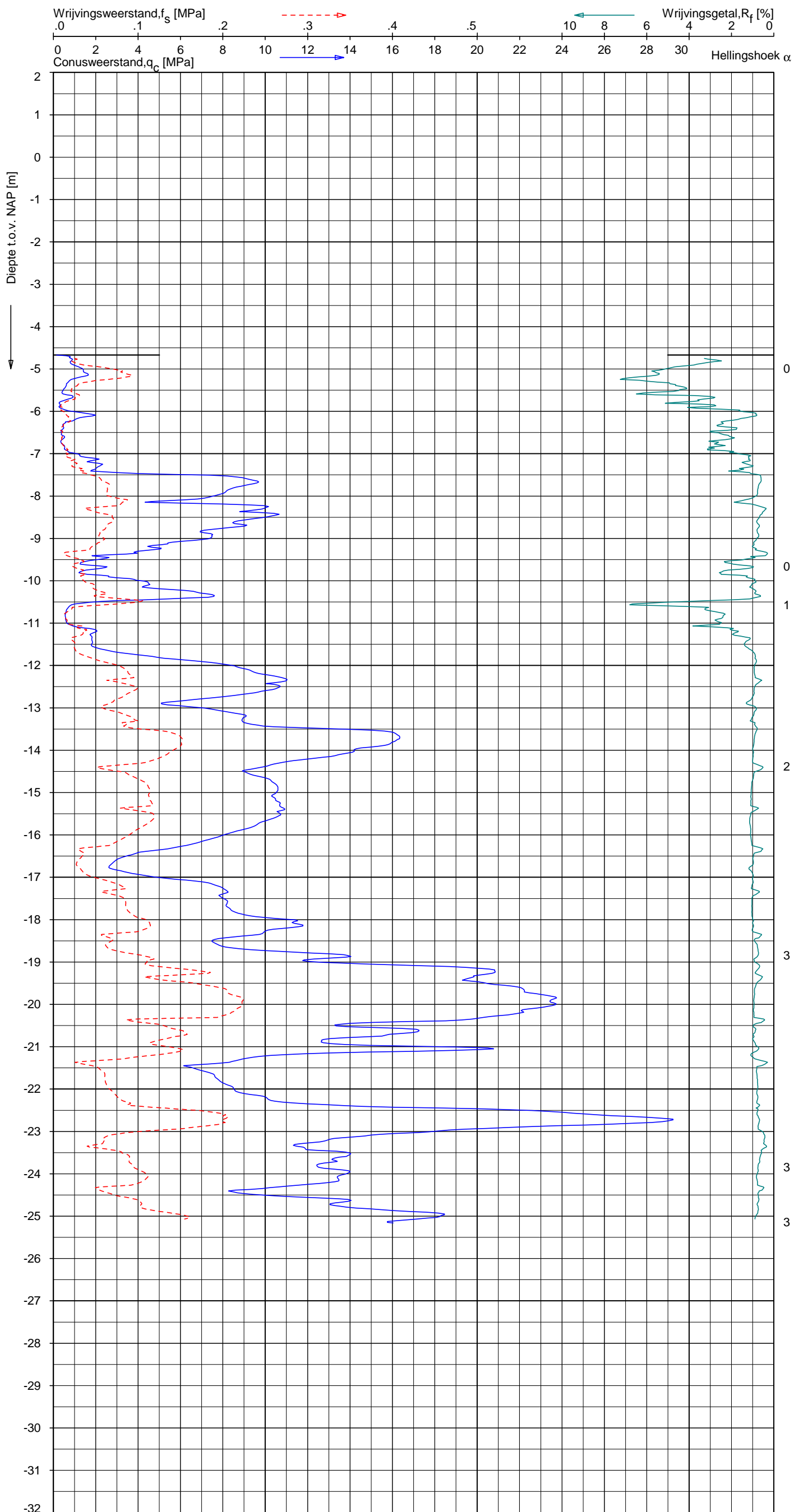
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1032

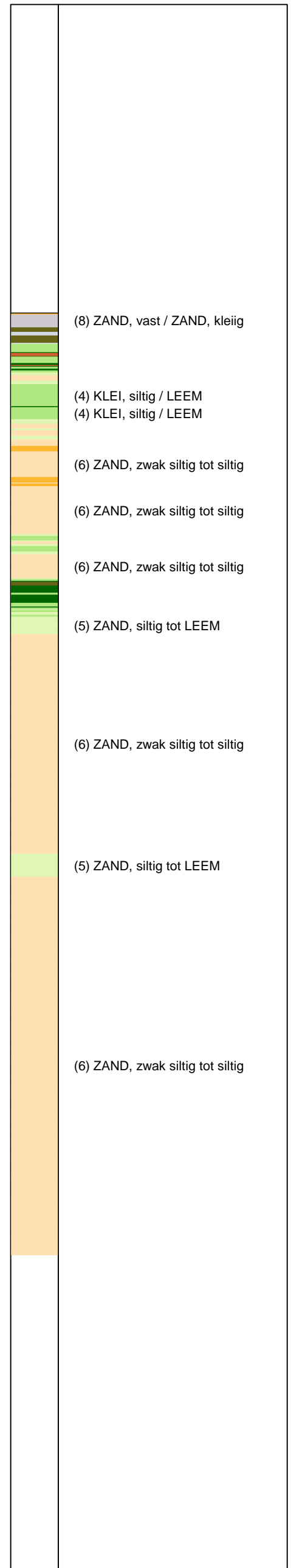
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-22 16:47:59

1010-0117-003

DKM1034 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 12-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 104376.8  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-22 MV = NAP -4.67 m Y = 481977.5

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

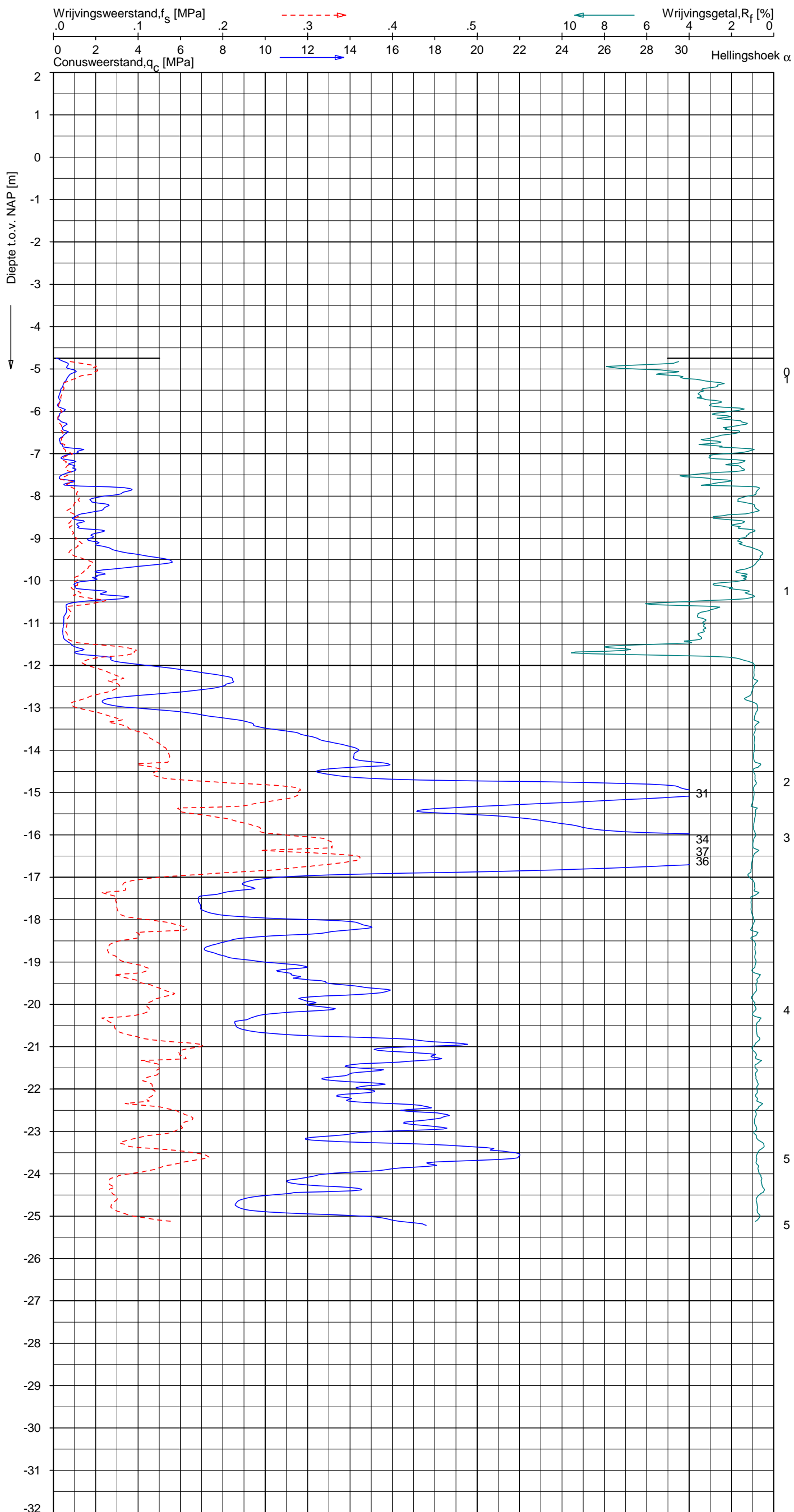
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1034

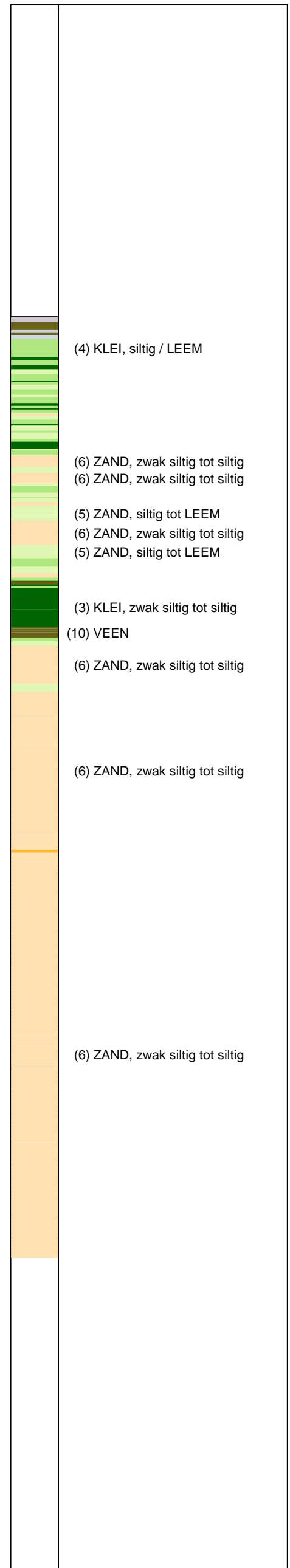
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:23:05

1010-0117-003

DKM1035 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 09-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 104393.5 Y = 481882.0  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-12 MV = NAP -4.74 m  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



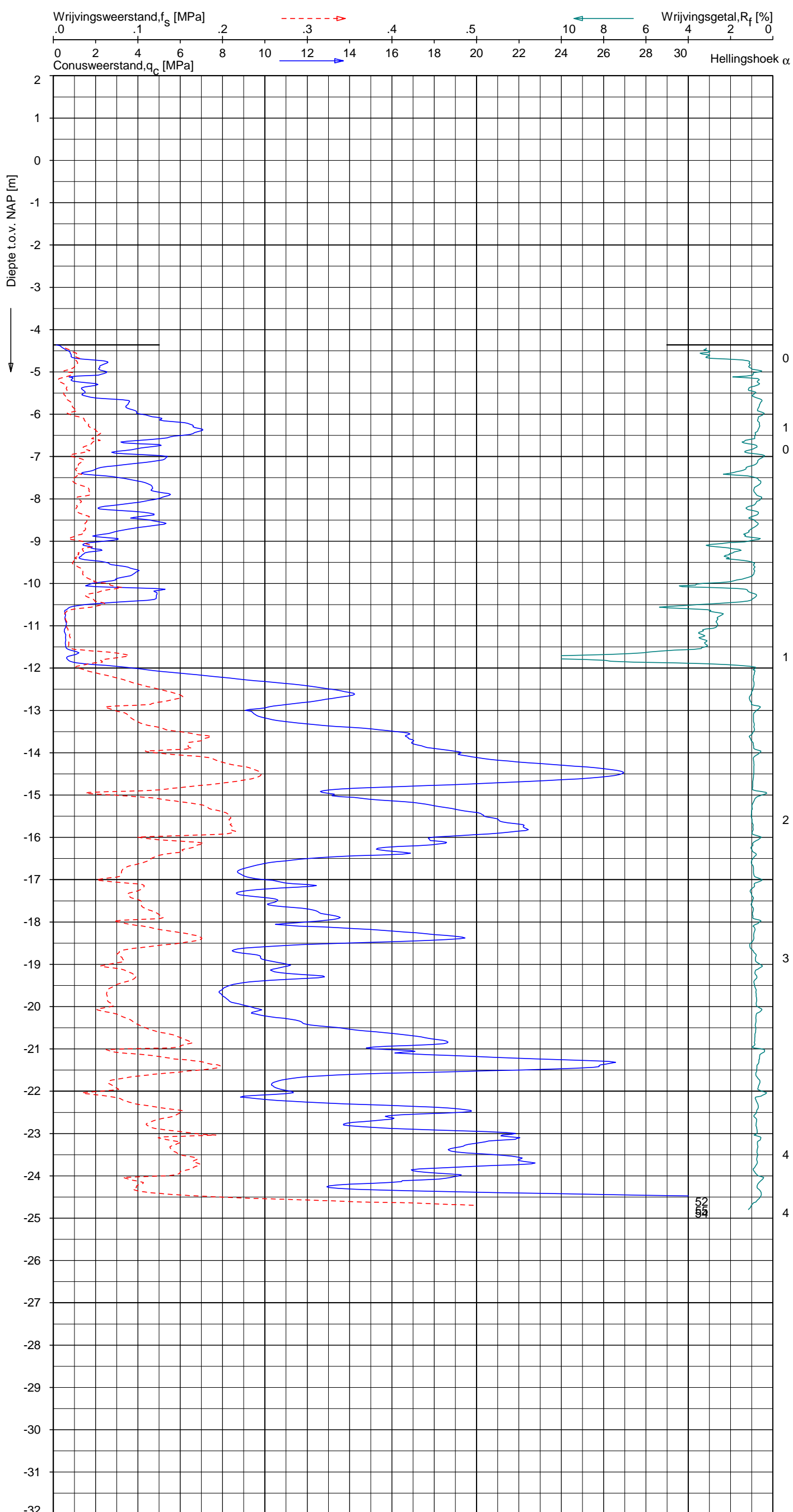
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1035

UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:23:08

1010-0117-003

DKM1037 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 09-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 104337.1 Y = 481812.6  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.36 m

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

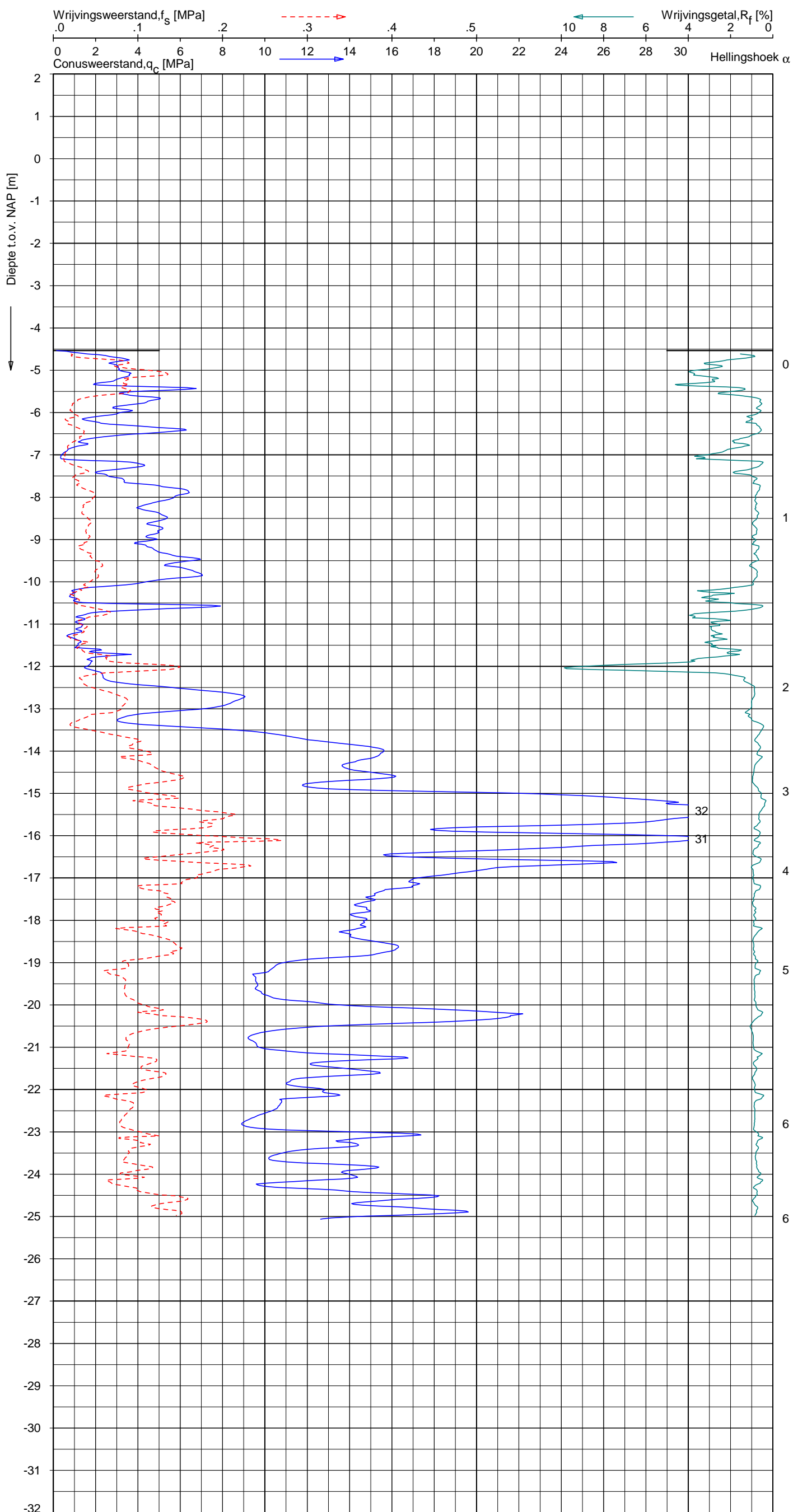
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1037

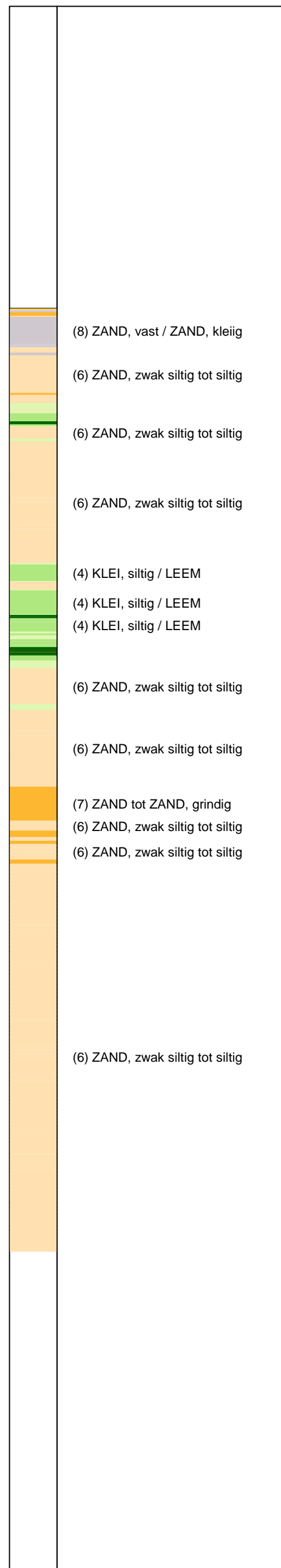
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-23 09:15:51

1010-0117-003

DKMP1030A - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 12-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 104516.5 Y = 482088.5  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-23 MV = NAP -4.53 m

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

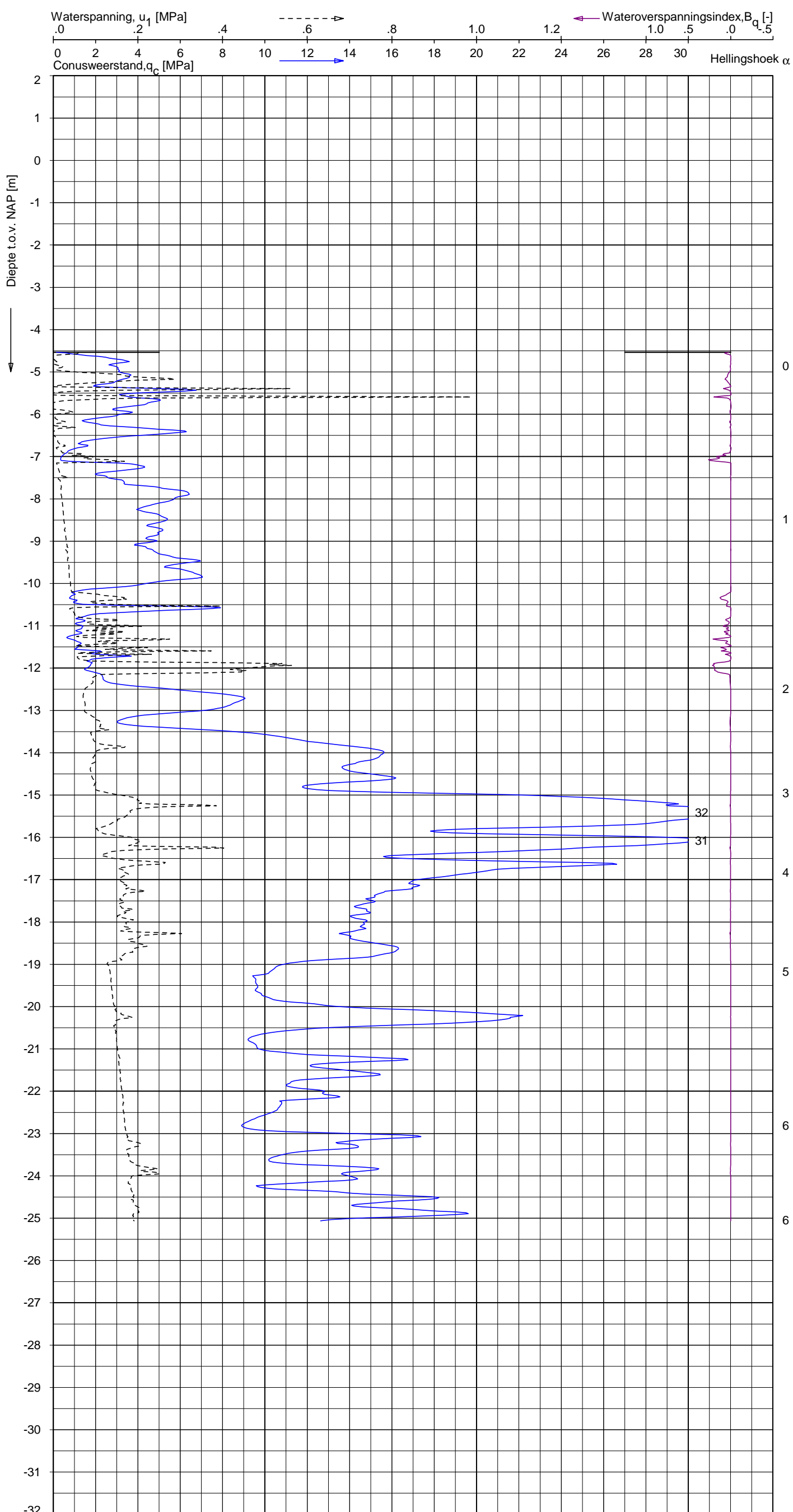
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1030A

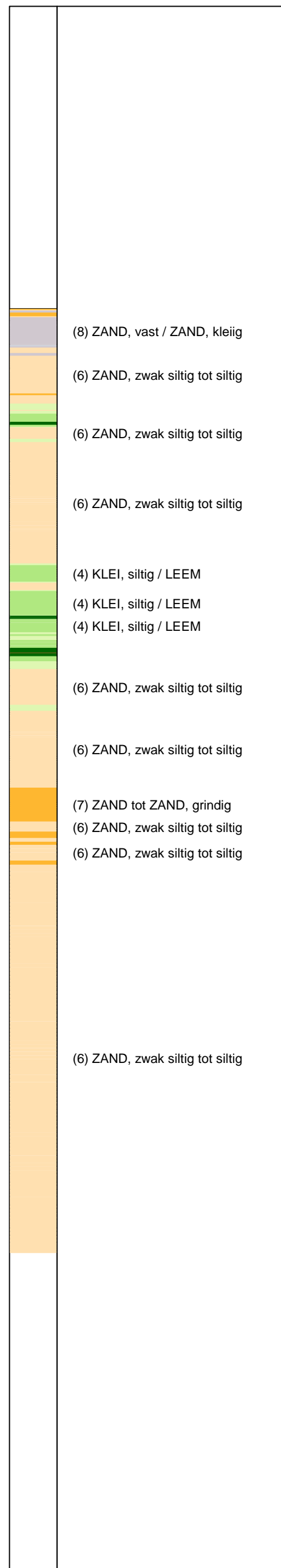
UNIPLOT 05.19.nl / QcU1Class-N3.cmd / 2012-11-23 09:18:59

1010-0117-003

DKMP1030A - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 12-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 104516.5  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-23 MV = NAP -4.53 m Y = 482088.5

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

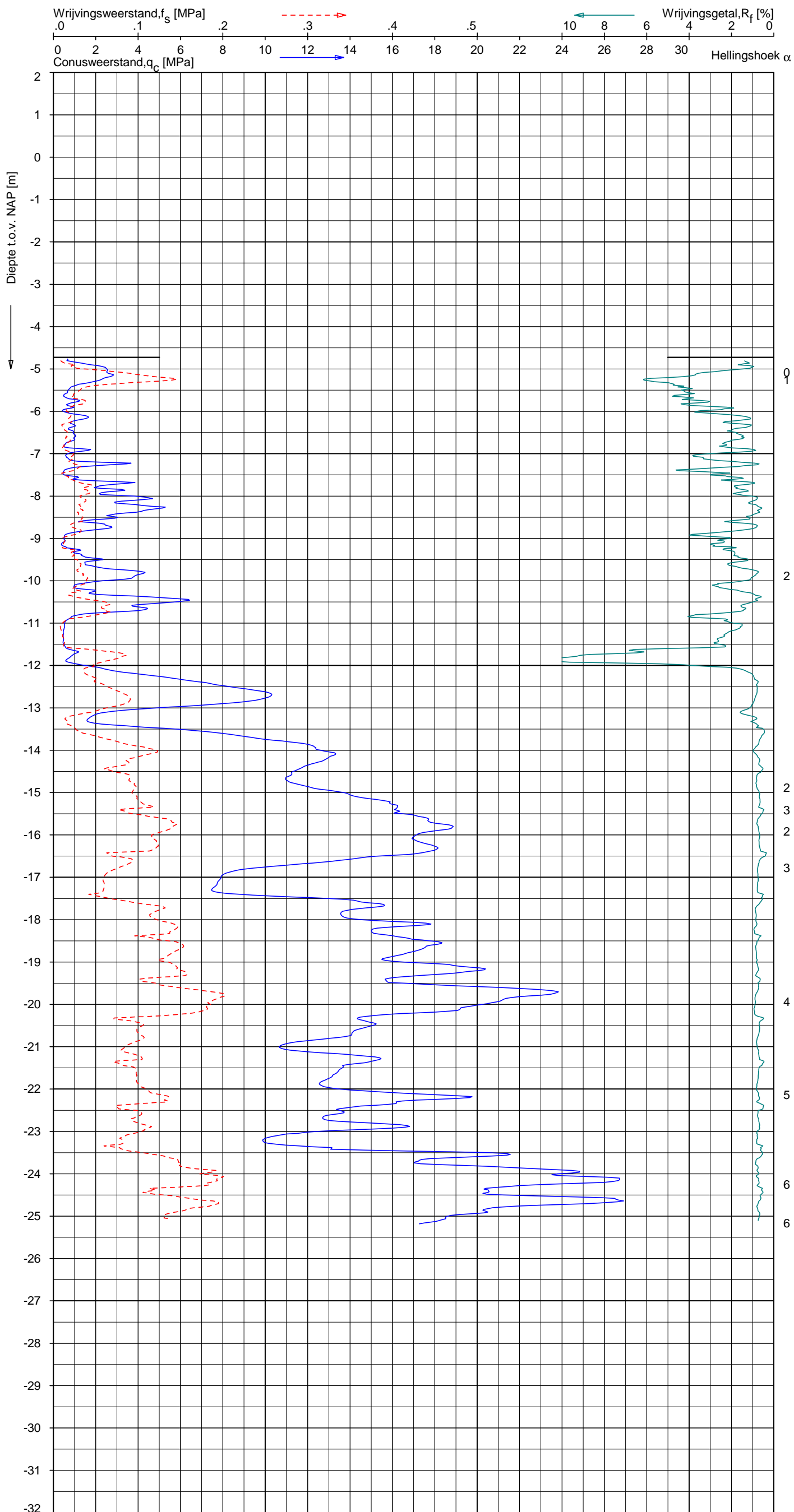
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1030A

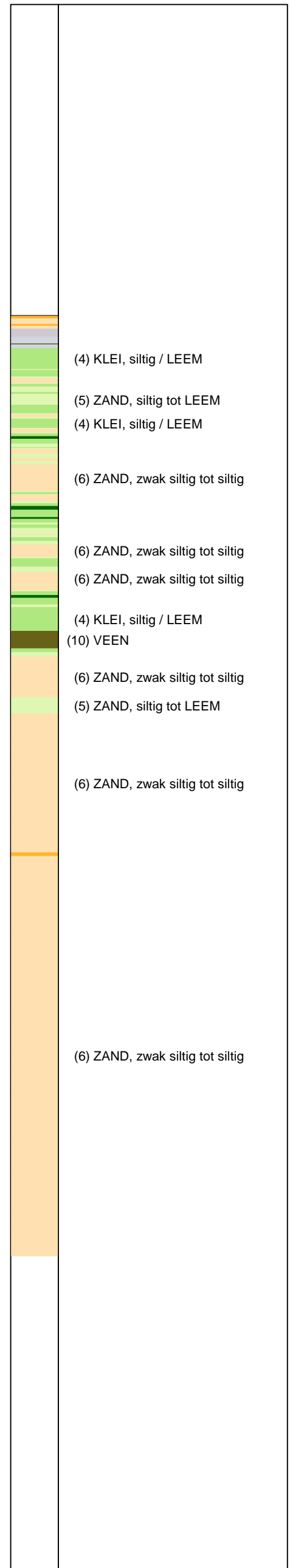
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-23 09:15:54

1010-0117-003

DKMP1033 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 12-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 104410.5 Y = 482003.8  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-23 MV = NAP -4.72 m

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

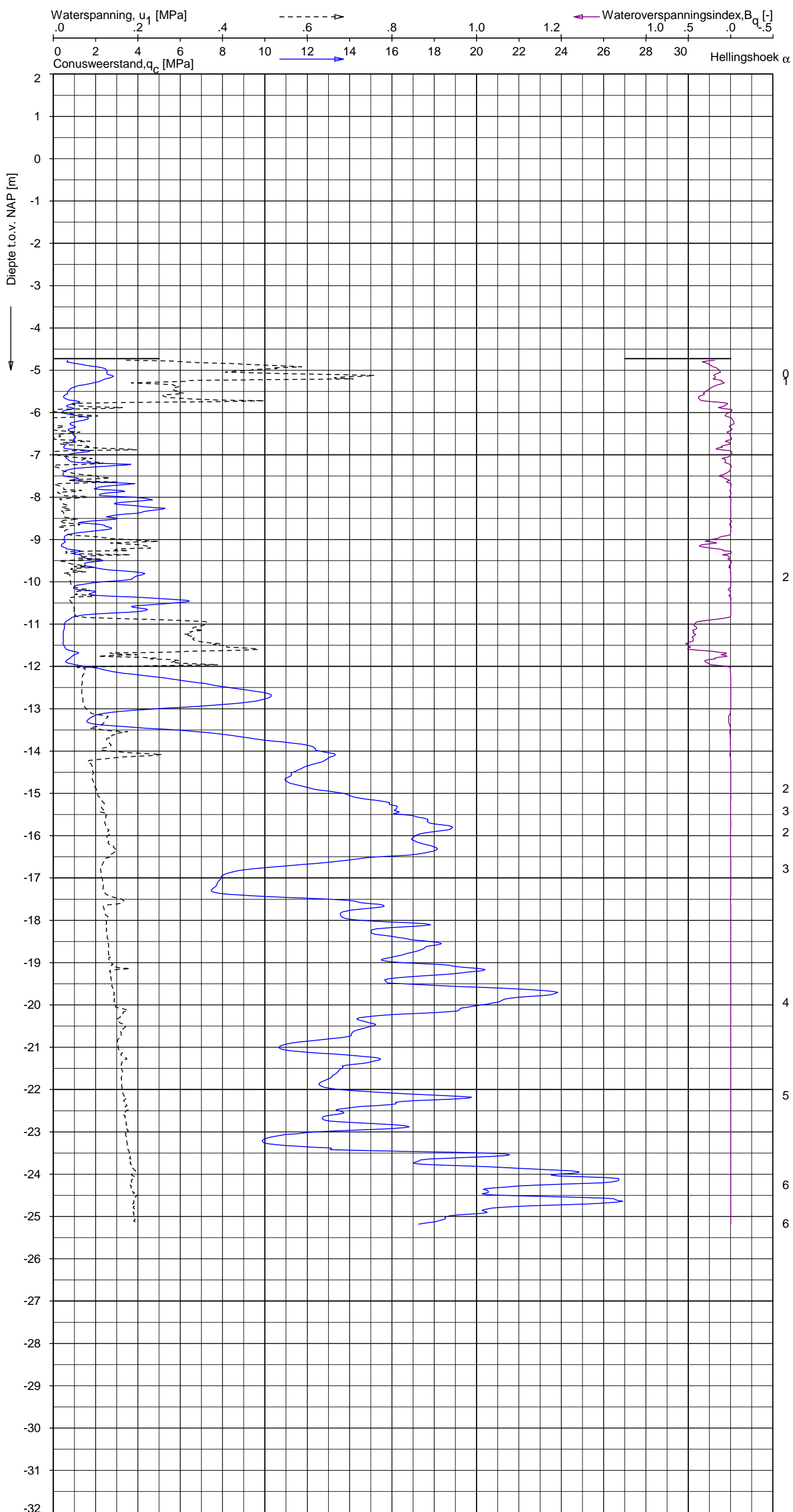
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1033

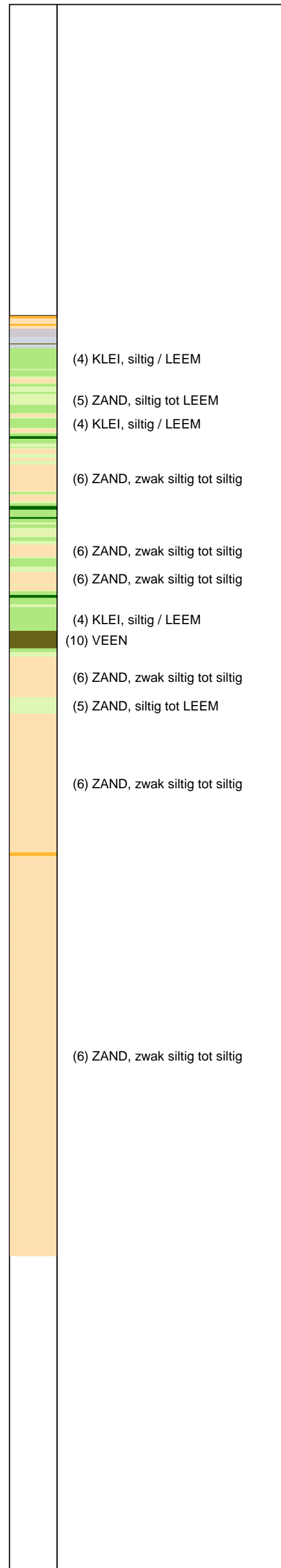
UNIPLOT 05.19.nl / QcU1Class-N3.cmd / 2012-11-23 09:19:02

1010-0117-003

DKMP1033 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 12-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 104410.5 Y = 482003.8  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-23 MV = NAP -4.72 m

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

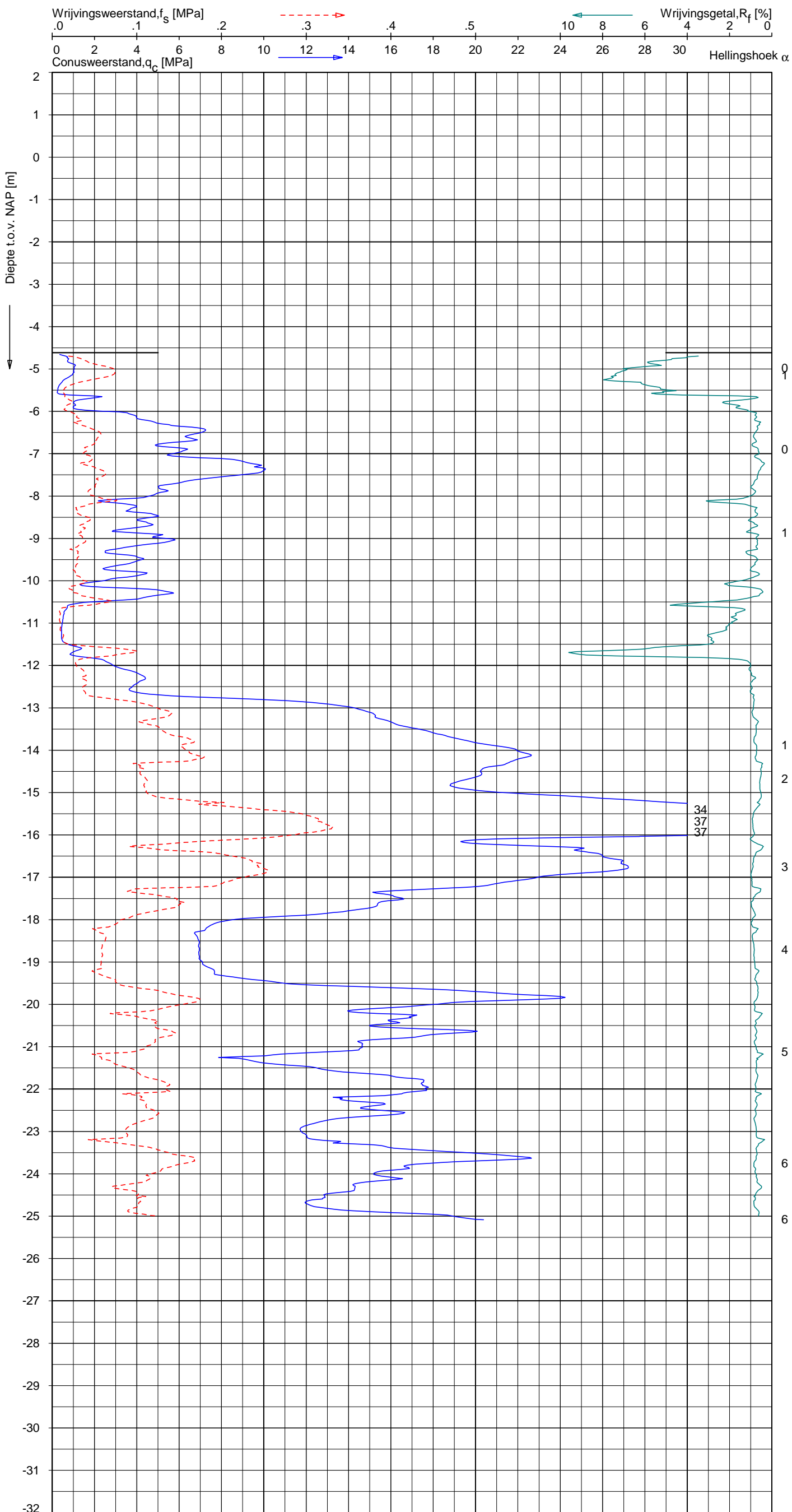
Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1033



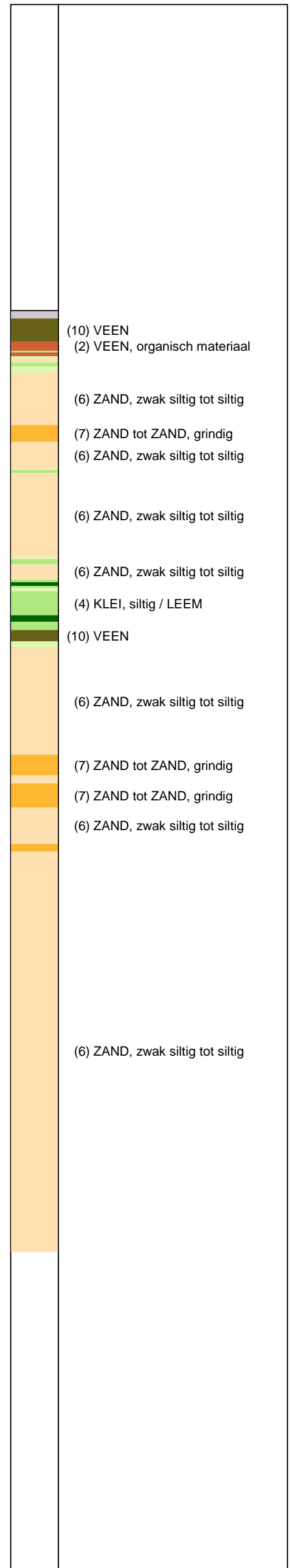
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:48:44

1010-0117-003

DKMP1036 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 09-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 104366.4  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.62 m Y = 481848.1

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

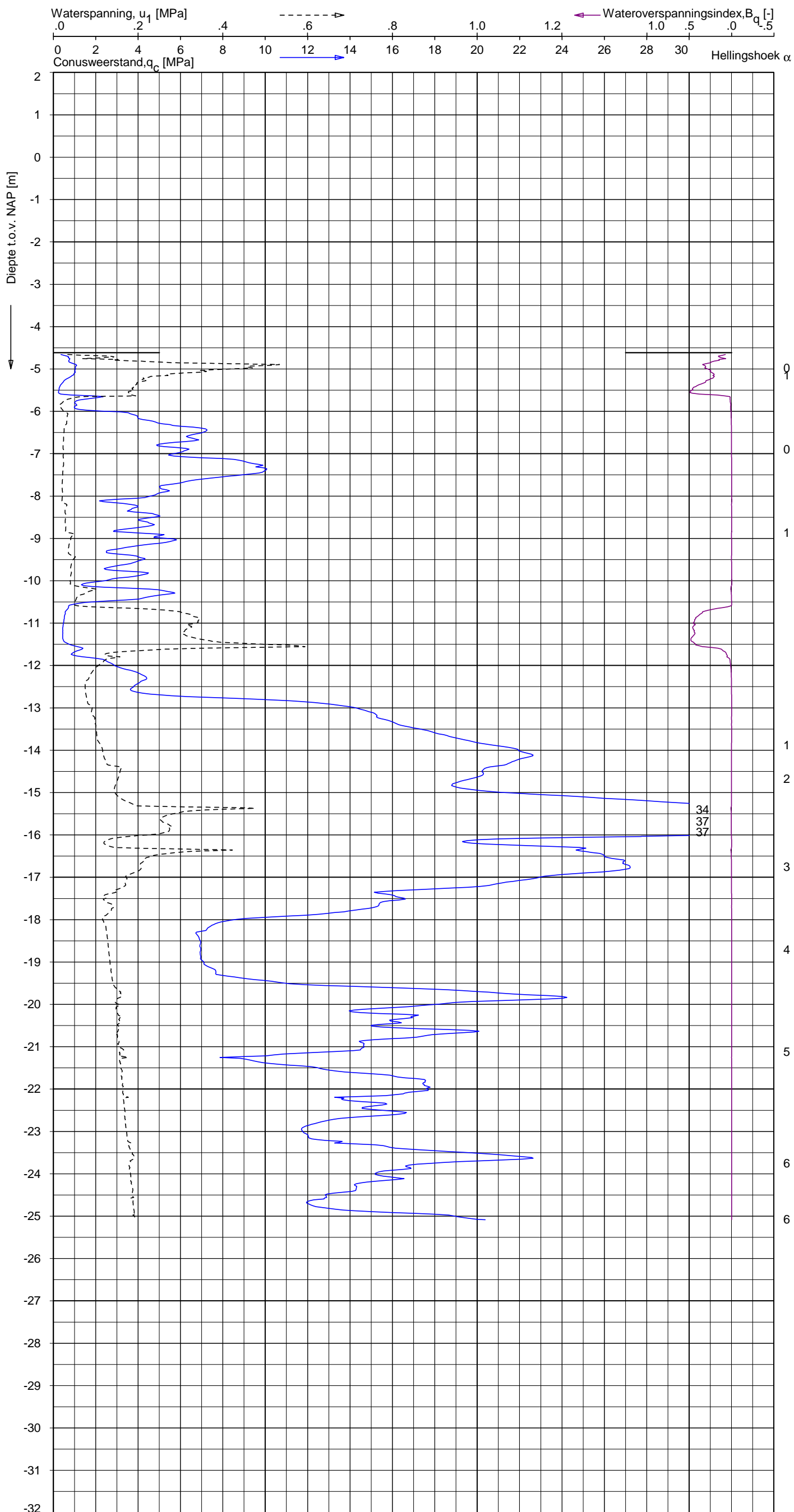
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1036

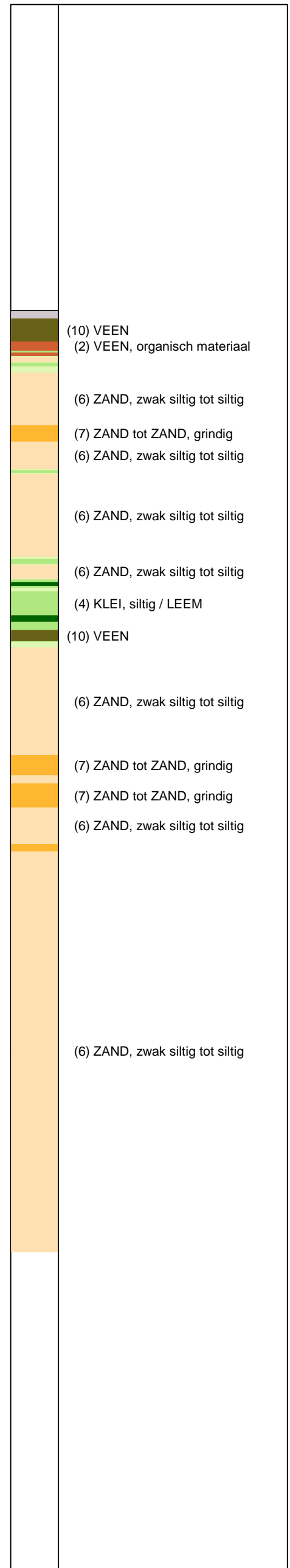
UNIPLOT 05.19.nl / QcU1Class-N3.cmd / 2012-11-14 16:56:51

1010-0117-003

DKMP1036 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 09-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 104366.4 Y = 481848.1  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.62 m  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2. Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm. Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1036

# Berekeningen X-05 HDD langs Provinciale weg N205 t.h.v. Zwaanshoek

## Civiele Werkzaamheden R380 Noordring Perceel 1: Vijfhuizen – Zuidelijke Ringvaart

Documentnummer: : VIR-0.000.520  
Referentienummer: : TP13141-doc-05  
Documentstatus: : Definitief  
Datum: : 02-08-2013  
Versie: : 1.0

Opdrachtgever:



Opdrachtnemer:



	Naam	Functie	Paraaf	Datum
Opsteller	E.M.P. Hooglander	Civil Engineer	<i>EMPH</i>	02-08-2013
Gecontroleerd	J. Hermus	Groepsleider Civiel	<i>JH</i>	02-08-2013
Gecontroleerd	M. Molema	Disciplineleider	<i>MM</i>	02-08-2013
Geautoriseerd / Vrijgave	M. Roohé	Projectmanager		



## DOCUMENT HISTORIE

Revisie	Omschrijving/Belangrijkste wijzigingen	Datum
0.1	Concept definitief ontwerp	17-07-2013
1.0	Definitief Ontwerp	02-08-2013



## Inhoud

1. Inleiding .....	4
2. Uitgangspunten .....	5
2.1 Algemeen.....	5
2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren .....	5
2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis .....	5
2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase .....	5
2.5 Kwelproblematiek.....	6
2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring.....	6
2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting.....	6
2.5.3 Kwel op lange termijn.....	6
3. Conclusies.....	7
3.1 Muddrukken tijdens boren.....	7
3.2 Sterkte tijdens installeren.....	8
3.2.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens installeren .....	8
3.2.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens installeren .....	8
3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik.....	9
3.3.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens gebruik .....	9
3.3.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens gebruik .....	9
4. Bijlagen .....	10
4.1 Tekening VIR-0.000505, Referentienr. TP13141-K-X-05 .....	10
4.2 Muddrukberekening.....	11
4.3 Trekkrachten berekening .....	12
4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase.....	13
4.5 Grondonderzoek .....	14



## 1. Inleiding

In de Randstad wordt de komende jaren een sterke toename verwacht in de vraag naar electriciteit. Om de elektriciteitsvoorziening in de toekomst veilig te stellen wordt er door TenneT een nieuwe 380kV hoogspanningsverbinding tussen Beverwijk – Vijfhuizen – Bleiswijk – Wateringen gerealiseerd. Dit project wordt Randstad380kV genoemd.

Project Randstad380 Noordring is de tweede fase van het project en bestaat uit een hoogspanningsverbinding van Beverwijk via Vijfhuizen naar Bleiswijk.

Naast de aanleg van een 380kV hoogspanningsverbinding wordt er ook een 150kV hoogspanningsverbinding gerealiseerd. In verband met de aanleg van beide hoogspanningsverbindingen moet een waterpartij langs de N205 ter hoogte van Zwaanshoek gekruist worden. Deze kruising wordt uitgevoerd door middel van een aantal horizontaal gestuurde boringen. In de boringen worden de volgende mantelbuizen geïnstalleerd:

380kV :

- HDD 01 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 02 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 03 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 04 4x Ø250 PE100 SDR11

150kV :

- HDD 01 4x Ø200 PE100 SDR11
- HDD 02 4x Ø200 PE100 SDR11

In dit rapport worden de voor de boringen benodigde berekeningen uitgevoerd.

*Hiertoe worden de volgende aspecten bekeken:*

- De bij het boren te verwachten muddrukken en de maximaal toelaatbare muddrukken.
- De benodigde trekkracht voor het intrekken van de mantelbuizen en de hierbij optredende spanningen in de buizen.
- De sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase.
- Mogelijke kwelproblematiek.

Bovenstaande berekeningen worden uitgevoerd met spreadsheet-programma's.

*Uitgangspunten van deze berekeningen zijn de normen:*

- NEN 3650-1:2012, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1 algemeen
- NEN 3650-3:2012 ontwerp, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 3 Kunststoffen
- NEN 3651:2012, Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken.

*Grondonderzoek:*

- Gegevens grondonderzoek afkomstig van Fugro, opdrachtnr. 1010-0117-003 Bijlage 4.5

*Bijbehorende tekeningen:*

- Algemeen plantekening op A4 formaat Bijlage 4.1

## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Algemeen

*De belangrijkste ontwerpgegevens van de mantelbuizen, die gelden voor de boringen:*

Kenmerk	380kV HDD 1 t/m 4	150kV HDD 1 en 2
Materiaal	PE	PE
Kwaliteit	PE100	PE100
Treksterkte	10 N/mm <sup>2</sup>	10 N/mm <sup>2</sup>
Aantal buizen	4	4
Diameter	250 mm	200 mm
Wanddikte	22.7 mm (SDR 11)	18.2 mm (SDR 11)

### 2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren

Voor het afvoeren van de afgeboorde grond is in het boorgat een minimale muddruk nodig. Tevens mag de druk in het boorgat niet groter worden dan de maximaal toelaatbare muddruk. Bij overschrijding van deze druk bestaat het gevaar voor bezwijken van de grond en uitstromen van boorvloeistof aan het maaiveld. Voor de muddrukberekening worden de langere boringen (150kV HDD 1 en 2) als maatgevend beschouwd.

De maximaal toelaatbare muddruk en de minimaal benodigde muddrukken zijn berekend in Bijlage 4.2. De resultaten worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd.

### 2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de mantelbuis in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de buis optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend. Voor zowel de boringen ten behoeve van 380kV als voor 150kV wordt apart een trekkrachtberekening uitgevoerd.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.3. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.

### 2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase

Voor de sterkte van de mantelbuizen worden voor een aantal locaties doorsnede-berekeningen gemaakt. De volgende doorsneden worden beschouwd:

380kV:

- Punt met de grootste dekking onder de weg (ca. 17m-maaiveld), hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.
- Diepte van  $8 \times D_{\text{gat}}$ , hierbij wordt met neutrale gronddruk gerekend.

150kV:

- Punt met de grootste dekking (ca. 20m-maaiveld), hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.
- Diepte van  $8 \times D_{\text{gat}}$ , hierbij wordt met neutrale gronddruk gerekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.4. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.



## 2.5 Kwelproblematiek

In het kader van de kwelproblematiek worden de hieronder vermelde situaties bekeken.

- Tijdens de uitvoering van de boring
- Tijdens het maken van de aansluiting
- Op lange termijn

### 2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring

De intredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van resp. 4.6m-N.A.P (380kV HDD 1 t/m 4) en 4.4m-N.A.P. (150kV HDD 1 en 2) De uittredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van 3.7m-N.A.P. Het hart van de boringen ligt op het diepste punt op 20m-N.A.P.

Het eerste watervoerende zandpakket ligt op een diepte van ca. 6.5m-N.A.P. en wordt aangeboord.

Volgens de door de opdrachtgever verstrekte informatie bedraagt de gemiddelde stijghoogte van het spanningswater in het eerste watervoerende pakket ca. 5.3m-N.A.P.

De stijghoogte van het spanningswater is lager dan het maaiveld niveau en daarmee is er geen gevaar voor kwel tijdens de uitvoering van de boringen.

Muduitbraken ter plaatse van de watergangen zijn volgens de berekeningen niet te verwachten (zie hoofdstuk 3 of bijlage 4.2). Kwel vanuit het watervoerende zandpakket naar de watergangen is hierdoor niet aan de orde.

### 2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting

Ten tijde van het maken van de aansluitingen moet tijdelijk een ontgraving van ca. 3m-maaiveld worden gemaakt, waarbij een kwelscherm met kleikist dient te worden aangebracht.

Op het grensvlak werkt een opwaartse waterdruk van  $(5.3 - 6.5) \times 10 \text{ kN/m}^3 = 12 \text{ kN/m}^2$

De bentonietkolom oefent bij een bentoniet gewicht van  $12 \text{ kN/m}^3$  een neerwaartse kracht uit van  $(7.6 - 6.5) \times 12 \text{ kN/m}^3 = 13.2 \text{ kN/m}^2$

De neerwaartse druk van de bentonietkolom is groter dan de opwaartse waterdruk, het verschil is echter gering.

Indien nodig kan kortdurend spanningsbemaling worden toegepast.

### 2.5.3 Kwel op lange termijn

Zowel aan de intrede- als aan de uittredezijde dienen kwelschermen in kleikisten geplaatst te worden om de kwel op lange termijn te voorkomen.





### 3. Conclusies

#### 3.1 Muddrukken tijdens boren

Overzicht minimum en maximum muddrukken tijdens boren:

Locatie		Afstand tot intredepunt	Minimaal benodigde muddruk (Bijlage 4.2)	Maximaal toelaatbare muddruk (Bijlage 4.2)
IN	Intredepunt	0 m		
A		50 m	159 kN/m <sup>2</sup>	405 kN/m <sup>2</sup>
B		80 m	204 kN/m <sup>2</sup>	547 kN/m <sup>2</sup>
C		114 m	216 kN/m <sup>2</sup>	465 kN/m <sup>2</sup>
D		175 m	231 kN/m <sup>2</sup>	465 kN/m <sup>2</sup>
E		237 m	247 kN/m <sup>2</sup>	442 kN/m <sup>2</sup>
F		298 m	262 kN/m <sup>2</sup>	442 kN/m <sup>2</sup>
G		360 m	278 kN/m <sup>2</sup>	442 kN/m <sup>2</sup>
H		421 m	293 kN/m <sup>2</sup>	429 kN/m <sup>2</sup>
I		483 m	308 kN/m <sup>2</sup>	483 kN/m <sup>2</sup>
J		540 m	323 kN/m <sup>2</sup>	483 kN/m <sup>2</sup>
K		606 m	339 kN/m <sup>2</sup>	461 kN/m <sup>2</sup>
L		638 m	333 kN/m <sup>2</sup>	528 kN/m <sup>2</sup>
M		666 m	288 kN/m <sup>2</sup>	311 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uittredepunt	705 m		

De maximaal toelaatbare muddruk wordt nergens overschreden. Tijdens het boren van de eindfase van de pilot kunnen (na doorsnede M) muduitbraken voorkomen. Tijdens de uitvoering dient hier rekening mee gehouden te worden door in de eindfase van de pilotboring zo weinig mogelijk bentoniet te verpompen met een zo laag mogelijke druk.



## 3.2 Sterkte tijdens installeren

### 3.2.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

<b>380kV HDD 1 t/m 4</b>	Smax (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	3,7 N/mm <sup>2</sup>	37 %	
Spanning tijdens intrekken	6,2 N/mm <sup>2</sup>	62 %	
Trekkracht			197 kN

De mantelbuizen worden gevuld met bentoniet in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkracht van maximaal 20 ton verwacht.

### 3.2.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

<b>150kV HDD 1 en 2</b>	Smax (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	4,3 N/mm <sup>2</sup>	43 %	
Spanning tijdens intrekken	6,1 N/mm <sup>2</sup>	61 %	
Trekkracht			157 kN

De mantelbuizen worden gevuld met bentoniet in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkracht van maximaal 16 ton verwacht.

### 3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik

#### 3.3.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens gebruik

Overzicht van de berekende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met de grootste dekking:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	0,4 N/mm <sup>2</sup>	5 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		0,4 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,72 m	waterkolom

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met een diepte van  $8xD_{gat}$ :

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	2,0 N/mm <sup>2</sup>	25 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		2,0 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,72 m	waterkolom

Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.

#### 3.3.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens gebruik

Overzicht van de berekende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met de grootste dekking:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	0,3 N/mm <sup>2</sup>	4 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		0,3 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,89 m	waterkolom

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met een diepte van  $8xD_{gat}$ :

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	1,6 N/mm <sup>2</sup>	19 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		1,6 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,89 m	waterkolom

Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.



---

## 4. Bijlagen

### 4.1 Tekening VIR-0.000505, Referentienr. TP13141-K-X-05





---

## 4.2 Muddrukberkening

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-05 150kV HDD1 en 2 langs N205 t.h.v. Zwaanshoek
Berekend door	EHO

Te installeren buis of bundel		
Uitwendige diameter buis/bundel	d	485 mm

Boorstelling		
Type boorstelling		100 ton
Uitwendige diameter pilotbuis	d-uitw.	127 mm
Inwendige diameter pilotbuis	d-inw.	109 mm

Boorvloeistof		
Volumegewicht boorvloeistof	$V_{bo}$	10,50 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht grond / boorvloeistof mengsel	$V_b$	12,00 kN/m <sup>3</sup>
Schijnbare viscositeit	visc	100 MarshFunnelseconden
Yieldpoint boorvloeistof	$y_b$	0,01 kN/m <sup>2</sup>
Viscositeit	eta	0,11 Pas

Boorbuizen		
Lengte boorbuis	L	6 m
Lengte koppeling	L-kopp	0,5 m
Inwendige diameter koppeling	d-kop	89 mm
Nik. Ruwheid	k	1 mm

**SAMENVATTING INVOER/RESULTATEN**

Lokatie	Omschrijving	Afstand tot intredepunt	Diepte cl t.o.v ref. lijn [m]	Pmin* in pilot gat	Pmax* toelaatbaar in gat tijdens ruimen
IN	Intredepunt	0,0	0,0 m	-	0 kN/m2
A		50,0	-12,2 m	159	405 kN/m2
B		80,0	-15,3 m	204	547 kN/m2
C		113,6	-15,6 m	216	465 kN/m2
D		175,1	-15,6 m	231	465 kN/m2
E		236,6	-15,6 m	247	442 kN/m2
F		298,1	-15,6 m	262	442 kN/m2
G		359,6	-15,6 m	278	442 kN/m2
H		421,1	-15,6 m	293	429 kN/m2
I		482,6	-15,6 m	308	483 kN/m2
J		540,2	-15,6 m	323	483 kN/m2
K		605,9	-15,6 m	339	461 kN/m2
L		637,5	-14,4 m	333	528 kN/m2
M		665,6	-10,1 m	288	311 kN/m2
UIT	Uittredepunt	705,0	0,0 m	-	0 kN/m2
				Pmin benodigd bij max. mud debiet	
<b>noot *: Pmin in pilot gat vergelijken met Pmax tijdens ruimen is de meest ongunstige benadering</b>					

**Berekening van de maximaal toelaatbare boorvloei­stof­druk­ken P'max  
volgens NEN 3650-1:2003 bijlage E.2**

**INVOER/UITVOER**

Lokatie	IN	A	B	C	D
Grondsoort (zand / klei)	-	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	-	<b>12,1</b>	<b>16,3</b>	<b>13,2</b>	<b>13,2</b> m
Diepte water onder mv (+)	-	<b>1,5</b>	<b>2,5</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,7</b> m
Hoek inwendige wrijving	-	<b>27,5</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b> gr
Volumegewicht nat	-	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b> kN/m3
Volumegewicht droog	-	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b> kN/m3
Cohesie	-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	-	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	-	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b> MPa
Rpmax	-	0,57	0,53	0,63	0,63 m
Elasticiteitsmodulus	-	15200	19000	19000	19000 kN/m2
P'max in gat	-	405	547	465	465 kN/m2

Location	E	F	G	H	I
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	<b>13,2</b>	<b>13,2</b>	<b>13,2</b>	<b>13,2</b>	<b>15,6</b> m
Diepte water onder mv (+)	<b>-0,7</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,7</b>	<b>1,6</b> m
Hoek inwendige wrijving	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b> gr
Volumegewicht nat	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b> kN/m3
Volumegewicht droog	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b> kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>7</b> MPa
Rpmax	0,56	0,56	0,56	0,53	0,46 m
Elasticiteitsmodulus	15200	15200	15200	13300	13300 kN/m2
P'max in gat	442	442	442	429	483 kN/m2

Location	J	K	L	M	UIT
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	-
Gronddekking	<b>15,6</b>	<b>15,4</b>	<b>19,4</b>	<b>10,5</b>	- m
Diepte water onder mv (+)	<b>1,6</b>	<b>1,4</b>	<b>6,5</b>	<b>1,9</b>	- m
Hoek inwendige wrijving	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>27,5</b>	- gr
Volumegewicht nat	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	- kN/m3
Volumegewicht droog	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	- kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	- kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	-
CPT Conusweerstand: qc	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	- MPa
Rpmax	0,46	0,44	0,32	0,50	- m
Elasticiteitsmodulus	13300	11400	9500	9500	- kN/m2
P'max in gat	483	461	528	311	kN/m2





---

### 4.3 Trekrachten berekening

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de leiding in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN 3650-1:2012 gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de leiding optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.

# Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

## INVOER

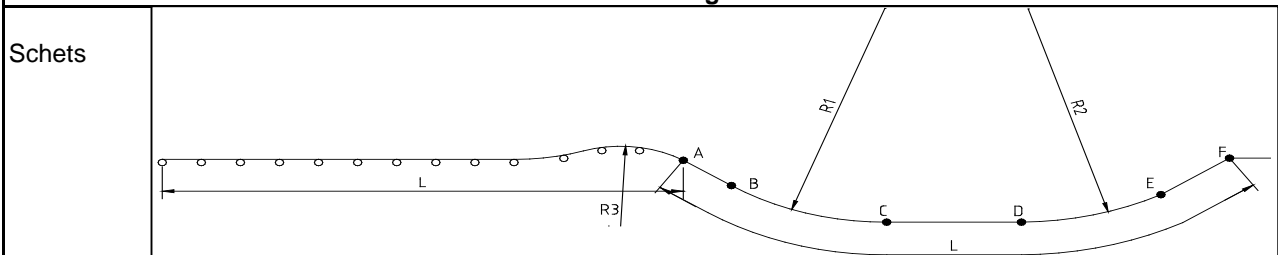
### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-05 150kV HDD 1 en 2 langs N205 t.h.v. Zwaanshoek
Berekend door	EHO

### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	200	mm
Wanddikte	$d$	18,2	mm
Dikte externe coating	$c-e$	0	mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0	kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0	mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0	kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY		pe100	
buizen met flexibele verbindingen		nee	
Elasticiteitsmodulus	E	1200	N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	$sg$	955	kg/m <sup>3</sup>

### Maatvoering



Lengte boring	L	708	m
Afstand	A-B	27	m
Afstand	A-C	93	m
Afstand	A-D	616	m
Afstand	A-E	681	m
Afstand	A-F	709	m
Straal boor profiel	$R_1$	250	m excl. 10% marge
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	0	
Straal boor profiel	$R_2$	250	m excl. 10% marge
Straal rollenbaan	$R_3$	50	m
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	15	graden (bij punt A)
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0	graden (+ naar beneden ri. rig zijde)
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	0	graden
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	15	graden (bij punt F)
Aantal buizen	aantal, n	4	buis/buizen --
Bundel gekoppeld		nee	
Buisvulling in boorgat	bentoniet		Buisvulling (water) ook op rolstellen nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012	
Pipe Pusher capaciteit	0	kN	nee
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen			nee

## SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	157	kN	16 ton
SI max in boorgat	SI	4,3	N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	6,1	N/mm <sup>2</sup>	
		60,8	% S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>

## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2 ,f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

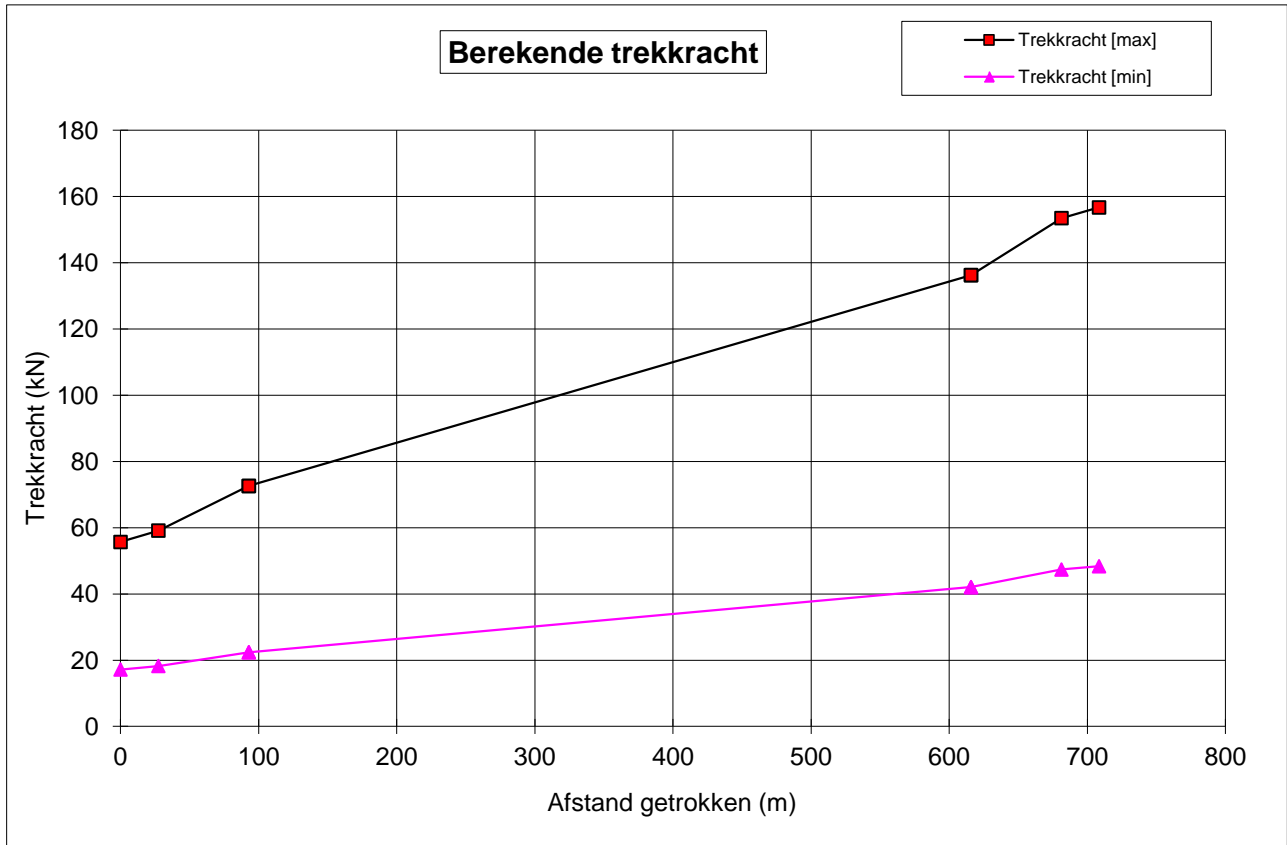
Diverse gegevens		
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel	10 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht bentoniet	sg	1200 kg/m <sup>3</sup>
Doorsnedeoppervlak	Abuis	10395 mm <sup>2</sup> per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>3</sup>
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>4</sup>
Weerstandmoment	W	433754 mm <sup>3</sup> per buis
Traagheidsmoment	I	43375426 mm <sup>4</sup> per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>	1735017 mm <sup>3</sup> voor: 4 buis/buizen
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>	173501703 mm <sup>4</sup> voor: 4 buis/buizen
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g omlaag	0,3971 kN/m1streng "
gewicht vull x aantal buizen	g vull omlaag	1,0090 kN/m1streng "
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra omhoog	0,0000 kN/m1streng "
opdriving x aantal buizen	g opw omhoog	-1,5080 kN/m1streng "
g eff in gat = g-gopw	g eff omhoog	-0,1019 kN/m1streng "
g eff op rolstellen	g eff omlaag	0,3971 kN/m1streng "
$\lambda = \sqrt{\sqrt{(k_v \times B / 4 / E / I)}}$	$\lambda$	0,002244 mm <sup>-1</sup>
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>	0,04 N/mm <sup>3</sup> "
Oplegbreedte van de bundel	B	528 mm
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E / B / R_1$	Q <sub>r1</sub>	0,0028 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E / B / R_h$	Q <sub>rh</sub>	0,0000 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E / B / R_2$	Q <sub>r2</sub>	0,0028 N/mm <sup>2</sup> "
Reductiefactor voor bundel = n x 1/n <sup>0.3</sup>	b'	2,639 x Omtrek van een buis

Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	708	681	615	615	93	93	27	27	0
T <sub>1</sub> (kN)	30,94	29,74	26,88	26,88	4,04	4,04	1,18	1,18	0
L <sub>2</sub> (m)	0	27	66	0	523	0	66	66	27
T <sub>2</sub> (kN)	0	3,11	7,44	0,00	59,41	0,00	7,44	7,44	3,09
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	0,92	0,00	0,00	0,00	0,92	0,92	0
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	1,98	1,98	0,79	0,79	4,84	4,84	5
F x f (totale kracht, kN)	31	33	40	40	76	76	85	85	87
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	56	59	73	73	136	136	153	153	157
De te verwachten trekkracht ligt tussen			48 kN	en	157 kN				
De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk							174 kN		
De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid									

Spanningen in boorgat								
Totale spanning in boorgat								
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	1,3	1,4	1,7	1,7	3,3	3,3	3,7	3,8
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
SI tot	1,3	1,4	2,3	1,7	3,3	3,3	4,3	3,8

Spanningen op rollenbaan		
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling		
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R	Sr	2,6 N/mm <sup>2</sup>
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>	M	3,6 kNm
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal	SI	6,1 N/mm <sup>2</sup> total

# GRAFIEK



# Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

## INVOER

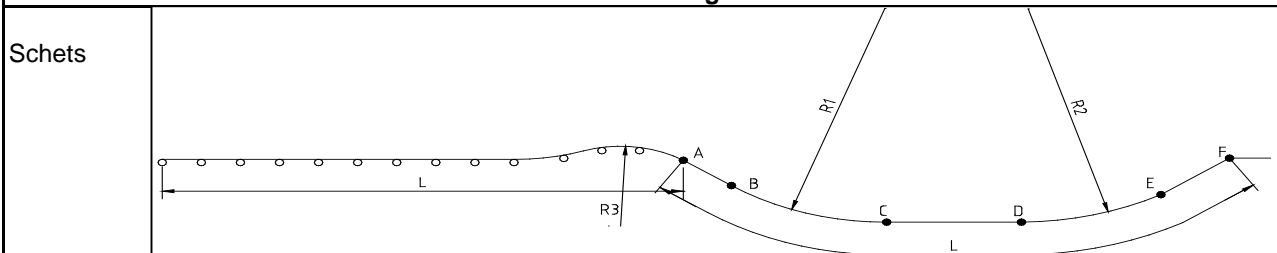
### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-05 380kV HDD 1 t/m 4 langs N205 t.h.v. Zwaanshoek
Berekend door	EHO

### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	250 mm
Wanddikte	$d$	22,7 mm
Dikte externe coating	$c-e$	0 mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0 kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0 mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0 kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY		pe100
buizen met flexibele verbindingen		nee
Elasticiteitsmodulus	E	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	$sg$	955 kg/m <sup>3</sup>

### Maatvoering



Lengte boring	L	653 m		
Afstand	A-B	27 m		
Afstand	A-C	99 m	A-H1	99 m
Afstand	A-D	561 m	A-H2	160 m
Afstand	A-E	627 m		
Afstand	A-F	653 m		
Straal boor profiel	$R_1$	257 m	excl. 10% marge	
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	500		
Straal boor profiel	$R_2$	250 m	excl. 10% marge	
Straal rollenbaan	$R_3$	50 m		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	15 graden	(bij punt A)	
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0 graden	(+ naar beneden ri. rig zijde)	
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	12 graden		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	15 graden	(bij punt F)	
Aantal buizen	aantal, n	4 buis/buizen	--	
Bundel gekoppeld		nee		
Buisvulling in boorgat	bentoniet		Buisvulling (water) ook op rolstellen	nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012		
Pipe Pusher capaciteit	0 kN	nee		
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen		nee		

## SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	197 kN	20 ton
SI max in boorgat	SI	3,7 N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	6,2 N/mm <sup>2</sup>	
		62,1 % S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>

## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2 ,f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

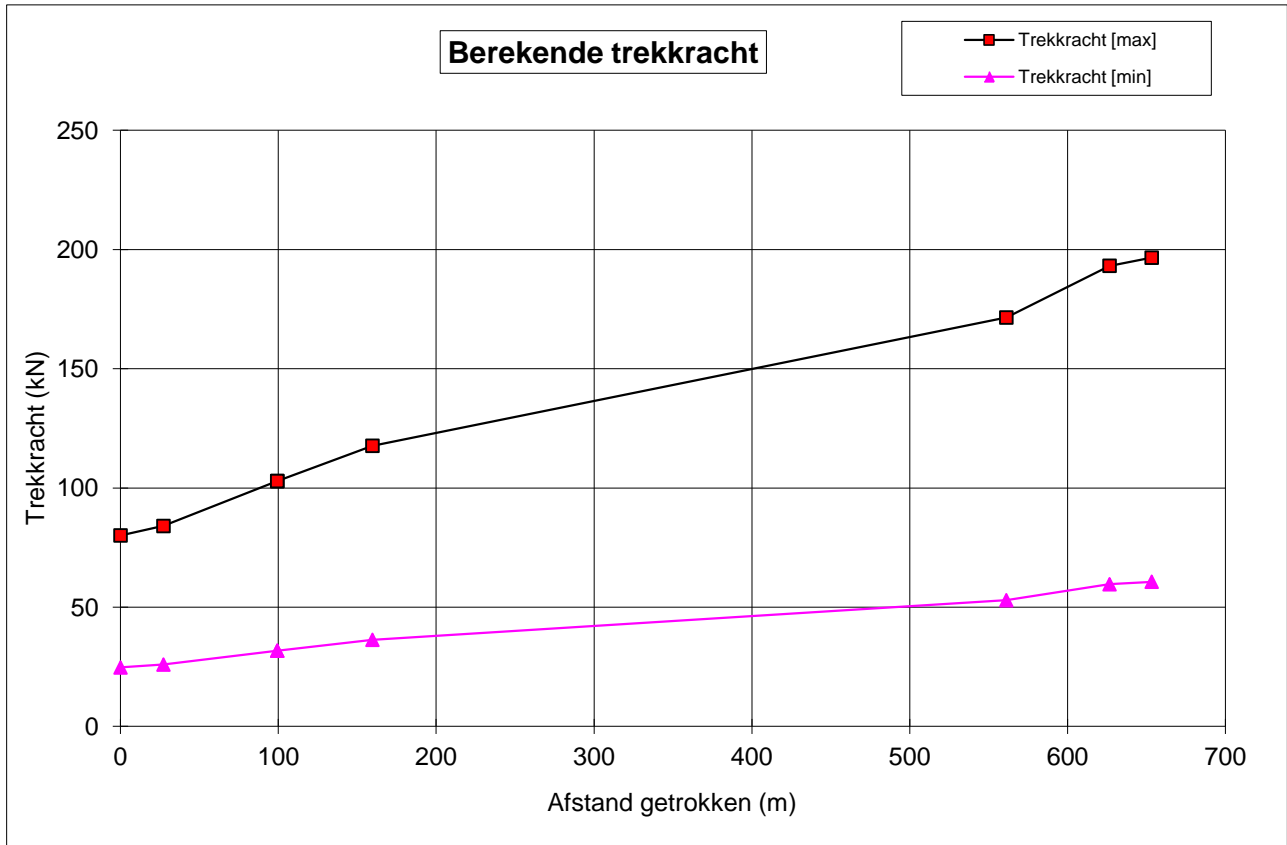
Diverse gegevens		
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel	10 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht bentoniet	sg	1200 kg/m <sup>3</sup>
Doorsnedeoppervlak	Abuis	16210 mm <sup>2</sup> per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>3</sup>
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>4</sup>
Weerstandmoment	W	845832 mm <sup>3</sup> per buis
Traagheidsmoment	I	105728989 mm <sup>4</sup> per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>	3383328 mm <sup>3</sup> voor: 4 buis/buis
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>	422915957 mm <sup>4</sup> voor: 4 buis/buis
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g omlaag	0,6192 kN/m1streng "
gewicht vull x aantal buizen	g vull omlaag	1,5781 kN/m1streng "
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra omhoog	0,0000 kN/m1streng "
opdrijving x aantal buizen	g opw omhoog	-2,3562 kN/m1streng "
g eff in gat = g-gopw	g eff omhoog	-0,1589 kN/m1streng "
g eff op rolstellen	g eff omlaag	0,6192 kN/m1streng "
$\lambda = \text{sqrt}(\text{sqrt}(k_v \times B / 4 / E / I))$	$\lambda$	0,001899 mm <sup>-1</sup>
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>	0,04 N/mm <sup>3</sup> "
Oplegbreedte van de bundel	B	660 mm
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B / R_1$	Q <sub>r1</sub>	0,0039 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B / R_h$	Q <sub>rh</sub>	0,0020 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B / R_2$	Q <sub>r2</sub>	0,0040 N/mm <sup>2</sup> "
Reductiefactor voor bundel = n x 1/n <sup>0.3</sup>	b'	2,639 x Omtrek van een buis

Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	653	626	554	554	494	92	27	0	
T <sub>1</sub> (kN)	44,50	42,65	37,73	37,73	33,63	6,27	1,82	0	
L <sub>2</sub> (m)	0	27	72	0	60	402	65	27	
T <sub>2</sub> (kN)	0	4,05	10,74	0,00	8,98	59,82	9,74	3,98	
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	1,85	0,00	0,95	0,00	1,91	0	
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	2,79	2,79	5,18	2,61	7,47	7	
F x f (totale kracht, kN)	44	47	57	57	65	95	107	109	
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	80	84	103	103	118	172	193	197	
<i>De te verwachten trekkracht ligt tussen</i>			<i>61 kN en</i>		<i>197 kN</i>				
<i>De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk</i>							<i>218 kN</i>		
<i>De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid</i>									

Spanningen in boorgat									
Totale spanning in boorgat									
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	1,2	1,3	1,6	1,6	1,8	2,6	3,0	3,0	
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	0,7	0,0	0,4	0,0	0,7	0,0	
SI tot	1,2	1,3	2,3	1,6	2,2	2,6	3,7	3,0	

Spanningen op rollenbaan									
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling									
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R		Sr	3,3 N/mm <sup>2</sup>						
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>		M	5,7 kNm						total
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal		SI	6,2 N/mm <sup>2</sup>						

# GRAFIEK





---

## 4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase



**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-05 380kV HDD1 t/m 4, punt met grootste dekking</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>250</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>250</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>22,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>0</b>	
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995 alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>250</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>onder</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>16,5</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>17</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>gered. pleistoceen</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>2,5</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,049</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0343</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>30</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model (+ is trek)			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	974,76 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	85,88 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	113,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	227,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	22,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,33 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,15 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,49 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	22,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,85 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$105,73 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0980 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0583 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	0,4	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	5 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	0,4 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,72 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0441 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0309 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor $Q_n$	f	1,10
Totaal factor $Q_p$	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	35,13 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	35,13 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal	veen	
E-modulus aanvulmateriaal	1 MPa	veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	8 mm	
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	6 mm	
$z_{\text{max}} \text{ reken}$	8 mm	
$q_n$	0,1405 N/mm <sup>2</sup>	
$q_p (f_m=0,10)$	1,0678 N/mm <sup>2</sup>	$Q_p$ met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	0,9273 N/mm <sup>2</sup>	
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,120535 N/mm <sup>3</sup>	
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,049 N/mm <sup>3</sup>	
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	25 mm	
u x $D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$	8 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,309 N/mm <sup>2</sup>	
$Q_k$	77,16 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

LET OP  $Q_k$  is hoger dan  $Q_p$

#### Berekening gereduceerde gronddrukken

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	8,6 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	8,6 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,20 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	7,9 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,31 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	7,9 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o * B_1 * (\gamma' - c_h / B_1) / (K * \tan \phi_h) * (1 - e^{-(K * h_h * \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	1,63 kN/m
$F_{max} = (h * \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) * 2B_1$	$F_{max}$	37,92 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,15
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 * (3H - 2h) * \alpha) / (2 C * H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 * k_v))))$		
	$F_r$	16,47 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h * \gamma'_h - F_r / 2B_1) * D_o$	$Q_{n,r2}$	10,32 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,26 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	7,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o * B_1 * \gamma') / (K * \tan \phi) * (1 - e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h * h_h * D_o * e^{-(K * h * \tan \phi) / B_1}$		
	$Q_{n,r}$	1,56 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. pleistoceen	
$Q_{grond\ reken}$	$Q \times f$	1,71 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	35,34 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,50	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	15,30 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $D_o \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = D_o \times 2k_r/3 \times d_y/2 \times \sin 60$		2,16 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	0,97 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	-6,41 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	-6,41 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	-6,62
	$d_{y2}'/d_{y1}$	-6,62
	$d_{y1}/2$	0,48 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  15,30 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  15,30 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  15,30 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  15,30 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_h$	15,30 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_h$	15,30 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	0,41 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	4,49 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times D_o \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,41 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	0,37 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{ toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	---------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$Q_{grond}$	1,71 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	0,53 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,33 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,34 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$			
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q \text{ bodem}$	0,53 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ top}$	0,33 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ zijden}$	-0,34 N/mm <sup>2</sup>	

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	0,37 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	-0,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-0,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,07 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	0
Verkeersbelasting	$P_v$	0,00 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		1,38962E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,13 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,06 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,07 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	onder	
	$S_{rl}$	0,15 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>



Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 \cdot S \cdot De$	20,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D \left( (0.113 \cdot Q - 0.096 \cdot 0.866 \cdot Q_{n,h} + 0.071 \cdot Q_{indir}) \cdot rg^3 \right) / (E' \cdot lw + 0.061 \cdot kh \cdot x \cdot rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	1,0 mm	
	0,4 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E \cdot lw / Dg^3$	24,90 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,90 N/mm <sup>2</sup> 18,97 bar 189,72 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,37 bar 23,72 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	0,53	0,33	0,34 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,07	-0,07	-0,07 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,13	0,06	0,07 N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$	0,60	0,32	0,34 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,15	-0,15	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,15	-0,15	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a \cdot i_x \cdot S_{b,x} + S_{T;x}$	<b>0,10</b>	<b>-0,10</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	1	1	0 % < 100%
$S_y = S_p + a \cdot (S_{y,max} + i_y \cdot S_{b,x})$	<b>0,39</b>	<b>0,21</b>	<b>0,22</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	5	3	3 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	0,4 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,10	-0,10	0,00
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	0,40	0,20	0,27
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-05 380kV HDD1 t/m 4, punt met diepte van 8x de gatdiameter</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>250</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>250</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>22,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>0</b>	
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995 alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>0</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>nvt</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>6</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>15</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>klei</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>neutraal</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>2,2</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,049</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0343</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>17,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>veld</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model (+ is trek)			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>rechte leiding</b>	
		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	ix	<b>1</b>	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	<b>0</b>	>=0

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	974,76 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	85,88 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	113,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	227,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	22,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,33 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,15 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,49 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	22,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,85 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$105,73 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	1,60	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0784 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0583 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	2,0	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	25 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	2,0 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,72 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0441 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0309 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor $Q_n$	f	1,10
Totaal factor $Q_p$	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	13,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	13,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal	veen	
E-modulus aanvulmateriaal	1 MPa	veen: 0,2; klei:1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	13 mm	
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	10 mm	
$z_{\text{max}} \text{ reken}$	13 mm	
$q_n$	0,0520 N/mm <sup>2</sup>	
$q_p (f_m=0,10)$	0,1768 N/mm <sup>2</sup>	$Q_p$ met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	0,1248 N/mm <sup>2</sup>	
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,009782 N/mm <sup>3</sup>	
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,049 N/mm <sup>3</sup>	
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	25 mm	
u x $D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$	13 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,147 N/mm <sup>2</sup>	
$Q_k$	36,84 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

LET OP  $Q_k$  is hoger dan  $Q_p$

#### Berekening gereduceerde gronddrukken

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	8,6 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	8,6 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,20 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	0,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,31 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	7,6 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o * B_1 * (\gamma' - c_h / B_1) / (K * \tan \phi_h) * (1 - e^{-(K * h_h * \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	1,51 kN/m
$F_{max} = (h * \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) * 2B_1$	$F_{max}$	36,37 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,15
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 * (3H - 2h) * \alpha) / (2 C * H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 * k_v))))$		
	$F_r$	15,55 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h * \gamma'_h - F_r / 2B_1) * D_o$	$Q_{n,r2}$	9,95 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,26 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	7,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o * B_1 * \gamma') / (K * \tan \phi) * (1 - e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h * h_h * D_o * e^{-(K * h * \tan \phi) / B_1}$		
	$Q_{n,r}$	9,95 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond}$ reken	$Q \times f$	14,30 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	13,16 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,70	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	7,97 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_y/2 \times \sin 60$		18,06 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	8,11 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	4,27 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	4,27 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,53
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,53
	$d_{y1}/2$	4,05 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  7,97 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  7,97 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  7,97 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  7,97 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		klei	
drukloos	$Q_h$	7,97 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_h$	7,97 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	2,59 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	4,32 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	7,17 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	7,17 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f



#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{ toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	---------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

Spl	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
-----	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

	$Q_{\text{grond}}$	14,30 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{\text{grond}} + Q_{\text{eg}} + Q_{\text{vu}} - Q_{\text{op}}) \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	4,44 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	2,80 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-2,87 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q \text{ bodem}$	4,44 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	2,80 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-2,87 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

	$Q_{h, \text{grond}}$	7,17 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	-1,36 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-1,36 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	1,36 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

	$Q_{h, \text{grond}}$	7,17 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	-1,36 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-1,36 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-1,36 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	0
Verkeersbelasting	$P_v$	0,00 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		1,24291E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rt} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	nvt	
	$S_{rt}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 \cdot S \cdot De$	20,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D \left( (0.113 \cdot Q - 0.096 \cdot 0.866 \cdot Q_{n,h} + 0.071 \cdot Q_{indir}) \cdot rg^3 \right) / (E' \cdot lw + 0.061 \cdot kh \cdot x \cdot rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	5,1 mm	
	2,0 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E \cdot lw / Dg^3$	24,90 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,90 N/mm <sup>2</sup> 18,97 bar 189,72 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,37 bar 23,72 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	4,44	2,80	2,87 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-1,36	-1,36	-1,36 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	3,09	1,44	1,52 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a \cdot i_x \cdot S_{b,x} + S_{T;x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a \cdot (S_y max + i_y \cdot S_{b,x})$	2,01	0,94	0,99 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	25	12	12 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	2,0 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>			
	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>			
	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,00	0,00	0,00
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	0,01	0,04	0,04
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-05 150kV HDD1 en 2, punt met grootste dekking</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>18,20</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>0</b>	
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995 alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>250</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>onder</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>20,2</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>17</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b>	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>gered. pleistoceen</b>	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>6,5</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>30</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model (+ is trek)			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	502,38 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	55,21 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	90,9 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	181,8 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	18,2 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,21 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,10 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	18,2 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,43 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$43,38 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,1160 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	0,3	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	4 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	0,3 % $D_o$	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	-------------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Qn	f	1,10
Totaal factor Qp	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	41,28 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	41,28 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa      veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		5 mm
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		4 mm
$z_{\text{max reken}}$		5 mm
$q_n$	0,2064	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	2,2910	N/mm <sup>2</sup> Qp met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	2,0846	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,419007	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058	N/mm <sup>3</sup>
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	20 mm	
u x $D_o \leq z_{\text{max reken}}$	5 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,279	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	55,71	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP Qk is hoger dan Qp

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	8,6 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	8,6 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m



Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	11,6 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	12,6 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o * B_1 * (\gamma' - c_h / B_1) / (K * \tan \phi_h) * (1 - e^{-(K * h_h * \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	1,90 kN/m
$F_{max} = (h * \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) * 2B_1$	$F_{max}$	48,59 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,15
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 * (3H - 2h) * \alpha) / (2 C * H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 * k_v))))$		
	$F_r$	27,51 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h * \gamma'_h - F_r / 2B_1) * D_o$	$Q_{n,r2}$	10,45 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,21 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	7,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o * B_1 * \gamma') / (K * \tan \phi) * (1 - e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h * h_h * D_o * e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	1,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. pleistoceen	
$Q_{grond\ reken}$	$Q \times f$	1,10 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	41,42 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,50	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	17,93 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_y/2 \times \sin 60$		1,30 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	0,61 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	-7,97 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	-7,97 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	-12,97
	$d_{y2}'/d_{y1}$	-12,97
	$d_{y1}/2$	0,31 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  17,93 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  17,93 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  17,93 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  17,93 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_h$	17,93 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_h$	17,93 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	0,26 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	4,61 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,26 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	0,23 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_{m, \text{toel}}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	----------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$Q_{grond}$	1,10 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	0,42 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,27 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,27 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$			
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q \text{ bodem}$	0,42 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ top}$	0,27 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ zijden}$	-0,27 N/mm <sup>2</sup>	

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	0,23 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	-0,06 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-0,06 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,06 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	0
Verkeersbelasting	$P_v$	0,00 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,11121E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,05 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,05 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	onder	
	$S_{rl}$	0,12 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * I_w + 0.061 * k_h * r_g^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	0,6 mm	
	0,3 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * I_w / Dg^3$	25,08 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,91 N/mm <sup>2</sup> 19,11 bar 191,11 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,39 bar 23,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	0,42	0,27	0,27 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,06	-0,06	-0,06 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,10	0,05	0,05 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	0,47	0,26	0,27 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,12	-0,12	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,12	-0,12	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	<b>0,08</b>	<b>-0,08</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	1	1	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_y max + i_y * S_{b,x})$	<b>0,31</b>	<b>0,17</b>	<b>0,18</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	4	2	2 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	0,3 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b;x} + S_{T;x}$	0,05	-0,05	0,00
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b;x})$	0,04	0,20	0,21
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-05 150kV HDD1 en 2, punt met diepte van 8x de gatdiameter</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>18,20</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>0</b>	
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995 alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>0</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>nvt</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>5,1</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>15</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>klei</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>neutraal</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>1,5</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>17,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>veld</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model (+ is trek)			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>rechte leiding</b>	
		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	502,38 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	55,21 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	90,9 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	181,8 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	18,2 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,21 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,10 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	18,2 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,43 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$43,38 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	1,60	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0928 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde



## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	1,6	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	19 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	1,6 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Qn	f	1,10
Totaal factor Qp	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	8,10 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	8,10 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal	veen	
E-modulus aanvulmateriaal	1 MPa	veen: 0,2; klei:1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	10 mm	
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	8 mm	
$z_{\text{max reken}}$	10 mm	
$q_n$	0,0405 N/mm <sup>2</sup>	
$q_p (f_m=0,10)$	0,1438 N/mm <sup>2</sup>	Qp met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	0,1033 N/mm <sup>2</sup>	
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,010430 N/mm <sup>3</sup>	
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058 N/mm <sup>3</sup>	
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	20 mm	
u x $D_o \leq z_{\text{max reken}}$	10 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,122 N/mm <sup>2</sup>	
$Q_k$	24,37 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

LET OP Qk is hoger dan Qp

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	8,6 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	8,6 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	0,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	6,7 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma' - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,60 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	27,13 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,15
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	12,64 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	6,47 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,21 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	7,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	6,47 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond\ reken}$	$Q \times f$	8,91 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	8,20 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,70	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	4,97 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $D_o \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = D_o \times 2k_r/3 \times d_y/2 \times \sin 60$		10,58 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	5,01 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	2,64 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	2,64 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,53
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,53
	$d_{y1}/2$	2,51 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  4,97 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  4,97 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  4,97 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  4,97 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		klei	
drukloos	$Q_n$	4,97 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	4,97 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	1,69 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	2,76 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times D_o \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	4,47 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	4,47 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m$ , toel	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	--------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$Q_{grond}$	8,91 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	3,45 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	2,17 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-2,23 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$			
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q$ bodem	3,45 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ top	2,17 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ zijden	-2,23 N/mm <sup>2</sup>	

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h,grond}$	4,47 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	-1,05 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-1,05 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	1,05 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h,grond}$	4,47 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	-1,05 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-1,05 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-1,05 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	0
Verkeersbelasting	$P_v$	0,00 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		1,88832E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$		
	$S_r$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	nvt	
	$S_{rl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	$Q$	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * l_w + 0.061 * k_h * x * rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	3,2 mm	
	1,6 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * l_w / Dg^3$	25,08 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,91 N/mm <sup>2</sup> 19,11 bar 191,11 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,39 bar 23,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	3,45	2,17	2,23 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-1,05	-1,05	-1,05 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	2,39	1,12	1,18 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_y max + i_y * S_{b,x})$	1,56	0,73	0,76 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	19	9	10 % < 100%

Deflectie	
Deflectie	1,6 % van uitwendige diameter

Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,00	0,00	0,00
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	1,06	0,73	0,76
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%



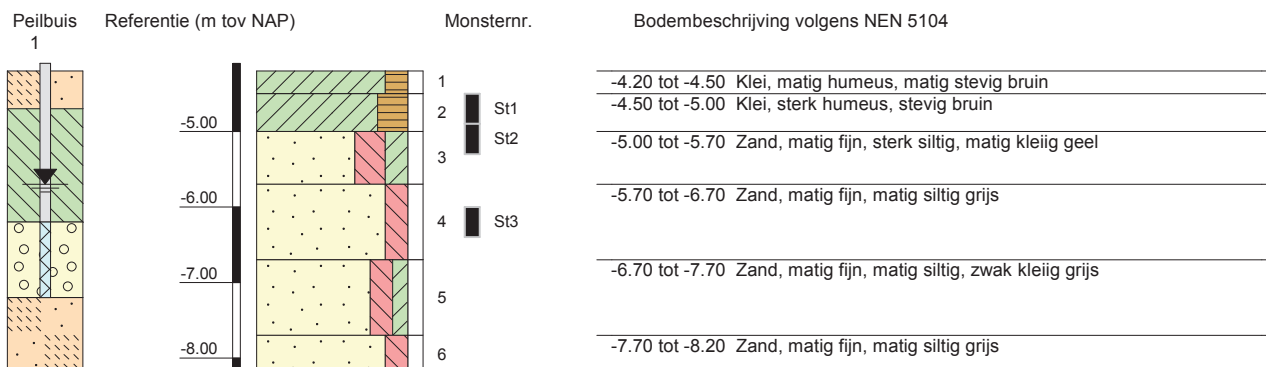


## 4.5 Grondonderzoek

### Boring: HB111

### Veldclassificatie

Pagina 1 van 1



#### Algemene opmerking:

X: 103729.530	GWS (m tov NAP):	MV (m tov NAP): -4.20	Boorvloeistof:	
Y: 481269.022	GHG (m tov NAP):	bk PB1 (m tov NAP): -4.10	WS PB1 (m tov NAP): -5.70	Datum uitvoering: 08-12-2012
Coördinatenstelsel: RD	GLG (m tov NAP):	bk PB2 (m tov NAP):	WS PB2 (m tov NAP):	Boormeester: ahd
		bk PB3 (m tov NAP):	WS PB3 (m tov NAP):	Geclassificeerd door: ahd

**BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1**

Fugro GeoServices B.V.

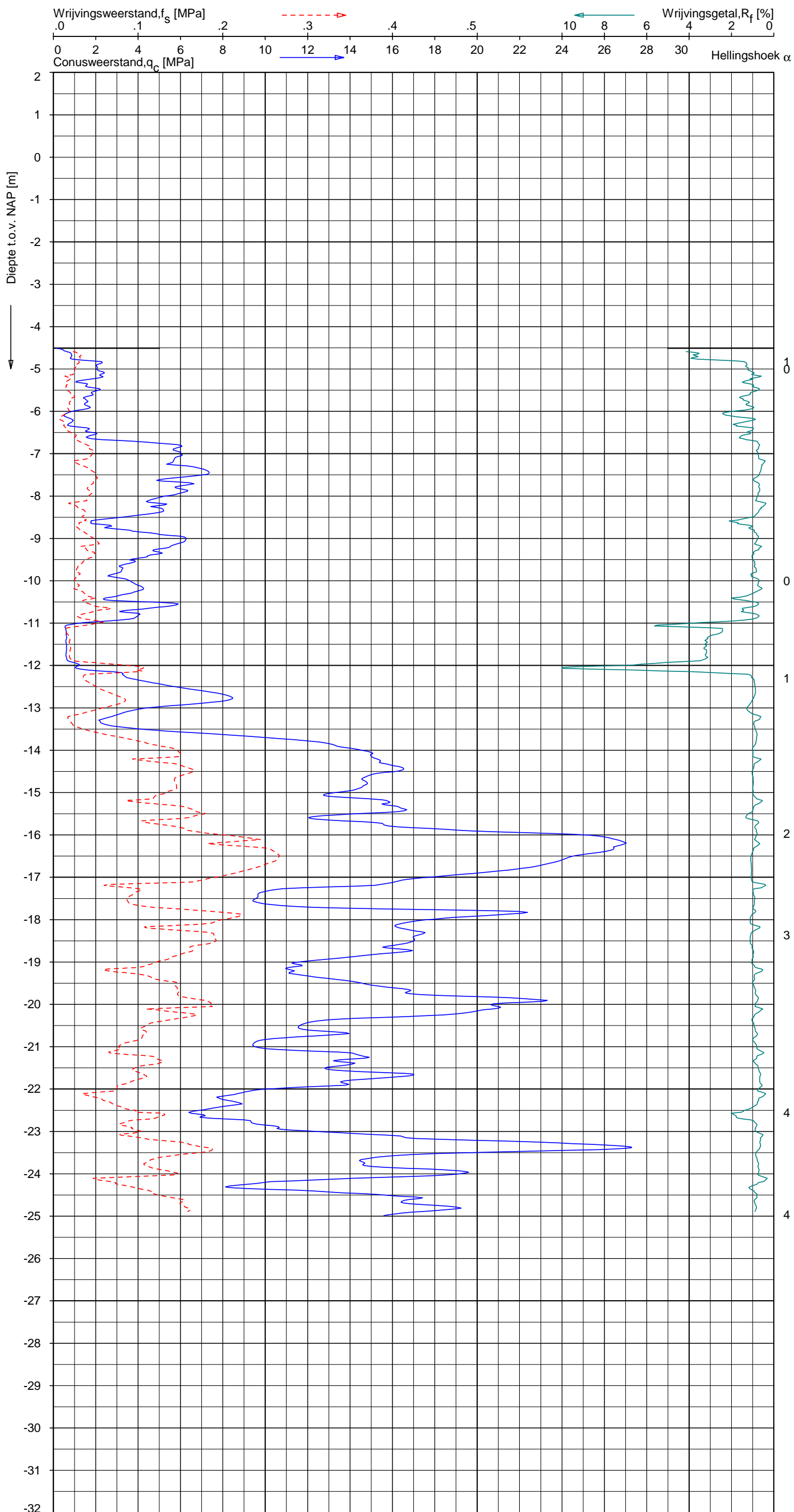
Geotechnisch onderzoek project R380 Noordring-zuid

**1010-0117-003**

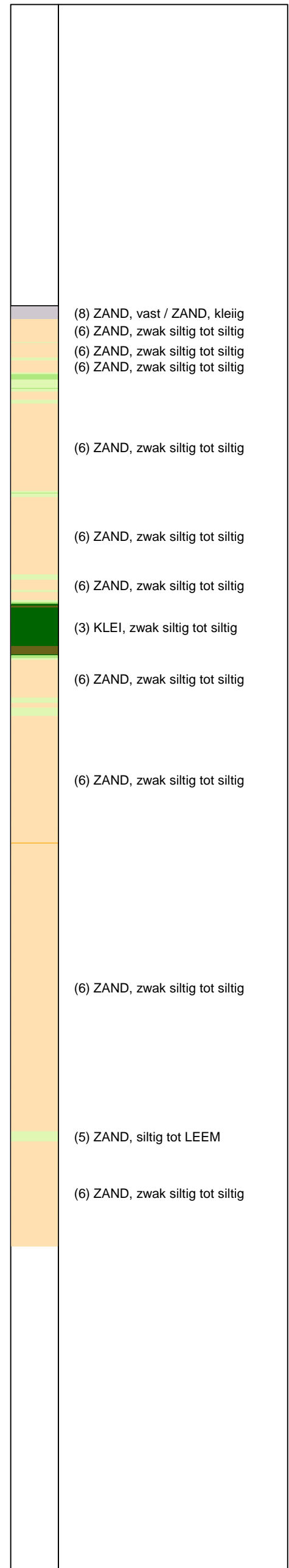
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:23:10

1010-0117-003

DKM1038 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 09-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 104268.1  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.51 m Y = 481741.1

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

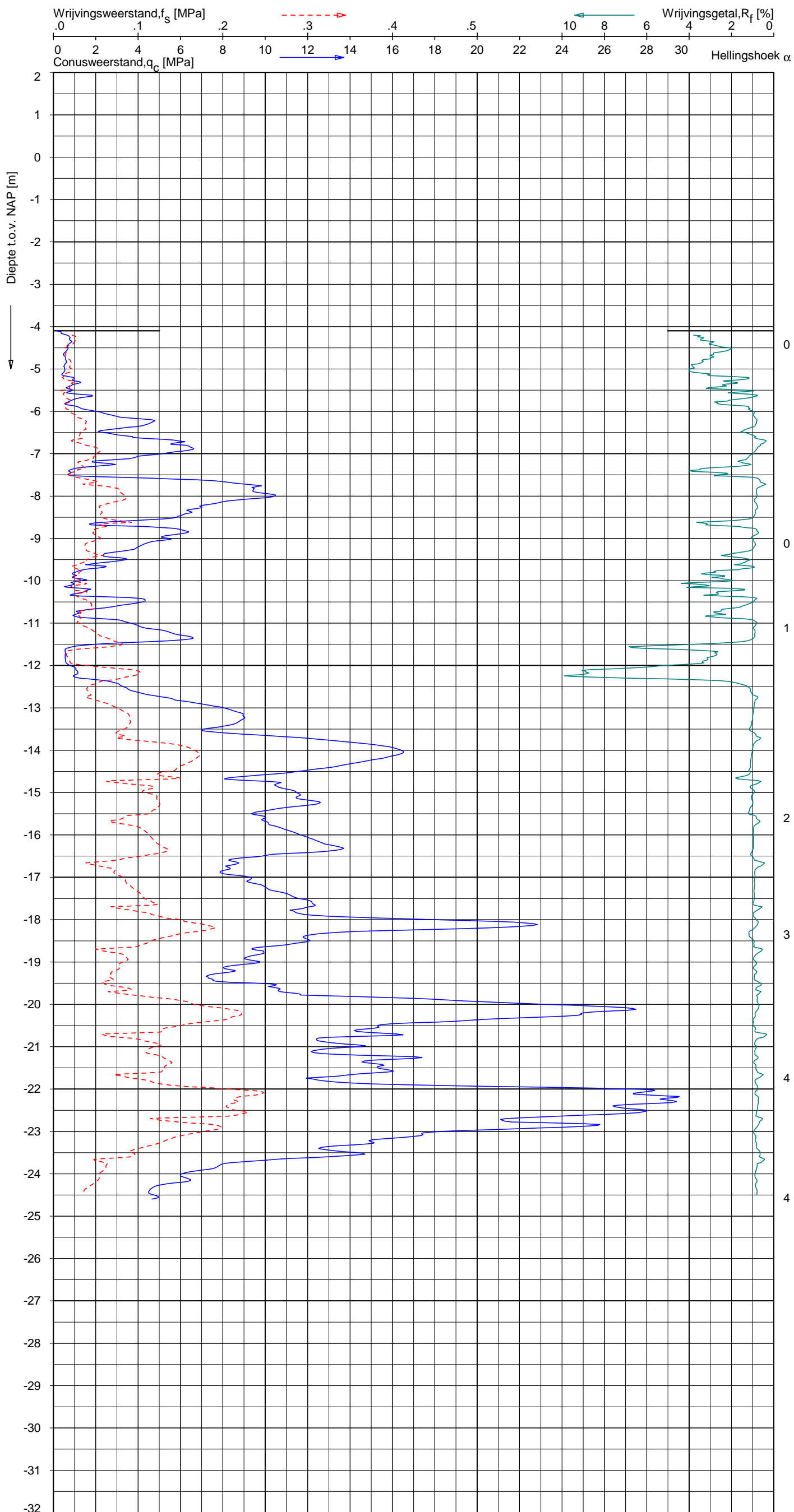
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1038

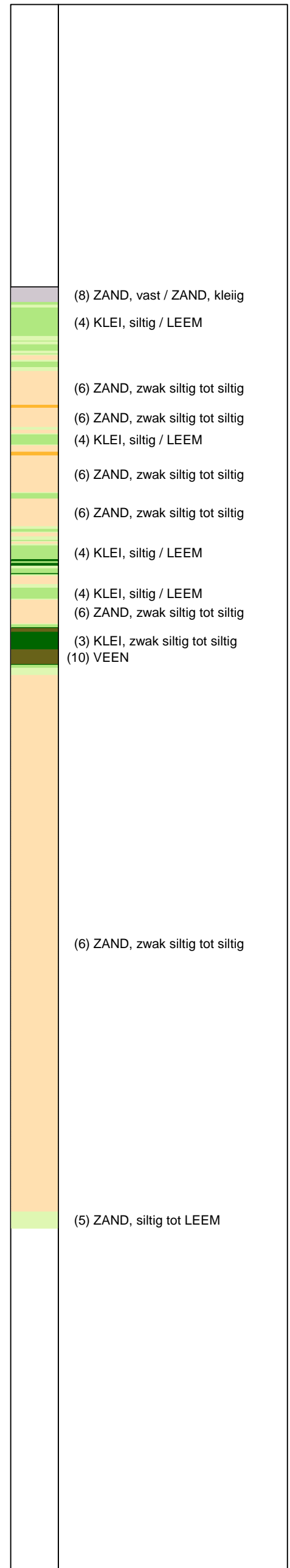
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-23 16:44:28

1010-0117-003

DKM1040 - 1



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



Opg.: JBL/MW d.d. 13-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HA/B X = 104168.5  
 Get.: VALKF d.d. 2012-11-23 MV = NAP -4.10 m Y = 481711.9  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



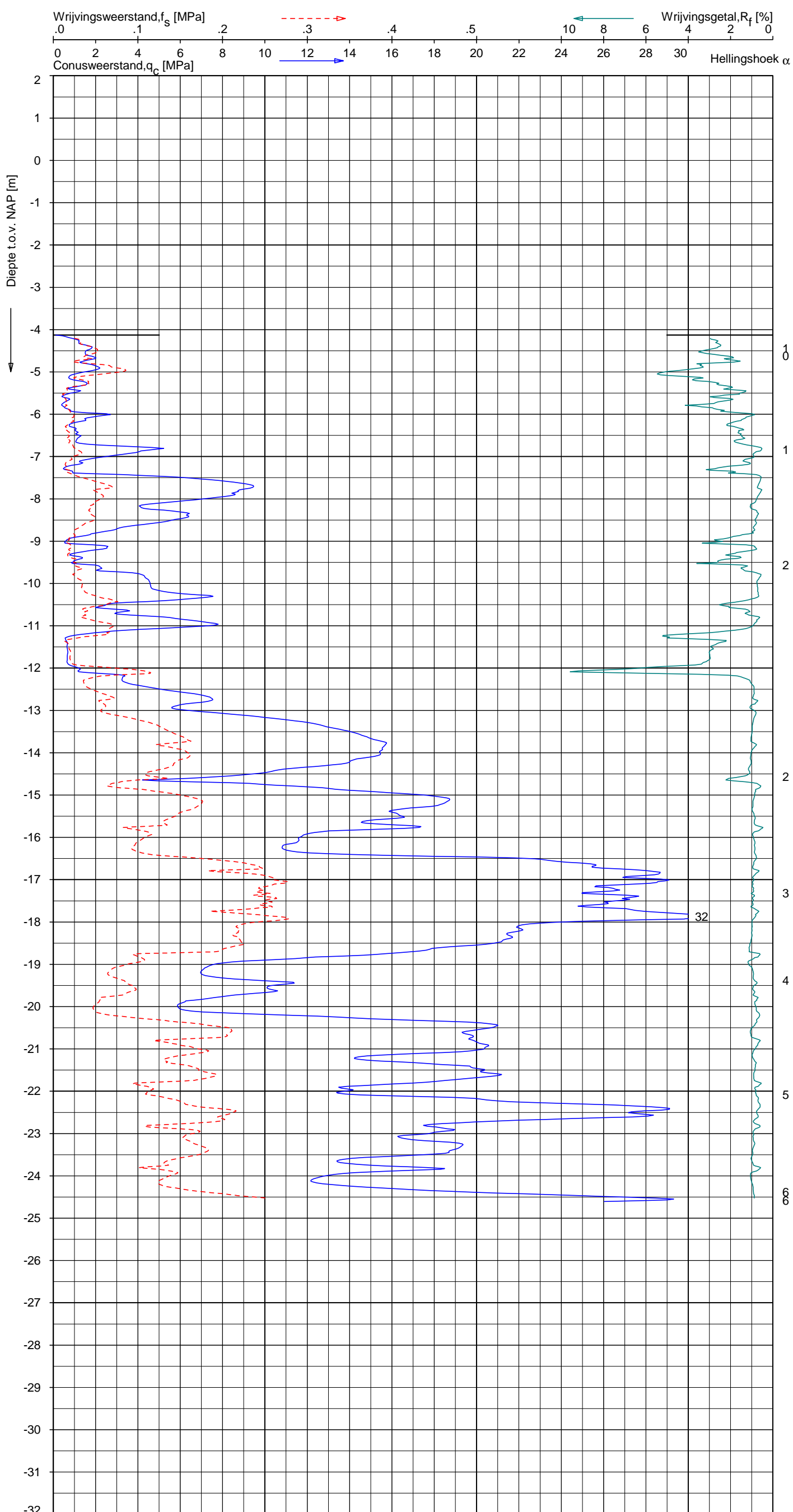
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1040

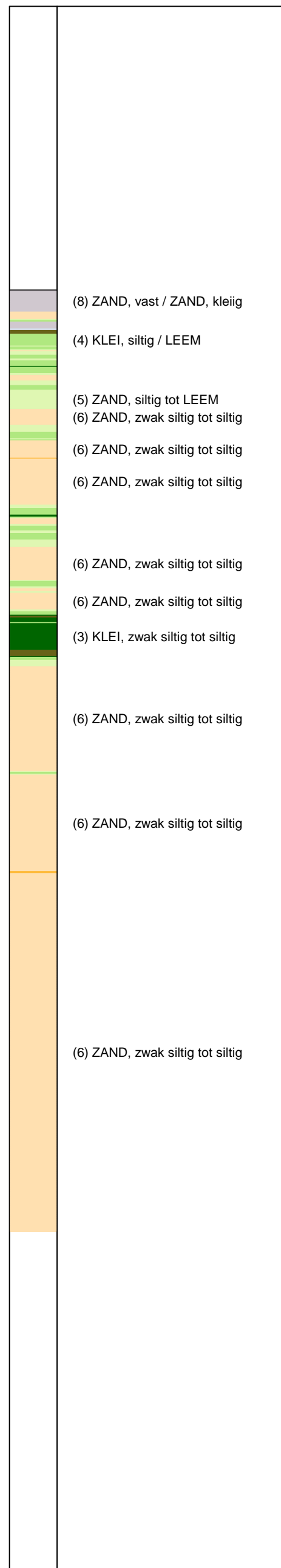
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-23 16:44:30

1010-0117-003

DKM1041 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 13-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 104210.8  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-23 MV = NAP -4.13 m Y = 481673.8

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

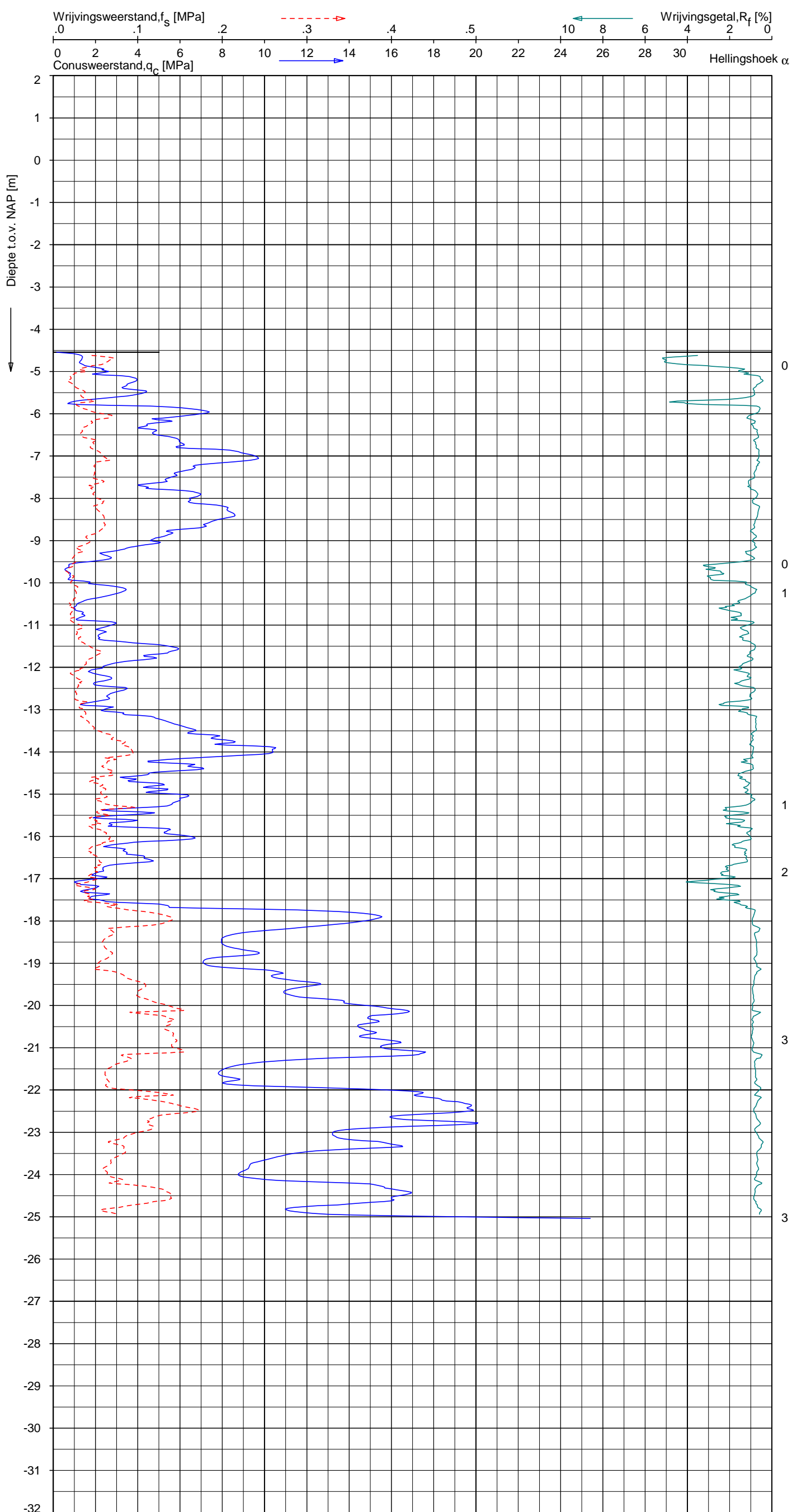
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1041

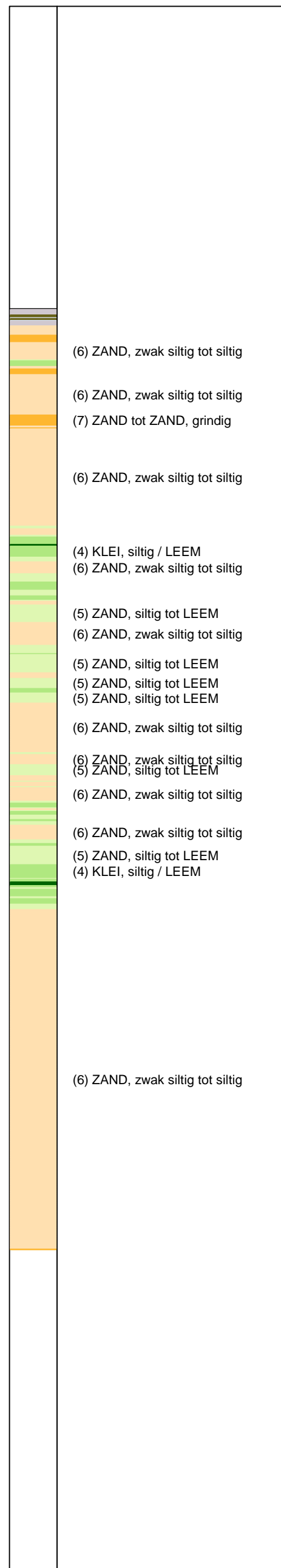
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-22 16:48:01

1010-0117-003

DKM1043 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 13-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 104032.2  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-22 MV = NAP -4.54 m Y = 481634.4

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



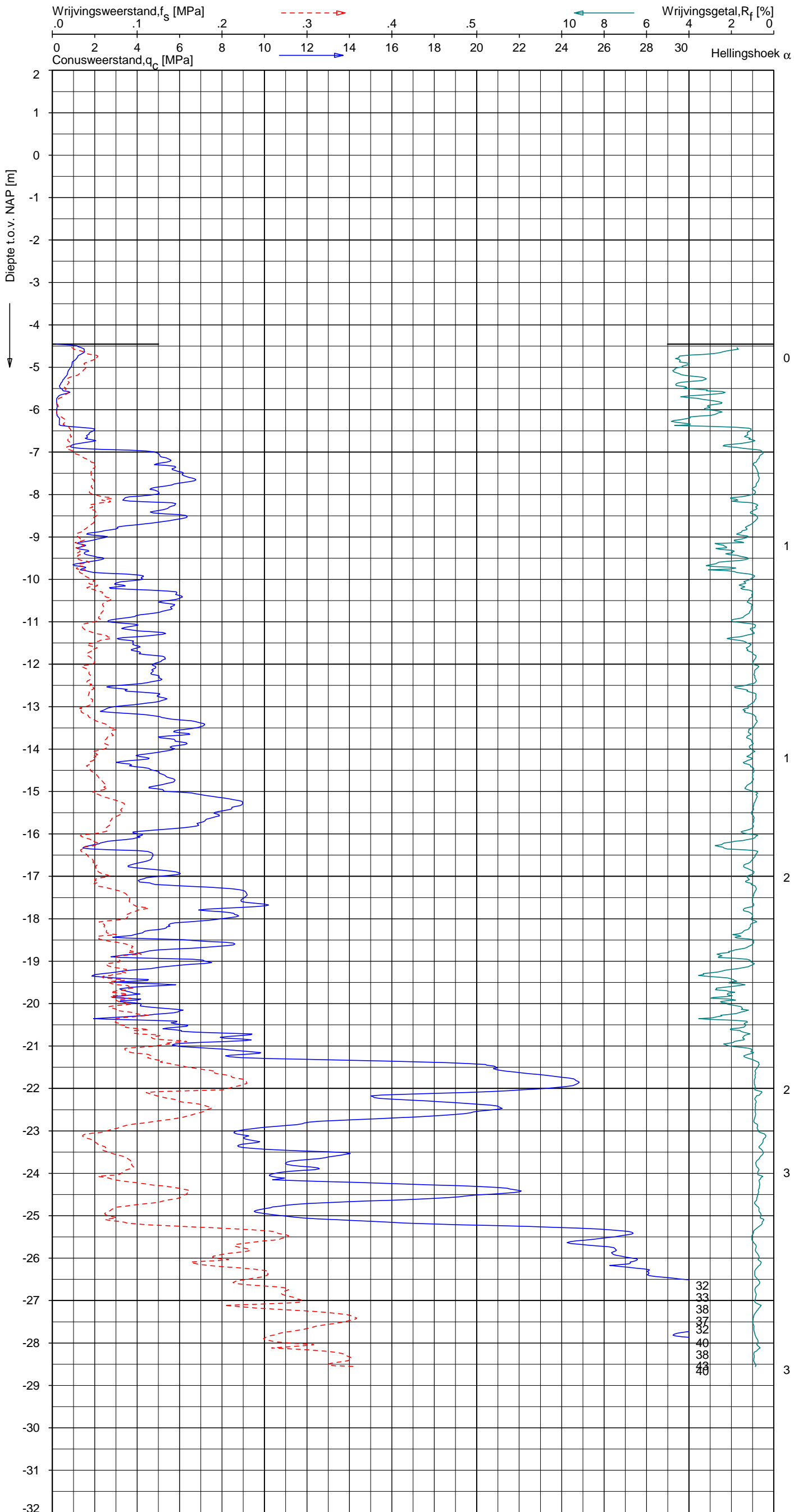
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1043

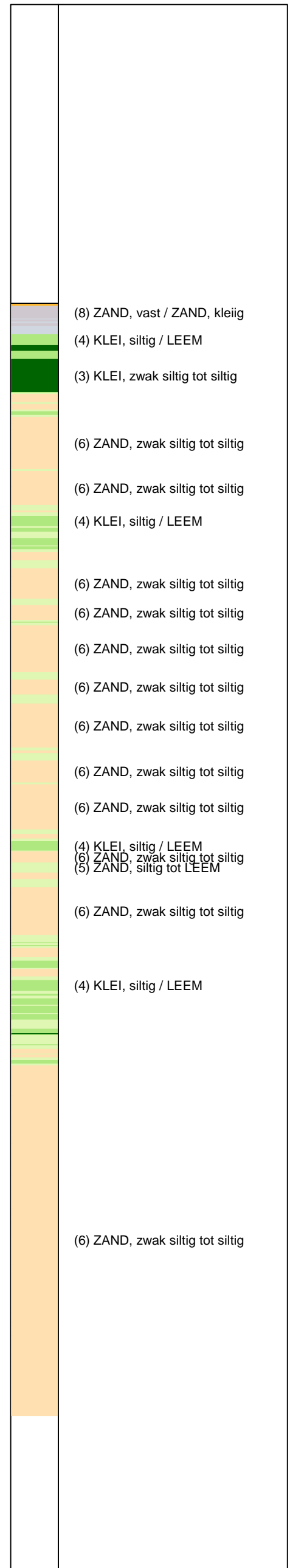
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-22 16:48:04

1010-0117-003

DKM1046 - 1



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



Opg.: JBL/MW d.d. 14-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HA/B X = 103952.8  
 Get.: VALKF d.d. 2012-11-22 MV = NAP -4.46 m Y = 481452.9  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



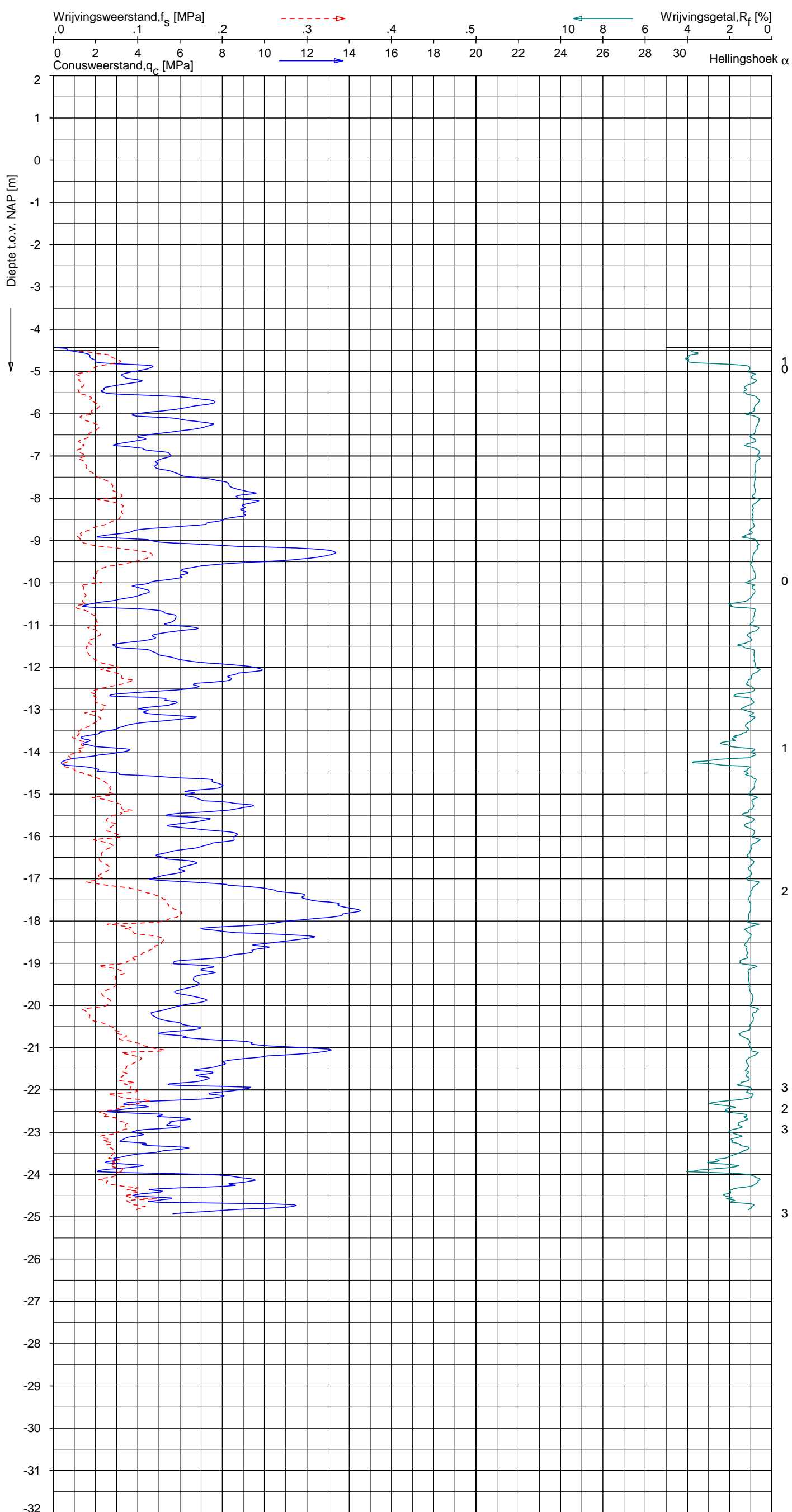
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1046

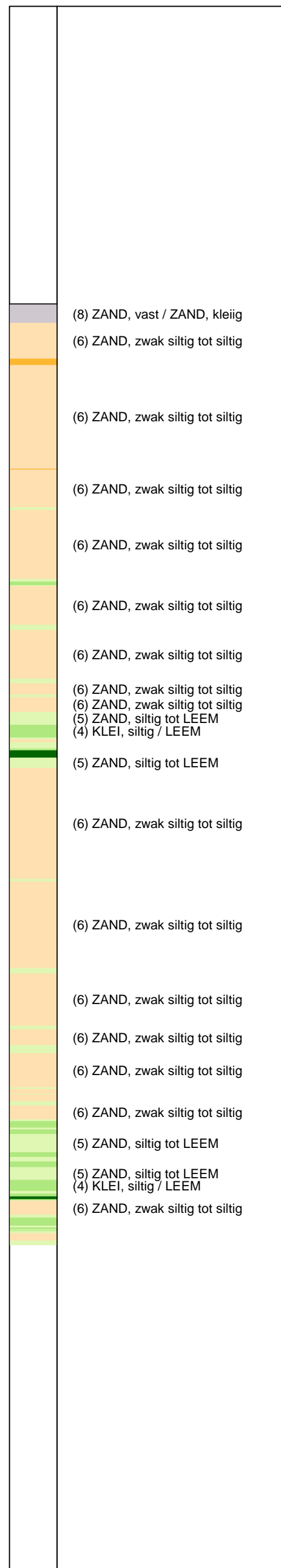
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-22 16:48:07

1010-0117-003

DKM1048 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 14-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 103861.1  
 Get. : UNISTART d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.44 m Y = 481376.7

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

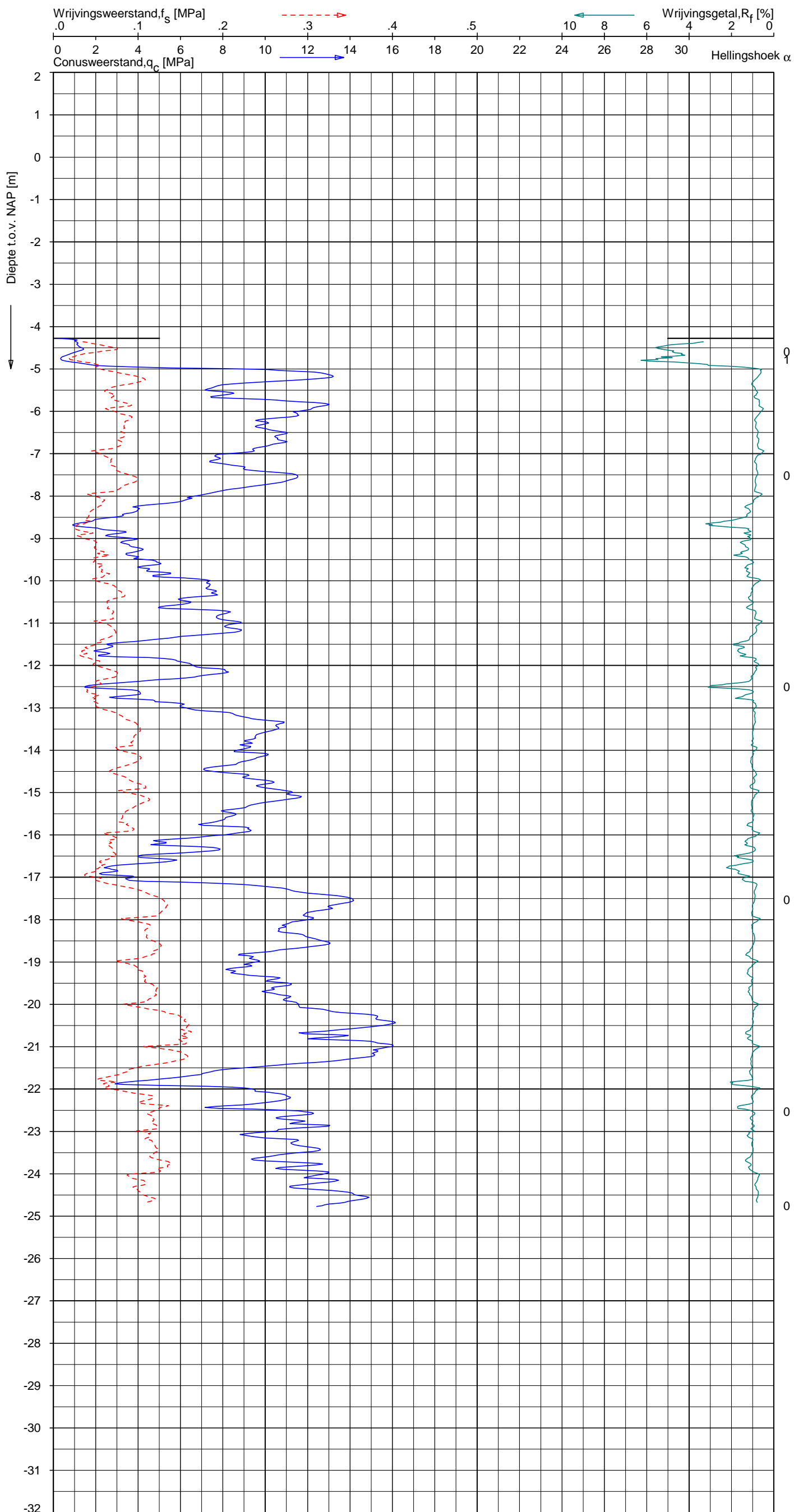
Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1048



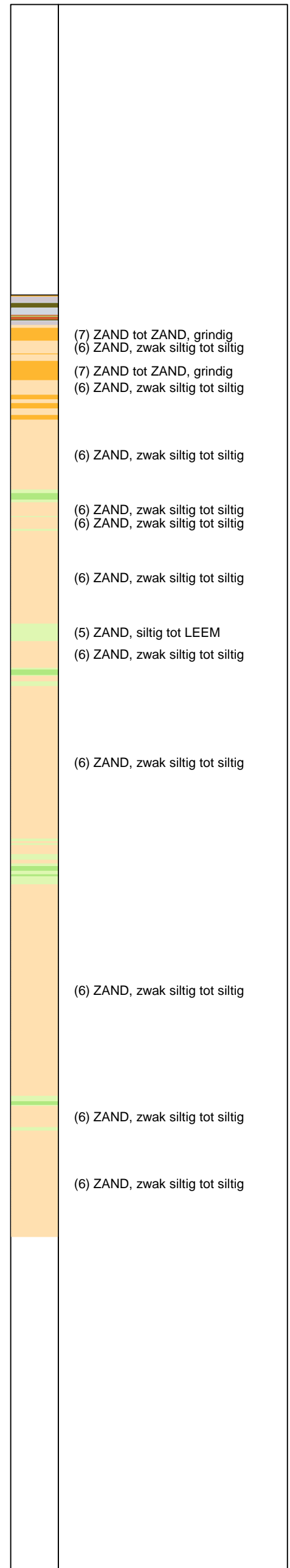
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-22 16:48:09

1010-0117-003

DKM1049 - 1



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



Opg.: JBL/MW d.d. 15-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HA/B X = 103721.5  
 Get.: UNISTART d.d. 2012-11-15 MV = NAP -4.28 m Y = 481255.3  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

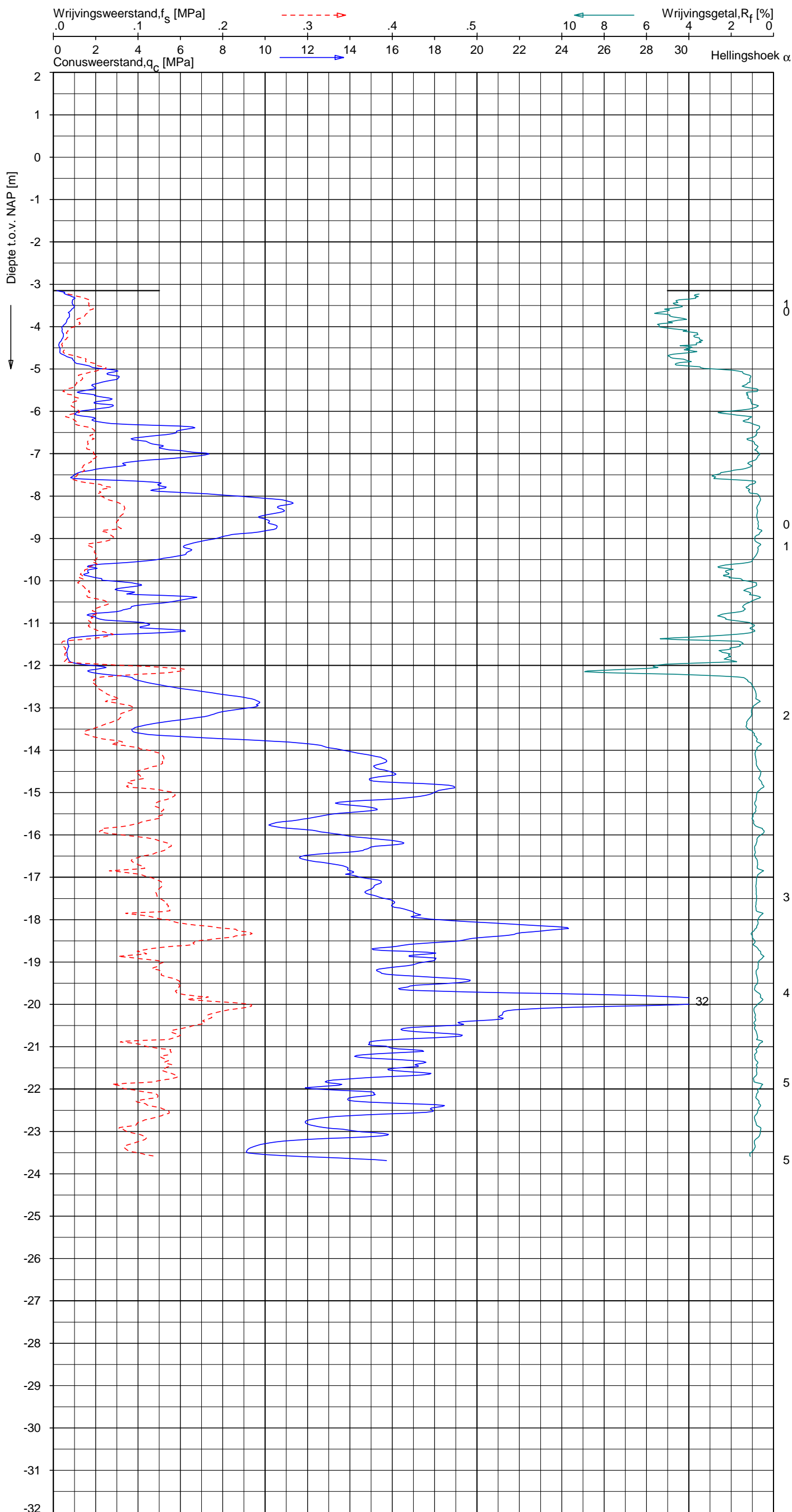
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1049

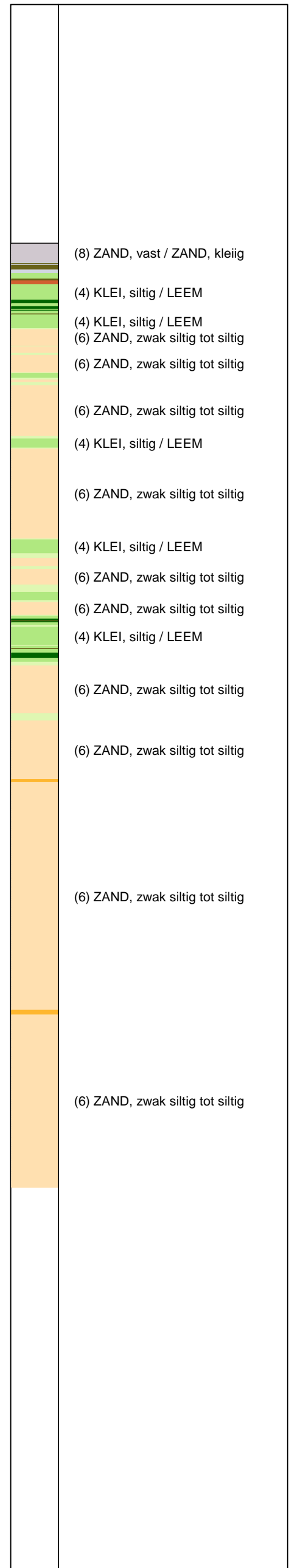
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-23 09:15:57

1010-0117-003

DKMP1039 - 1



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



Opg.: JBL/MW d.d. 13-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 104194.4  
 Get.: VALKF d.d. 2012-11-23 MV = NAP -3.15 m Y = 481739.6

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

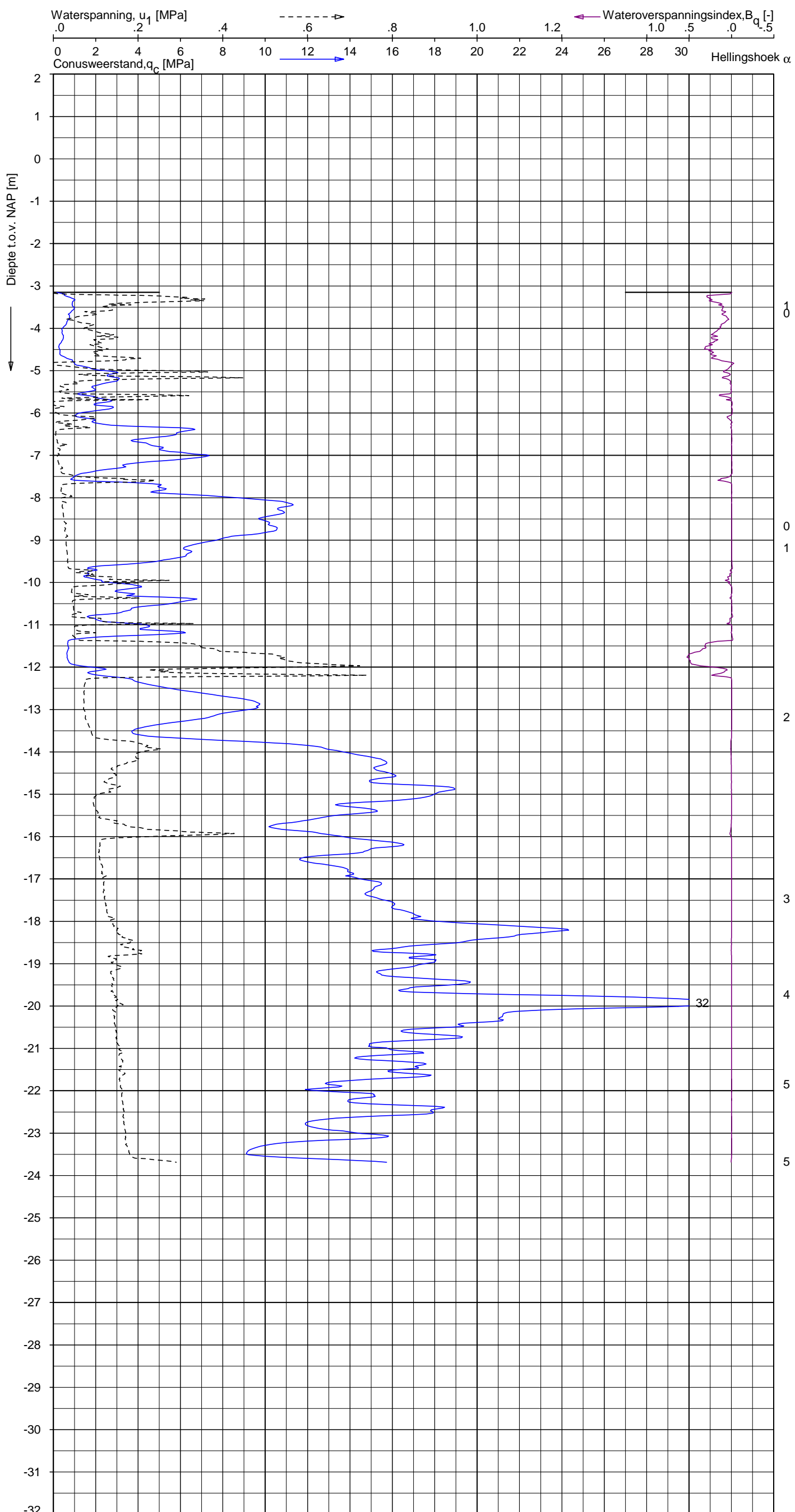
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1039

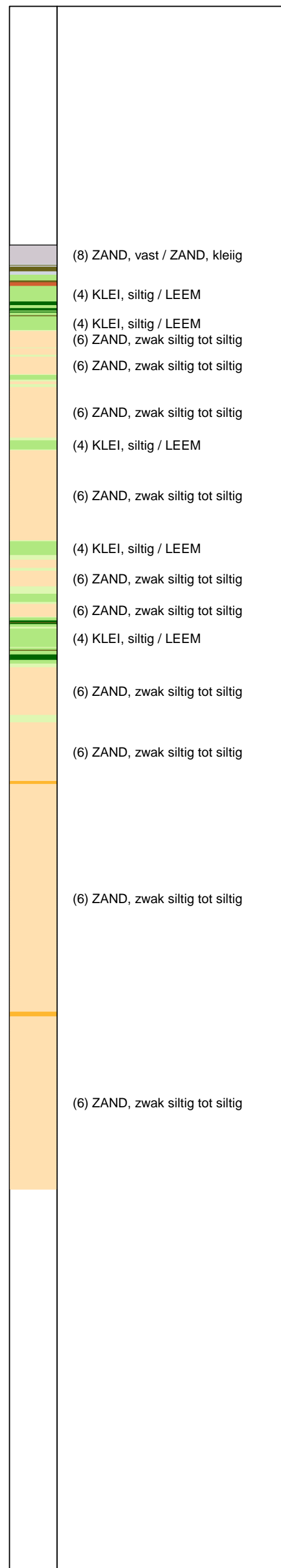
UNIPLOT 05.19.nl / Qcd\1\Class-N3.cmd / 2012-11-23 09:19:05

1010-0117-003

DKMP1039 - 1



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



Opg.: JBL/MW d.d. 13-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 104194.4  
 Get.: VALKF d.d. 2012-11-23 MV = NAP -3.15 m Y = 481739.6

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

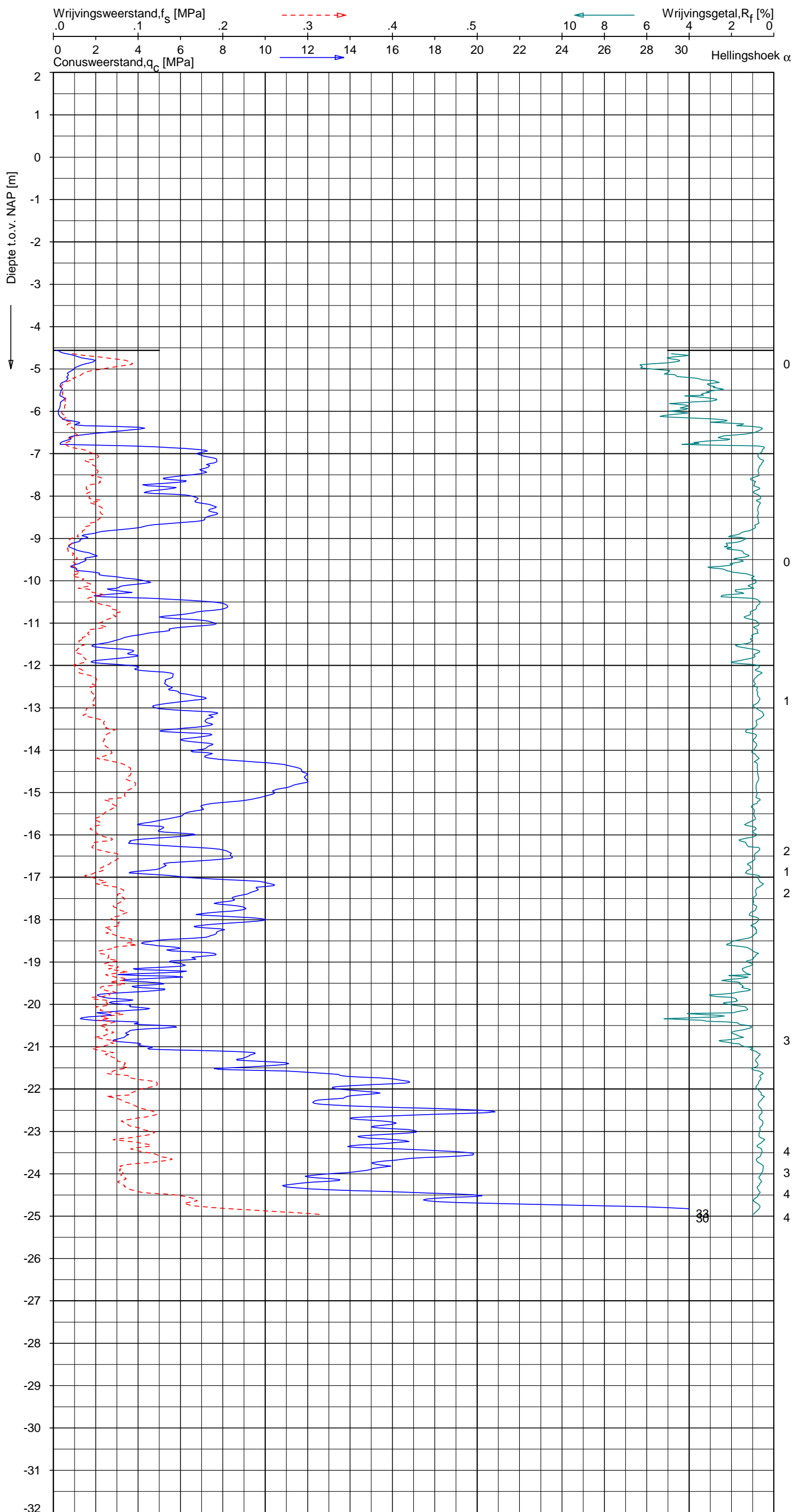
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1039

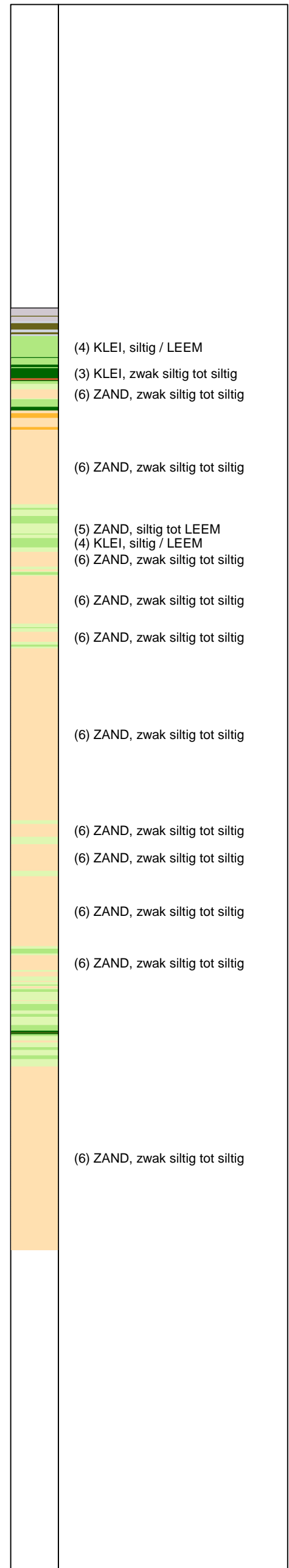
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-23 09:16:00

1010-0117-003

DKMP1045 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 14-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103960.2  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-23 MV = NAP -4.56 m Y = 481494.5  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



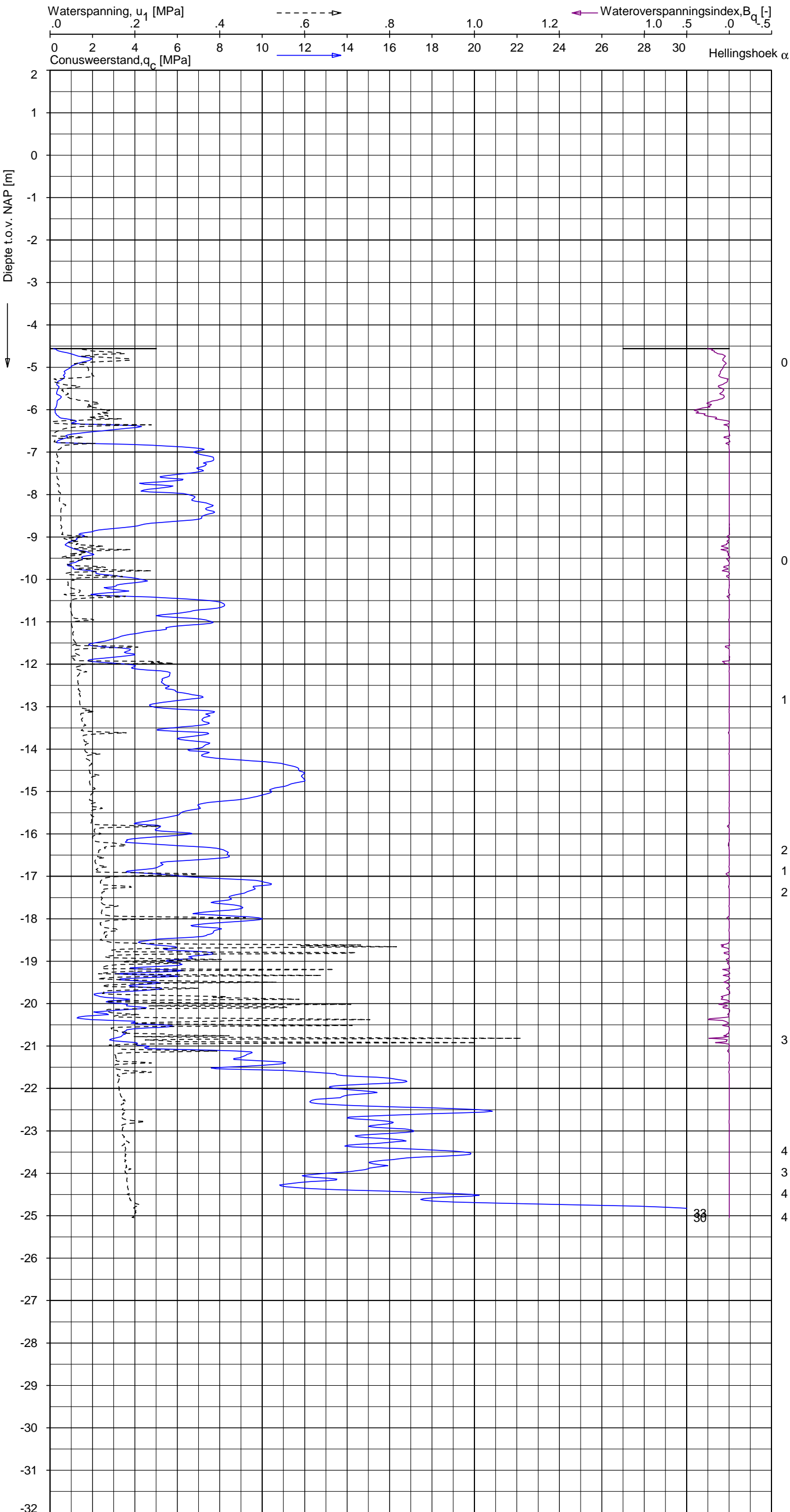
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1045

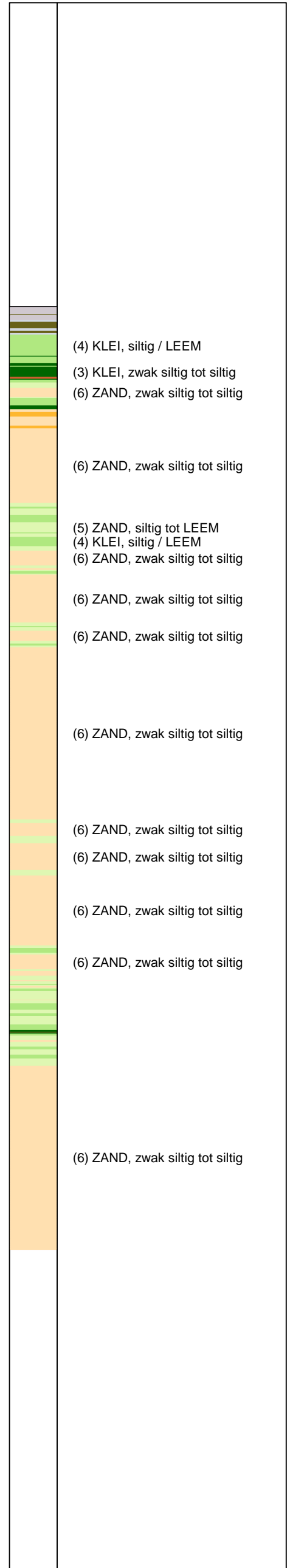
UNIPLOT 05.19.nl / Qcd\Class-N3.cmd / 2012-11-23 09:19:07

1010-0117-003

DKMP1045 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 14-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103960.2 Y = 481494.5  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-23 MV = NAP -4.56 m  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

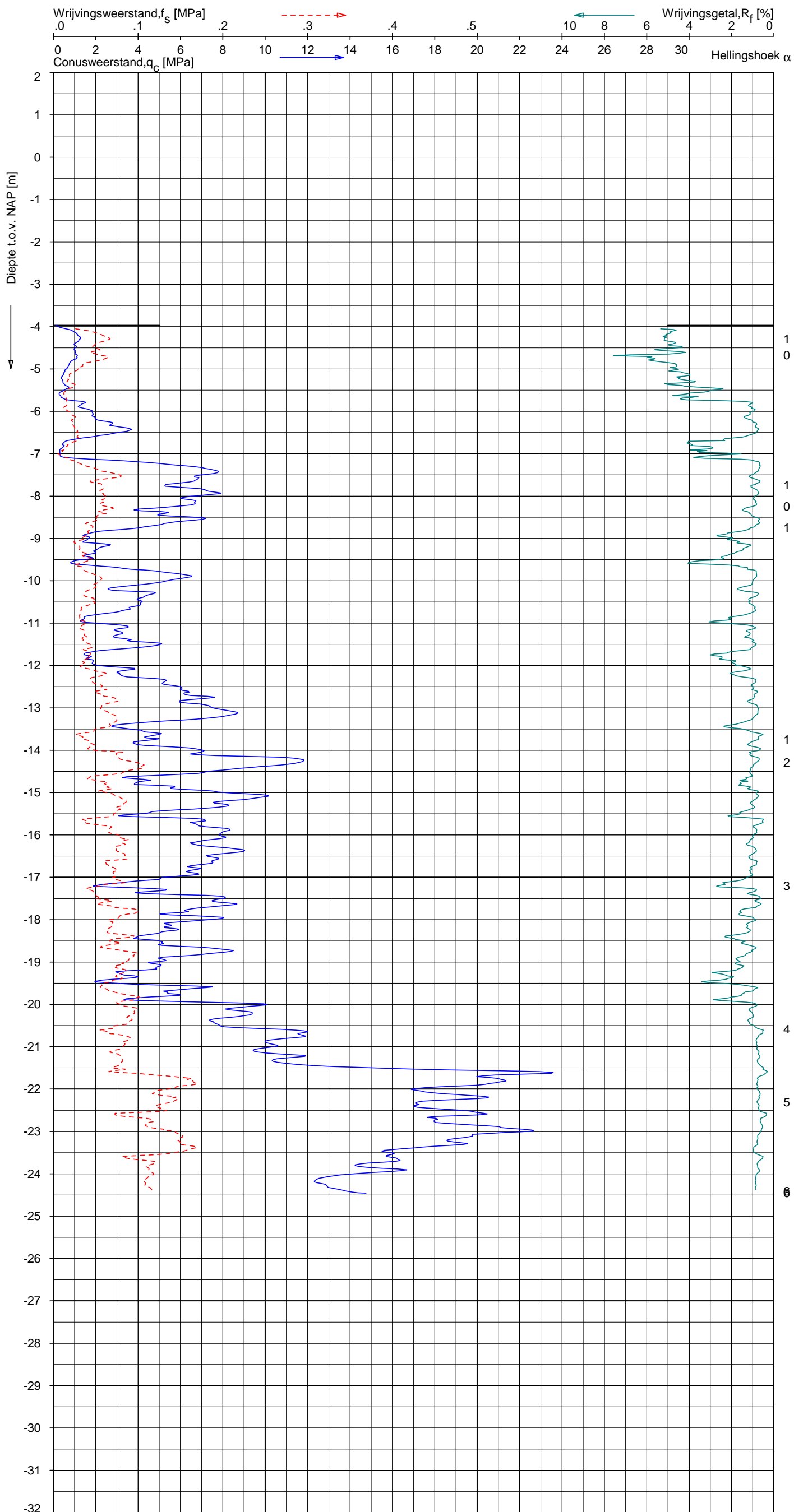
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1045

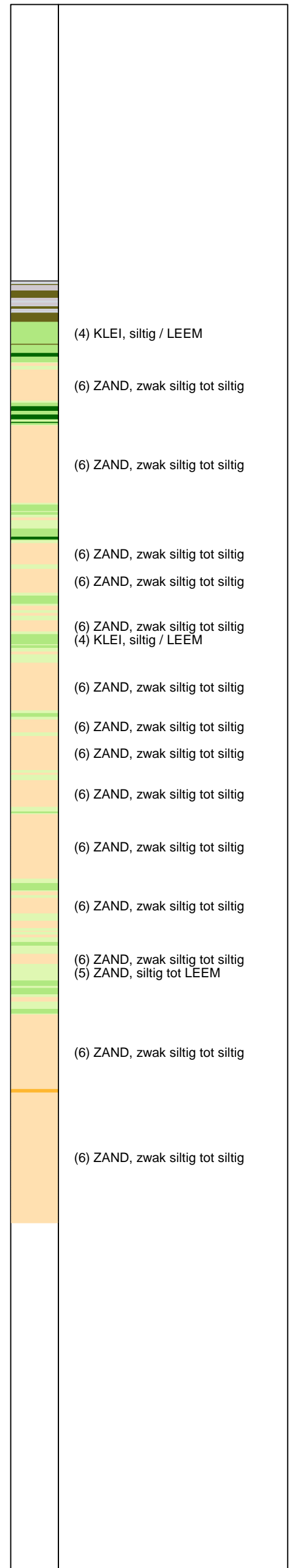
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-23 09:16:02

1010-0117-003

DKMP1047 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 14-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103946.5  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-23 MV = NAP -3.97 m Y = 481378.4

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

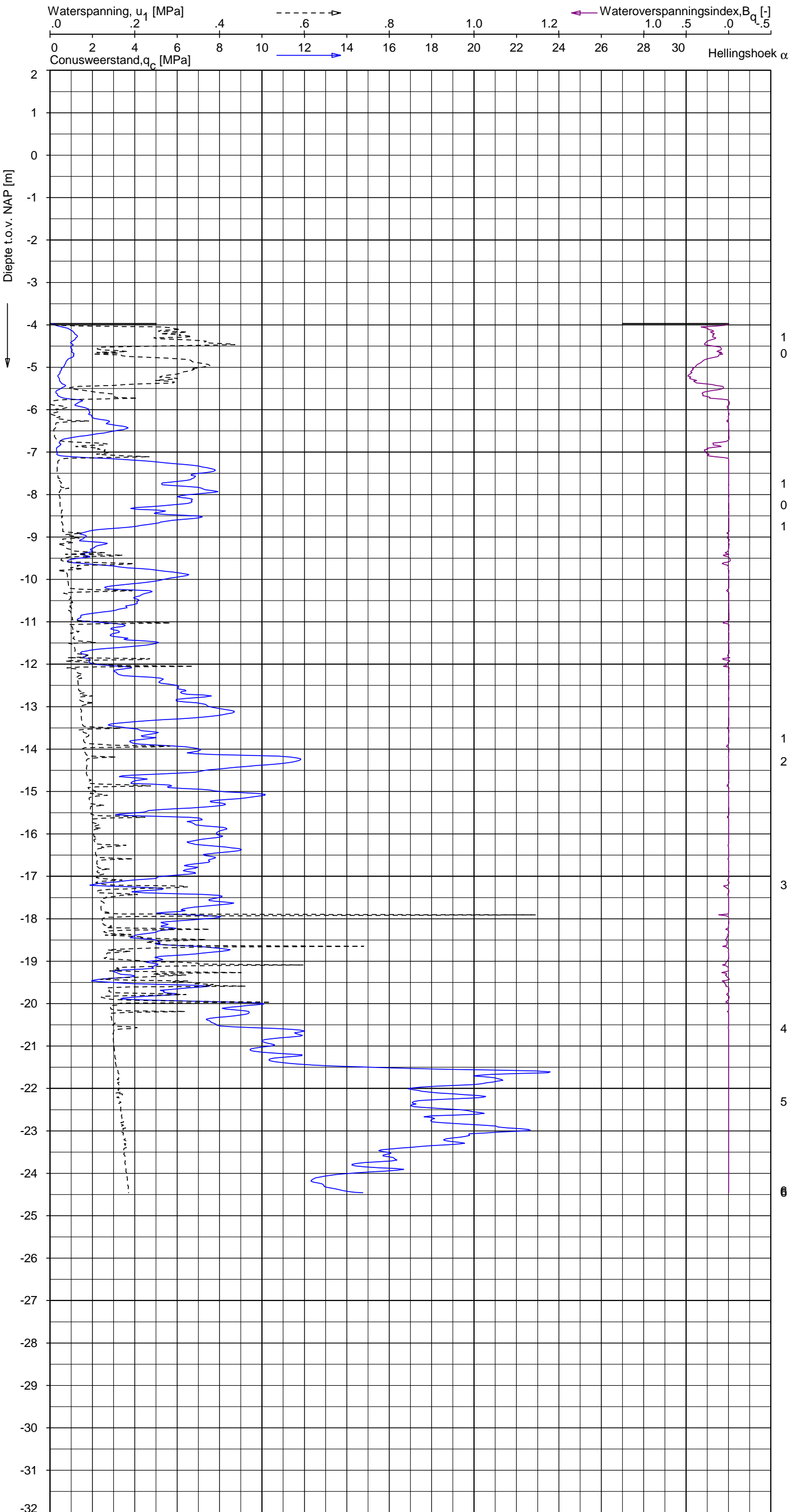
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1047

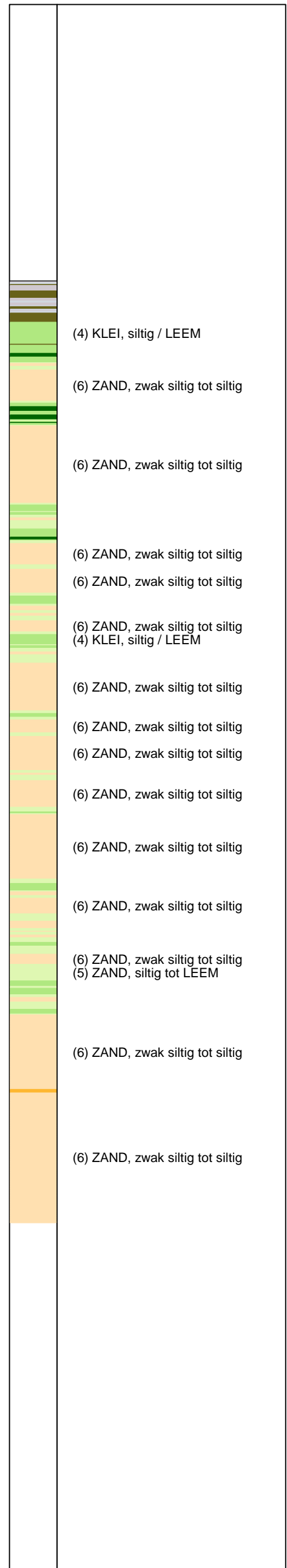
UNIPLOT 05.19.nl / QcU1Class-N3.cmd / 2012-11-23 09:19:10

1010-0117-003

DKMP1047 - 1



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



Opg.: JBL/MW d.d. 14-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103946.5  
 Get.: VALKF d.d. 2012-11-23 MV = NAP -3.97 m Y = 481378.4

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

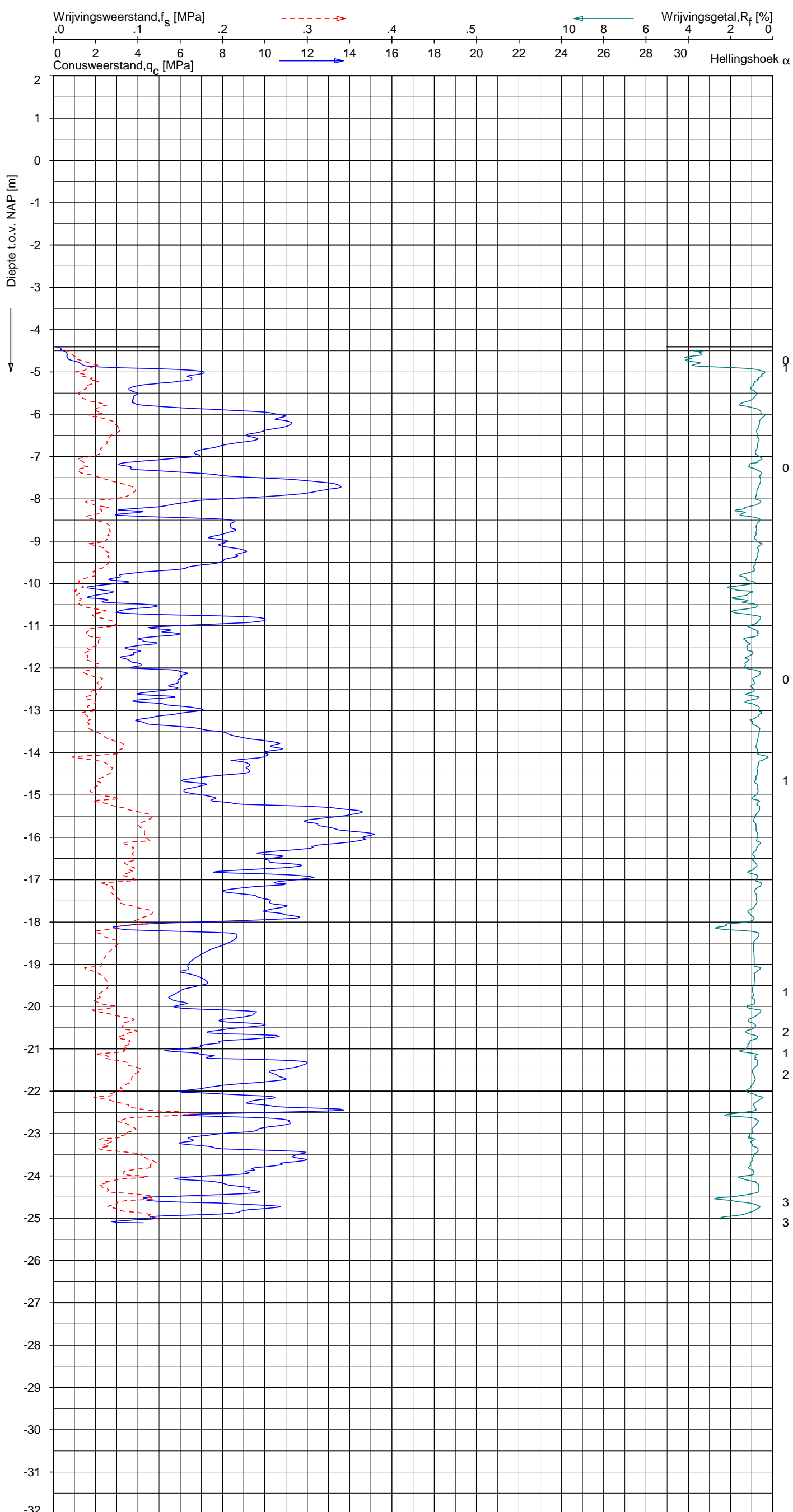
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1047

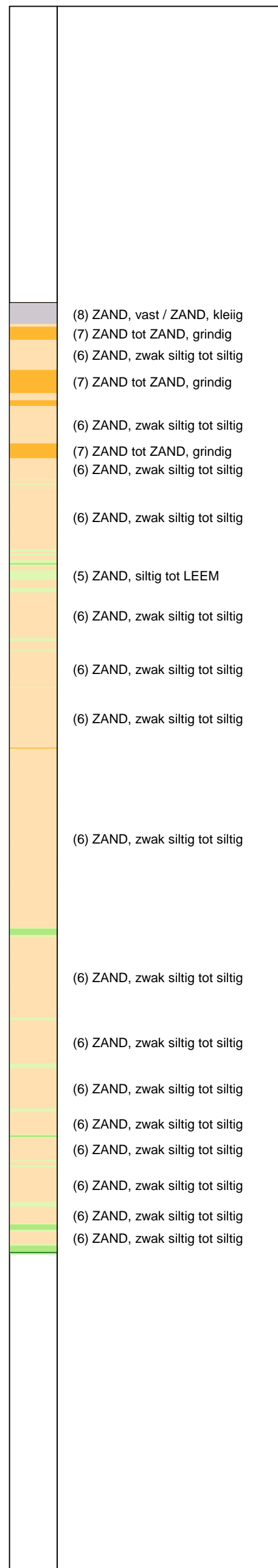
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-23 09:16:05

1010-0117-003

DKMP1050 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 15-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103723.3  
 Get. : UNISTART d.d. 2012-11-15 MV = NAP -4.40 m Y = 481109.5

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

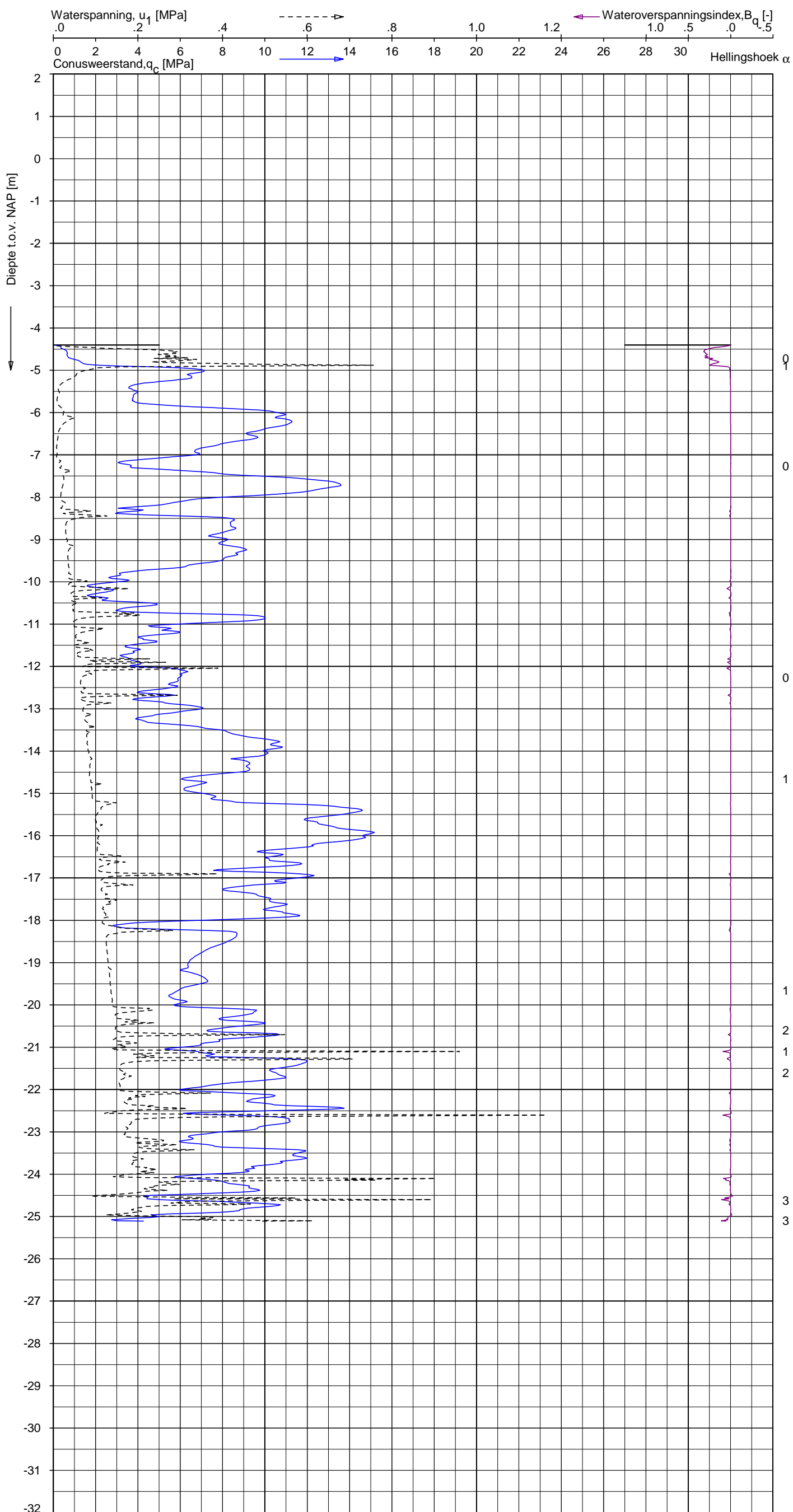
Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1050



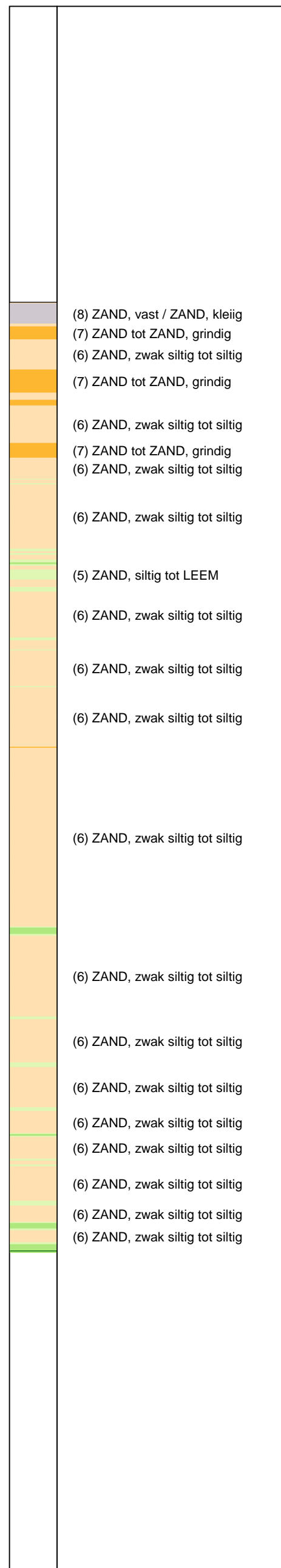
UNIPLOT 05.19.n / QcU1Class-N3.cmd / 2012-11-23 09:19:13

1010-0117-003

DKMP1050 - 1



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



Opg.: JBL/MW d.d. 15-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103723.3  
 Get.: UNISTART d.d. 2012-11-15 MV = NAP -4.40 m Y = 481109.5

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1050

# Berekeningen X-06 HDD's kruising Provinciale weg N205 te Hoofddorp

## Civiele Werkzaamheden R380 Noordring Perceel 1: Vijfhuizen – Zuidelijke Ringvaart

Documentnummer: : VIR-0.000.521  
Referentienummer: : TP13141-doc-06  
Documentstatus: : Definitief  
Datum: : 02-08-2013  
Versie: : 1.0

Opdrachtgever:



**VolkerInfra**



Randstad 380

Opdrachtnemer:

	Naam	Functie	Paraaf	Datum
Opsteller	E.M.P. Hooglander	Civil Engineer	<i>PO H</i>	02-08-2013
Gecontroleerd	J. Hermus	Groepsleider Civiel	<i>JH</i>	02-08-2013
Gecontroleerd	M. Molema	Disciplineleider	<i>MM</i>	02-08-2013
Geautoriseerd / Vrijgave	M. Roohé	Projectmanager		



## DOCUMENT HISTORIE

Revisie	Omschrijving/Belangrijkste wijzigingen	Datum
0.1	Concept definitief ontwerp	17-07-2013
1.0	Definitief Ontwerp	02-08-2013



## Inhoud

1. Inleiding .....	4
2. Uitgangspunten .....	5
2.1 Algemeen.....	5
2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren .....	5
2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis.....	5
2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase .....	5
2.5 Kwelproblematiek.....	6
2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring.....	6
2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting.....	6
2.5.3 Kwel op lange termijn.....	6
3. Conclusies.....	7
3.1 Muddrukken tijdens boren.....	7
3.2 Sterkte tijdens installeren.....	7
3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik.....	8
4. Bijlagen .....	9
4.1 Tekening VIR-0.000506, Referentienr. TP13141-K-X-06 .....	9
4.2 Muddrukberekening.....	10
4.3 Trekkrachten berekening .....	11
4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase.....	12
4.5 Grondonderzoek .....	13



## 1. Inleiding

In de Randstad wordt de komende jaren een sterke toename verwacht in de vraag naar electriciteit. Om de elektriciteitsvoorziening in de toekomst veilig te stellen wordt er door TenneT een nieuwe 380kV hoogspanningsverbinding tussen Beverwijk – Vijfhuizen – Bleiswijk – Wateringen gerealiseerd. Dit project wordt Randstad380kV genoemd.

Project Randstad380 Noordring is de tweede fase van het project en bestaat uit een hoogspanningsverbinding van Beverwijk via Vijfhuizen naar Bleiswijk.

Naast de aanleg van een 380kV hoogspanningsverbinding wordt er ook een 150kV hoogspanningsverbinding gerealiseerd. In verband met de aanleg van deze 150kV hoogspanningsverbinding moet de N205 ter hoogte van Hoofddorp gekruist worden. Deze kruising wordt uitgevoerd door middel van twee horizontaal gestuurde boringen. In de boringen worden de volgende mantelbuizen geïnstalleerd:

150kV :

- HDD 01 7x Ø200 PE100 SDR11
- HDD 02 7x Ø200 PE100 SDR11

In dit rapport worden de voor de boringen benodigde berekeningen uitgevoerd.

*Hiertoe worden de volgende aspecten bekeken:*

- De bij het boren te verwachten muddrukken en de maximaal toelaatbare muddrukken.
- De benodigde trekkracht voor het intrekken van de mantelbuizen en de hierbij optredende spanningen in de buizen.
- De sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase.
- Mogelijke kwelproblematiek.

Bovenstaande berekeningen worden uitgevoerd met spreadsheet-programma's.

*Uitgangspunten van deze berekeningen zijn de normen:*

- NEN 3650-1:2012, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1 algemeen
- NEN 3650-3:2012 ontwerp, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 3 Kunststoffen
- NEN 3651:2012, Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken.

*Grondonderzoek:*

- Gegevens grondonderzoek afkomstig van Fugro, opdracht nr. 1010-0117-003 Bijlage 4.5

*Bijbehorende tekeningen:*

- Algemeen plantekening op A4 formaat Bijlage 4.1



## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Algemeen

*De belangrijkste ontwerpgegevens van de mantelbuizen, die gelden voor de boringen:*

Kenmerk	<b>150kV</b> HDD 1 en HDD 2
Materiaal	PE
Kwaliteit	PE100
Treksterkte	10 N/mm <sup>2</sup>
Aantal buizen	7 (per boring)
Diameter	200 mm
Wanddikte	18.2 mm (SDR 11)

### 2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren

Voor het afvoeren van de afgeboorde grond is in het boorgat een minimale muddruk nodig. Tevens mag de druk in het boorgat niet groter worden dan de maximaal toelaatbare muddruk. Bij overschrijding van deze druk bestaat het gevaar voor bezwijken van de grond en uitstromen van boorvloeistof aan het maaiveld.

De maximaal toelaatbare muddruk en de minimaal benodigde muddrukken zijn berekend in Bijlage 4.2. De resultaten worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd.

### 2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de mantelbuis in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de buis optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend. De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.3. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.

### 2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase

Voor de sterkte van de mantelbuizen worden voor een aantal locaties doorsnede-berekeningen gemaakt. De volgende doorsneden worden beschouwd:

150kV:

- Punt met de grootste dekking (ca. 29m-maaiveld), hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.
- Diepte van  $8 \times D_{\text{gat}}$ , hierbij wordt met neutrale gronddruk gerekend.

De volledige uitvoer van de berekeningen is bijgevoegd in Bijlage 4.4. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.



## 2.5 Kwelproblematiek

In het kader van de kwelproblematiek worden de hieronder vermelde situaties bekeken.

- Tijdens de uitvoering van de boring
- Tijdens het maken van de aansluiting
- Op lange termijn

### 2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring

De intredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van 4.4m-N.A.P. en de uittredepunten hebben een maaiveldhoogte van 4.2m-N.A.P. Het hart van de boringen ligt op het diepste punt op 30m-N.A.P.

Het eerste watervoerende zandpakket ligt op een diepte van ca. 6m-N.A.P. en wordt aangeboord.

Volgens de door de opdrachtgever verstrekte informatie bedraagt de gemiddelde stijghoogte van het spanningswater in het eerste watervoerende pakket ca. 5m-N.A.P.

De stijghoogte van het spanningswater is lager dan het maaiveld niveau en daarmee is er geen gevaar voor kwel tijdens de uitvoering van de boringen.

Ter plaatse van de watergang aan de uittredezijde zijn volgens de berekeningen muduitbraken te verwachten (zie hoofdstuk 3 of bijlage 4.2). Om kwel vanuit het watervoerende zandpakket naar de watergang te voorkomen dienen aanvullende maatregelen te worden getroffen. Er kan hierbij gedacht worden aan:

- Te plaatsen voorzieningen (bv. bigbags) in de watergang, om een extra belasting (neerwaartse druk) te creëren.
- Een contraboring met een kleinere boorstelling, die vanaf het uittredepunt een boorgang maakt onder de te kruisen watergang. De benodigde muddruk is hierbij ter plaatse van de watergang aanzienlijk lager. De boring vanaf het intredepunt (met de grotere boorstelling) komt dan uit in de zojuist beschreven boorgang volgens het “meet-in-the-middle”-principe.
- Eventueel kan een combinatie van maatregelen toegepast worden.

### 2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting

Ten tijde van het maken van de aansluitingen moet tijdelijk een ontgraving van ca. 3m-maaiveld worden gemaakt, waarbij een kwelscherm met kleikist dient te worden aangebracht.

Op het grensvlak werkt een opwaartse waterdruk van  $(5 - 6) \times 10 \text{ kN/m}^3 = 10 \text{ kN/m}^2$

De bentonietkolom oefent bij een bentoniet gewicht van  $12 \text{ kN/m}^3$  een neerwaartse kracht uit van  $(7.4 - 6) \times 12 \text{ kN/m}^3 = 16.8 \text{ kN/m}^2$

De neerwaartse druk van de bentonietkolom is groter dan de opwaartse waterdruk, er is hiermee geen gevaar voor kwel vanuit het watervoerende zandpakket tijdens het maken van de aansluitingen.

### 2.5.3 Kwel op lange termijn

Zowel aan de intrede- als aan de uittredezijde dienen kwelschermen in kleikisten geplaatst te worden om de kwel op lange termijn te voorkomen.



### 3. Conclusies

#### 3.1 Muddrukken tijdens boren

Overzicht minimum en maximum muddrukken tijdens boren:

Locatie		Afstand tot intredepunt	Minimaal benodigde muddruk (Bijlage 4.2)	Maximaal toelaatbare muddruk (Bijlage 4.2)
IN	Intredepunt	0 m		
A		46 m	159 kN/m <sup>2</sup>	192 kN/m <sup>2</sup>
B		75 m	254 kN/m <sup>2</sup>	509 kN/m <sup>2</sup>
C		98 m	306 kN/m <sup>2</sup>	769 kN/m <sup>2</sup>
D		163 m	348 kN/m <sup>2</sup>	739 kN/m <sup>2</sup>
E		228 m	365 kN/m <sup>2</sup>	739 kN/m <sup>2</sup>
F		293 m	381 kN/m <sup>2</sup>	663 kN/m <sup>2</sup>
G		362 m	398 kN/m <sup>2</sup>	663 kN/m <sup>2</sup>
H		427 m	415 kN/m <sup>2</sup>	739 kN/m <sup>2</sup>
I		492 m	431 kN/m <sup>2</sup>	716 kN/m <sup>2</sup>
J		557 m	447 kN/m <sup>2</sup>	720 kN/m <sup>2</sup>
K		622 m	418 kN/m <sup>2</sup>	654 kN/m <sup>2</sup>
L		664 m	334 kN/m <sup>2</sup>	339 kN/m <sup>2</sup>
M		686 m	264 kN/m <sup>2</sup>	136 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uittredepunt	710 m		

Uit de resultaten blijkt dat tijdens het boren van de eindfase van de pilot (na doorsnede L) muduitbraken kunnen voorkomen. Tijdens de uitvoering dient hier rekening mee gehouden te worden door in de eindfase van de pilotboring zo weinig mogelijk bentoniet te verpompen met een zo laag mogelijke druk.

#### 3.2 Sterkte tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

	Smax (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	3,7 N/mm <sup>2</sup>	37 %	
Spanning tijdens intrekken	6,1 N/mm <sup>2</sup>	61 %	
Trekkracht			245 kN

De mantelbuizen worden gevuld met bentoniet in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkracht van maximaal 25 ton verwacht.





### 3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik

Overzicht van de berekende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met de grootste dekking:

Belastingsgeval	S <sub>max</sub> (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	0,4 N/mm <sup>2</sup>	5 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		0,4 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,89 m	waterkolom

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met een diepte van  $8x D_{gat}$ :

Belastingsgeval	S <sub>max</sub> (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	2,1 N/mm <sup>2</sup>	26 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		2,2 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,89 m	waterkolom

Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.



---

## 4. Bijlagen

### 4.1 Tekening VIR-0.000506, Referentienr. TP13141-K-X-06





---

## 4.2 Muddrukberkening

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-06 150kV HDD1 en 2 kruising N205 t.h.v. Hoofddorp
Berekend door	EHO

Te installeren buis of bundel		
Uitwendige diameter buis/bundel	d	600 mm

Boorstelling		
Type boorstelling		100 ton
Uitwendige diameter pilotbuis	d-uitw.	127 mm
Inwendige diameter pilotbuis	d-inw.	109 mm

Boorvloeistof		
Volumegewicht boorvloeistof	$V_{bo}$	10,50 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht grond / boorvloeistof mengsel	$V_b$	12,00 kN/m <sup>3</sup>
Schijnbare viscositeit	visc	100 MarshFunnelseconden
Yieldpoint boorvloeistof	$y_b$	0,01 kN/m <sup>2</sup>
Viscositeit	eta	0,11 Pas

Boorbuizen		
Lengte boorbuis	L	6 m
Lengte koppeling	L-kopp	0,5 m
Inwendige diameter koppeling	d-kop	89 mm
Nik. Ruwheid	k	1 mm

**SAMENVATTING INVOER/RESULTATEN**

Lokatie	Omschrijving	Afstand tot intredepunt	Diepte cl t.o.v ref. lijn [m]	Pmin* in pilot gat	Pmax* toelaatbaar in gat tijdens ruimen
IN	Intredepunt	0,0	0,0 m	-	0 kN/m <sup>2</sup>
A		45,9	-12,3 m	159	192 kN/m <sup>2</sup>
B		75,1	-19,6 m	254	509 kN/m <sup>2</sup>
C		98,4	-23,4 m	306	769 kN/m <sup>2</sup>
D		163,4	-25,6 m	348	739 kN/m <sup>2</sup>
E		228,4	-25,6 m	365	739 kN/m <sup>2</sup>
F		293,4	-25,6 m	381	663 kN/m <sup>2</sup>
G		362,4	-25,6 m	398	663 kN/m <sup>2</sup>
H		427,4	-25,6 m	415	739 kN/m <sup>2</sup>
I		492,4	-25,6 m	431	716 kN/m <sup>2</sup>
J		557,4	-25,6 m	447	720 kN/m <sup>2</sup>
K		622,3	-21,8 m	418	654 kN/m <sup>2</sup>
L		663,7	-13,9 m	334	339 kN/m <sup>2</sup>
M		686,0	-7,6 m	264	136 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uittredepunt	710,0	0,1 m	-	0 kN/m <sup>2</sup>

Pmin benodigd bij max. mud debiet

**noot \*: Pmin in pilot gat vergelijken met Pmax tijdens ruimen is de meest ongunstige benadering**

**Berekening van de maximaal toelaatbare boorvloei­stof­druk­ken P'max  
volgens NEN 3650-1:2012 bijlage E.2**

**INVOER/UITVOER**

Lokatie	IN	A	B	C	D
Grondsoort (zand / klei)	-	<b>klei</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	-	<b>9,9</b>	<b>19,8</b>	<b>28,6</b>	<b>25,8</b> m
Diepte water onder mv (+)	-	<b>-0,8</b>	<b>1,9</b>	<b>6,9</b>	<b>1,9</b> m
Hoek inwendige wrijving	-	<b>17,5</b>	<b>27,5</b>	<b>30</b>	<b>32,5</b> gr
Volumegewicht nat	-	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>19</b> kN/m3
Volumegewicht droog	-	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>17</b> kN/m3
Cohesie	-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	-	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	-	<b>0,5</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>8</b> MPa
Rpmax	-	4,95	0,38	0,33	0,38 m
Elasticiteitsmodulus	-	750	9500	13300	15200 kN/m2
P'max in gat	-	192	509	769	739 kN/m2

Location	E	F	G	H	I
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	<b>25,8</b>	<b>25,8</b>	<b>25,8</b>	<b>25,8</b>	<b>25,8</b> m
Diepte water onder mv (+)	<b>1,9</b>	<b>1,9</b>	<b>1,9</b>	<b>1,9</b>	<b>1,9</b> m
Hoek inwendige wrijving	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>32,5</b> gr
Volumegewicht nat	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b> kN/m3
Volumegewicht droog	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b> kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>7</b> MPa
Rpmax	0,38	0,30	0,30	0,38	0,36 m
Elasticiteitsmodulus	15200	9500	9500	15200	13300 kN/m2
P'max in gat	739	663	663	739	716 kN/m2

Location	J	K	L	M	UIT
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>klei</b>	-
Gronddekking	<b>26</b>	<b>22</b>	<b>11,3</b>	<b>6,8</b>	- m
Diepte water onder mv (+)	<b>2</b>	<b>1,8</b>	<b>-0,9</b>	<b>0,6</b>	- m
Hoek inwendige wrijving	<b>32,5</b>	<b>32,5</b>	<b>30</b>	<b>17,5</b>	- gr
Volumegewicht nat	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>14</b>	- kN/m3
Volumegewicht droog	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	- kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	- kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	-
CPT Conusweerstand: qc	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>0,5</b>	- MPa
Rpmax	0,36	0,41	0,43	3,40	- m
Elasticiteitsmodulus	13300	15200	7600	750	- kN/m2
P'max in gat	720	654	339	136	kN/m2



---

### 4.3 Trekrachten berekening

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de leiding in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN 3650-1:2012 gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de leiding optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.

## Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

### INVOER

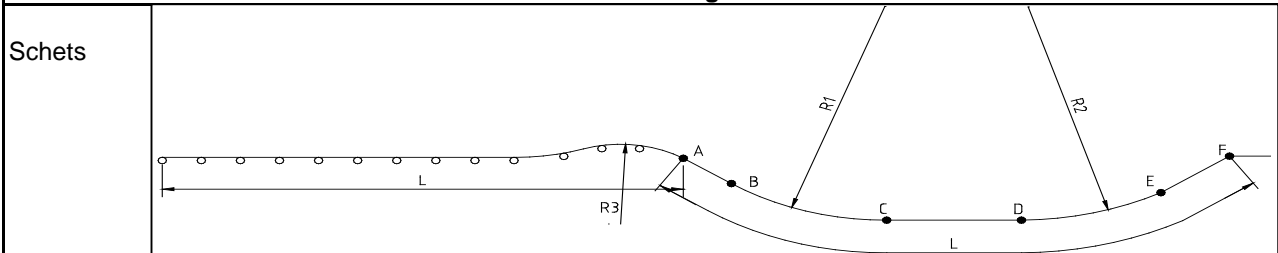
#### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-06 150kV HDD 1 en 2 kruising N205 t.h.v. Hoofddorp
Berekend door	EHO

#### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	200 mm
Wanddikte	$d$	18,2 mm
Dikte externe coating	$c-e$	0 mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0 kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0 mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0 kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY		pe100
buizen met flexibele verbindingen		nee
Elasticiteitsmodulus	E	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	sg	955 kg/m <sup>3</sup>

#### Maatvoering



Lengte boring	L	716 m		
Afstand	A-B	20 m		
Afstand	A-C	204 m	A-H1	204 m
Afstand	A-D	578 m	A-H2	578 m
Afstand	A-E	657 m		
Afstand	A-F	716 m		
Straal boor profiel	$R_1$	258 m	excl. 10% marge	
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	0		
Straal boor profiel	$R_2$	300 m	excl. 10% marge	
Straal rollenbaan	$R_3$	50 m		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	18 graden	(bij punt A)	
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0 graden	(+ naar beneden ri. rig zijde)	
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	0 graden		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	15 graden	(bij punt F)	
Aantal buizen	aantal, n	7 buis/buizen	--	
Bundel gekoppeld		nee		
Buisvulling in boorgat	bentoniet		Buisvulling (water) ook op rolstellen	nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012		
Pipe Pusher capaciteit	0 kN	nee		
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen		nee		

### SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	245 kN	24 ton
SI max in boorgat	SI	3,7 N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	6,1 N/mm <sup>2</sup>	
		60,9 % S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>



## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2 ,f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

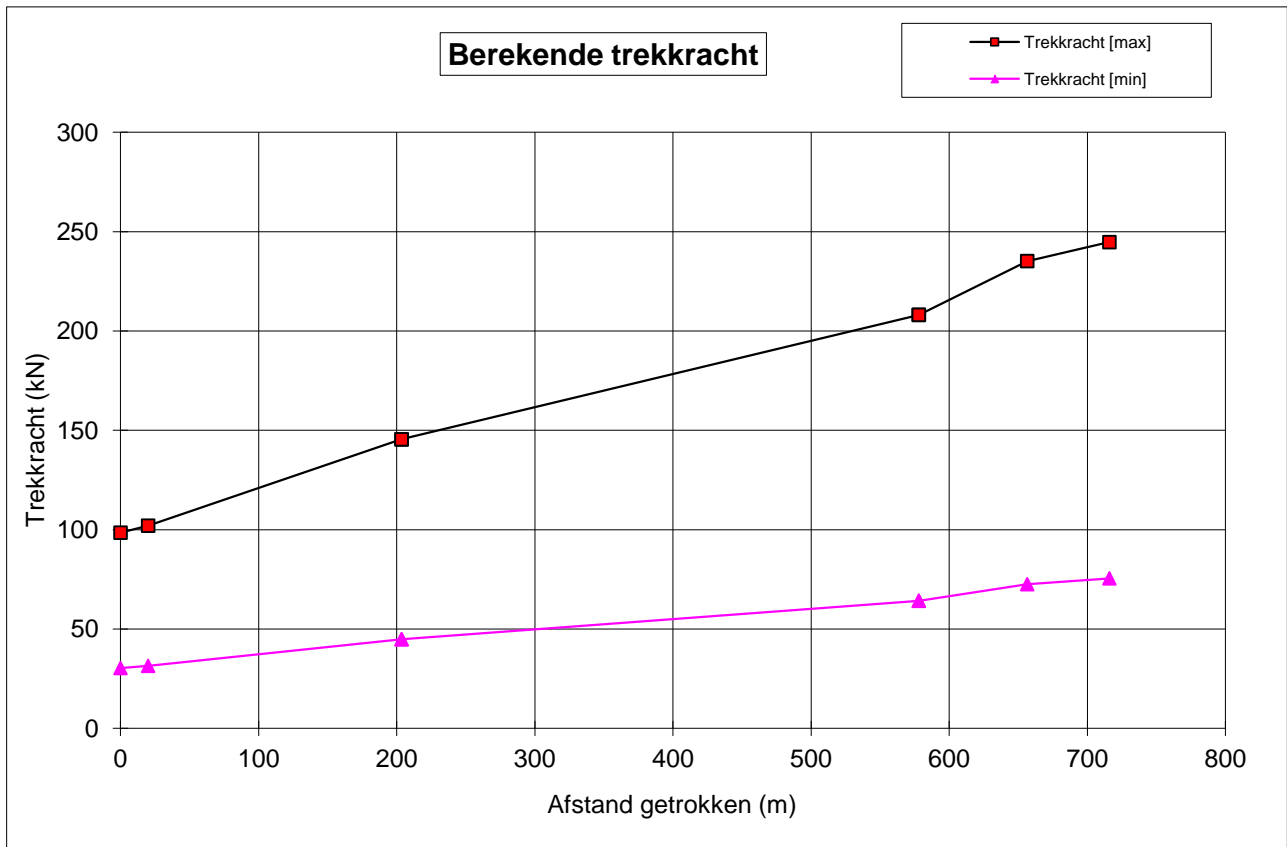
Diverse gegevens		
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel	10 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht bentoniet	sg	1200 kg/m <sup>3</sup>
Doorsnedeoppervlak	Abuis	10395 mm <sup>2</sup> per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>3</sup>
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>4</sup>
Weerstandmoment	W	433754 mm <sup>3</sup> per buis
Traagheidsmoment	I	43375426 mm <sup>4</sup> per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>	3036280 mm <sup>3</sup> voor: 7 buis/buizen
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>	303627980 mm <sup>4</sup> voor: 7 buis/buizen
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g	omlaag 0,6949 kN/m1streng
gewicht vull x aantal buizen	g vull	omlaag 1,7658 kN/m1streng
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra	omhoog 0,0000 kN/m1streng
opdrijving x aantal buizen	g opw	omhoog -2,6389 kN/m1streng
g eff in gat = g-gopw	g eff	omhoog -0,1783 kN/m1streng
g eff op rolstellen	g eff	omlaag 0,6949 kN/m1streng
$\lambda = \text{sqrt}(\text{sqrt}(k_v \times B / 4 / E / I))$	$\lambda$	0,002152 mm <sup>-1</sup>
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>	0,04 N/mm <sup>3</sup>
Oplegbreedte van de bundel	B	781 mm
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B / R_1$	Q <sub>r1</sub>	0,0030 N/mm <sup>2</sup>
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B / R_h$	Q <sub>rh</sub>	0,0000 N/mm <sup>2</sup>
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B / R_2$	Q <sub>r2</sub>	0,0026 N/mm <sup>2</sup>
Reductiefactor voor bundel = $n \times 1/n^{0.3}$	b'	3,905 x Omtrek van een buis

Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	716	696	513	513	138	138	60	0	
T <sub>1</sub> (kN)	54,73	53,20	39,17	39,17	10,55	10,55	4,55	0	
L <sub>2</sub> (m)	0	20	184	0	375	0	79	60	
T <sub>2</sub> (kN)	0	3,48	31,96	0,00	65,22	0,00	13,67	10,36	
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	1,50	0,00	0,00	0,00	1,29	0	
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	4,72	4,72	2,92	2,92	9,00	8	
F x f (totale kracht, kN)	55	57	81	81	116	116	131	136	
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	99	102	145	145	208	208	235	245	
De te verwachten trekkracht ligt tussen			76 kN	en	245 kN				
De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk							272 kN		
De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid									

Spanningen in boorgat									
Totale spanning in boorgat									
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	1,4	1,4	2,0	2,0	2,9	2,9	3,2	3,4	
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	
SI tot	1,4	1,4	2,6	2,0	2,9	2,9	3,7	3,4	

Spanningen op rollenbaan		
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling		
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R	Sr	2,6 N/mm <sup>2</sup>
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>	M	6,4 kNm
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal	SI	6,1 N/mm <sup>2</sup>

# GRAFIEK





---

## 4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-06 150kV HDD1 en 2, punt met de grootste dekking</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>18,20</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>0</b>	
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995 alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>300</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>onder</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>28,8</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>17</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>gered. pleistoceen</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>6,9</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>30</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model (+ is trek)			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	502,38 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	55,21 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	90,9 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	181,8 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	18,2 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,21 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,10 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	18,2 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	0,43 *10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	43,38 *10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,1160 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	0,4	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	5 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	0,4 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor $Q_n$	f	1,10
Totaal factor $Q_p$	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	54,12 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	54,12 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		4 mm
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		3 mm
$z_{\text{max}} \text{ reken}$		4 mm
$q_n$	0,2706	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	4,1672	N/mm <sup>2</sup> $Q_p$ met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	3,8966	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,935194	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058	N/mm <sup>3</sup>
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	20	mm
u x $D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$	4	mm
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,243	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	48,67	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

#### Berekening gereduceerde gronddrukken

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	14 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	0 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	32,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	28,8 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	14,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o * B_1 * (\gamma' - c_h / B_1) / (K * \tan \phi_h) * (1 - e^{-(K * h_h * \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h * \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) * 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 * (3H - 2h) * \alpha) / (2 C * H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 * k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h * \gamma'_h - F_r / 2B_1) * D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,21 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,46
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	9,40 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o * B_1 * \gamma') / (K * \tan \phi) * (1 - e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h * h_h * D_o * e^{-(K * h * \tan \phi) / B_1}$		
	$Q_{n,r}$	1,34 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. pleistoceen	
$Q_{grond\ reken}$	$Q \times f$	1,47 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f



### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	54,26 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,50	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	23,49 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_y/2 \times \sin 60$		1,74 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	0,83 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	-10,41 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	-10,41 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	-12,62
	$d_{y2}'/d_{y1}$	-12,62
	$d_{y1}/2$	0,41 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  23,49 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  23,49 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  23,49 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  23,49 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_h$	23,49 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_h$	23,49 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen		0,35 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene		-0,25 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$		
	$Q_{h,n,r}$	0,35 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos		0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_{m, \text{toel}}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	----------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

Spl	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
-----	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

	$Q_{\text{grond}}$	1,47 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{\text{grond}} + Q_{\text{eg}} + Q_{\text{vu}} - Q_{\text{op}}) \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	0,57 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,36 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,37 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q \text{ bodem}$	0,57 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,36 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,37 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

	$Q_{h, \text{grond}}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	-0,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-0,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,07 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

	$Q_{h, \text{grond}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	0
Verkeersbelasting	$P_v$	0,00 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,11121E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,04 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,04 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	onder	
	$S_{rl}$	0,10 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 \cdot S \cdot De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D \left( (0.113 \cdot Q - 0.096 \cdot 0.866 \cdot Q_{n,h} + 0.071 \cdot Q_{indir}) \cdot rg^3 \right) / (E' \cdot lw + 0.061 \cdot kh \cdot rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	0,8 mm	
	0,4 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E \cdot lw / Dg^3$	25,08 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,91 N/mm <sup>2</sup> 19,11 bar 191,11 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,39 bar 23,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	0,57	0,36	0,37 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,07	-0,07	-0,07 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,09	0,04	0,04 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	0,58	0,32	0,34 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,10	-0,10	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,10	-0,10	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a \cdot i_x \cdot S_{b,x} + S_{T;x}$	<b>0,07</b>	<b>-0,07</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	1	1	0 % < 100%
$S_y = S_p + a \cdot (S_y max + i_y \cdot S_{b,x})$	<b>0,38</b>	<b>0,21</b>	<b>0,22</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	5	3	3 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	0,4 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>				
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>	
$S_p$ Inwendige druk				N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting				N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk				N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting				N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting				N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal				N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$				N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>	
$S_{pl}$ Inwendige druk				N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting				N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal				N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$				N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur				N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>				
	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>	
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,07	-0,07	0,00	N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$				N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$				% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	0,40	0,26	0,27	N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$				N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$				% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-06 150kV HDD1 en 2, punt met diepte van 8x de gatdiameter</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>18,20</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>0</b>	
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995 alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>258</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>onder</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>6</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>17</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>neutraal</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>0,6</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>27,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	1,30E-04 mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model (+ is trek)			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	502,38 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	55,21 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	90,9 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	181,8 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	18,2 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,21 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,10 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	18,2 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,43 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$43,38 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,1160 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	2,1	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	26 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	2,2 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,89 m waterkolom
--	--------------------



### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Qn	f	1,10
Totaal factor Qp	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	9,60 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	9,60 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		9 mm
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		7 mm
$z_{\text{max reken}}$		9 mm
$q_n$	0,0480	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	0,1920	N/mm <sup>2</sup> Qp met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	0,1440	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,015774	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058	N/mm <sup>3</sup>
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	20	mm
u x $D_o \leq z_{\text{max reken}}$	9	mm
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,151	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	30,19	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP Qk is hoger dan Qp

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{n,n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	14 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	0 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	27,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	18,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	6,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	14,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o * B_1 * (\gamma' - c_h / B_1) / (K * \tan \phi_h) * (1 - e^{-(K * h_h * \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h * \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) * 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 * (3H - 2h) * \alpha) / (2 C * H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 * k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h * \gamma'_h - F_r / 2B_1) * D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,22 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,54
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	9,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o * B_1 * \gamma') / (K * \tan \phi) * (1 - e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h * h_h * D_o * e^{-(K * h * \tan \phi) / B_1}$		
	$Q_{n,r}$	1,42 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond}$ reken	$Q \times f$	10,56 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	9,74 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,54	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	4,54 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $D_o \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = D_o \times 2k_r/3 \times d_y/2 \times \sin 60$		12,54 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	5,94 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	3,77 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	3,77 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,63
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,63
	$d_{y1}/2$	2,97 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  4,54 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  4,54 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  4,54 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  4,54 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_n$	4,54 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	4,54 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	0,45 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	-0,25 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times D_o \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	4,09 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	4,09 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_{m, \text{toel}}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	----------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$Q_{\text{grond}}$	10,56 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{\text{grond}} + Q_{\text{eg}} + Q_{\text{vu}} - Q_{\text{op}}) \times r_g / W_w$	
$S_q$ bodem	4,08 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top	2,57 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden	-2,64 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$		
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q$ bodem	4,08 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	2,57 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-2,64 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$Q_{h, \text{grond}}$	4,09 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	
$S_q$ bodem	-0,96 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top	-0,96 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden	0,96 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$Q_{h, \text{grond}}$	4,09 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	
$S_q$ bodem	-0,96 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top	-0,96 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden	-0,96 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	0
Verkeersbelasting	$P_v$	0,00 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,11121E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' \cdot I / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,04 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,05 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	onder	
	$S_{rl}$	0,12 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 \cdot S \cdot De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D \left( (0.113 \cdot Q - 0.096 \cdot 0.866 \cdot Q_{n,h} + 0.071 \cdot Q_{indir}) \cdot rg^3 \right) / (E' \cdot lw + 0.061 \cdot kh \cdot rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	4,4 mm	
	2,2 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E \cdot lw / Dg^3$	25,08 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,91 N/mm <sup>2</sup> 19,11 bar 191,11 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,39 bar 23,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	4,08	2,57	2,64 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,96	-0,96	-0,96 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,10	0,04	0,05 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	3,22	1,65	1,73 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,12	-0,12	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,12	-0,12	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a \cdot i_x \cdot S_{b,x} + S_{T;x}$	<b>0,08</b>	<b>-0,08</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	1	1	0 % < 100%
$S_y = S_p + a \cdot (S_y max + i_y \cdot S_{b,x})$	<b>2,10</b>	<b>1,08</b>	<b>1,12</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	26	13	14 % < 100%

Deflectie	
Deflectie	2,2 % van uitwendige diameter

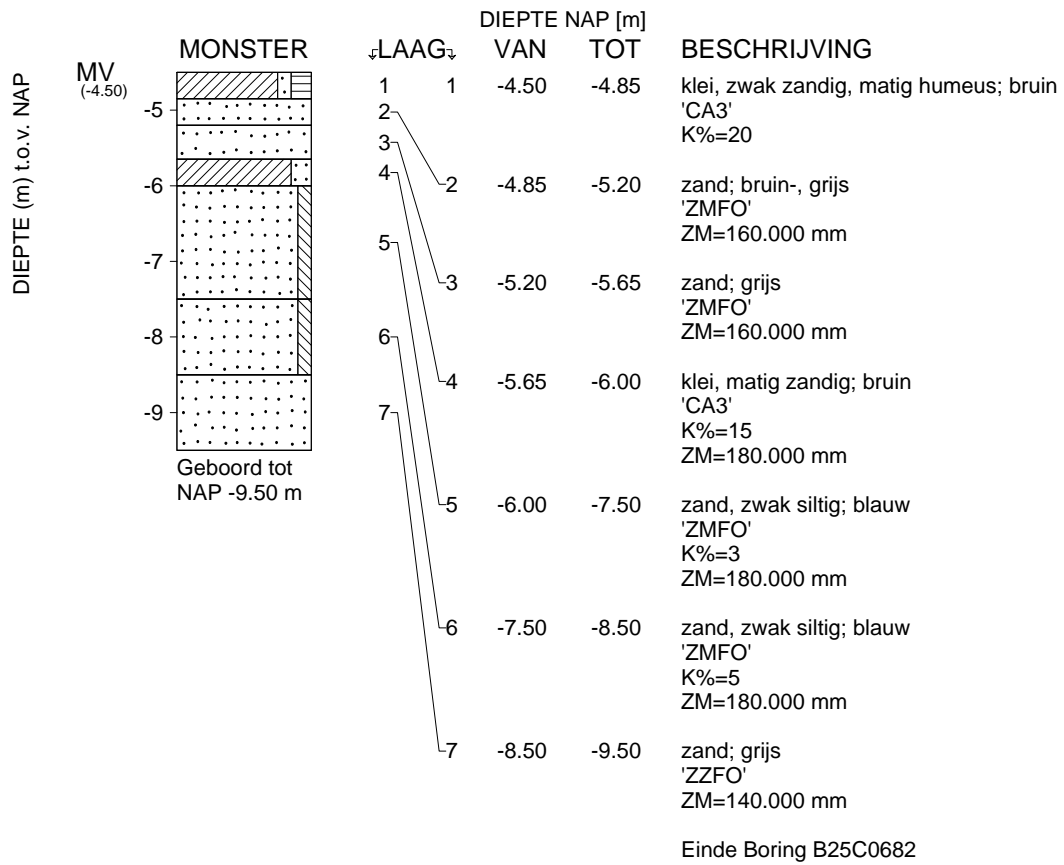
Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	1,05	-0,05	0,00
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	1,10	1,00	1,10
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%



## 4.5 Grondonderzoek





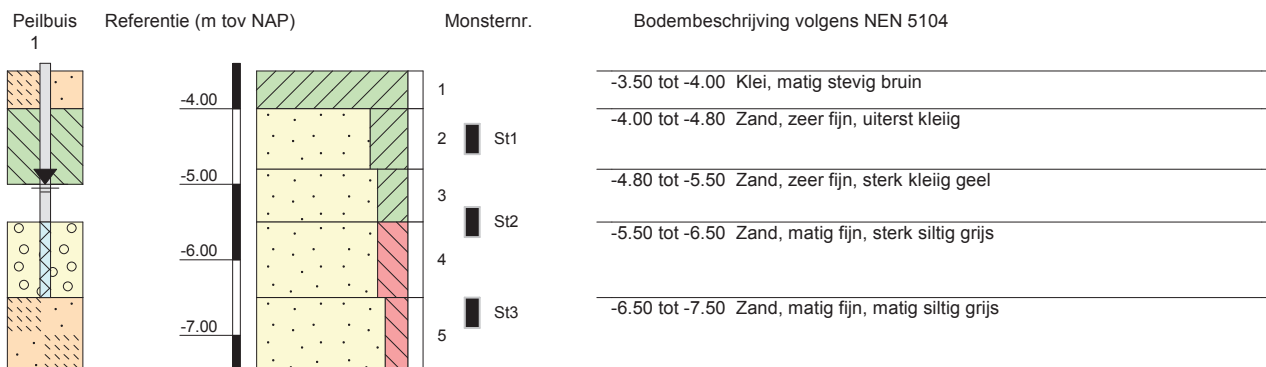
maaiveld: NAP -4.50 m  
 X = 103800 m Y = 480275 m (RD)

	Telefoon Telefax	datum 1995-02-02	get. Mens
-		DINO-BOR	gez.
-		BIJL.	form. A4

### Boring: HB113

### Veldclassificatie

Pagina 1 van 1



**Algemene opmerking:**

X: 103345.988	GWS (m tov NAP):	MV (m tov NAP): -3.50	Boorvloeistof:	
Y: 480695.010	GHG (m tov NAP):	bk PB1 (m tov NAP): -3.40	WS PB1 (m tov NAP): -5.00	Datum uitvoering: 08-12-2012
Coördinatenstelsel: RD	GLG (m tov NAP):	bk PB2 (m tov NAP):	WS PB2 (m tov NAP):	Boormeester: ahd
		bk PB3 (m tov NAP):	WS PB3 (m tov NAP):	Geclassificeerd door: ahd

**BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1**

Fugro GeoServices B.V.

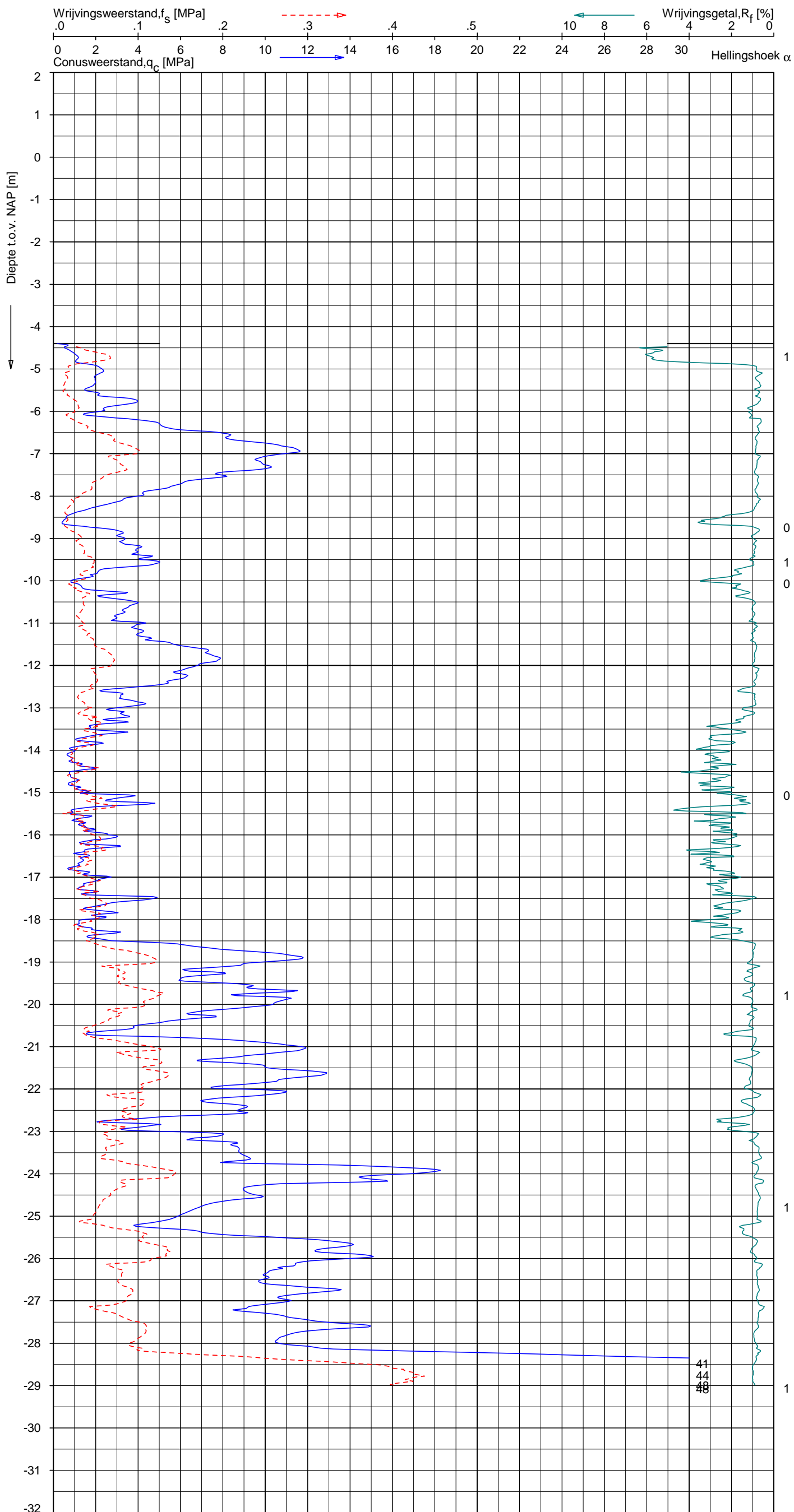
Geotechnisch onderzoek project R380 Noordring-zuid

**1010-0117-003**

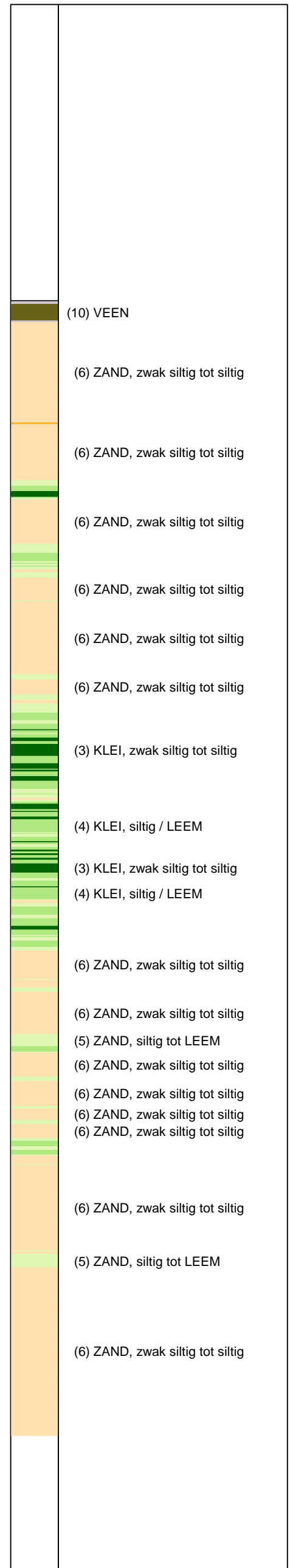
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-22 16:48:28

1010-0117-003

DKM1141 - 1



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



Opg.: JBL/MW d.d. 15-Nov-2012 conus: F7.5CKE2HA/B X = 103432.8 Y = 480798.1  
 Get.: VALKF d.d. 2012-11-22 MV = NAP -4.40 m  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2. Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm. Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



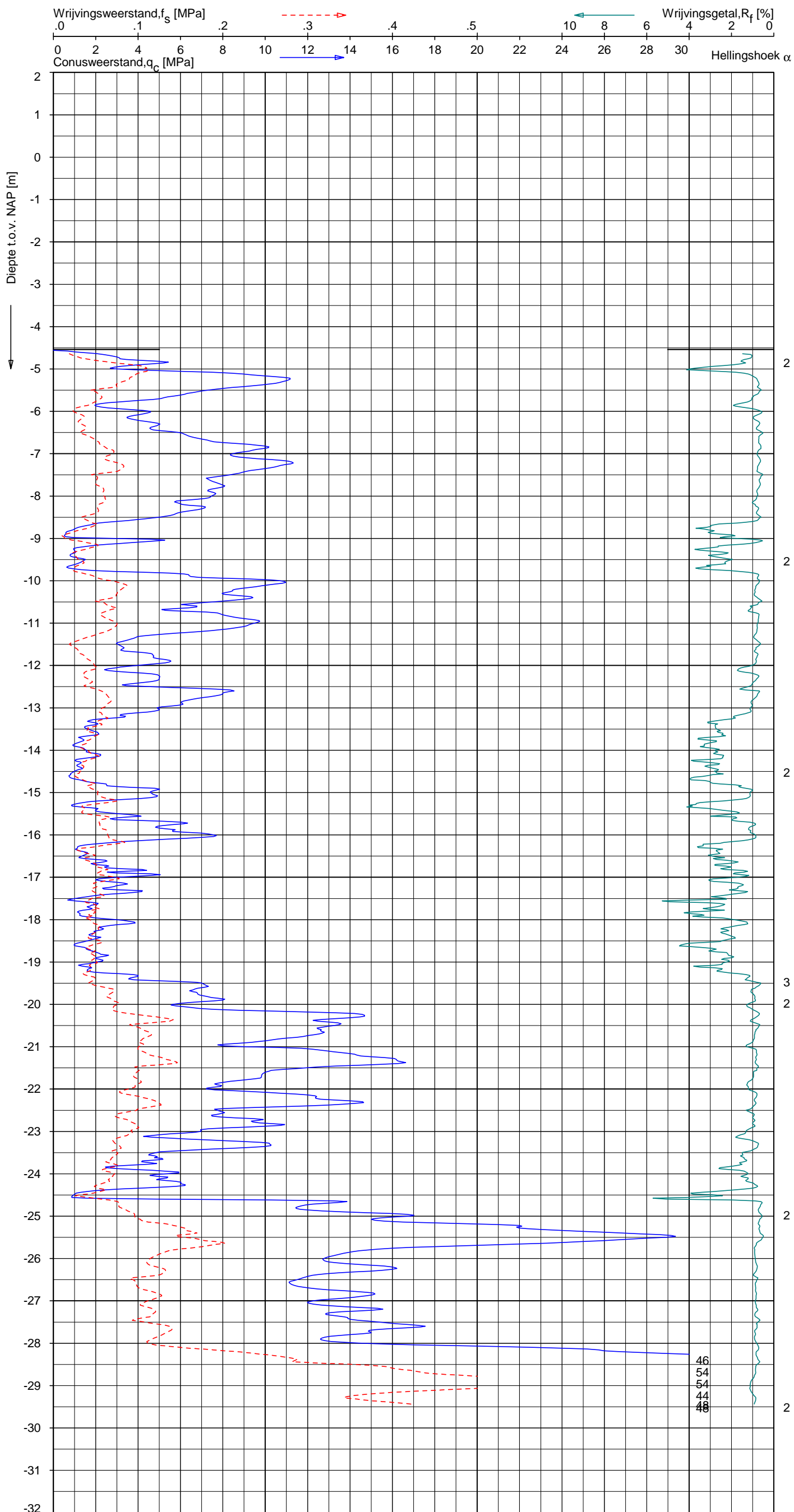
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1141

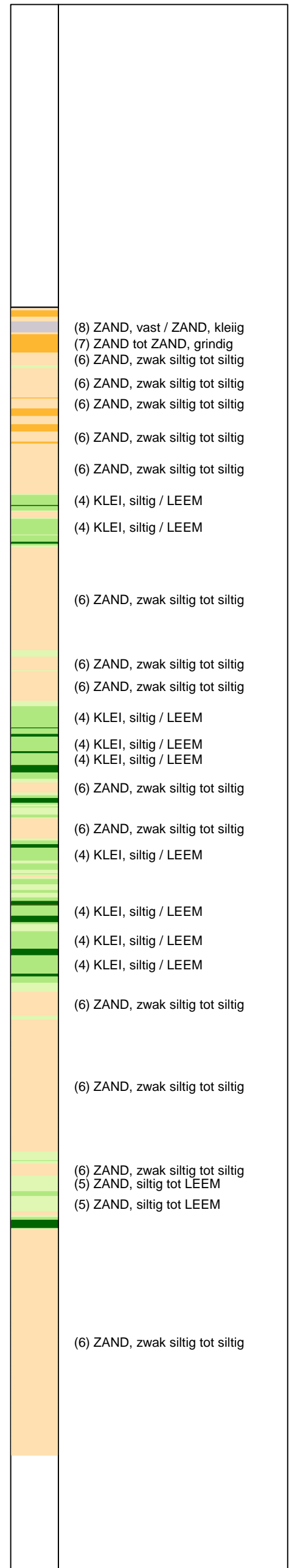
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:23:13

1010-0117-003

DKM142A - 1



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



Opg. : MDG d.d. 30-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103502.6  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.54 m Y = 480701.7  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1452 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



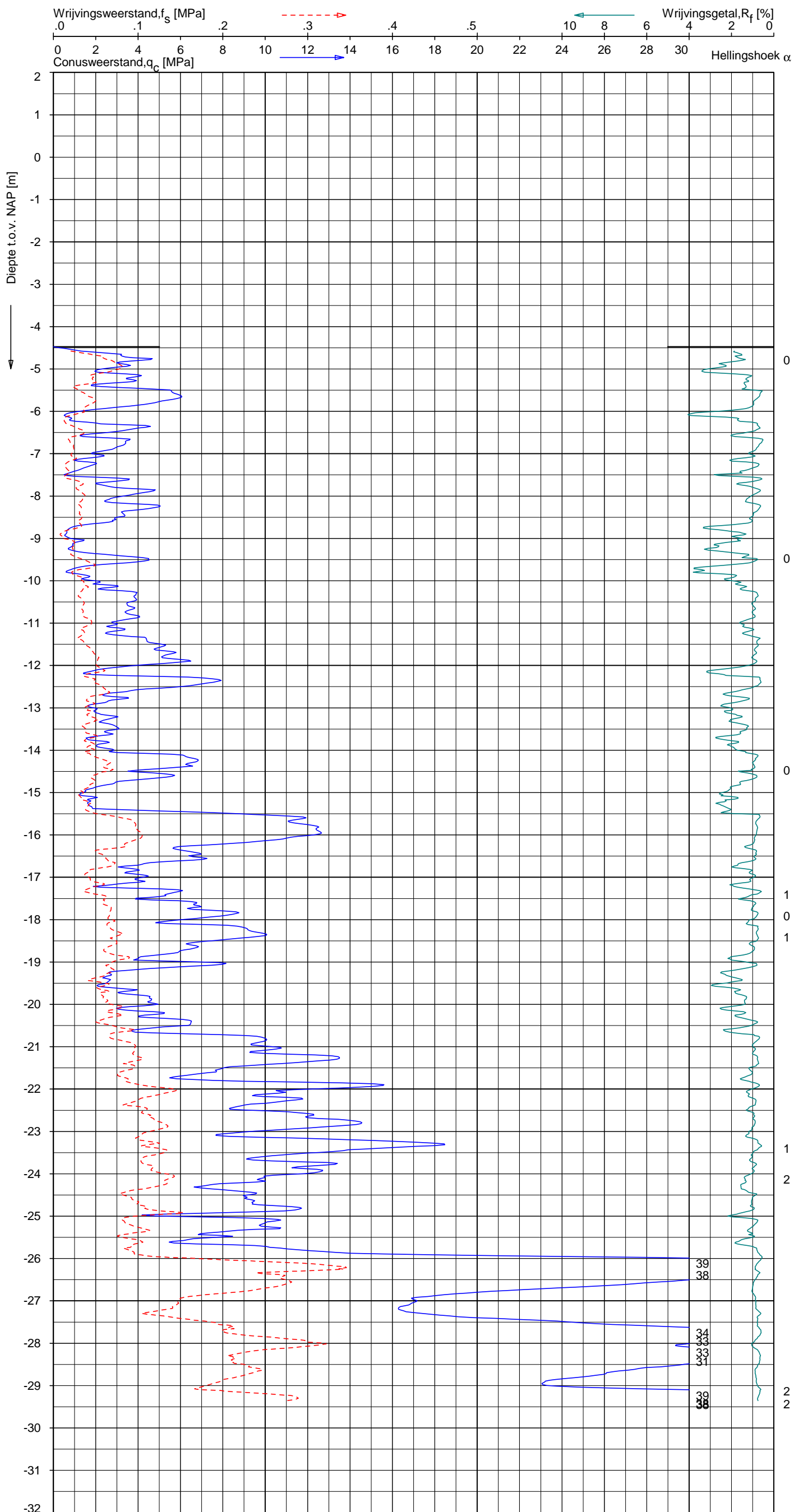
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM142A

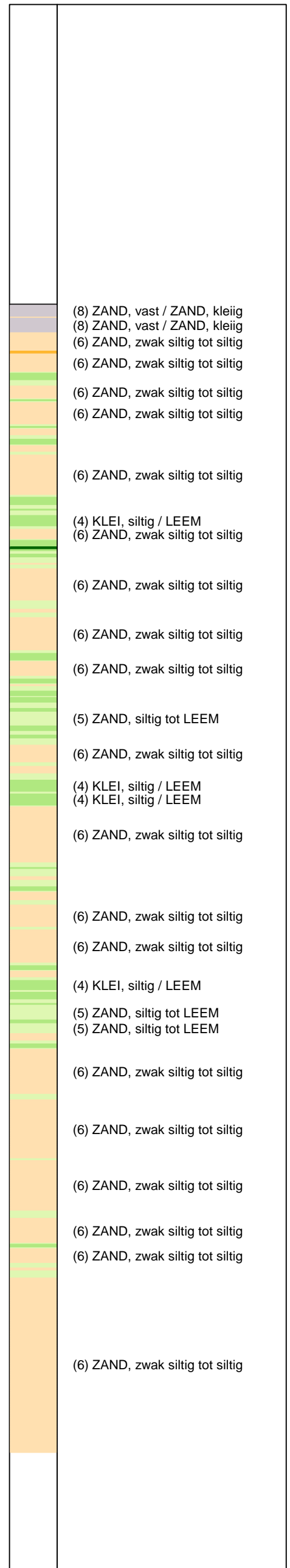
UNIPLOT 05:19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:23:16

1010-0117-003

DKM144A - 1



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



Opg.: MDG d.d. 30-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103568.9 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Get.: VALKF d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.48 m Y = 480646.2 Conustype cilindrisch elektrisch, 1452 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



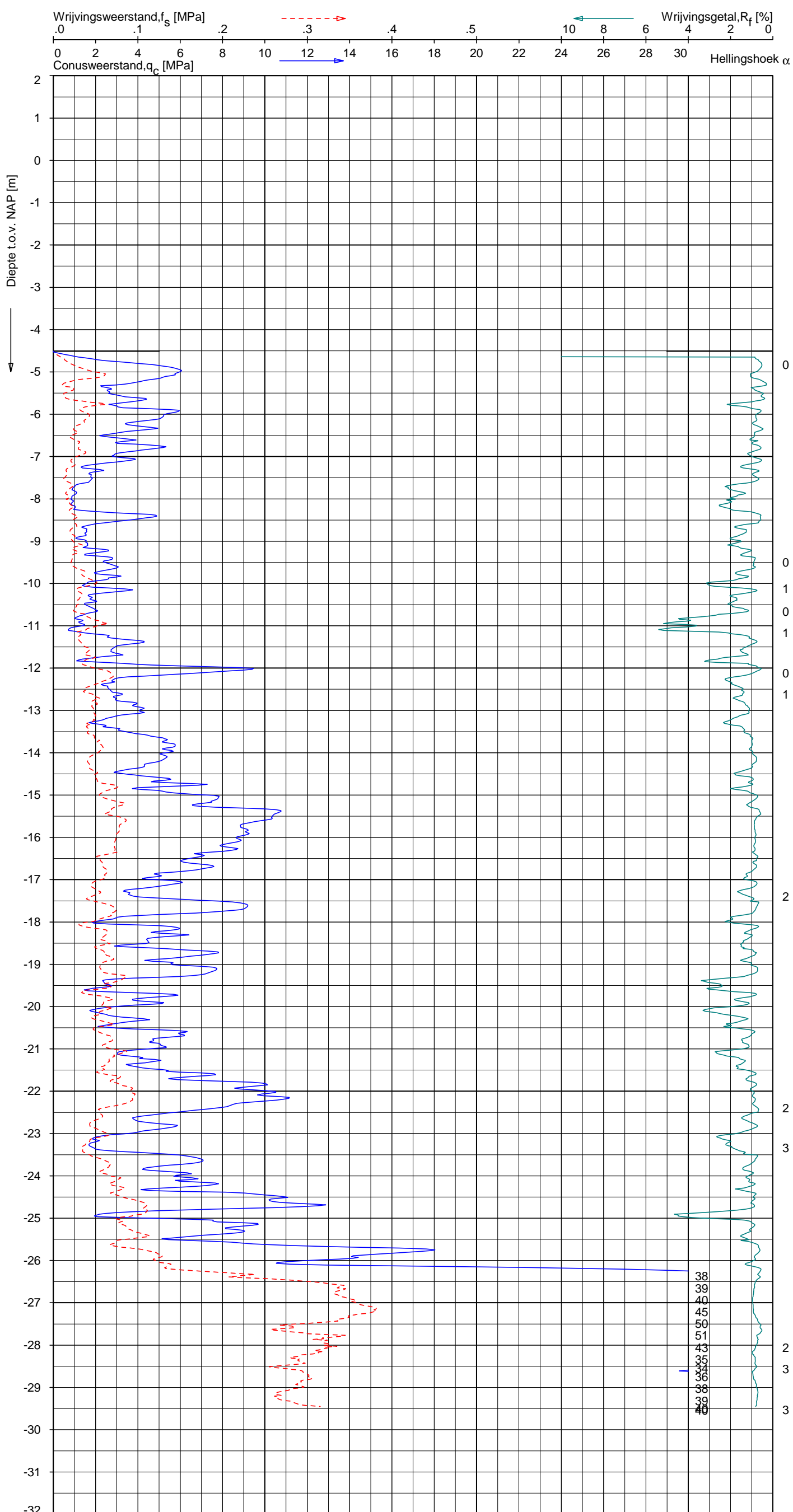
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM144A

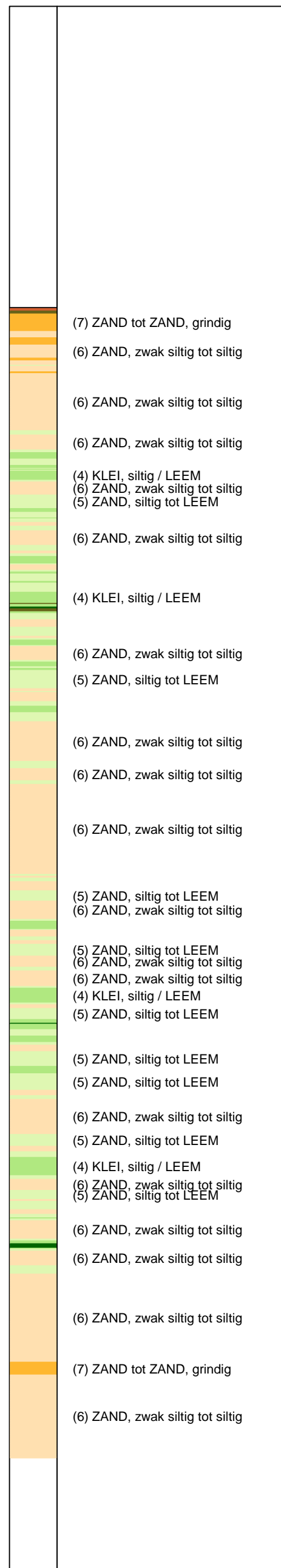
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:23:18

1010-0117-003

DKM1145A - 1



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



Opg. : MDG d.d. 30-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103605.4  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.51 m Y = 480610.9

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1452 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



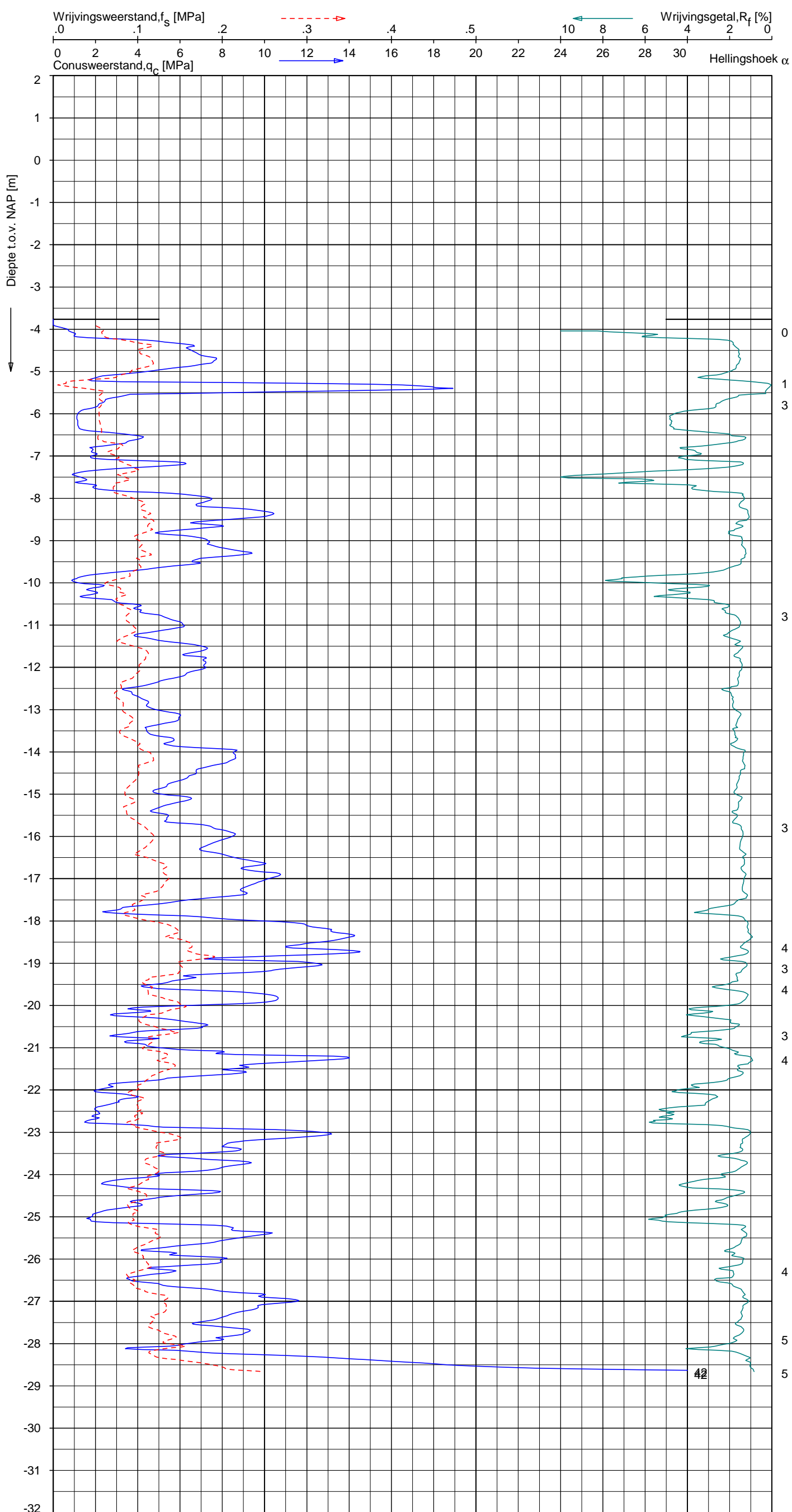
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1145A

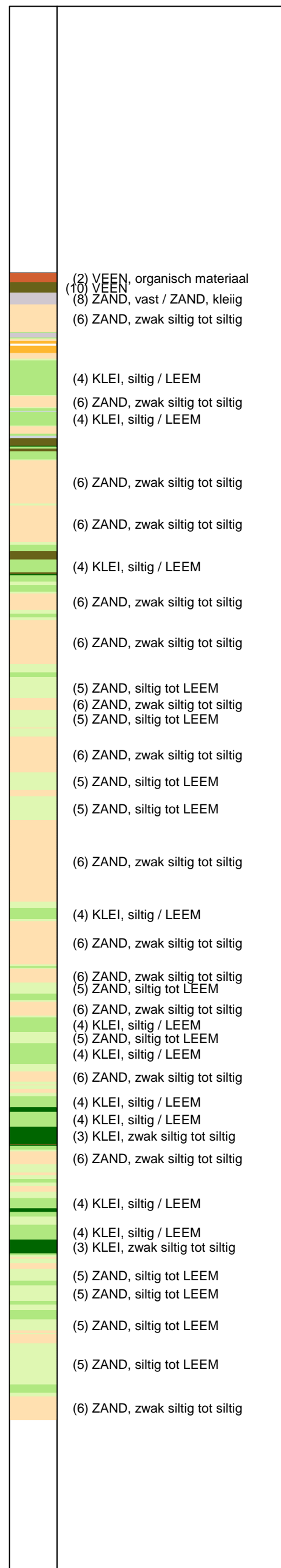
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:23:21

1010-0117-003

DKM1147 - 1



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



Opg. : MDG d.d. 29-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103678.4 Y = 480536.3  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-14 MV = NAP -3.76 m  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2. Conustype cilindrisch elektrisch, 1452 mm. Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



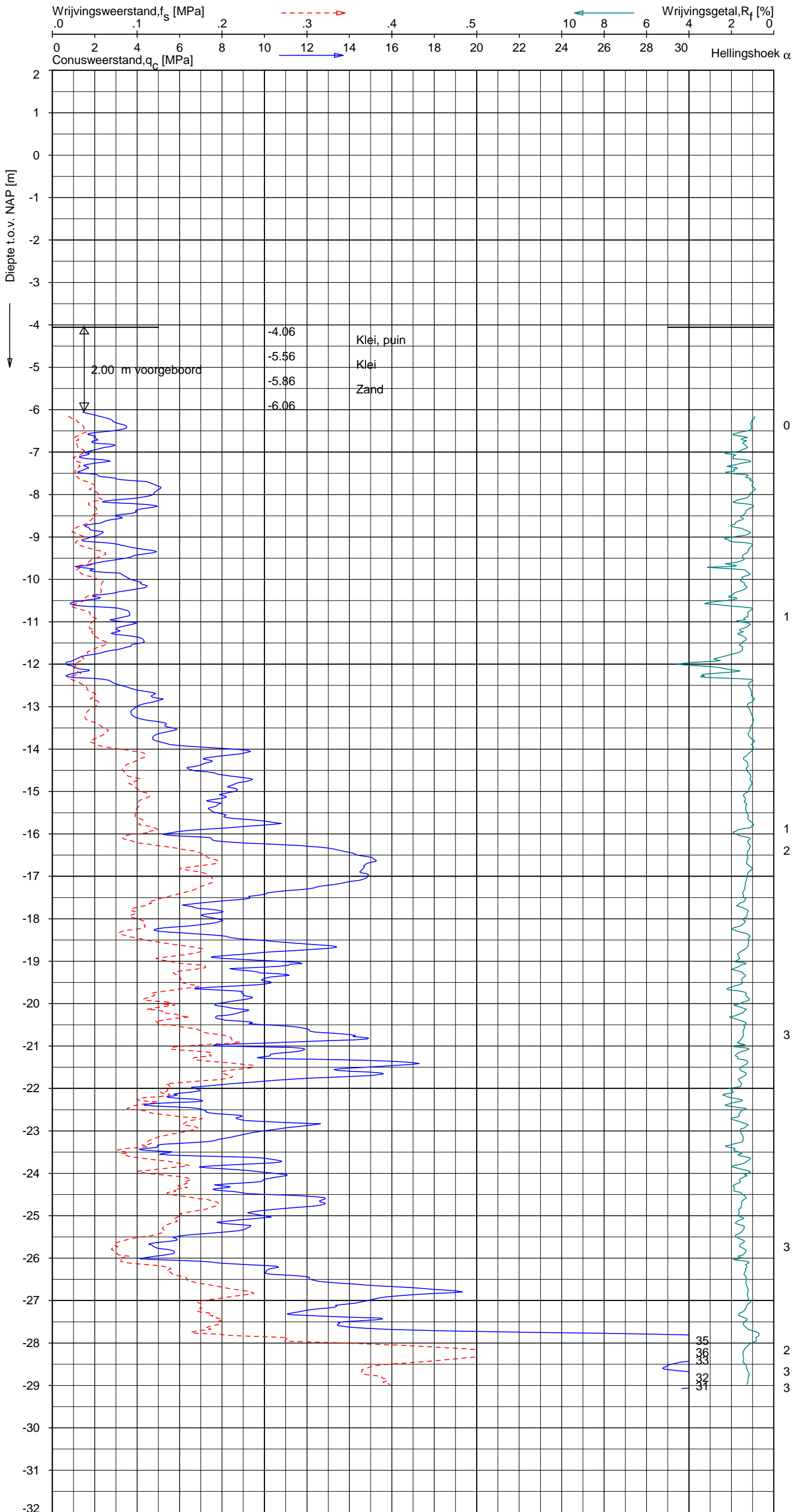
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1147

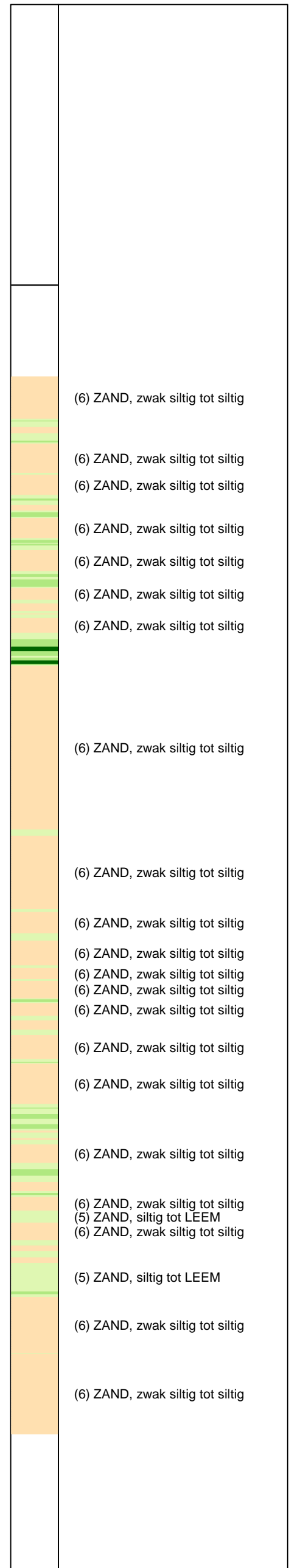
UNIPLOT 05.19.nl / QofClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:23:24

1010-0117-003

DKM1149 - 1



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

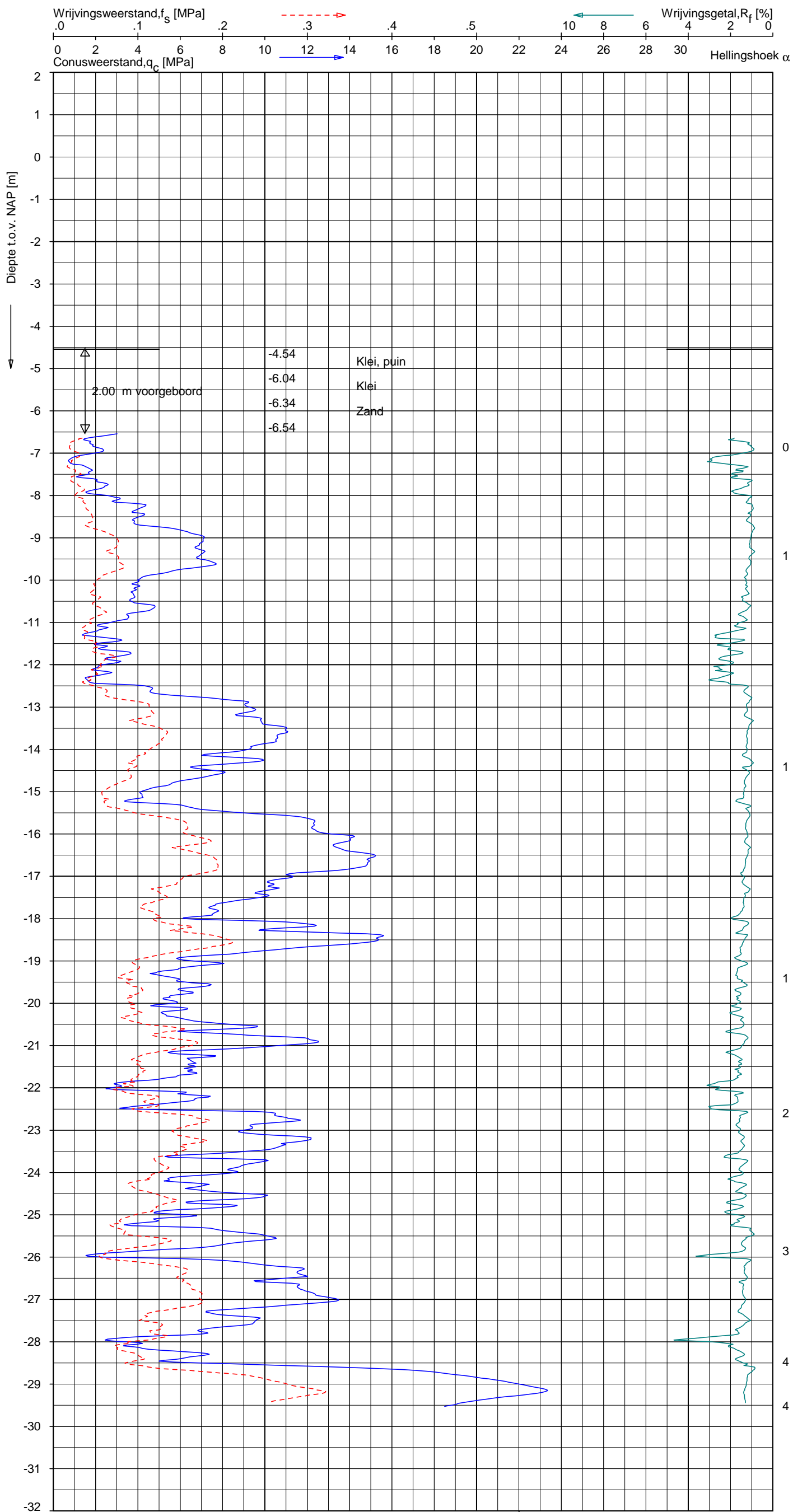




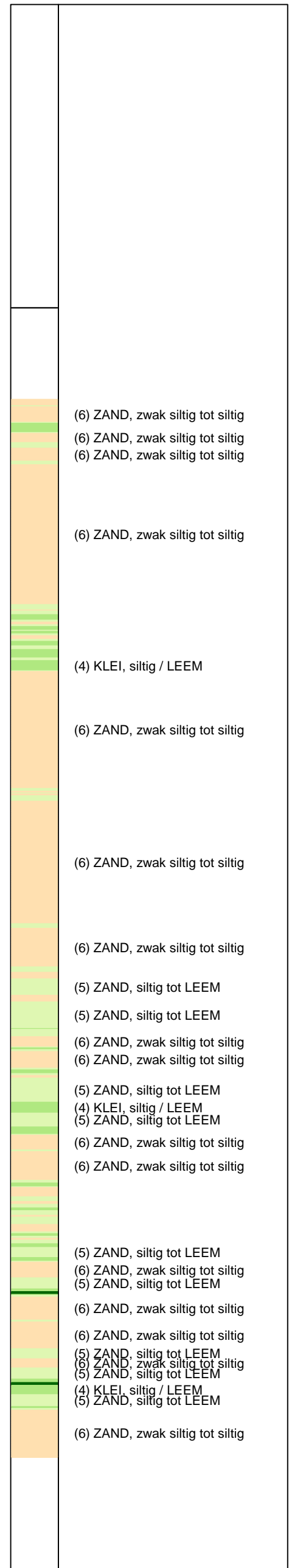
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:23:28

1010-0117-003

DKM1150 - 1



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



Opg. : MDG d.d. 29-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 103787.5  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.54 m Y = 480421.3  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1452 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



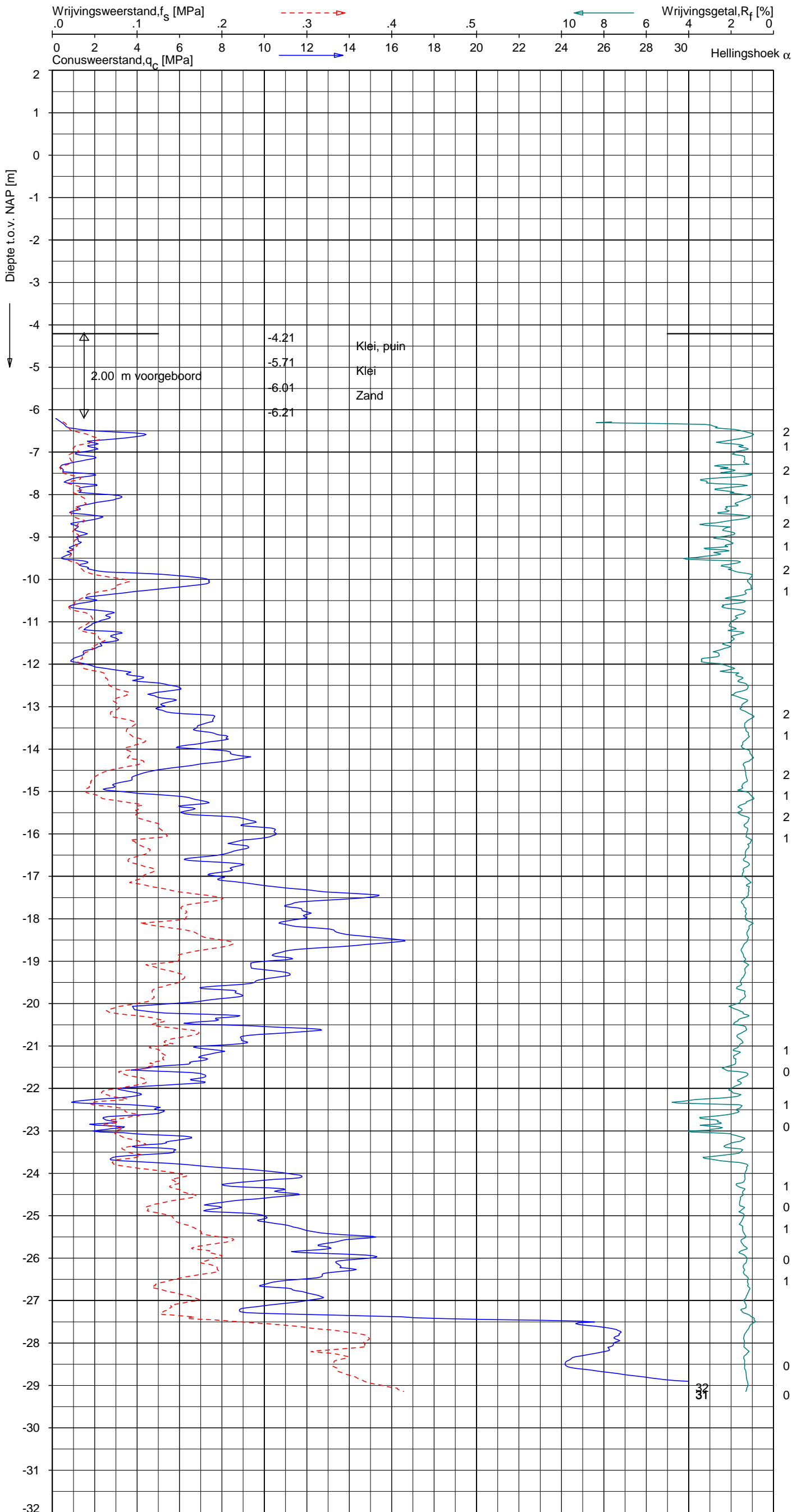
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1150

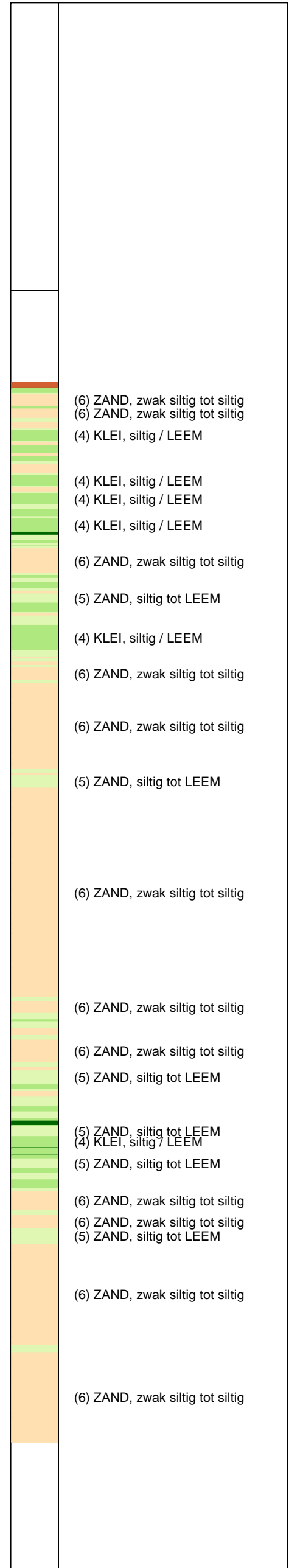
UNIPLOT 05.19.n / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:23:29

1010-0117-003

DKM1151 - 1



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



Opg. : MDG d.d. 29-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 103855.0  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.21 m Y = 480428.0

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1452 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

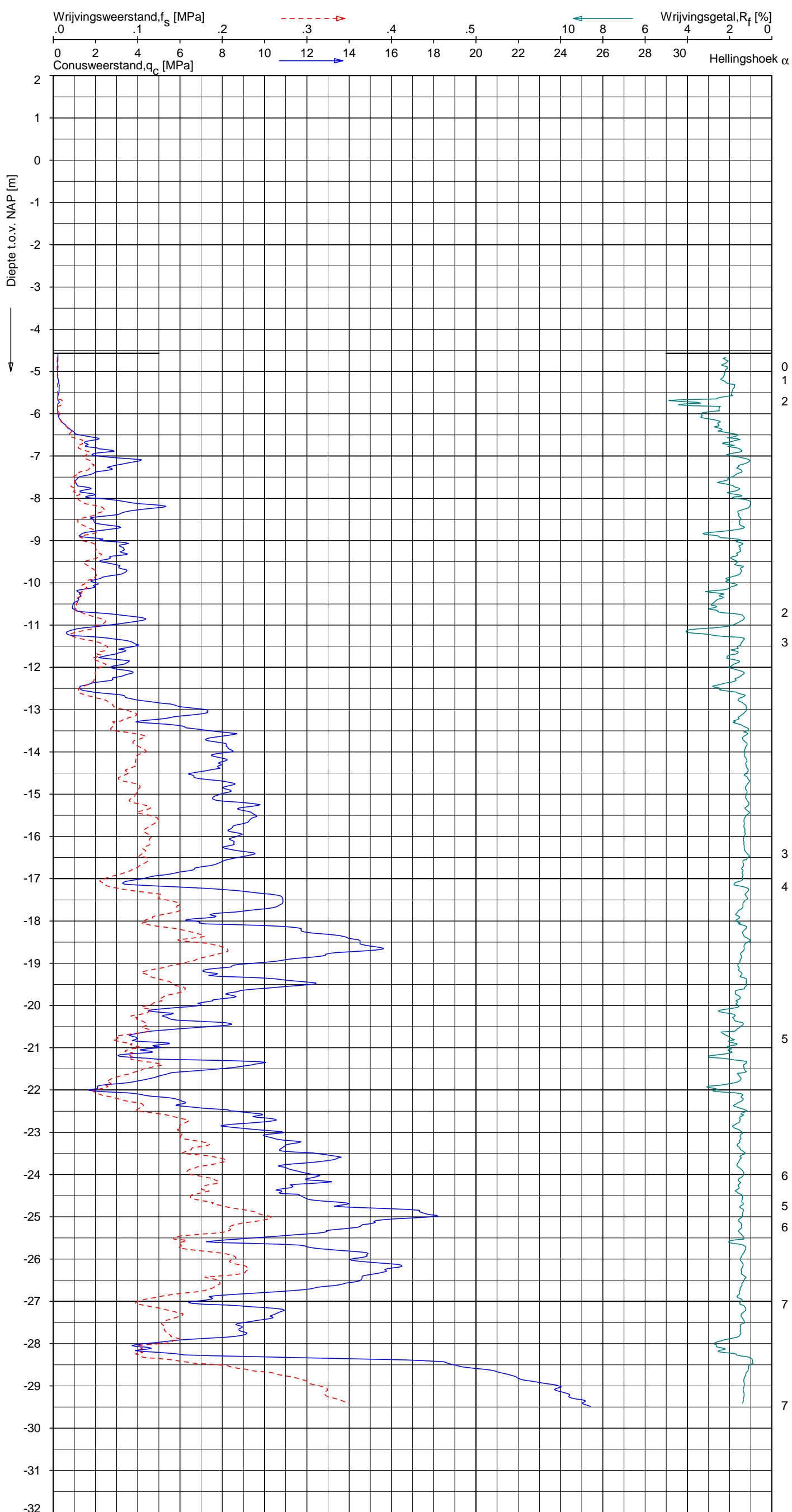
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1151

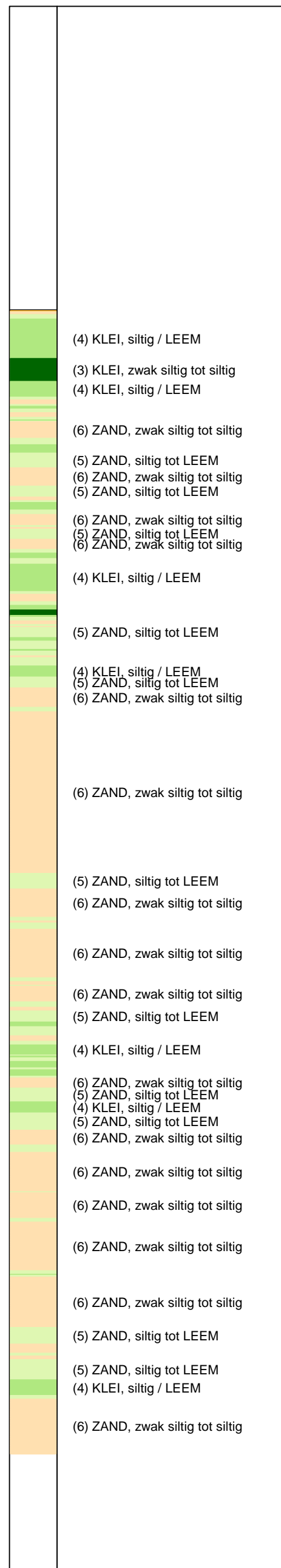
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:23:32

1010-0117-003

DKM1152 - 1



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



Opg. : MDG d.d. 29-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 103904.7  
 Get. : UNISTART d.d. 2012-11-08 MV = NAP -4.57 m Y = 480377.5  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1452 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



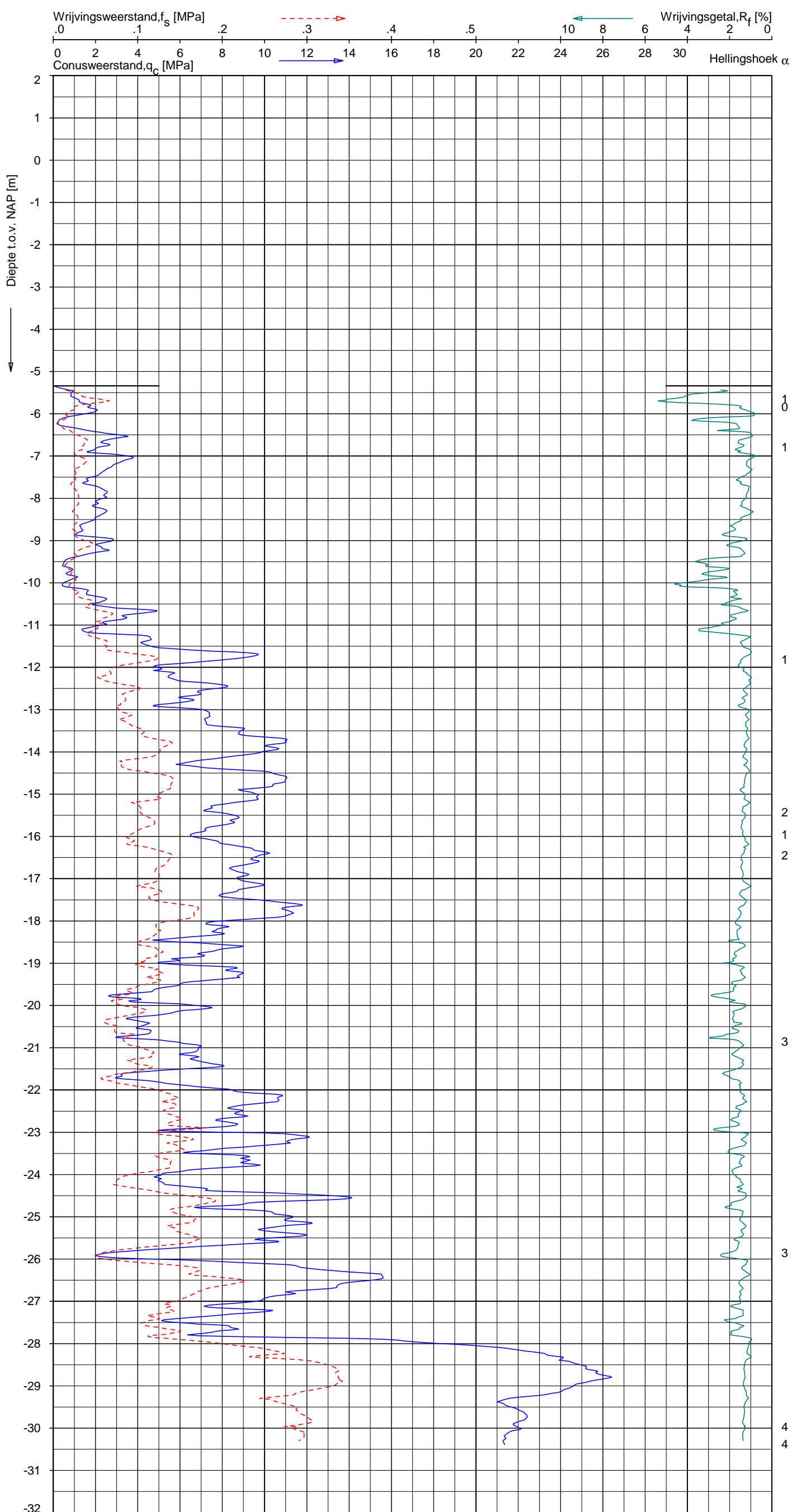
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1152

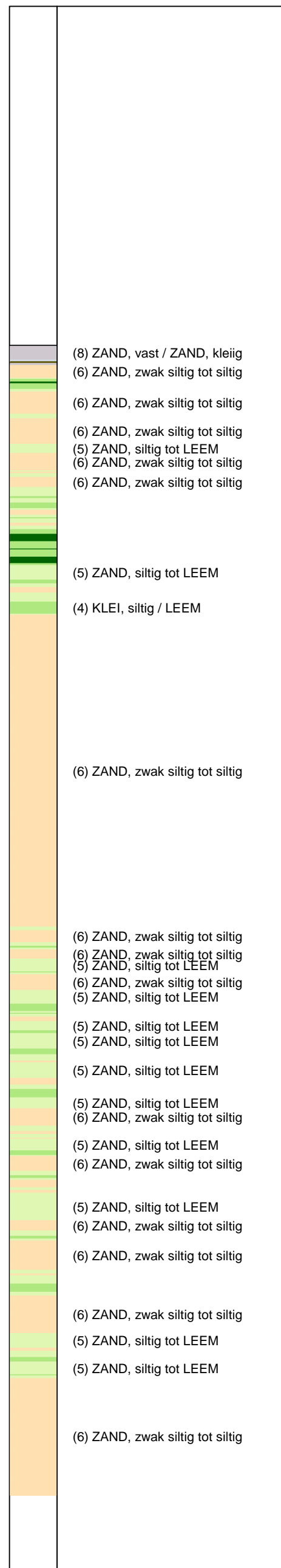
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:23:35

1010-0117-003

DKM1153 - 1



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



Opg. : MDG d.d. 29-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 103952.2 Y = 480374.9  
 Get. : UNISTART d.d. 2012-11-08 MV = NAP -5.34 m

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1452 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

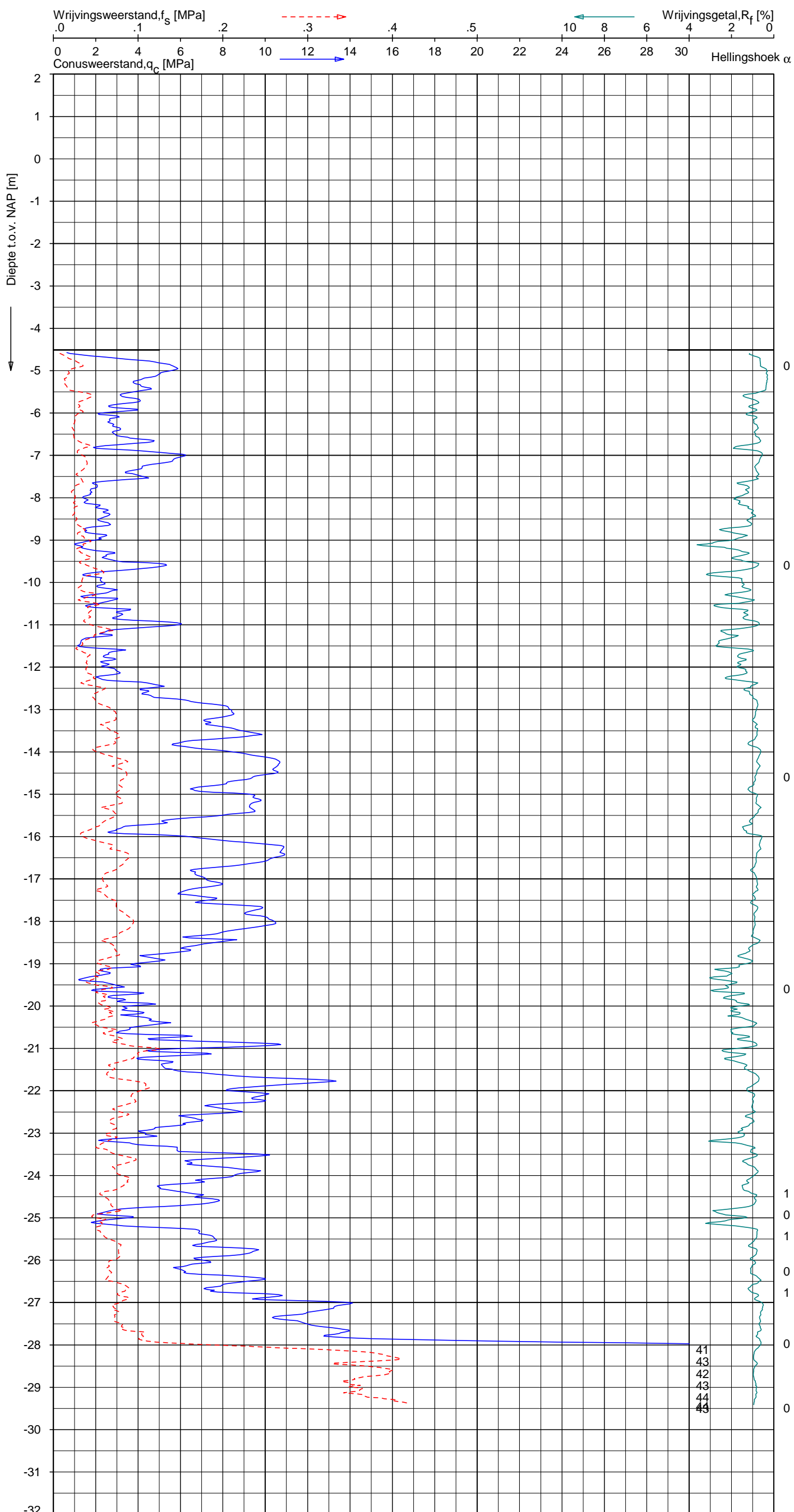
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1153

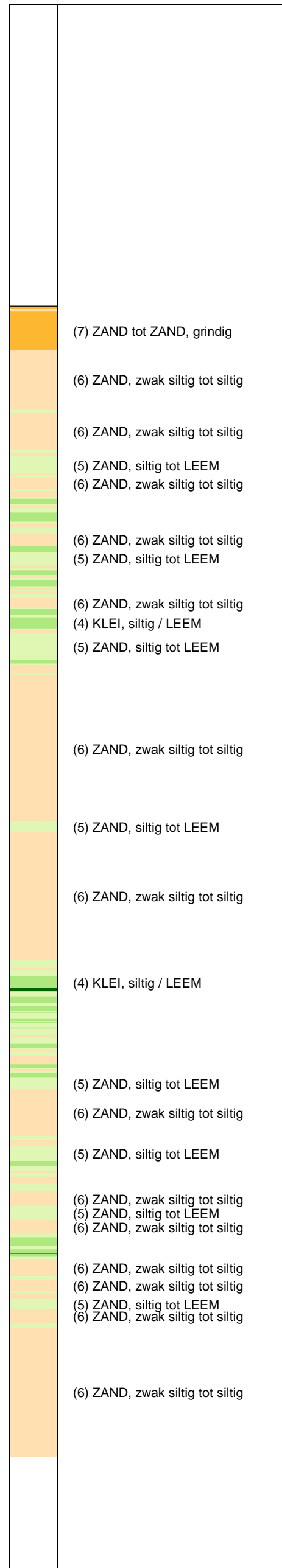
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:48:50

1010-0117-003

DKMP1146A - 1



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



Opg. : MDG d.d. 29-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103641.7 Y = 480575.7  
 Get. : UNISTART d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.51 m

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1452 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



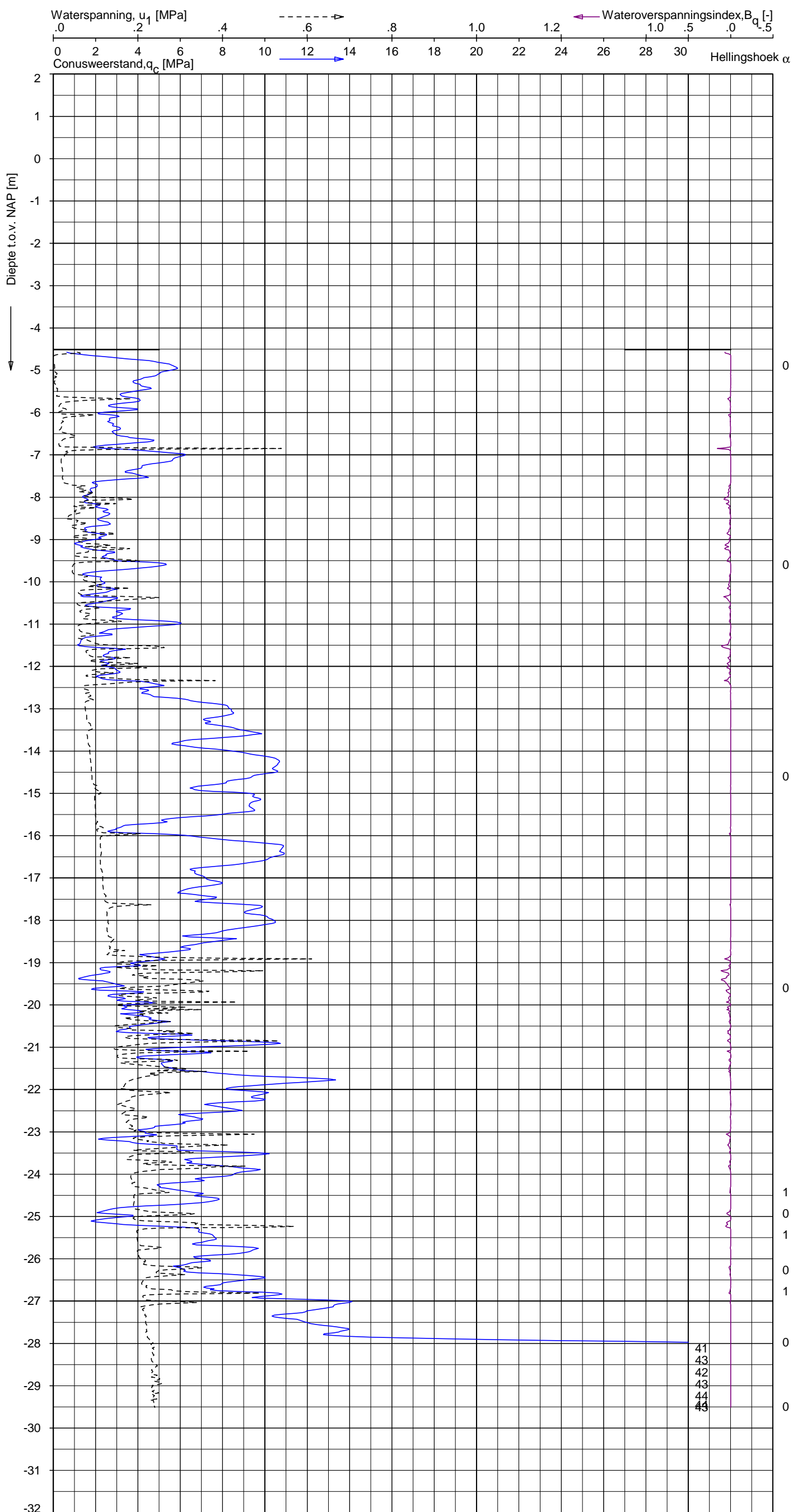
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1146A

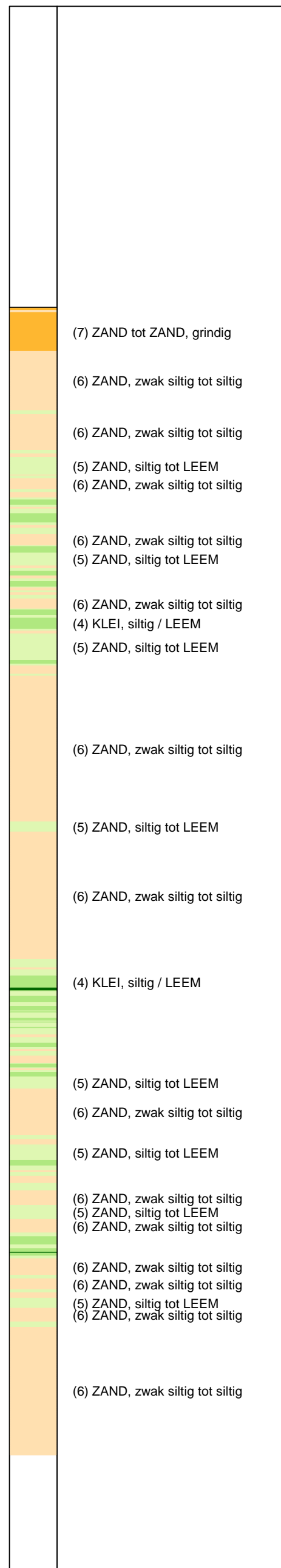
UNIPLOT 05.19.nl / QcU1Class-N3.cmd / 2012-11-14 16:56:55

1010-0117-003

DKMP1146A - 1



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



Opg.: MDG d.d. 29-Oct-2012 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103641.7 Y = 480575.7  
 Get.: UNISTART d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.51 m

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1452 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.

**FUGRO**

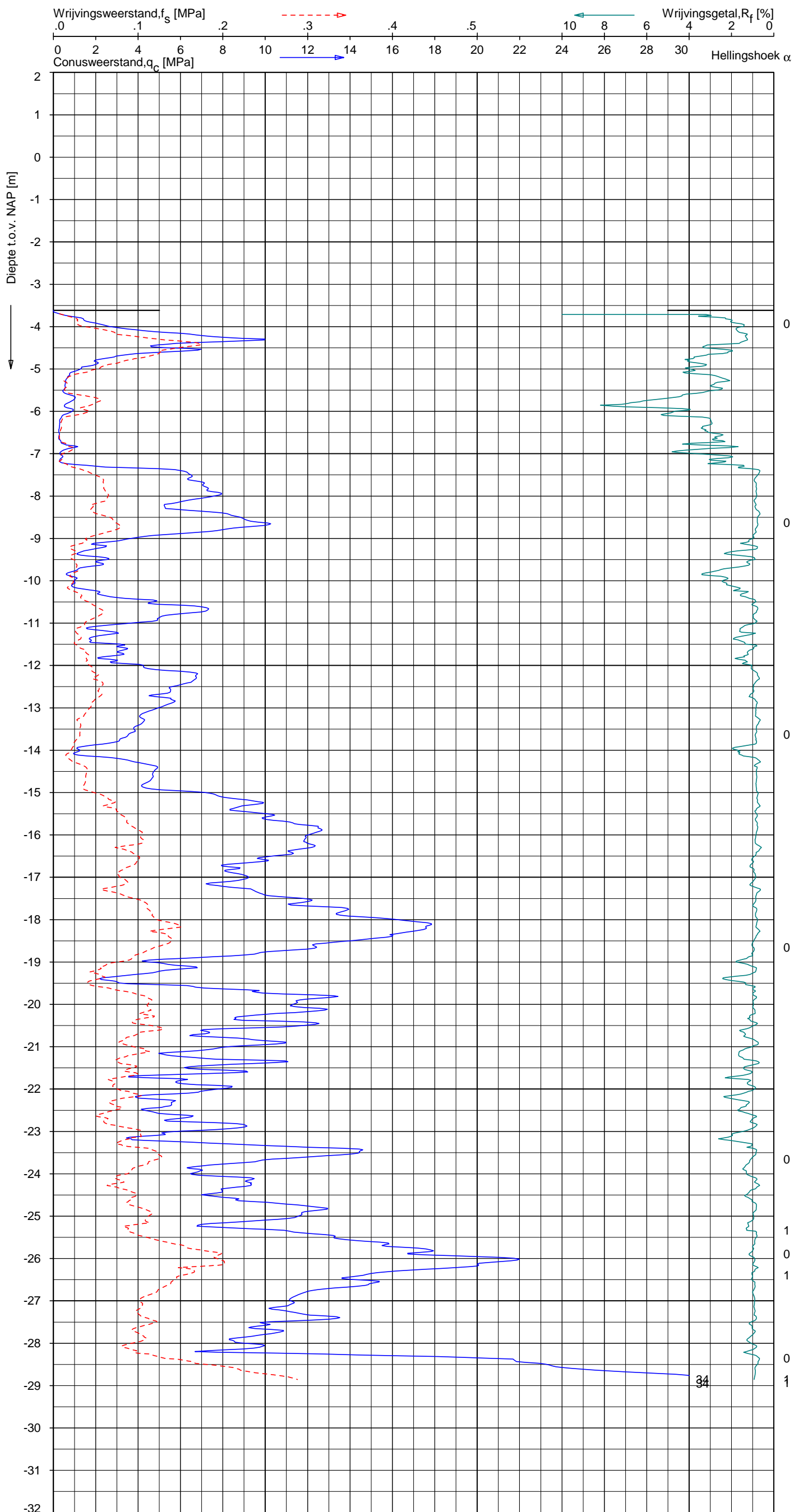
**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1146A

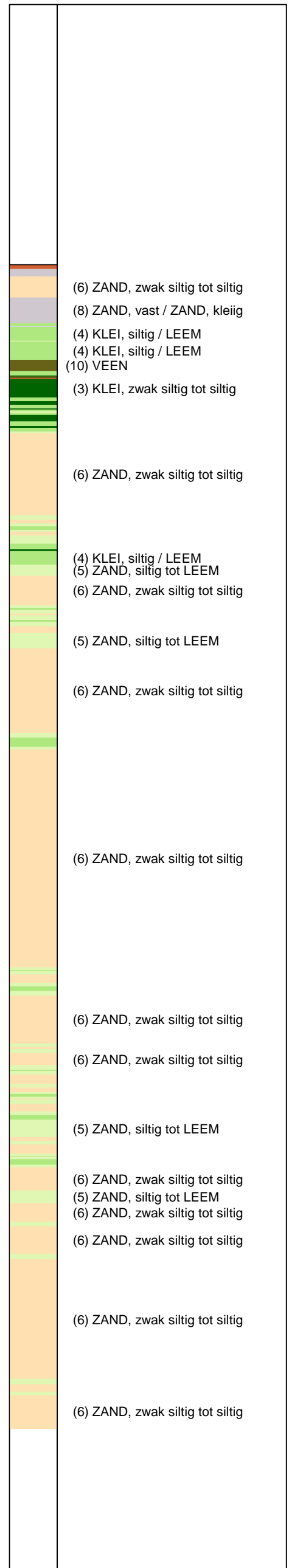
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-14 16:48:52

1010-0117-003

DKMP1148 - 1



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



Opg. : MDG d.d. 29-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103715.3  
 Get. : UNISTART d.d. 2012-11-08 MV = NAP -3.62 m Y = 480499.8

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1452 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

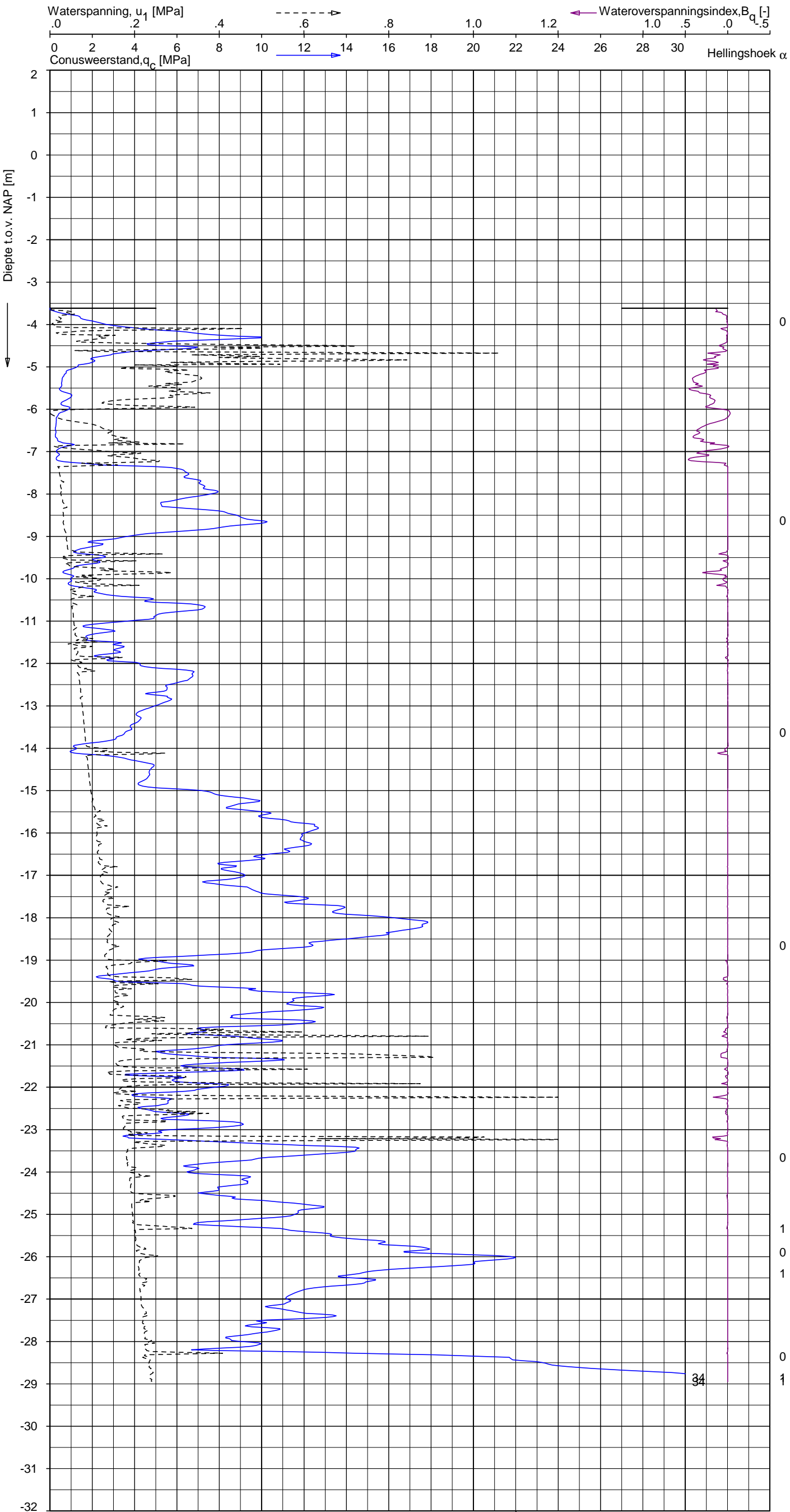
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1148

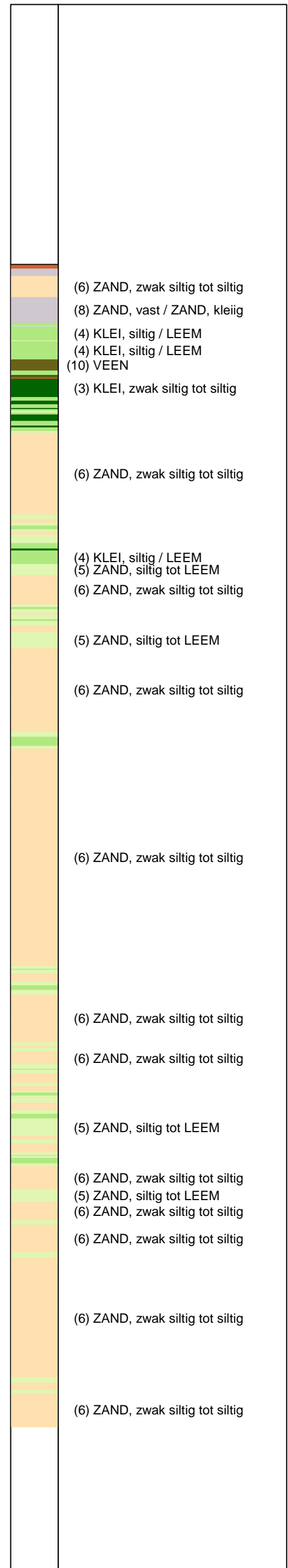
UNIPLOT 05.19.nl / QcU1Class-N3.cmd / 2012-11-14 16:56:58

1010-0117-003

DKMP1148 - 1



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



Opg. : MDG d.d. 29-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103715.3  
 Get. : UNISTART d.d. 2012-11-08 MV = NAP -3.62 m Y = 480499.8

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1452 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1148



# Berekeningen X-07 HDD langs IJtocht te Hoofddorp

## Civiele Werkzaamheden R380 Noordring Perceel 1: Vijfhuizen – Zuidelijke Ringvaart

Documentnummer: : VIR-0.000.522  
Referentienummer: : TP13141-doc-07  
Documentstatus: : Definitief  
Datum: : 15-11-2013  
Versie: : 2.0

Opdrachtgever:



Opdrachtnemer:



	Naam	Functie	Paraaf	Datum
Opsteller	M.Huurman	Civil Engineer		15-11-2013
Gecontroleerd	J. Hermus	Groepsleider Civiel		15-11-2013
Gecontroleerd	M. Molema	Disciplineleider		15-11-2013
Geautoriseerd / Vrijgave	M. Roohé	Projectmanager		15-11-2013



## DOCUMENT HISTORIE

Revisie	Omschrijving/Belangrijkste wijzigingen	Datum
0.1	Concept definitief ontwerp	17-07-2013
1.0	Definitief Ontwerp	02-08-2013
2.0	Opmerkingen RFA/ RVC verwerkt	15-11-2013



## Inhoud

1. Inleiding .....	4
2. Uitgangspunten .....	5
2.1 Algemeen.....	5
2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren .....	5
2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis.....	5
2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase .....	5
2.5 Kwelproblematiek.....	6
2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring.....	6
2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting.....	6
2.5.3 Kwel op lange termijn.....	6
3. Conclusies.....	7
3.1 Muddrukken tijdens boren.....	7
3.2 Sterkte tijdens installeren.....	8
3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik.....	8
4. Bijlagen .....	9
4.1 Tekening VIR-0.000507, Referentienr. TP13141-K-X-07 .....	9
4.2 Muddrukberekening.....	10
4.3 Trekkrachten berekening .....	11
4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase.....	12
4.5 Grondonderzoek.....	13



## 1. Inleiding

In de Randstad wordt de komende jaren een sterke toename verwacht in de vraag naar electriciteit. Om de elektriciteitsvoorziening in de toekomst veilig te stellen wordt er door TenneT een nieuwe 380kV hoogspanningsverbinding tussen Beverwijk – Vijfhuizen – Bleiswijk – Wateringen gerealiseerd. Dit project wordt Randstad380kV genoemd.

Project Randstad380 Noordring is de tweede fase van het project en bestaat uit een hoogspanningsverbinding van Beverwijk via Vijfhuizen naar Bleiswijk.

Naast de aanleg van een 380kV hoogspanningsverbinding wordt er ook een 150kV hoogspanningsverbinding gerealiseerd. In verband met de aanleg van deze 150kV hoogspanningsverbinding moet een waterpartij nabij het Altenapad (langs de IJtocht) te Hoofddorp gekruist worden. Deze kruising wordt uitgevoerd door middel van twee horizontaal gestuurde boringen. In de boringen worden de volgende mantelbuizen geïnstalleerd:

150kV :

- HDD 01 7x Ø200 PE100 SDR13.6/ SDR11
- HDD 02 7x Ø200 PE100 SDR13.6/ SDR11

In dit rapport worden de voor de boringen benodigde berekeningen uitgevoerd.

De berekeningen worden uitgevoerd op basis van PE100 ø200 SDR13.6. De vraagspecificaite schrijft SDR11 voor. Hiermee wordt de meest ongunstige situatie berekend.

*Hiertoe worden de volgende aspecten bekeken:*

- De bij het boren te verwachten muddrukken en de maximaal toelaatbare muddrukken.
- De benodigde trekkracht voor het intrekken van de mantelbuizen en de hierbij optredende spanningen in de buizen.
- De sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase.
- Mogelijke kwelproblematiek.

Bovenstaande berekeningen worden uitgevoerd met spreadsheet-programma's.

*Uitgangspunten van deze berekeningen zijn de normen:*

- NEN 3650-1:2012, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1 algemeen
- NEN 3650-3:2012 ontwerp, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 3 Kunststoffen
- NEN 3651:2012, Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken.

*Grondonderzoek:*

- Gegevens grondonderzoek afkomstig van Fugro, opdrachtnr. 1010-0117-003 Bijlage 4.5

*Bijbehorende tekeningen:*

- Algemeen plantekening op A4 formaat Bijlage 4.1



## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Algemeen

*De belangrijkste ontwerpgegevens van de mantelbuizen, die gelden voor de boringen:*

Kenmerk	<b>150kV</b> HDD 1 en 2
Materiaal	PE
Kwaliteit	PE100
Treksterkte	10 N/mm <sup>2</sup>
Aantal buizen	7 (per boring)
Diameter	200 mm
Wanddikte	18.2 mm (SDR 13.6)

### 2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren

Voor het afvoeren van de afgeboorde grond is in het boorgat een minimale muddruk nodig. Tevens mag de druk in het boorgat niet groter worden dan de maximaal toelaatbare muddruk. Bij overschrijding van deze druk bestaat het gevaar voor bezwijken van de grond en uitstromen van boorvloeistof aan het maaiveld.

De maximaal toelaatbare muddruk en de minimaal benodigde muddrukken zijn berekend in Bijlage 4.2. De resultaten worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd.

### 2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de mantelbuis in het boorgat in te trekken worden de wrijvingscoëfficiënten volgens de NEN gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de buis optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.3. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.

### 2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase

Voor de sterkte van de mantelbuizen worden voor een aantal locaties doorsnede-berekeningen gemaakt. De volgende doorsneden worden beschouwd:

150kV:

- Punt met de grootste dekking (ca. 16m-maaiveld), hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.
- Diepte van  $8x D_{\text{gat}}$ , hierbij wordt met neutrale gronddruk gerekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.4. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.



## 2.5 Kwelproblematiek

In het kader van de kwelproblematiek worden de hieronder vermelde situaties bekeken.

- Tijdens de uitvoering van de boring
- Tijdens het maken van de aansluiting
- Op lange termijn

### 2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring

De intredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van 4.3m-N.A.P. De uittredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van 4.4m-N.A.P. Het hart van de boringen ligt op het diepste punt op 19.6m-N.A.P.

Het eerste watervoerende zandpakket ligt op een diepte van ca. 13m-N.A.P. en wordt aangeboord.

Volgens de door de opdrachtgever verstrekte informatie bedraagt de gemiddelde stijghoogte van het spanningswater in het eerste watervoerende pakket ca. 5m-N.A.P.

De stijghoogte van het spanningswater is lager dan het maaiveld niveau en daarmee is er geen gevaar voor kwel tijdens de uitvoering van de boringen.

Muduitbraken ter plaatse van de watergangen zijn volgens de berekeningen niet te verwachten (zie hoofdstuk 3 of bijlage 4.2). Kwel vanuit het watervoerende zandpakket naar de watergangen is hierdoor niet te verwachten.

### 2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting

Ten tijde van het maken van de aansluitingen moet tijdelijk een ontgraving van ca. 3m-maaiveld worden gemaakt, waarbij een kwelscherm met kleikist dient te worden aangebracht.

Op het grensvlak werkt een opwaartse waterdruk van  $(5 - 13) \times 10 \text{ kN/m}^3 = 80 \text{ kN/m}^2$   
De bentonietkolom oefent bij een bentoniet gewicht van  $12 \text{ kN/m}^3$  een neerwaartse kracht uit van  $(7.4 - 13) \times 12 \text{ kN/m}^3 = 67.2 \text{ kN/m}^2$

Hoewel het gebruik van zwaardere bentoniet een oplossing zou kunnen zijn, kan hier ook met verzwaarde bentoniet geen evenwicht worden bereikt.

Tijdens het maken van de aansluitingen dient daarom kortdurend spanningsbemaling te worden toegepast.

### 2.5.3 Kwel op lange termijn

Zowel aan de intrede- als aan de uittredeszijde dienen kwelschermen in kleikisten geplaatst te worden om de kwel op lange termijn te voorkomen.



### 3. Conclusies

#### 3.1 Muddrukken tijdens boren

Overzicht minimum en maximum muddrukken tijdens boren:

Locatie		Afstand tot intredepunt	Minimaal benodigde muddruk (Bijlage 4.2)	Maximaal toelaatbare muddruk (Bijlage 4.2)
IN	Intredepunt	0 m		
A		15 m	64 kN/m <sup>2</sup>	135 kN/m <sup>2</sup>
B		30 m	126 kN/m <sup>2</sup>	198 kN/m <sup>2</sup>
C		45 m	176 kN/m <sup>2</sup>	291 kN/m <sup>2</sup>
D		60 m	209 kN/m <sup>2</sup>	398 kN/m <sup>2</sup>
E		75 m	226 kN/m <sup>2</sup>	419 kN/m <sup>2</sup>
F		90 m	229 kN/m <sup>2</sup>	413 kN/m <sup>2</sup>
G		105 m	216 kN/m <sup>2</sup>	373 kN/m <sup>2</sup>
H		120 m	186 kN/m <sup>2</sup>	287 kN/m <sup>2</sup>
I		135 m	140 kN/m <sup>2</sup>	154 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uitiredepunt	150 m		

De maximaal toelaatbare muddruk wordt nergens overschreden. Tijdens het boren van de eindfase van de pilot kunnen muduitbraken voorkomen. Tijdens de uitvoering dient hier rekening mee gehouden te worden door in de eindfase van de pilotboring zo weinig mogelijk bentoniet te verpompen met een zo laag mogelijke druk.



### 3.2 Sterkte tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

	Smax (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	3,0 N/mm <sup>2</sup>	30 %	
Spanning tijdens intrekken	5,0 N/mm <sup>2</sup>	50 %	
Trekkracht			177 kN

De mantelbuizen worden leeg in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkracht van maximaal 18 ton verwacht.

### 3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik

Overzicht van de berekende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met de grootste dekking:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	0,5 N/mm <sup>2</sup>	6 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		0,5 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,89 m	waterkolom

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met een diepte van  $8x D_{gat}$ :

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	2,5 N/mm <sup>2</sup>	31 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		2,6 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,89 m	waterkolom

Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.

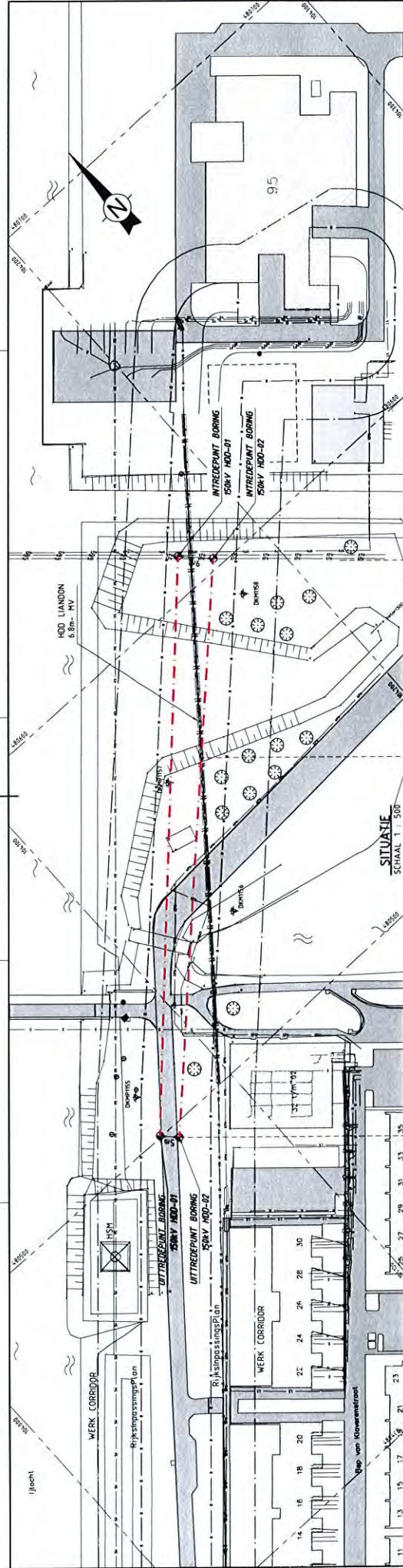




---

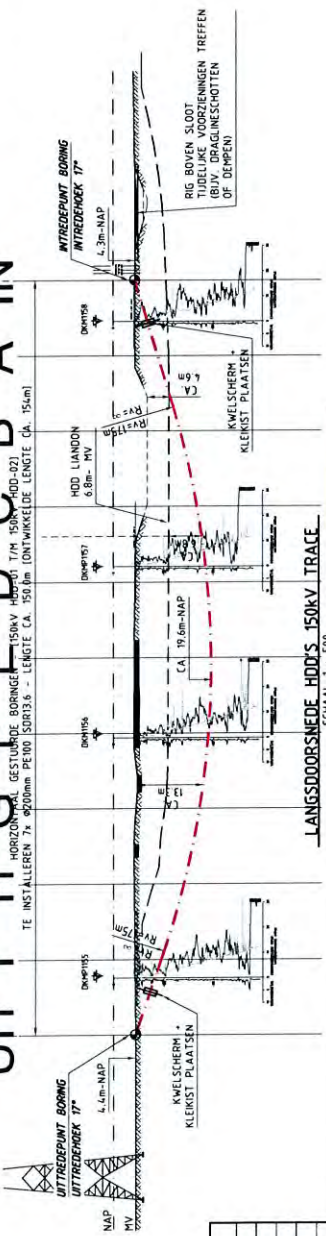
## 4. Bijlagen

### 4.1 Tekening VIR-0.000507, Referentienr. TP13141-K-X-07

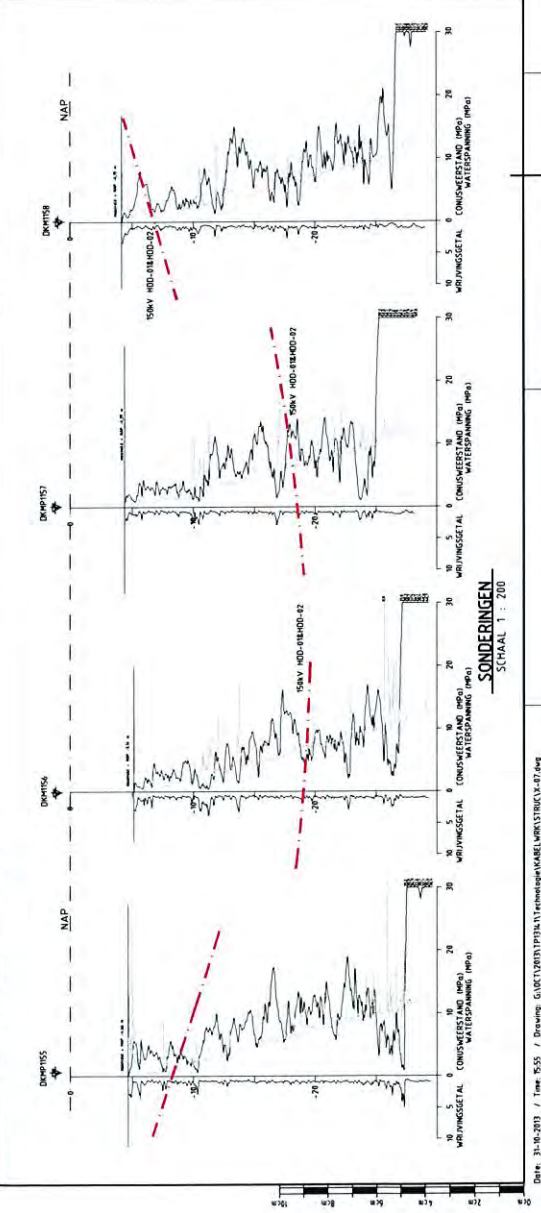


# UIT I H G F E D C B A IN

HORizontaal gestuurde boringen 150kV HDD-A1 t/m HDD-D2  
 TE INSTALLEREN 7x Ø200mm PE100 SDR13.6 - LENGTE CA. 150lm (ONTWIKKELDE LENGTE CA. 154lm)



COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RO		
PUNT	ONSCHRIJVING	Y
INTRADEPUNT BORING	SBKV HDD-A1	4.80479.15
UTTRADEPUNT BORING	SBKV HDD-B1	4.80479.05
INTRADEPUNT BORING	SBKV HDD-C1	4.80479.74
UTTRADEPUNT BORING	SBKV HDD-D1	4.80479.50
INTRADEPUNT BORING	SBKV HDD-E1	4.80479.60
UTTRADEPUNT BORING	SBKV HDD-F1	4.80479.20
INTRADEPUNT BORING	SBKV HDD-G1	4.80479.73



**OPMERKINGEN**  
 -SITUATIE ONTVANEN VAN OORBRACHTEN  
 -BESTAANDE KABELS EN LIJNEN NIET VERWIJZEN AAN DE GEGEVENS  
 -INFORMATIE BESTAANDE HDD LIANDON AFKOMSTIG UIT NOORD TERING 4.1317548  
 -DEPTE WATERSLIJN GEBASEERD OP DEERDIEPTEMETER METELEN EN METEN  
 -MOET WORDE TOEGELIJKEN AAN DE METINGEN EN DE METINGEN NIET VERWIJZEN AAN DE METINGEN  
 -MOET WORDE TOEGELIJKEN AAN DE METINGEN EN DE METINGEN NIET VERWIJZEN AAN DE METINGEN

**VolkerIntra**  
 Randsstad 380

**Tennet**  
 Taking drawn further

PROJECT: RANSTAD NOORD 380KV & 150KV  
 SCHAKEL: TENNET

VERLENDE NO.: VR-0.000.507  
 BEKERINGS NO.: IP13141-K-X-07

2.0

TE INSTALLEREN (150KV) PER BORING  
 7x Ø200mm PE100 SDR13.6  
 7x UITVOEREN

**DOORSNEDE HDD'S 150KV TRACE**  
 SCHAAFL 1: 20



---

## 4.2 Muddrukberkening

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-07 150kV HDD1 en 2 HDD langs IJtocht te Hoofddorp
Berekend door	EHO

Te installeren buis of bundel	
Uitwendige diameter buis/bundel	d 600 mm

Boorstelling	
Type boorstelling	27 ton
Uitwendige diameter pilotbuis	d-uitw. 89 mm
Inwendige diameter pilotbuis	d-inw. 66 mm

Boorvloeistof	
Volumegewicht boorvloeistof	$v_{bo}$ 10,50 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht grond / boorvloeistof mengsel	$v_b$ 12,00 kN/m <sup>3</sup>
Schijnbare viscositeit	visc 100 MarshFunnelseconden
Yieldpoint boorvloeistof	$y_b$ 0,01 kN/m <sup>2</sup>
Viscositeit	eta 0,11 Pas

Boorbuizen	
Lengte boorbuis	L 4,6 m
Lengte koppeling	L-kopp 0,5 m
Inwendige diameter koppeling	d-kop 61 mm
Nik. Ruwheid	k 1 mm

**SAMENVATTING INVOER/RESULTATEN**

Lokatie	Omschrijving	Afstand tot intredepunt	Diepte cl t.o.v ref. lijn [m]	Pmin* in pilot gat	Pmax* toelaatbaar in gat tijdens ruimen
IN	Intredepunt	0,0	0,0 m	-	0 kN/m2
A		15,0	-4,6 m	64	135 kN/m2
B		30,0	-9,1 m	126	198 kN/m2
C		45,0	-12,5 m	176	291 kN/m2
D		60,0	-14,6 m	209	398 kN/m2
E		75,0	-15,3 m	226	419 kN/m2
F		90,0	-14,8 m	229	413 kN/m2
G		105,0	-13,0 m	216	373 kN/m2
H		120,0	-9,8 m	186	287 kN/m2
I		135,0	-5,3 m	140	154 kN/m2
J			m	0	kN/m2
K			m	0	kN/m2
L			m	0	kN/m2
M			m	0	kN/m2
UIT	Uitredepunt	150,0	-0,1 m	-	0 kN/m2
				Pmin benodigd bij max. mud debiet	

**noot \*: Pmin in pilot gat vergelijken met Pmax tijdens ruimen is de meest ongunstige benadering**

**Berekening van de maximaal toelaatbare boorvloestofdrukken P'max  
volgens NEN 3650-1:2012 bijlage E.2**

**INVOER/UITVOER**

Lokatie	IN	A	B	C	D
Grondsoort (zand / klei)	-	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	-	<b>4,6</b>	<b>6,6</b>	<b>10,1</b>	<b>14,5</b> m
Diepte water onder mv (+)	-	<b>1,7</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>1,6</b> m
Hoek inwendige wrijving	-	<b>27,5</b>	<b>27,5</b>	<b>27,5</b>	<b>27,5</b> gr
Volumegewicht nat	-	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b> kN/m3
Volumegewicht droog	-	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b> kN/m3
Cohesie	-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	-	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	-	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b> MPa
Rpmax	-	0,25	0,30	0,28	0,25 m
Elasticiteitsmodulus	-	3800	5700	7600	9500 kN/m2
P'max in gat	-	135	198	291	398 kN/m2

Location	E	F	G	H	I
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	<b>15,5</b>	<b>15,2</b>	<b>13,3</b>	<b>10,1</b>	<b>5,5</b> m
Diepte water onder mv (+)	<b>1,8</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,9</b> m
Hoek inwendige wrijving	<b>27,5</b>	<b>27,5</b>	<b>27,5</b>	<b>27,5</b>	<b>27,5</b> gr
Volumegewicht nat	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b> kN/m3
Volumegewicht droog	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b> kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b> MPa
Rpmax	0,24	0,24	0,26	0,26	0,23 m
Elasticiteitsmodulus	9500	9500	9500	7600	3800 kN/m2
P'max in gat	419	413	373	287	154 kN/m2

Location	J	K	L	M	UIT
Grondsoort (zand / klei)					-
Gronddekking					- m
Diepte water onder mv (+)					- m
Hoek inwendige wrijving					- gr
Volumegewicht nat					- kN/m3
Volumegewicht droog					- kN/m3
Cohesie					- kN/m2
Dwarscontractiecoefficient					-
CPT Conusweerstand: qc					- MPa
Rpmax	0,00	0,00	0,00	0,00	- m
Elasticiteitsmodulus	0	0	0	0	- kN/m2
P'max in gat					kN/m2



---

### 4.3 Trekkrachten berekening

Voor de berekening van de trekkraft die benodigd is om de leiding in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN 3650-1:2012 gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de leiding optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.

## Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

### INVOER

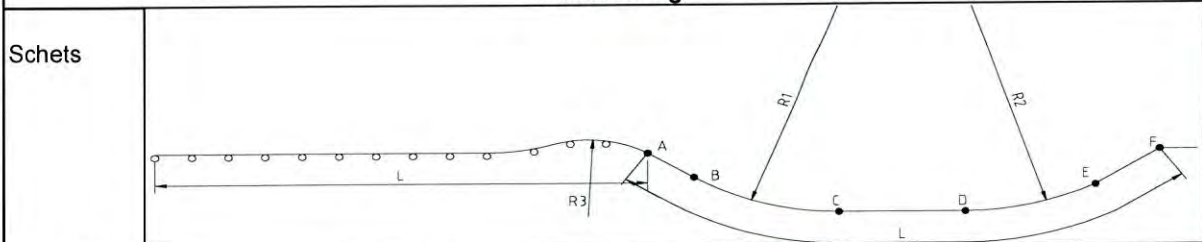
#### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-07 150kV HDD 1 en 2 HDD langs IJtocht te Hoofddorp
Berekend door	EHO

#### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	200 mm
Wanddikte	$d$	18,2 mm
Dikte externe coating	$c-e$	0 mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0 kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0 mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0 kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY		pe100
buizen met flexibele verbindingen		nee
Elasticiteitsmodulus	E	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	sg	955 kg/m <sup>3</sup>

#### Maatvoering



Lengte boring	L	154 m		
Afstand	A-B	18 m		
Afstand	A-C	73 m	A-H1	73 m
Afstand	A-D	73 m	A-H2	73 m
Afstand	A-E	128 m		
Afstand	A-F	154 m		
Straal boor profiel	$R_1$	175 m		excl. 10% marge
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	0		
Straal boor profiel	$R_2$	175 m		excl. 10% marge
Straal rollenbaan	$R_3$	50 m		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	17 graden		(bij punt A)
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0 graden		(+ naar beneden ri. rig zijde)
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	0 graden		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	17 graden		(bij punt F)
Aantal buizen	aantal, n	7 buis/buizen		--
Bundel gekoppeld		nee		
Buisvulling in boorgat	leeg		Buisvulling (water) ook op rolstellen	nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012		
Pipe Pusher capaciteit	0 kN	nee		
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen		nee		

### SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	177 kN	18 ton
SI max in boorgat	SI	3,0 N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	5,0 N/mm <sup>2</sup>	
		50,3 % S-toel	Voldoet! <100 %

## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2, f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

Diverse gegevens		
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel	10 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht bentoniet	sg	1200 kg/m <sup>3</sup>
Doorsnedeoppervlak	Abuis	10395 mm <sup>2</sup> per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>3</sup>
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>4</sup>
Weerstandmoment	W	433754 mm <sup>3</sup> per buis
Traagheidsmoment	I	43375426 mm <sup>4</sup> per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>	3036280 mm <sup>3</sup> voor: 7 buis/buis
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>	303627980 mm <sup>4</sup> voor: 7 buis/buis
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g omlaag	0,6949 kN/m1streng
gewicht vull x aantal buizen	g vull omhoog	0,0000 kN/m1streng
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra omhoog	0,0000 kN/m1streng
opdriving x aantal buizen	g opw omhoog	-2,6389 kN/m1streng
g eff in gat = g-gopw	g eff omhoog	-1,9440 kN/m1streng
g eff op rolstellen	g eff omlaag	0,6949 kN/m1streng
$\lambda = \sqrt{\sqrt{(k_v \times B/4/E/I)}}$	$\lambda$	0,002152 mm <sup>-1</sup>
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>	0,04 N/mm <sup>3</sup>
Oplegbreedte van de bundel	B	781 mm
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_1$	Q <sub>r1</sub>	0,0044 N/mm <sup>2</sup>
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_h$	Q <sub>rh</sub>	0,0000 N/mm <sup>2</sup>
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B^2 \times E \times I / B / R_2$	Q <sub>r2</sub>	0,0044 N/mm <sup>2</sup>
Reductiefactor voor bundel = $n \times 1/n^{0.3}$	b'	3,905 x Omtrek van een buis

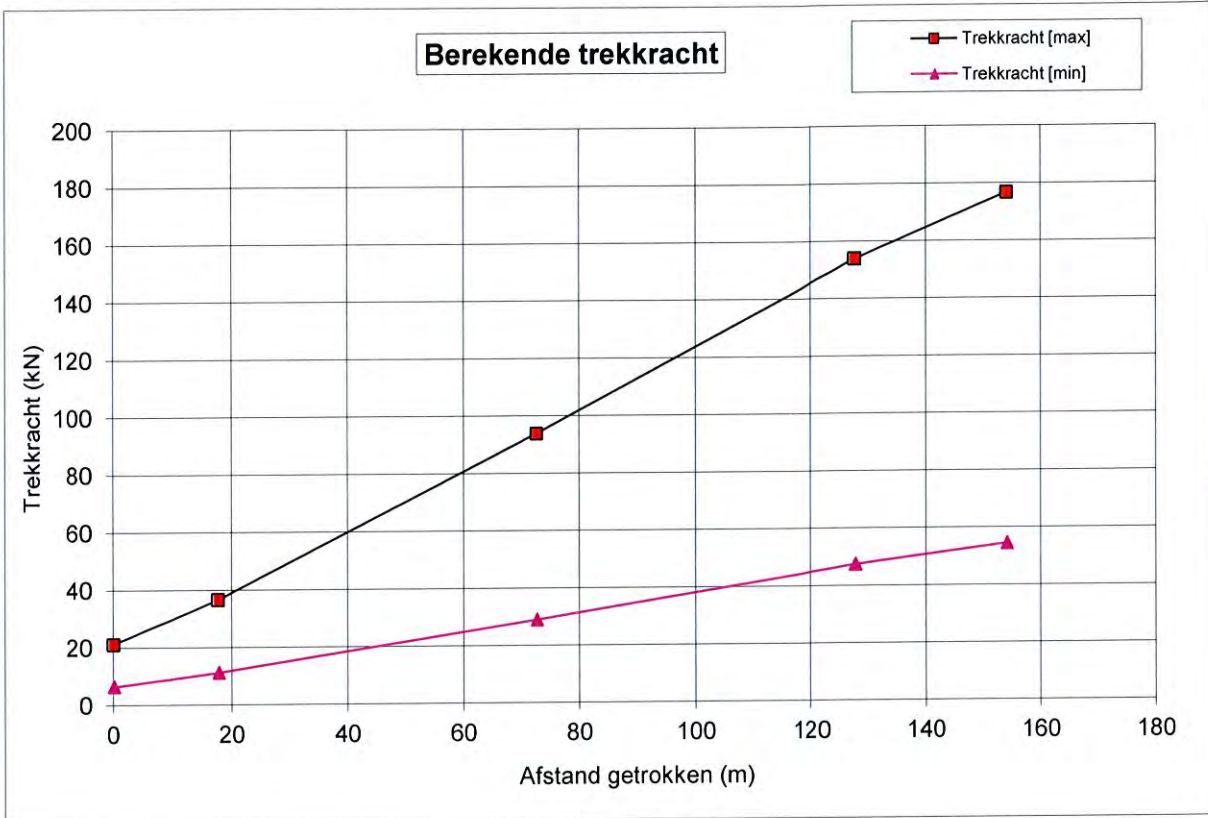
Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	154	136	81	81	81	81	26	0	
T <sub>1</sub> (kN)	11,76	10,42	6,21	6,21	6,21	6,21	2,01	0	
L <sub>2</sub> (m)	0	18	55	0	0	0	55	26	
T <sub>2</sub> (kN)	0	9,90	30,94	0,00	0,00	0,00	30,94	14,85	
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	2,22	0,00	0,00	0,00	2,22	0	
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	2,85	2,85	2,85	2,85	7,31	7	
F x f (totale kracht, kN)	12	20	52	52	52	52	86	98	
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	21	37	94	94	94	94	154	177	
De te verwachten trekkracht ligt tussen			55 kN	en	177 kN				
De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk							196 kN		
De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid									

Spanningen in boorgat									
Totale spanning in boorgat									
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	0,3	0,5	1,3	1,3	1,3	1,3	2,1	2,4	
SI = f x (I / W) / R	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	
SI tot	0,3	0,5	2,1	1,3	1,3	1,3	3,0	2,4	

Spanningen op rollenbaan			
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling			
Sr kromming = f x E x (I / W) / R	Sr	2,6 N/mm <sup>2</sup>	
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>	M	6,4 kNm	total
SI = M buig /W + Sr +F <sub>trek</sub> /A/aantal	SI	5,0 N/mm <sup>2</sup>	



## GRAFIEK





---

## 4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-07 150kV HDD1 en 2, punt met diepte van 8x de gatdiameter
Berekend door	EHO

Buisgegevens			
Materiaal soort		PE	
Uitwendige diameter	$D_e$	200 mm	
Uitwendige isolatie/coating	e	0	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	200 mm	
SDR waarde		11	
Wanddikte	$d_n$	18,20 mm	
Materiaalkwaliteit		PE100	
Treksterkte	Strek	10 N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	S	1	
Ontwerpdruk	$p_d$	0 bar	mantelbuis: geen inw. druk
		0	
Verkeersklasse		NVN-ENV 0,5x load model 2	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	0 K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	175 m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		onder	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		ja	ja, nee

Grondgegevens			
Dekking	H	6 m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	sg	16 kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		zand	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		neutraal	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	1,9 m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	0 mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	0,058 N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	0,0406 N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	27,5 °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	30 °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	30 °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	1,30E-04 mm/mm/K	
Sleufbreedte		smaller dan 1,5D	Qp=Qk=Qn, reken met Qn

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. IOWA-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

### Langsspanningen indien van toepassing

#### Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening

Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )

Inclusief totaal factoren op	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
grondparameters	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen & belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening

Inclusief totaal factoren op		<b>0</b>
grondparameters		<b>0</b>
		<b>0</b>
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>

Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

### Overige gegevens

Wandtraagheidsmoment	$I_w$	502,38 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	55,21 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	90,9 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	181,8 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	18,2 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,21 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,10 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	18,2 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	0,43 *10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	43,38 *10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,1160 N/mm <sup>3</sup>	incl totaal factor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaal factor

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	2,5 N/mm <sup>2</sup>	
	% $R_m$ , allow	31 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	2,6 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	$f$	1,50
Totaal factor $Q_n$	$f$	1,10
Totaal factor $Q_p$	$f$	1,50
Totaal factor kv omlaag	$f$	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	11,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	11,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal	veen	veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
E-modulus aanvulmateriaal	1 MPa	
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	9 mm	
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$	7 mm	
$z_{\text{max}} \text{ reken}$	9 mm	
$q_n$	0,0550 N/mm <sup>2</sup>	Qp met fm= 0,10
$q_p (f_m=0,10)$	0,2200 N/mm <sup>2</sup>	
$q_p - q_n$	0,1650 N/mm <sup>2</sup>	
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,018075 N/mm <sup>3</sup>	
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058 N/mm <sup>3</sup>	
$u$	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
$u \times D_o$	20 mm	
$u \times D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$	9 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,168 N/mm <sup>2</sup>	
$Q_k$	33,55 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

LET OP Qk is hoger dan Qp

#### Berekening gereduceerde gronddrukken

#### Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur

Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

#### Gegevens holocéen

Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holocéen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	0 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	27,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	16,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	6,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	15,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma'_h - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / (2B_1 \cdot k_v))))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,22 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,54
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	9,17 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	1,45 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond\ reken}$	$Q \times f$	12,10 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	11,12 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	1,25 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,25 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
$K_n$	$K_n$	0,54	Neutrale gronddruk coefficient

$$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$$

$Q_{h, \text{neutraal}}$	5,30 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°
--------------------------	-----------------------------	---------------------------------

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_n/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_n/3 \times d_v/2 \times \sin 60$		14,77 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	7,00 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	4,47 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2'}$	4,47 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,64
	$d_{y2'}/d_{y1}$	0,64
	$d_{y1}/2$	3,50 mm

#### Zandgrond en drukloos

$$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}} = 5,30 \text{ kN/m}^1 \text{ buis} \quad \text{altijd toelaatbaar}$$

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}} = 5,30 \text{ kN/m}^1 \text{ buis} \quad \text{als } f_{rr} > dy_2/dy_1 \text{ toelaatbaar}$$

#### Zandgrond en drukleiding

$$\text{steundruk niet toelaatbaar} = 0,00 \text{ kN/m}^1 \text{ buis} \quad \text{als } dy_1/2 < dE \text{ toelaatbaar}$$

#### Klei/veengrond drukloos

$$Q_h = Q_{h,n} = 5,30 \text{ kN/m}^1 \text{ buis} \quad \text{altijd toelaatbaar}$$

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$$Q_h = Q_{h,n} = 5,30 \text{ kN/m}^1 \text{ buis} \quad \text{als } f_{rr} > dy_2'/dy_1 \text{ toelaatbaar}$$

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_n$	5,30 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	5,30 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	0,46 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	-0,25 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	4,77 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	4,77 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f



#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

Materiaalgegevens		
Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m$ , toel	8 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk		
Spl	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)		
$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	Qgrond	12,10 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	4,68 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	2,95 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-3,03 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E'I_w))$	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
Reroundingeffect	$S_q$ bodem	4,68 N/mm <sup>2</sup>
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q$ top	2,95 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-3,03 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)		
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	Qh,grond	4,77 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	-1,12 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-1,12 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	1,12 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)		
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	Qh,grond	4,77 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	-1,12 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-1,12 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-1,12 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)		
Stootcoëfficiënt	S	1
Verkeersbelasting	$P_v$	1,25 kN/m <sup>2</sup>
	$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,06 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,06 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,10 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal		
$\lambda^2$		2,11121E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,15 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,06 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,07 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal		
$S_n = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	onder	
	$S_n$	0,17 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_i$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_i$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_i$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * lw + 0.061 kh * rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	5,2 mm	
	2,6 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * lw / Dg^3$	25,08 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,91 N/mm <sup>2</sup> 19,11 bar 191,11 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,39 bar 23,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>			
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	4,68	2,95	3,03 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-1,12	-1,12	-1,12 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,10	0,06	0,06 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,15	0,06	0,07 N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$	3,80	1,95	2,04 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>			
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_i$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal	0,17	-0,17	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,17	-0,17	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T,x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
<i>Toetsing</i>			
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T,x}$	0,11	-0,11	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	1	1	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	2,47	1,27	1,33 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	31	16	17 % < 100%

Deflectie	
Deflectie	2,6 % van uitwendige diameter

Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis			
Spanningen in omtreksrichting	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in langsrichting	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_i$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T,x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis			
	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

# 1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

rev10a: 26-09-2011

## INVOER

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-07 150kV HDD1 en 2, punt met de grootste dekking
Berekend door	EHO

Buisgegevens			
Materiaalsoort		PE	
Uitwendige diameter	$D_e$	200 mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	0	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	200 mm	
SDR waarde		11	
Wanddikte	$d_n$	18,20 mm	
Materiaalkwaliteit		PE100	
Treksterkte	Strek	10 N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	S	1	
Ontwerpdruk	$p_d$	0 bar	mantelbuis: geen inw. druk
Verkeersklasse		NVN-ENV load model 2	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	0 K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	175 m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		onder	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		ja	ja, nee

Grondgegevens			
Dekking	H	15,7 m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	sg	16 kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		zand	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		gered. pleistoceen	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	1,9 m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	0 mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	0,058 N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	0,0406 N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	27,5 °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	30 °	30, 70, 90, 120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	30 °	30, 70, 90, 120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	1,30E-04 mm/mm/K	
Sleufbreedte		smaller dan 1,5D	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	G <sub>vul</sub>	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	G	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	E'	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	E	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekkings, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

### Langsspanningen indien van toepassing

#### Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening

Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )

Inclusief totaal factoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen & belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening

Inclusief totaal factoren op grondparameters		<b>0</b>
		<b>0</b>
		<b>0</b>
Indirect over te dragen belasting	Q <sub>indirect</sub>	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>

Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	ix	<b>1</b>	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	<b>0</b>	>=0

### Overige gegevens

Wandtraagheidsmoment	I <sub>w</sub>	502,38 mm <sup>4</sup> /mm	1/12(d <sub>n</sub> -c <sub>t</sub> ) <sup>3</sup>
Wandweerstandsmoment	W <sub>w</sub>	55,21 mm <sup>3</sup> /mm	1/6(d <sub>n</sub> -c <sub>t</sub> ) <sup>2</sup>
Gemiddelde straal	r <sub>g</sub>	90,9 mm	(D <sub>e</sub> -d)/2
Gemiddelde diameter	D <sub>g</sub>	181,8 mm	D <sub>e</sub> -d
Minimum wanddikte	d	18,2 mm	
Gewicht vulling	Q <sub>vul</sub>	0,21 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	Q <sub>eg</sub>	0,10 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	Q <sub>op</sub>	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	d <sub>n</sub> -c <sub>t</sub>	18,2 mm	
Weerstandmoment van de buis	W	0,43 *10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	I	43,38 *10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	f	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	f	1,70	
Verticale beddingsconstante	k <sub>v</sub> x f	0,1160 N/mm <sup>3</sup>	incl totaal factor
Horizontale beddingsconstante	k <sub>n</sub> x f	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaal factor

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	0,5	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	6 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

Deflectie bij drukloze leiding	0,5 % Do	voldoet
--------------------------------	----------	---------

Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk	23,89 m waterkolom
---	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens			
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522	N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365	N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0	mm
Totaal factor uitvoeringszakking	$f$	1,50	
Totaal factor $Q_n$	$f$	1,10	
Totaal factor $Q_p$	$f$	1,50	
Totaal factor $k_v$ omlaag	$f$	2,00	
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00	

Berekening verticale gronddrukken			
<i>Neutrale grondbelasting</i>			
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	22,64 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>			
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	22,64 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>			
Grondtype aanvulmateriaal		veen	
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa	veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		6 mm	
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		5 mm	
$z_{\text{max}} \text{ reken}$		6 mm	
$q_n$		0,1132 N/mm <sup>2</sup>	
$q_p (f_m=0,10)$		1,0018 N/mm <sup>2</sup>	$Q_p$ met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$		0,8886 N/mm <sup>2</sup>	
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$		0,157464 N/mm <sup>3</sup>	
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel		0,058 N/mm <sup>3</sup>	
$u$		0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
$u \times D_o$		20 mm	
$u \times D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$		6 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$		0,270 N/mm <sup>2</sup>	
$Q_k$		53,94 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

LET OP  $Q_k$  is hoger dan  $Q_p$

#### Berekening gereduceerde gronddrukken

##### Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur

Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

##### Gegevens holoceen

Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0 m
Dikte samendrukbare grondmassief	$H$	0 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m



Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	27,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	16,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	15,7 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	15,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o * B_1 * (\gamma'_h - c_h / B_1) / (K * \tan \phi_h) * (1 - e^{-(K * h_h * \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h * \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) * 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 * (3H - 2h) * \alpha) / (2 C * H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 * k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h * \gamma'_h - F_r / 2B_1) * D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,22 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,54
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	7,21 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o * B_1 * \gamma') / (K * \tan \phi) * (1 - e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h * h_h * D_o * e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	1,14 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. pleistoceen	
$Q_{grond \text{ reken}}$	Q x f	1,25 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

<b>Berekening horizontale steundrukken</b>			
<i>Neutrale steundruk</i>			
Q <sub>n</sub> buisniveau	Q <sub>n</sub> buisas	22,76 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
P <sub>v</sub> buisniveau	P <sub>v</sub> buisas	2,50 kN/m <sup>2</sup>	
Q <sub>v</sub> buisniveau	Q <sub>v</sub> buisas	0,50 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,54	Neutrale gronddruk coefficient
Q <sub>n</sub> = (Q <sub>n</sub> +Q <sub>v</sub> ) x Kn x sin(60)	Q <sub>n,neutraal</sub>	10,84 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°
<i>Iowa steundruk</i>			
dE	dE	0 mm	
iowa max = Do x 2k <sub>n</sub> /3 x dE x sin 60		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
Q <sub>n, iowa</sub> = Do x 2k <sub>n</sub> /3 x d <sub>v</sub> /2 x sin 60		2,28 kN/m <sup>1</sup> buis	
Q <sub>n, reken</sub> = Q <sub>h, iowa</sub> , min	Q <sub>n,iowa,reken</sub>	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar
hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk			
deflectie zonder steundruk	d <sub>y1</sub>	1,08 mm	
deflectie met neutraale steundr. en iowa	d <sub>y2</sub>	-4,10 mm	
deflectie met neutrale steundruk	d <sub>y2'</sub>	-4,10 mm	
	d <sub>y2</sub> /d <sub>y1</sub>	-3,79	
	d <sub>y2'</sub> /d <sub>y1</sub>	-3,79	
	d <sub>y1</sub> /2	0,54 mm	
<i>Zandgrond en drukloos</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub> + Q <sub>h, iowa</sub>		10,84 kN/m <sup>1</sup> buis	altijd toelaatbaar
<i>Zandgrond en lagedrukleiding</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub> + Q <sub>h, iowa</sub>		10,84 kN/m <sup>1</sup> buis	als fr > dy <sub>2</sub> /dy <sub>1</sub> toelaatbaar
<i>Zandgrond en drukleiding</i>			
steundruk niet toelaatbaar		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	als dy <sub>1</sub> /2 < dE toelaatbaar
<i>Klei/veengrond drukloos</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub>		10,84 kN/m <sup>1</sup> buis	altijd toelaatbaar
<i>Klei/veengrond en lagedrukleiding</i>			
Q <sub>h</sub> = Q <sub>h,n</sub>		10,84 kN/m <sup>1</sup> buis	als fr > dy <sub>2</sub> '/dy <sub>1</sub> toelaatbaar
In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk			
grondsoort		zand	
drukloos	Q <sub>h</sub>	10,84 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	Q <sub>h</sub>	10,84 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

<b>Berekening gereduceerde horizontale steundrukken</b>	
Q <sub>hr</sub> pleistoceen	0,36 kN/m <sup>1</sup> buis
Q <sub>hr</sub> holoceen	-0,25 kN/m <sup>1</sup> buis
Q <sub>h,n,r</sub> = { tan <sup>2</sup> (45-0.5φ) x Q <sub>n,r</sub> - 2 x c x Do x tan(45-0.5φ) } x sin 60	
Q <sub>h,n,r</sub>	0,36 kN/m <sup>1</sup> buis

<b>In rekening te brengen horizontale steundrukken</b>	
drukloos	0,33 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f
druk	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

Materiaalgegevens		
Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_{m, \text{toel}}$	8 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)		
$S_q = K \times (Q_{\text{grond}} + Q_{\text{eg}} + Q_{\text{vu}} - Q_{\text{op}}) \times r_g / W_w$	$Q_{\text{grond}}$	1,25 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	0,48 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,30 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,31 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$		
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q$ bodem	0,48 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,30 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,31 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)		
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, \text{grond}}$	0,33 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	-0,08 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-0,08 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,08 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)		
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, \text{grond}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)		
Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	2,50 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,50 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,19 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,12 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,13 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
$S_q$ bodem		0,19 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,19 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,19 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
$S_t$		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal		
$\lambda^2$		2,11121E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$		
$S_r$ bodem		0,15 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ top		0,06 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ zijden		-0,07 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$		
onder		
$S_{rl}$		0,17 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
$S_i$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_i$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_i$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
$Q$		0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * lw + 0.061 kh * x * rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	1,0 mm	
	0,5 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * lw / Dg^3$	25,08 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,91 N/mm <sup>2</sup> 19,11 bar 191,11 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,39 bar 23,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>			
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	0,48	0,30	0,31 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,08	-0,08	-0,08 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,19	0,12	0,13 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,15	0,06	0,07 N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$	0,75	0,41	0,43 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>			
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_i$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal	0,17	-0,17	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,17	-0,17	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T,x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
<i>Toetsing</i>			
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T,x}$	<b>0,11</b>	<b>-0,11</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	1	1	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	<b>0,49</b>	<b>0,27</b>	<b>0,28</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	6	3	4 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	0,5 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<u><i>bodem</i></u>	<u><i>top</i></u>	<u><i>zijden</i></u>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<u><i>bodem</i></u>	<u><i>top</i></u>	<u><i>zijden</i></u>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T,x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<u><i>bodem</i></u>	<u><i>top</i></u>	<u><i>zijden</i></u>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%



---

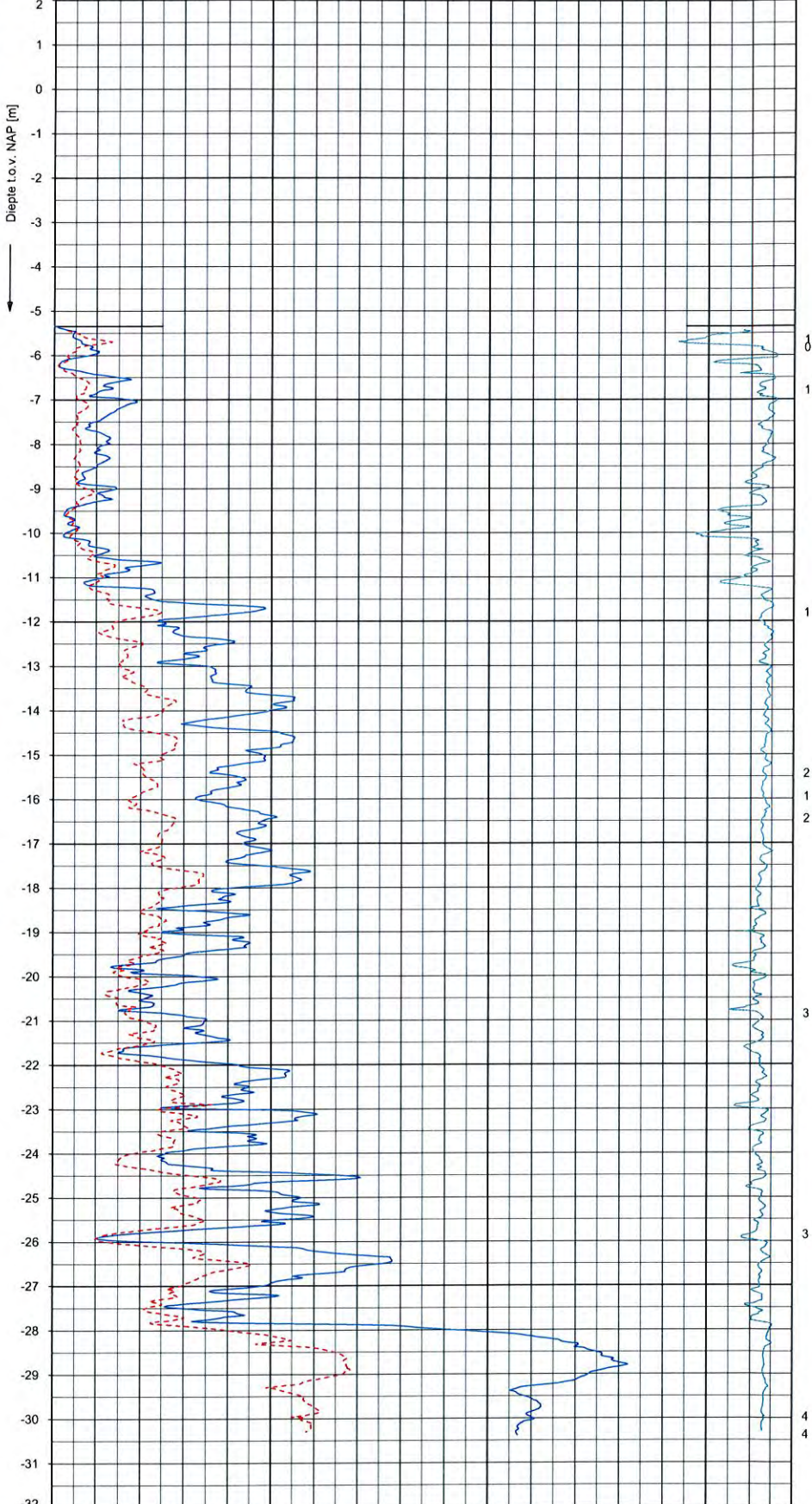
## 4.5 Grondonderzoek

UNIPLOT 05.19.10 / Q:\Fischers-NL\pmw\2012-11-14 16:23:35

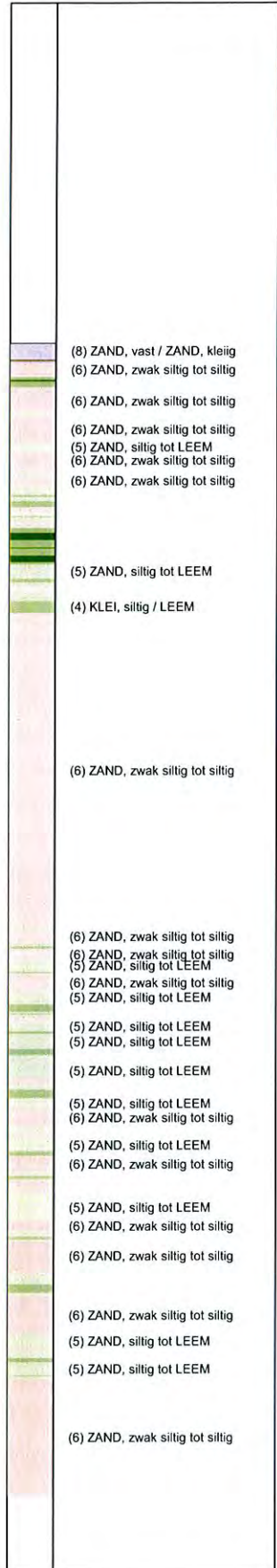
1010-0117-003

DKM1153 - 1

Wrijvingsweerstand,  $f_s$  [MPa]      Wrijvingsgetal,  $R_f$  [%]  
 Conusweerstand,  $q_c$  [MPa]      Hellingshoek  $\alpha$



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



Opdr.: MDG    d.d.: 29-Oct-2012    conus: F7.5CKE2HAB    X = 103952.2    Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Get.: UNISTART    d.d.: 2012-11-08    MV = NAP -5.34 m    Y = 480374.9    Conus type cilindrisch elektrisch, 1452 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

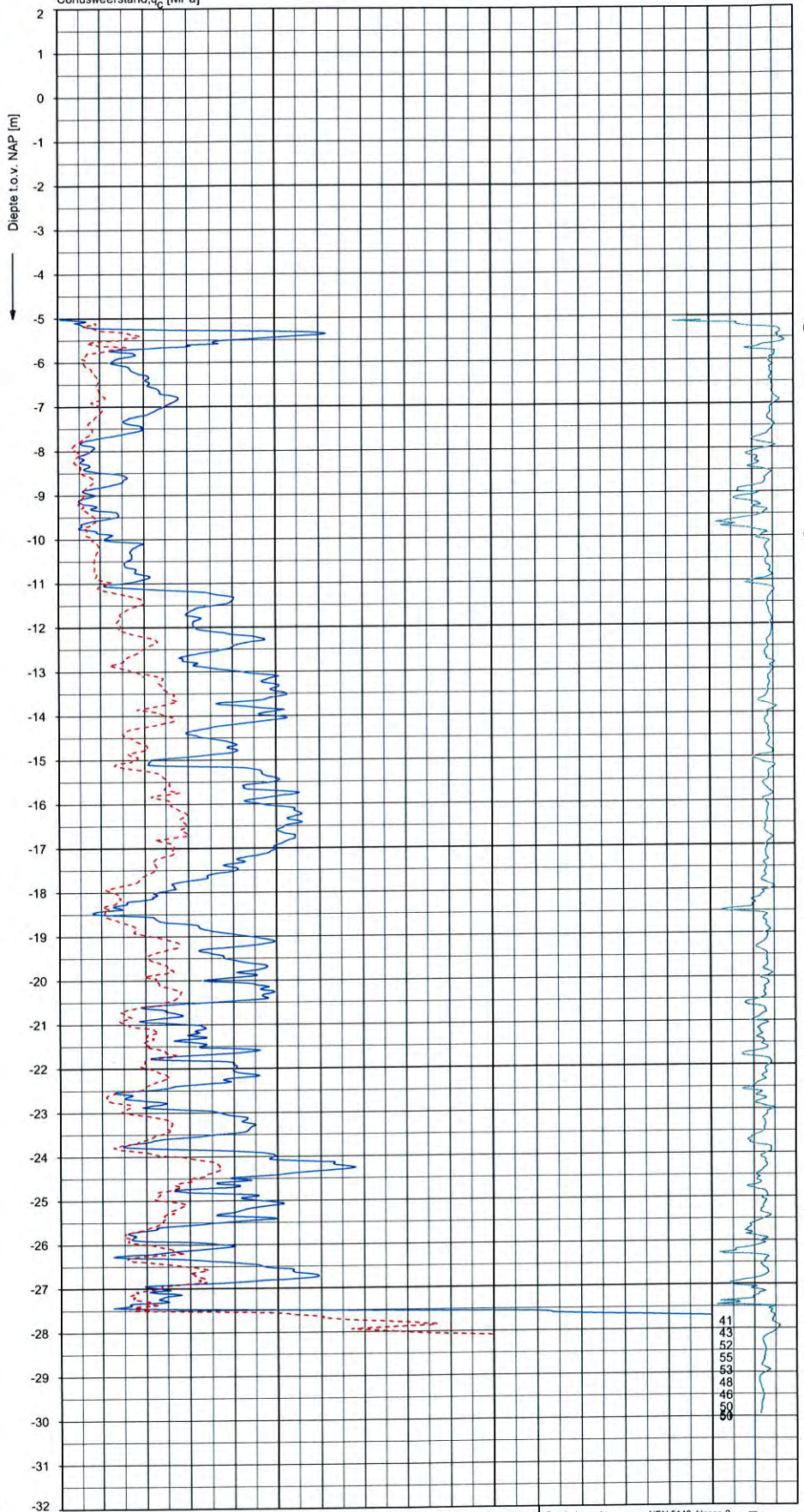
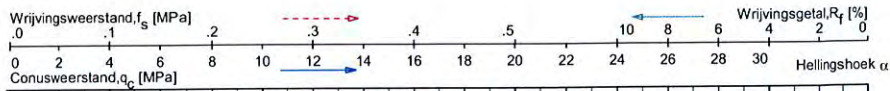
Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1153



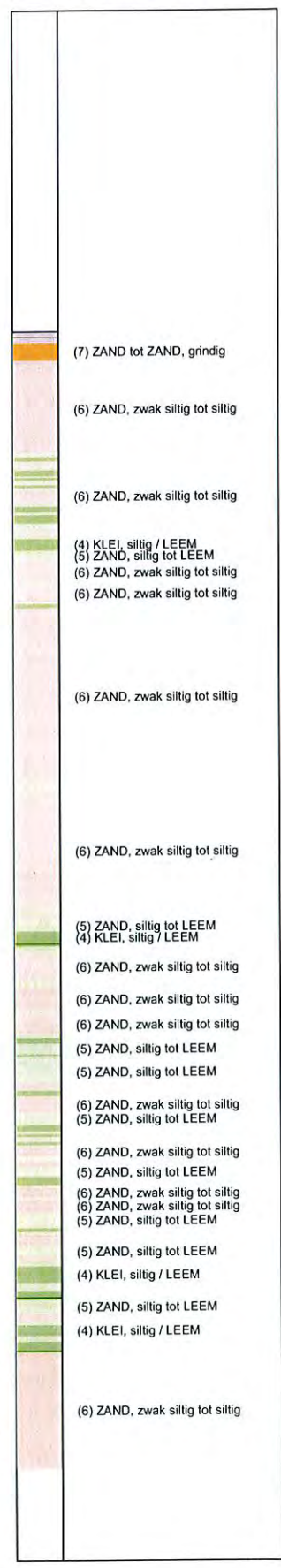
UNIPLOT 05\_19.nl / OefSchakel-N3.cnd / 2012-11-14-16:23:37

1010-0117-003

DKM1154 -1



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



Opg.: MDG d.d. 29-Oct-2012 conus: F7.5CKE2HA/B X = 104037.2  
 Get.: UNISTART d.d. 2012-11-08 MV = NAP -5.00 m Y = 490443.5  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1452 mm  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

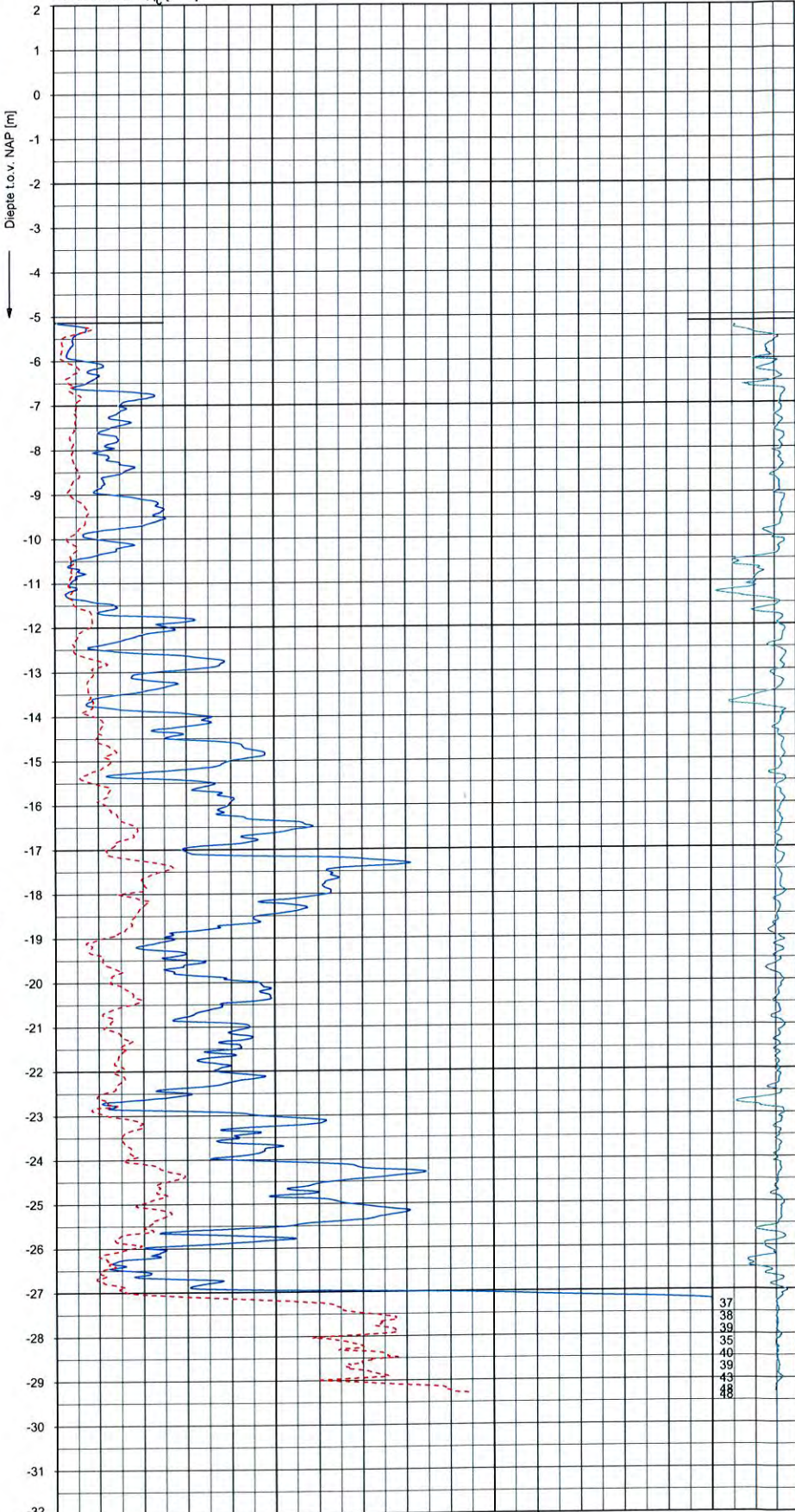
Opr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1154

U:\NIP\LOT\_06\_19\NIP\Oefopdraken\N3.cvd / 2012-11-23 15:40:56

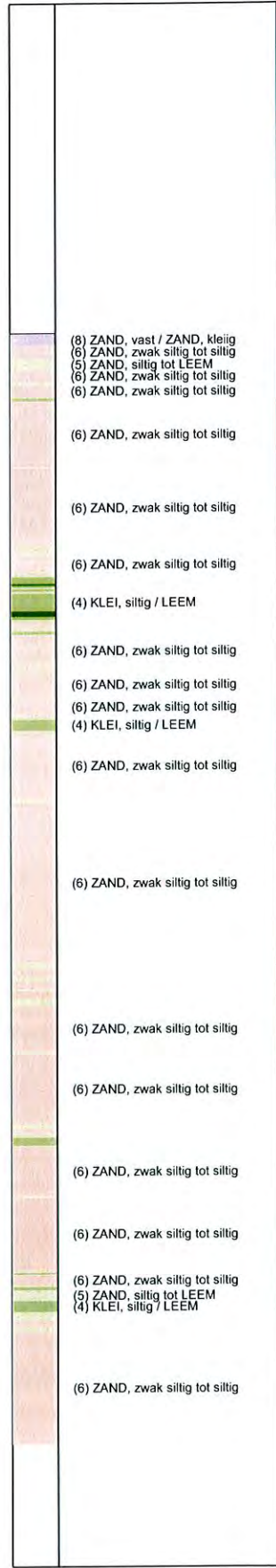
1010-0117-003

DKM1156 - 1

Wrijvingsweerstand,  $f_s$  [MPa]      Wrijvingsgetal,  $R_f$  [%]  
 Conusweerstand,  $q_c$  [MPa]      Hellingshoek  $\alpha$



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



Opg.: MDG    d.d. 30-Oct-2012    conus: F7.SCKE2HAW\_1B P1    X = 104128.7    Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2  
 Oef.: VALKF    d.d. 2012-11-23    MV = NAP -5.14 m    Y = 480531.1    Conus type cilindrisch elektrisch, 1452 mm.  
 Specificaties conform bij. Elektrisch sonderen

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1156

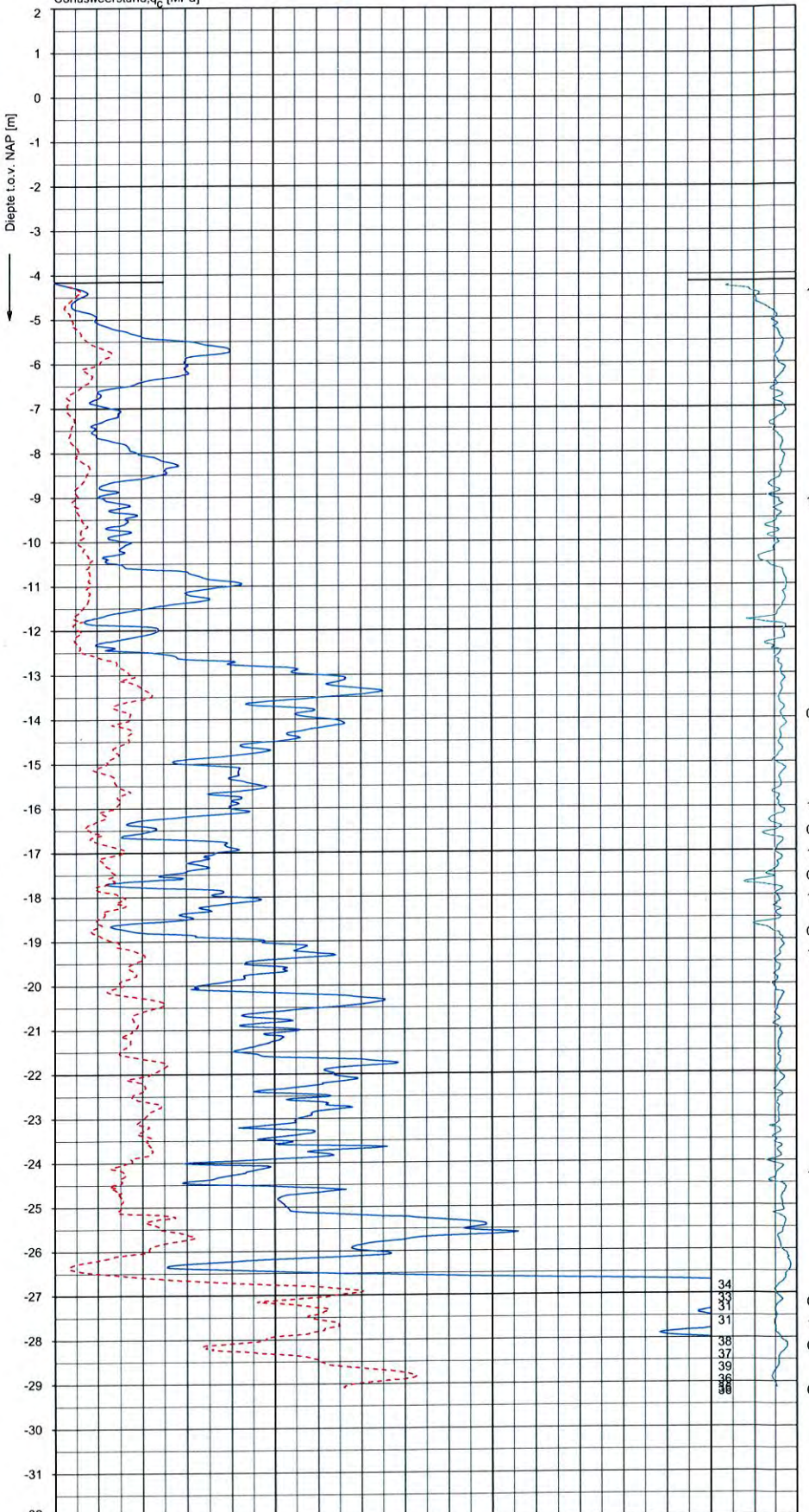


UNILOT\_05.19.01\_QDFSchetsen2.cmf / 2012-11-23 15:40:59

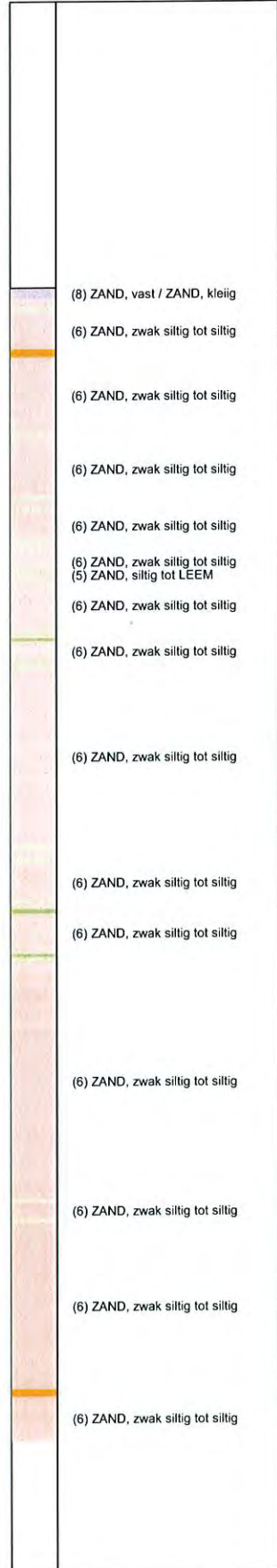
1010-0117-003

DKM1158 - 1

Wrijvingsweerstand,  $f_s$  [MPa] → Wrijvingsgetal,  $R_f$  [%] ←  
 Conusweerstand,  $q_c$  [MPa] → Hellingshoek  $\alpha$



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



Opg.: MDG d.d. 30-Oct-2012 conus: F7.5CKEZHAW1/B P1 X = 104185.3  
 Get.: VALKF d.d. 2012-11-23 MV = NAP -4.15 m Y = 480590.4  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1452 mm<sup>2</sup>  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

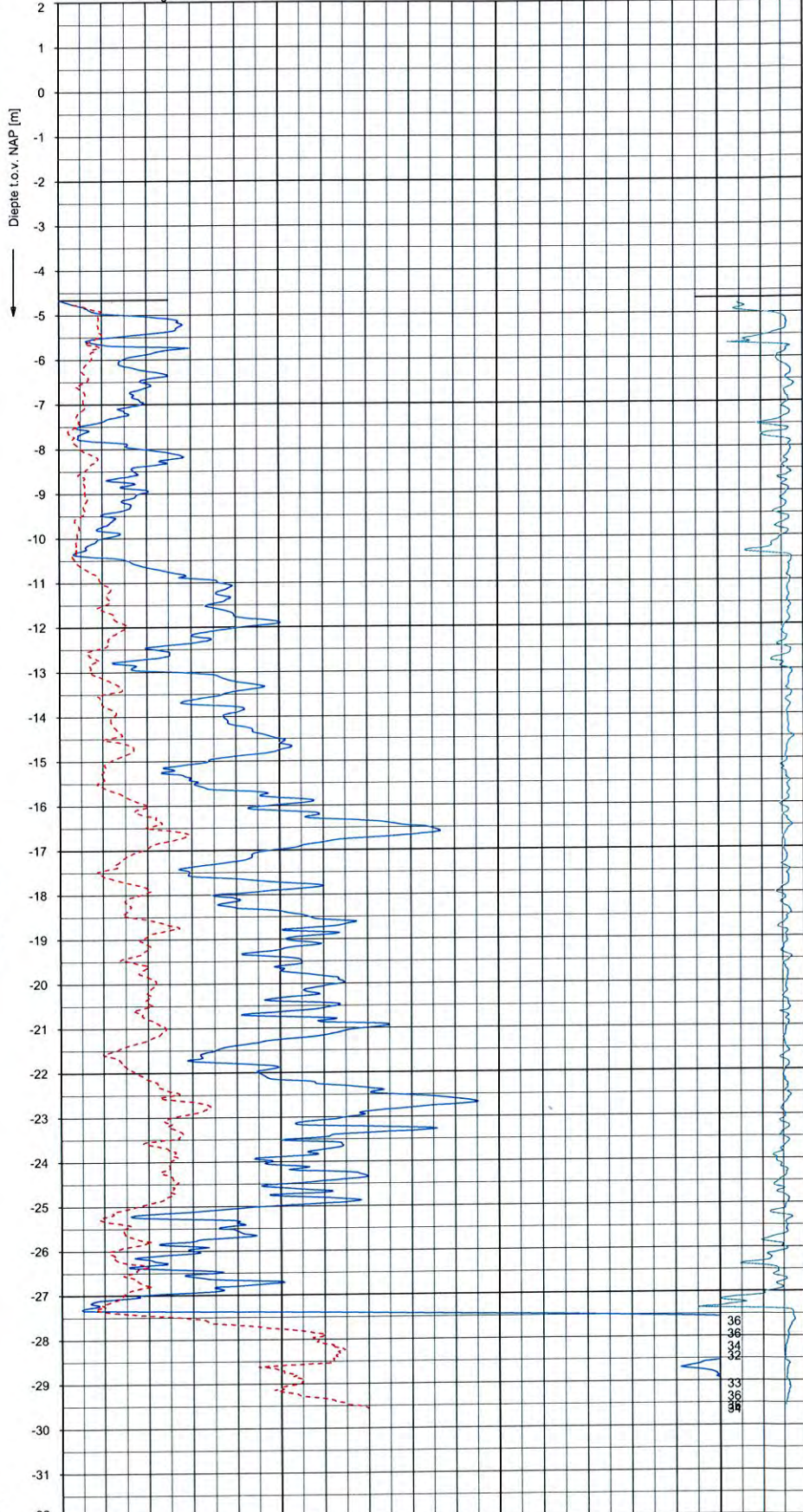
Opr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1158

UNIPLOT 05.19.01 / ODF:CIEMEN33.cnd / 2012-11-14 16:48:55

1010-0117-003

DKMP1155 - 1

Wrijvingsweerstand,  $f_s$  [MPa]      Wrijvingsgetal,  $R_f$  [%]  
 Conusweerstand,  $q_c$  [MPa]      Hellingshoek  $\alpha$



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



Opg.: MDG d.d. 30-Oct-2012 conus: F7.5CKE2HAW1/B P1 X = 104077.3  
 Get.: VALKF d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.66 m Y = 480508.1  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm²  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen



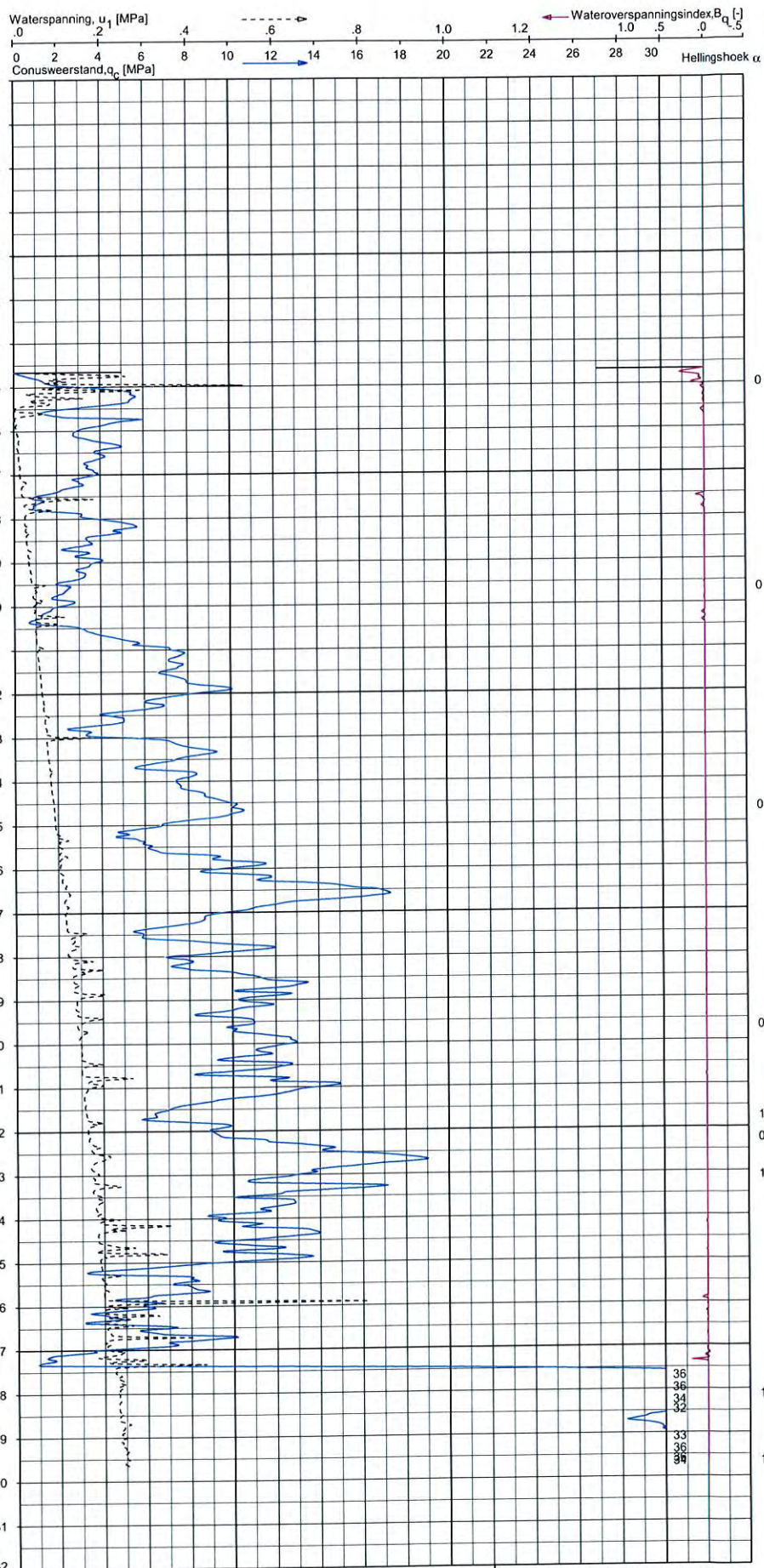
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1155

UNIPLOT\_06\_191.H / GOUTCHISEN3.cnt / 2012-11-14 16:57:00

1010-0117-003

DKMP1155 - 1



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



Opg.: MDG d.d. 30-Oct-2012 conus: F7.5CKEZHAW1B P1 X = 104077.3 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
Gel.: VALKF d.d. 2012-11-14 MV = NAP -4.66 m Y = 480508.1 Conus type cilindrisch elektrisch, 1500 mmf.  
Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

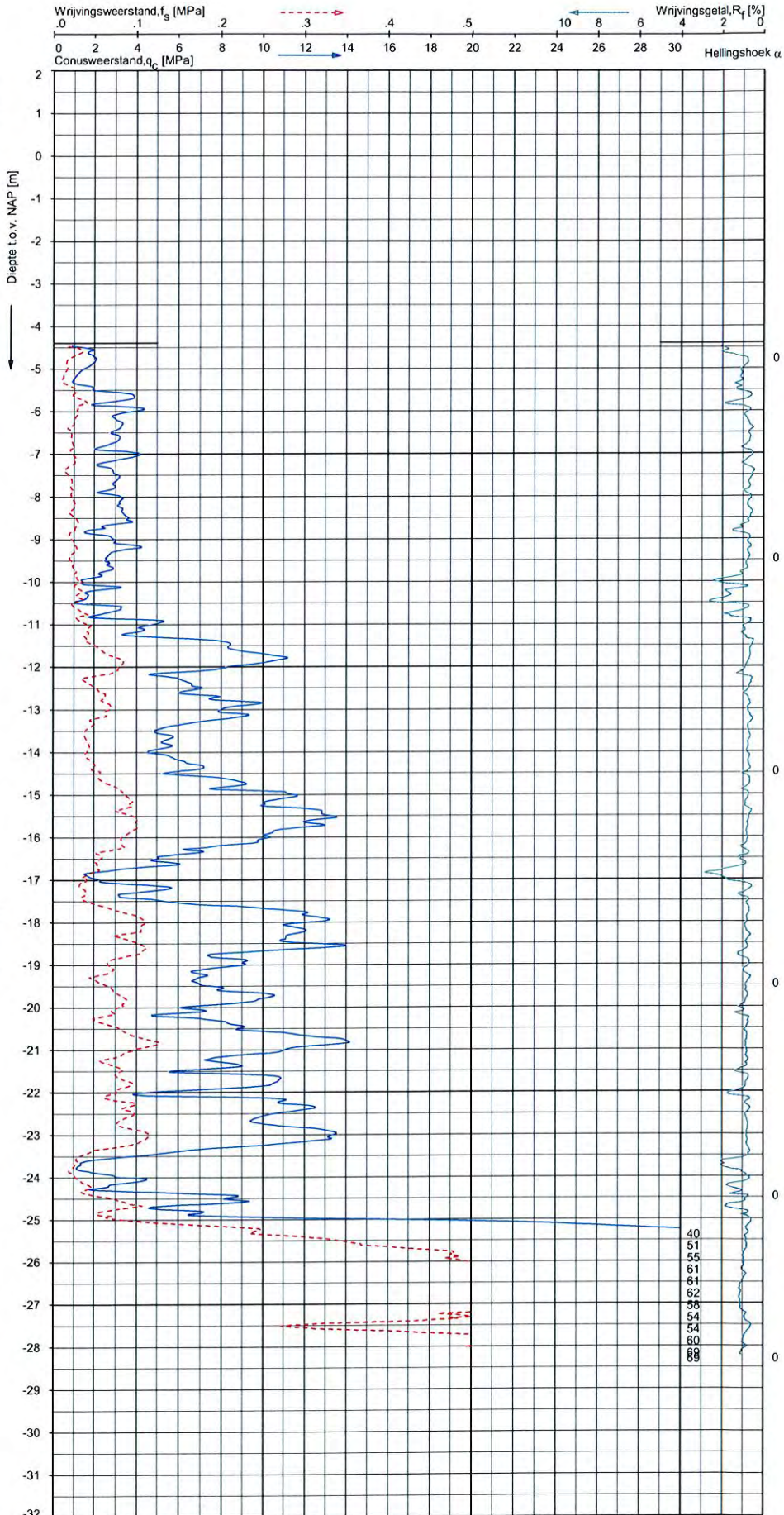
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
Sond. DKMP1155

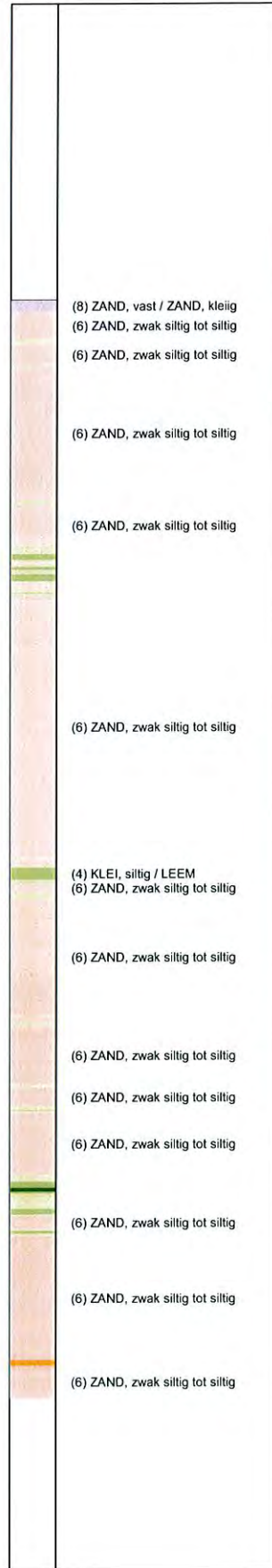
UNIPLOT 05.19.nl / C:\Fichiers-N3.cml / 2012-11-14 16:48:58

1010-0117-003

DKMP1157-1



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



Opg.: MDG d.d. 30-Oct-2012 conus: F7.5CKEZHAW1/B P1 X = 104138.3 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2  
 Gef.: UNISTART d.d. 2012-11-08 MV = NAP -4.39 m Y = 480567.0 Conus type cilindrisch elektrisch, 1452 mm  
 Specificaties conform bij. Elektrisch sonderen



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

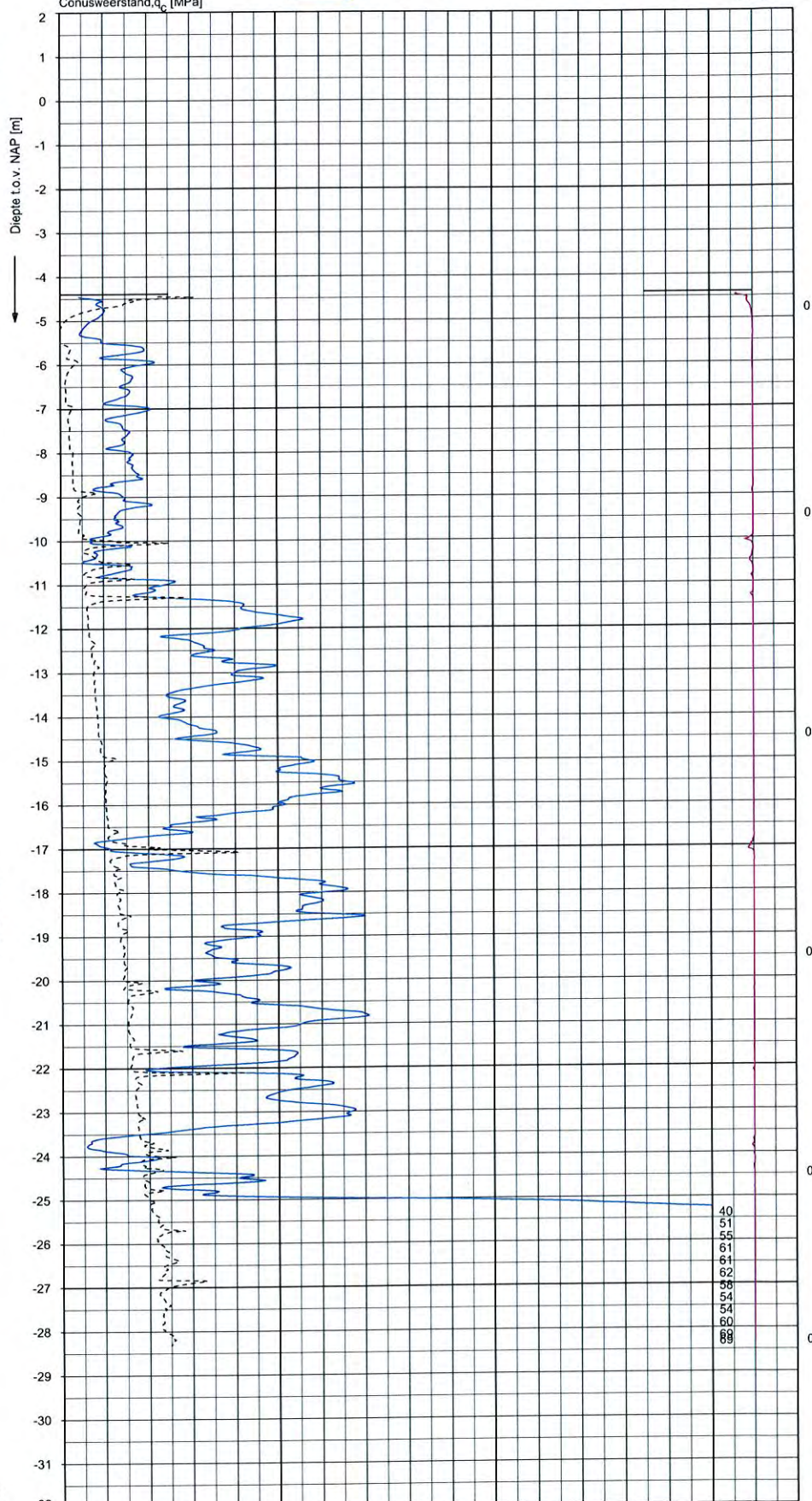
Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1157

UNIPLOT 05.19.nl / GOU/Class-N3.cmf / 2012-11-14 16:57:03

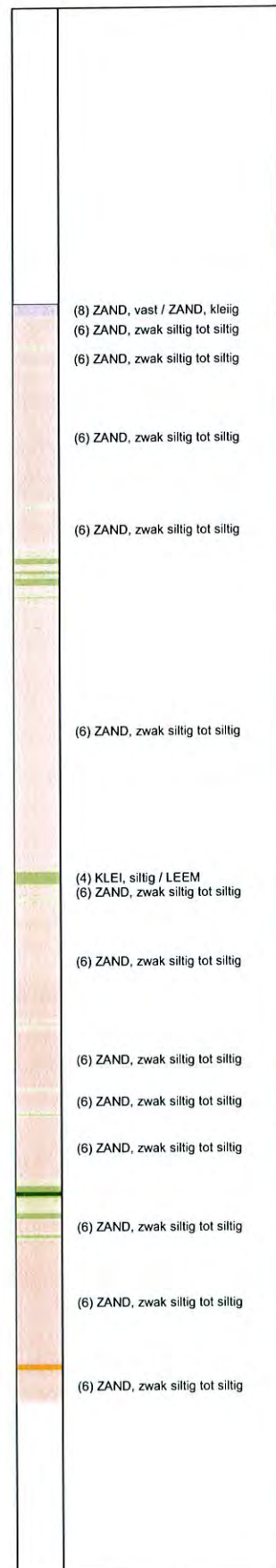
1010-0117-003

DKMP1157 -1

Waterspanning,  $u_1$  [MPa] Wateroverspanningsindex,  $B_{q,0.5}$  [-]  
 Conusweerstand,  $q_c$  [MPa] Hellingshoek  $\alpha$



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



Opg. : MDG d.d. 30-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HAW1/B P1 X = 104138.3  
 Get. : UNISTART d.d. 2012-11-08 MV = NAP -4.39 m Y = 480567.0

Sondering volgens norm NEN 5140, Klasse 2  
 Conus type cilindrisch elektrisch, 1452 mm  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1157

# Berekeningen X-08 HDD kruising Bennebroekerweg te Zwaanshoek

## Civiele Werkzaamheden R380 Noordring Perceel 1: Vijfhuizen – Zuidelijke Ringvaart

Documentnummer: : VIR-0.000.523  
Referentienummer: : TP13141-doc-08  
Documentstatus: : Definitief  
Datum: : 02-08-2013  
Versie: : 1.0

Opdrachtgever:



**VolkerInfra**



Randstad 380

Opdrachtnemer:

	Naam	Functie	Paraaf	Datum
Opsteller	E.M.P. Hooglander	Civil Engineer	<i>po</i>	02-08-2013
Gecontroleerd	J. Hermus	Groepsleider Civiel	<i>h</i>	02-08-2013
Gecontroleerd	M. Molema	Disciplineleider	<i>h</i>	02-08-2013
Geautoriseerd / Vrijgave	M. Roohé	Projectmanager	<i>h</i>	





## DOCUMENT HISTORIE

Revisie	Omschrijving/Belangrijkste wijzigingen	Datum
0.1	Concept definitief ontwerp	17-07-2013
1.0	Definitief Ontwerp	02-08-2013



## Inhoud

1. Inleiding .....	4
2. Uitgangspunten .....	5
2.1 Algemeen.....	5
2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren .....	5
2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis.....	5
2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase .....	5
2.5 Kwelproblematiek.....	6
2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring.....	6
2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting.....	6
2.5.3 Kwel op lange termijn.....	6
3. Conclusies.....	7
3.1 Muddrukken tijdens boren.....	7
3.2 Sterkte tijdens installeren.....	8
3.2.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens installeren .....	8
3.2.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens installeren .....	8
3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik.....	9
3.3.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens gebruik .....	9
3.3.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens gebruik .....	9
4. Bijlagen .....	10
4.1 Tekening VIR-0.000508, Referentienr. TP13141-K-X-08 .....	10
4.2 Muddrukberekening.....	11
4.3 Trekkrachten berekening .....	12
4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase.....	13
4.5 Grondonderzoek .....	14



## 1. Inleiding

In de Randstad wordt de komende jaren een sterke toename verwacht in de vraag naar electriciteit. Om de elektriciteitsvoorziening in de toekomst veilig te stellen wordt er door TenneT een nieuwe 380kV hoogspanningsverbinding tussen Beverwijk – Vijfhuizen – Bleiswijk – Wateringen gerealiseerd. Dit project wordt Randstad380kV genoemd.

Project Randstad380 Noordring is de tweede fase van het project en bestaat uit een hoogspanningsverbinding van Beverwijk via Vijfhuizen naar Bleiswijk.

Naast de aanleg van een 380kV hoogspanningsverbinding wordt er ook een 150kV hoogspanningsverbinding gerealiseerd. In verband met de aanleg van beide hoogspanningsverbindingen moet de Bennebroekerweg te Zwaanshoek gekruist worden. Deze kruising wordt uitgevoerd door middel van een aantal horizontaal gestuurde boringen. In de boringen worden de volgende mantelbuizen geïnstalleerd:

380kV :

- HDD 01 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 02 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 03 4x Ø250 PE100 SDR11
- HDD 04 4x Ø250 PE100 SDR11

150kV :

- HDD 01 4x Ø200 PE100 SDR11
- HDD 02 4x Ø200 PE100 SDR11

In dit rapport worden de voor de boringen benodigde berekeningen uitgevoerd.

*Hiertoe worden de volgende aspecten bekeken:*

- De bij het boren te verwachten muddrukken en de maximaal toelaatbare muddrukken.
- De benodigde trekkracht voor het intrekken van de mantelbuizen en de hierbij optredende spanningen in de buizen.
- De sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase.
- Mogelijke kwelproblematiek.

Bovenstaande berekeningen worden uitgevoerd met spreadsheet-programma's.

*Uitgangspunten van deze berekeningen zijn de normen:*

- NEN 3650-1:2012, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1 algemeen
- NEN 3650-3:2012 ontwerp, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 3 Kunststoffen
- NEN 3651:2012, Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken.

*Grondonderzoek:*

- Gegevens grondonderzoek afkomstig van Fugro, opdrachtnr. 1010-0117-003 Bijlage 4.5

*Bijbehorende tekeningen:*

- Algemeen plantekening op A4 formaat Bijlage 4.1



## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Algemeen

De belangrijkste ontwerpgegevens van de mantelbuizen, die gelden voor de boringen:

Kenmerk	380kV HDD 1 t/m 4	150kV HDD 1 en 2
Materiaal	PE	PE
Kwaliteit	PE100	PE100
Treksterkte	10 N/mm <sup>2</sup>	10 N/mm <sup>2</sup>
Aantal buizen	4	4
Diameter	250 mm	200 mm
Wanddikte	22.7 mm (SDR 11)	18.2 mm (SDR 11)

### 2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren

Voor het afvoeren van de afgeboorde grond is in het boorgat een minimale muddruk nodig. Tevens mag de druk in het boorgat niet groter worden dan de maximaal toelaatbare muddruk. Bij overschrijding van deze druk bestaat het gevaar voor bezwijken van de grond en uitstromen van boorvloeistof aan het maaiveld. Voor zowel de boringen ten behoeve van 380kV als voor 150kV wordt apart een muddrukberekening uitgevoerd.

De maximaal toelaatbare muddruk en de minimaal benodigde muddrukken zijn berekend in Bijlage 4.2. De resultaten worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd.

### 2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de mantelbuis in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de buis optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend. Voor zowel de boringen ten behoeve van 380kV als voor 150kV wordt apart een trekkrachtberekening uitgevoerd.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.3. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.

### 2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase

Voor de sterkte van de mantelbuizen worden voor een aantal locaties doorsnede-berekeningen gemaakt. De volgende doorsneden worden beschouwd:

380kV:

- Punt met de grootste dekking (ca. m-maaiveld), hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.
- Diepte van  $8 \times D_{\text{gat}}$ , hierbij wordt met neutrale gronddruk gerekend.

150kV:

- Punt met de grootste dekking (ca. 27m-maaiveld), hierbij wordt met gereduceerde gronddruk gerekend.
- Diepte van  $8 \times D_{\text{gat}}$ , hierbij wordt met neutrale gronddruk gerekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.4. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.



## 2.5 Kwelproblematiek

In het kader van de kwelproblematiek worden de hieronder vermelde situaties bekeken.

- Tijdens de uitvoering van de boring
- Tijdens het maken van de aansluiting
- Op lange termijn

### 2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring

De intredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van 4.2m-N.A.P. De uittredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van 4.4m-N.A.P. Het hart van de maatgevende boringen (150kV HDD1 en 2) ligt op het diepste punt op 29m-N.A.P.

Het eerste watervoerende zandpakket ligt op een diepte van ca. 14m-N.A.P. en wordt aangeboord.

Volgens de door de opdrachtgever verstrekte informatie bedraagt de gemiddelde stijghoogte van het spanningswater in het eerste watervoerende pakket ca. 5m-N.A.P.

De stijghoogte van het spanningswater is lager dan het maaiveld niveau en daarmee is er geen gevaar voor kwel tijdens de uitvoering van de boringen.

Muduitbraken ter plaatse van de watergangen zijn volgens de berekeningen niet te verwachten (zie hoofdstuk 3 of bijlage 4.2). Kwel vanuit het watervoerende zandpakket naar de watergangen is hierdoor niet te verwachten.

### 2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting

Ten tijde van het maken van de aansluitingen moet tijdelijk een ontgraving van ca. 3m-maaiveld worden gemaakt, waarbij een kwelscherm met kleikist dient te worden aangebracht.

Op het grensvlak werkt een opwaartse waterdruk van  $(5 - 14) \times 10 \text{ kN/m}^3 = 90 \text{ kN/m}^2$

De bentonietkolom oefent bij een bentoniet gewicht van  $12 \text{ kN/m}^3$  een neerwaartse kracht uit van  $(7.4 - 14) \times 12 \text{ kN/m}^3 = 79.2 \text{ kN/m}^2$

Hoewel het gebruik van zwaardere bentoniet een oplossing zou kunnen zijn, kan hier ook met verzwaarde bentoniet geen evenwicht worden bereikt.

Tijdens het maken van de aansluitingen dient daarom kortdurend spanningsbemaling te worden toegepast.

### 2.5.3 Kwel op lange termijn

Zowel aan de intrede- als aan de uittredezijde dienen kwelschermen in kleikisten geplaatst te worden om de kwel op lange termijn te voorkomen.



### 3. Conclusies

#### 3.1 Muddrukken tijdens boren

Overzicht minimum en maximum muddrukken tijdens boren t.b.v. 380kV:

Locatie		Afstand tot intredepunt	Minimaal benodigde muddruk (Bijlage 4.2)	Maximaal toelaatbare muddruk (Bijlage 4.2)
IN	Intredepunt	0 m		
A		25 m	82 kN/m <sup>2</sup>	197 kN/m <sup>2</sup>
B		51 m	162 kN/m <sup>2</sup>	289 kN/m <sup>2</sup>
C		81 m	223 kN/m <sup>2</sup>	658 kN/m <sup>2</sup>
D		106 m	240 kN/m <sup>2</sup>	492 kN/m <sup>2</sup>
E		138 m	248 kN/m <sup>2</sup>	468 kN/m <sup>2</sup>
F		170 m	256 kN/m <sup>2</sup>	468 kN/m <sup>2</sup>
G		202 m	264 kN/m <sup>2</sup>	468 kN/m <sup>2</sup>
H		237 m	273 kN/m <sup>2</sup>	468 kN/m <sup>2</sup>
I		269 m	281 kN/m <sup>2</sup>	468 kN/m <sup>2</sup>
J		301 m	289 kN/m <sup>2</sup>	468 kN/m <sup>2</sup>
K		333 m	295 kN/m <sup>2</sup>	419 kN/m <sup>2</sup>
L		365 m	260 kN/m <sup>2</sup>	320 kN/m <sup>2</sup>
M		387 m	209 kN/m <sup>2</sup>	196 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uittredepunt	420 m		

Overzicht minimum en maximum muddrukken tijdens boren t.b.v. 150kV:

Locatie		Afstand tot intredepunt	Minimaal benodigde muddruk (Bijlage 4.2)	Maximaal toelaatbare muddruk (Bijlage 4.2)
IN	Intredepunt	0 m		
A		25 m	99 kN/m <sup>2</sup>	219 kN/m <sup>2</sup>
B		51 m	198 kN/m <sup>2</sup>	371 kN/m <sup>2</sup>
C		81 m	284 kN/m <sup>2</sup>	726 kN/m <sup>2</sup>
D		106 m	321 kN/m <sup>2</sup>	652 kN/m <sup>2</sup>
E		138 m	332 kN/m <sup>2</sup>	659 kN/m <sup>2</sup>
F		170 m	340 kN/m <sup>2</sup>	659 kN/m <sup>2</sup>
G		202 m	348 kN/m <sup>2</sup>	659 kN/m <sup>2</sup>
H		237 m	357 kN/m <sup>2</sup>	659 kN/m <sup>2</sup>
I		269 m	365 kN/m <sup>2</sup>	659 kN/m <sup>2</sup>
J		301 m	373 kN/m <sup>2</sup>	692 kN/m <sup>2</sup>
K		333 m	358 kN/m <sup>2</sup>	613 kN/m <sup>2</sup>
L		365 m	293 kN/m <sup>2</sup>	397 kN/m <sup>2</sup>
M		387 m	221 kN/m <sup>2</sup>	223 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uittredepunt	420 m		

Uit de resultaten blijkt dat tijdens het boren van de eindfase van de pilot (zowel 380kV als 150kV) muduitbraken kunnen voorkomen. Tijdens de uitvoering dient hier rekening mee gehouden te worden door in de eindfase van de pilotboring zo weinig mogelijk bentoniet te verpompen met een zo laag mogelijke druk.



### 3.2 Sterkte tijdens installeren

#### 3.2.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

<b>380kV HDD 1 t/m 4</b>	Smax (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	6,5 N/mm <sup>2</sup>	65 %	
Spanning tijdens intrekken	5,8 N/mm <sup>2</sup>	58 %	
Trekkkracht			407 kN

De mantelbuizen worden leeg in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkkracht van maximaal 41 ton verwacht.

Vanwege implosiegevaar alle mantelbuizen van de boringen (380kV HDD 1 t/m 4) direct na intrekken vullen met water.

#### 3.2.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

<b>150kV HDD 1 en 2</b>	Smax (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	6,7 N/mm <sup>2</sup>	67 %	
Spanning tijdens intrekken	5,5 N/mm <sup>2</sup>	55 %	
Trekkkracht			279 kN

De mantelbuizen worden leeg in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkkracht van maximaal 28 ton verwacht.

Vanwege implosiegevaar alle mantelbuizen van de boringen (150kV HDD 1 en 2) direct na intrekken vullen met water.



### 3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik

#### 3.3.1 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 380kV tijdens gebruik

Overzicht van de berekende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met de grootste dekking:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	0,7 N/mm <sup>2</sup>	8 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		0,7 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,72 m	waterkolom

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met een diepte van  $8xD_{gat}$ :

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	2,6 N/mm <sup>2</sup>	32 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		2,7 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,72 m	waterkolom

Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.

#### 3.3.2 Sterkte mantelbuizen t.b.v. 150kV tijdens gebruik

Overzicht van de berekende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met de grootste dekking:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	0,5 N/mm <sup>2</sup>	7 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		0,6 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,89 m	waterkolom

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuizen tijdens gebruik ter plaatse van het punt met een diepte van  $8xD_{gat}$ :

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	2,3 N/mm <sup>2</sup>	29 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		2,4 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		23,89 m	waterkolom

Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.

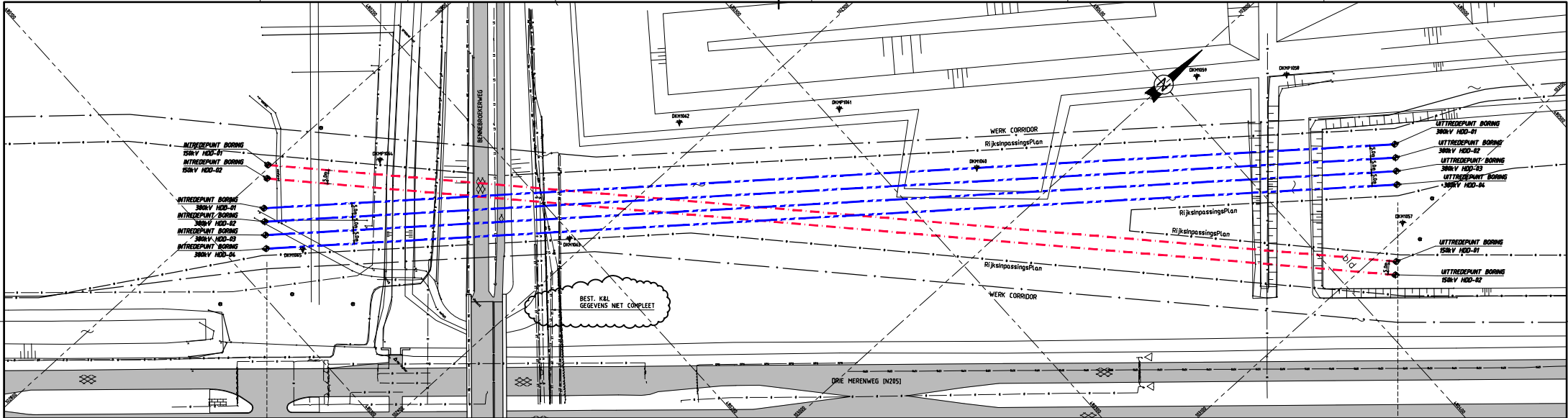




---

## 4. Bijlagen

### 4.1 Tekening VIR-0.000508, Referentienr. TP13141-K-X-08



TE INSTALLEREN (380kV)  
 PER BORING  
 4x Ø250 PE100 SDR11  
 4x UITVOEREN



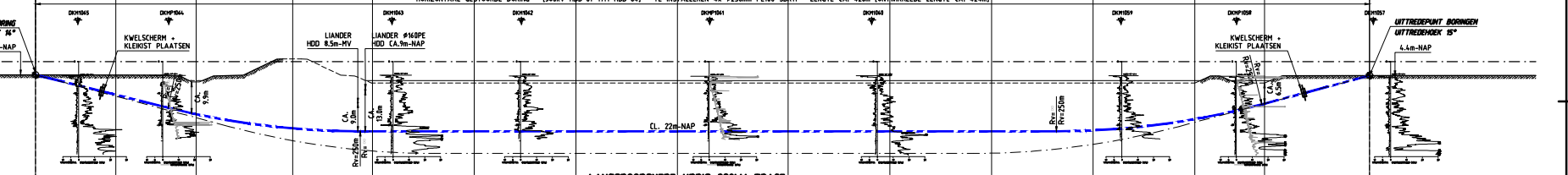
TE INSTALLEREN (150kV)  
 PER BORING  
 4x Ø200 PE100 SDR11  
 2x UITVOEREN



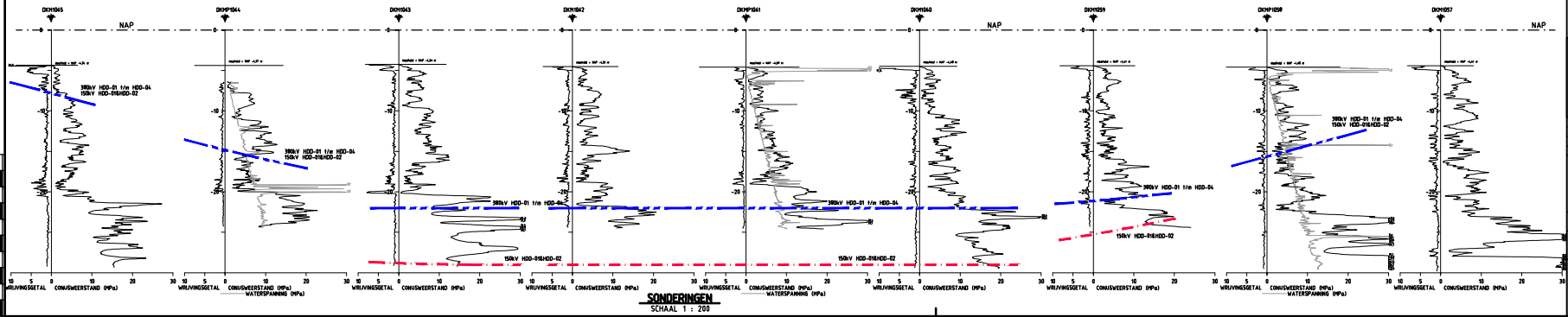
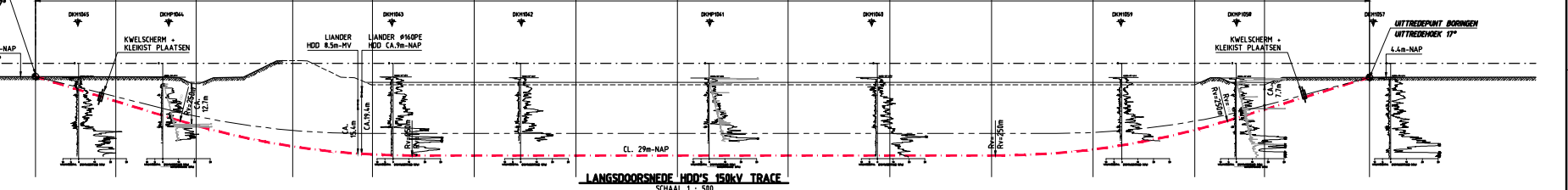
COORDINATENLIST OP BASIS VAN RD

PUNT OMSCHRIJVING	X	Y
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	102809.95	480121.94
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-01	103073.91	480448.63
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	102813.84	480118.80
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-02	103077.80	480445.49
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	102817.73	480115.65
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-03	103081.69	480442.34
INTREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	102821.62	480112.51
UITREDEPUNT BORING 380kV HDD-04	103085.58	480439.20
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	102799.06	480123.01
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	103104.56	480450.89
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	102802.47	480120.15
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	103109.97	480446.23

SITUATIE  
 SCHAAFL 1 : 500  
 IN A B C D E F G H I J K L M UIT



SITUATIE  
 SCHAAFL 1 : 500  
 IN A B C D E F G H I J K L M UIT



OPMERKINGEN  
 -SITUEERDE ONTVANGERS VAN OORSAANLOZE  
 -BETAALDE KABELS EN LEIDERS METEEREN A.D.V. R.K. GEVEGENS  
 -GEMIDDELDE DEPTHTEN VAN PEGEN RAPPORT (OPDRACHT NR. 020)  
 -SIEPTE LIGGING LANDESE PEGEN ADVISORIE VAN O.M. TEGENSOEGENDE EN VAN GELDER TEGENSOEGENDE  
 -SIEPTE WATERLIJNEN GEMIDDE VAN LIGGING HOOGTEBASSISPLAN VAN BUREAU  
 -EXACTE LIGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDERS VOOR AANWAK WERKZAAMHEID NAZER TE BEPALEN EN  
 ROELEN MOET TIJDELIJK OUDGEGEN VAN BOORPROFIEL HENDP AAN TE PASSES.

CL	17-07-13	CONCEPT DO	SMA	JHM
MU	Datum	Ornamentatie	Dat.	Dat.

VERVOLGERS  
 VOLKORINTRA  
 TENNET  
 RANDSTAD NOORD  
 380kV & 150kV TRACE

ALGEMEEN PLAN  
 HDD'S ONDER BENNEBROEKERWEG  
 VIR-0.000.508  
 TP13141-K-X-08



---

## 4.2 Muddrukberkening

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-08 150kV HDD1 en 2 kruising Bennebroekerweg te Zwaanshoek
Berekend door	EHO

Te installeren buis of bundel		
Uitwendige diameter buis/bundel	d	485 mm

Boorstelling		
Type boorstelling		100 ton
Uitwendige diameter pilotbuis	d-uitw.	127 mm
Inwendige diameter pilotbuis	d-inw.	109 mm

Boorvloeistof		
Volumegewicht boorvloeistof	$V_{bo}$	10,50 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht grond / boorvloeistof mengsel	$V_b$	12,00 kN/m <sup>3</sup>
Schijnbare viscositeit	visc	100 MarshFunnelseconden
Yieldpoint boorvloeistof	$y_b$	0,01 kN/m <sup>2</sup>
Viscositeit	eta	0,11 Pas

Boorbuizen		
Lengte boorbuis	L	6 m
Lengte koppeling	L-kopp	0,5 m
Inwendige diameter koppeling	d-kop	89 mm
Nik. Ruwheid	k	1 mm

**SAMENVATTING INVOER/RESULTATEN**

Lokatie	Omschrijving	Afstand tot intredepunt	Diepte cl t.o.v ref. lijn [m]	Pmin* in pilot gat	Pmax* toelaatbaar in gat tijdens ruimen
IN	Intredepunt	0,0	0,0 m	-	0 kN/m2
A		25,3	-7,7 m	99	219 kN/m2
B		50,6	-15,4 m	198	371 kN/m2
C		80,9	-22,0 m	284	726 kN/m2
D		106,1	-24,5 m	321	652 kN/m2
E		138,1	-24,8 m	332	659 kN/m2
F		170,1	-24,8 m	340	659 kN/m2
G		202,1	-24,8 m	348	659 kN/m2
H		237,0	-24,8 m	357	659 kN/m2
I		269,0	-24,8 m	365	659 kN/m2
J		301,0	-24,8 m	373	692 kN/m2
K		333,0	-22,9 m	358	613 kN/m2
L		365,0	-16,8 m	293	397 kN/m2
M		387,0	-10,3 m	221	223 kN/m2
UIT	Uittredepunt	420,0	-0,2 m	-	0 kN/m2
				Pmin benodigd bij max. mud debiet	
<b>noot *: Pmin in pilot gat vergelijken met Pmax tijdens ruimen is de meest ongunstige benadering</b>					

**Berekening van de maximaal toelaatbare boorvloei­stof­druk­ken P'max  
volgens NEN 3650-1:2003 bijlage E.2**

**INVOER/UITVOER**

Lokatie	IN	A	B	C	D
Grondsoort (zand / klei)	-	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	-	<b>7,7</b>	<b>13,2</b>	<b>27</b>	<b>21,9</b> m
Diepte water onder mv (+)	-	<b>1,8</b>	<b>-0,4</b>	<b>6,9</b>	<b>-0,8</b> m
Hoek inwendige wrijving	-	<b>27,5</b>	<b>27,5</b>	<b>30</b>	<b>30</b> gr
Volumegewicht nat	-	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>19</b> kN/m3
Volumegewicht droog	-	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>17</b> kN/m3
Cohesie	-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	-	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	-	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>8</b> MPa
Rpmax	-	0,44	0,49	0,37	0,44 m
Elasticiteitsmodulus	-	5700	9500	15200	15200 kN/m2
P'max in gat	-	219	371	726	652 kN/m2

Location	E	F	G	H	I
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	<b>22,2</b>	<b>22,2</b>	<b>22,2</b>	<b>22,2</b>	<b>22,2</b> m
Diepte water onder mv (+)	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b> m
Hoek inwendige wrijving	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b> gr
Volumegewicht nat	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b> kN/m3
Volumegewicht droog	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b> kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b> MPa
Rpmax	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44 m
Elasticiteitsmodulus	15200	15200	15200	15200	15200 kN/m2
P'max in gat	659	659	659	659	659 kN/m2

Location	J	K	L	M	UIT
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	-
Gronddekking	<b>22,2</b>	<b>20,3</b>	<b>14,2</b>	<b>7,7</b>	- m
Diepte water onder mv (+)	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	- m
Hoek inwendige wrijving	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>27,5</b>	<b>27,5</b>	- gr
Volumegewicht nat	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	- kN/m3
Volumegewicht droog	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	- kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	- kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	-
CPT Conusweerstand: qc	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	- MPa
Rpmax	0,49	0,54	0,47	0,49	- m
Elasticiteitsmodulus	19000	19000	9500	5700	- kN/m2
P'max in gat	692	613	397	223	kN/m2

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-08 380kV HDD1 t/m 4 kruising Bennebroekerweg te Zwaanshoek
Berekend door	EHO

Te installeren buis of bundel		
Uitwendige diameter buis/bundel	d	600 mm

Boorstelling		
Type boorstelling		100 ton
Uitwendige diameter pilotbuis	d-uitw.	127 mm
Inwendige diameter pilotbuis	d-inw.	109 mm

Boorvloeistof		
Volumegewicht boorvloeistof	$V_{bo}$	10,50 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht grond / boorvloeistof mengsel	$V_b$	12,00 kN/m <sup>3</sup>
Schijnbare viscositeit	visc	100 MarshFunnelseconden
Yieldpoint boorvloeistof	$y_b$	0,01 kN/m <sup>2</sup>
Viscositeit	eta	0,11 Pas

Boorbuizen		
Lengte boorbuis	L	6 m
Lengte koppeling	L-kopp	0,5 m
Inwendige diameter koppeling	d-kop	89 mm
Nik. Ruwheid	k	1 mm

**SAMENVATTING INVOER/RESULTATEN**

Lokatie	Omschrijving	Afstand tot intredepunt	Diepte cl t.o.v ref. lijn [m]	Pmin* in pilot gat	Pmax* toelaatbaar in gat tijdens ruimen
IN	Intredepunt	0,0	0,0 m	-	0 kN/m2
A		25,3	-6,3 m	82	197 kN/m2
B		50,6	-12,4 m	162	289 kN/m2
C		80,9	-16,9 m	223	658 kN/m2
D		106,1	-17,8 m	240	492 kN/m2
E		138,1	-17,8 m	248	468 kN/m2
F		170,1	-17,8 m	256	468 kN/m2
G		202,1	-17,8 m	264	468 kN/m2
H		237,0	-17,8 m	273	468 kN/m2
I		269,0	-17,8 m	281	468 kN/m2
J		301,0	-17,8 m	289	468 kN/m2
K		333,0	-17,6 m	295	419 kN/m2
L		365,0	-14,0 m	260	320 kN/m2
M		387,0	-9,3 m	209	196 kN/m2
UIT	Uittredepunt	420,0	-0,2 m	-	0 kN/m2

Pmin benodigd bij max. mud debiet

**noot \*: Pmin in pilot gat vergelijken met Pmax tijdens ruimen is de meest ongunstige benadering**

**Berekening van de maximaal toelaatbare boorvloei­stof­druk­ken P'max  
volgens NEN 3650-1:2003 bijlage E.2**

**INVOER/UITVOER**

Lokatie	IN	A	B	C	D
Grondsoort (zand / klei)	-	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	-	<b>6,7</b>	<b>10,2</b>	<b>21,9</b>	<b>15,2</b> m
Diepte water onder mv (+)	-	<b>1,8</b>	<b>-0,4</b>	<b>6,9</b>	<b>-0,8</b> m
Hoek inwendige wrijving	-	<b>27,5</b>	<b>27,5</b>	<b>30</b>	<b>30</b> gr
Volumegewicht nat	-	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b> kN/m3
Volumegewicht droog	-	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b> kN/m3
Cohesie	-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	-	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	-	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>10</b> MPa
Rpmax	-	0,47	0,49	0,45	0,62 m
Elasticiteitsmodulus	-	5700	7600	19000	19000 kN/m2
P'max in gat	-	197	289	658	492 kN/m2

Location	E	F	G	H	I
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>
Gronddekking	<b>15,2</b>	<b>15,2</b>	<b>15,2</b>	<b>15,2</b>	<b>15,2</b> m
Diepte water onder mv (+)	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b> m
Hoek inwendige wrijving	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b> gr
Volumegewicht nat	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b> kN/m3
Volumegewicht droog	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b> kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b> MPa
Rpmax	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56 m
Elasticiteitsmodulus	15200	15200	15200	15200	15200 kN/m2
P'max in gat	468	468	468	468	468 kN/m2

Location	J	K	L	M	UIT
Grondsoort (zand / klei)	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	<b>zand</b>	-
Gronddekking	<b>15,2</b>	<b>15</b>	<b>11,4</b>	<b>6,5</b>	- m
Diepte water onder mv (+)	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	- m
Hoek inwendige wrijving	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>27,5</b>	<b>27,5</b>	- gr
Volumegewicht nat	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	- kN/m3
Volumegewicht droog	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	- kN/m3
Cohesie	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	- kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	-
CPT Conusweerstand: qc	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	- MPa
Rpmax	0,56	0,44	0,47	0,54	- m
Elasticiteitsmodulus	15200	9500	7600	5700	- kN/m2
P'max in gat	468	419	320	196	kN/m2



---

### 4.3 Trekrachten berekening

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de leiding in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN 3650-1:2012 gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de leiding optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.



## Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

### INVOER

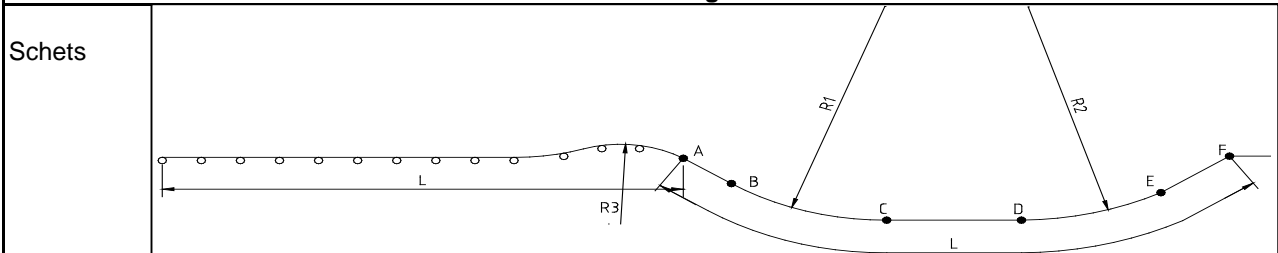
#### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-08 150kV HDD 1 en 2 Bennebroekerweg te Zwaanshoek
Berekend door	EHO

#### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	200 mm
Wanddikte	$d$	18,2 mm
Dikte externe coating	$c-e$	0 mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0 kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0 mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0 kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY		pe100
buizen met flexibele verbindingen		nee
Elasticiteitsmodulus	E	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	sg	955 kg/m <sup>3</sup>

#### Maatvoering



Lengte boring	L	426 m		
Afstand	A-B	47 m		
Afstand	A-C	121 m	A-H1	121 m
Afstand	A-D	305 m	A-H2	305 m
Afstand	A-E	379 m		
Afstand	A-F	426 m		
Straal boor profiel	$R_1$	250 m	excl. 10% marge	
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	0		
Straal boor profiel	$R_2$	250 m	excl. 10% marge	
Straal rollenbaan	$R_3$	50 m		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	17 graden	(bij punt A)	
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0 graden	(+ naar beneden ri. rig zijde)	
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	0 graden		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	17 graden	(bij punt F)	
Aantal buizen	aantal, n	4 buis/buizen	--	
Bundel gekoppeld		nee		
Buisvulling in boorgat	leeg		Buisvulling (water) ook op rolstellen	nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012		
Pipe Pusher capaciteit	0 kN	nee		
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen		nee		

### SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	279 kN	28 ton
SI max in boorgat	SI	6,7 N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	5,5 N/mm <sup>2</sup>	
		67,2 % S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>

## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2 ,f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

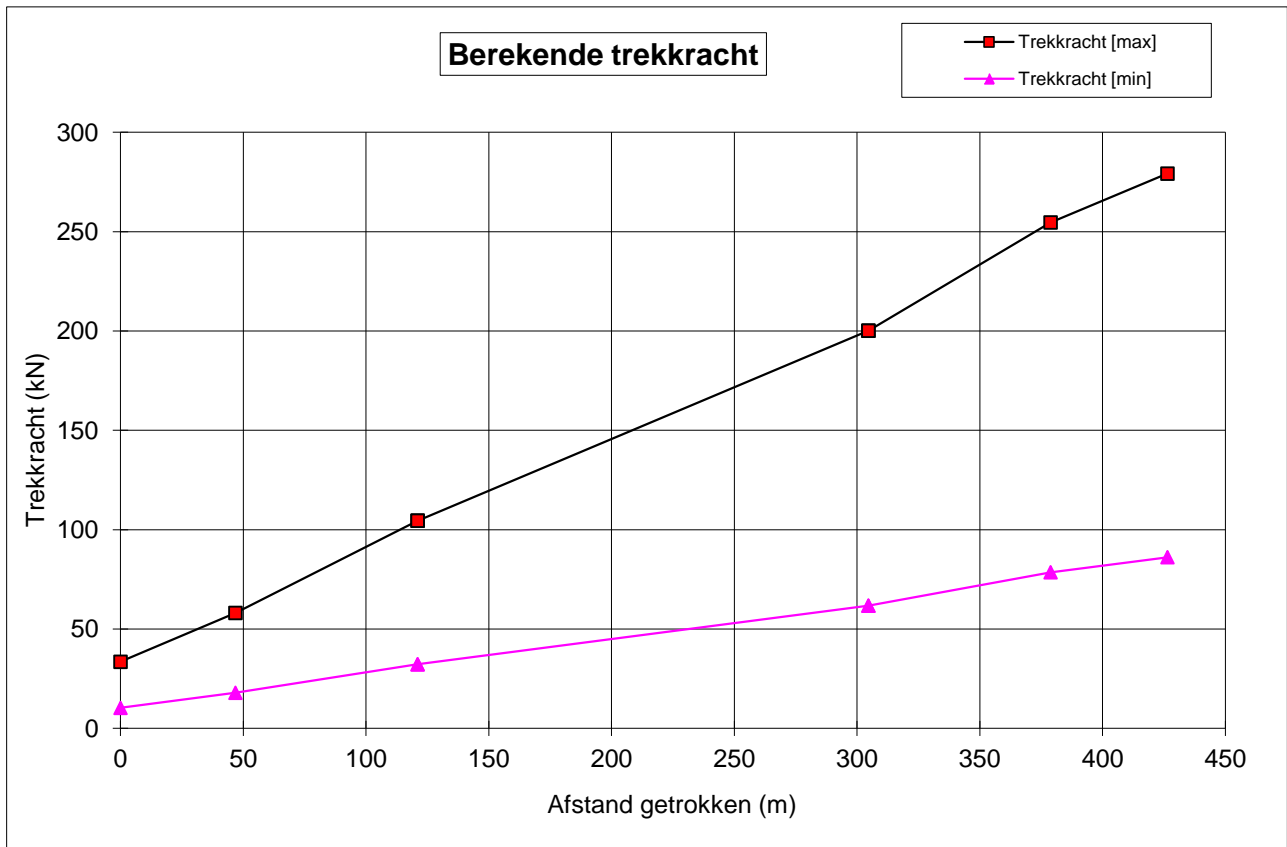
Diverse gegevens		
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel	10 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht bentoniet	sg	1200 kg/m <sup>3</sup>
Doorsnedeoppervlak	Abuis	10395 mm <sup>2</sup> per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>3</sup>
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>4</sup>
Weerstandmoment	W	433754 mm <sup>3</sup> per buis
Traagheidsmoment	I	43375426 mm <sup>4</sup> per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>	1735017 mm <sup>3</sup> voor: 4 buis/buizen
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>	173501703 mm <sup>4</sup> voor: 4 buis/buizen
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g omlaag	0,3971 kN/m1streng "
gewicht vull x aantal buizen	g vull omhoog	0,0000 kN/m1streng "
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra omhoog	0,0000 kN/m1streng "
opdrijving x aantal buizen	g opw omhoog	-1,5080 kN/m1streng "
g eff in gat = g-gopw	g eff omhoog	-1,1109 kN/m1streng "
g eff op rolstellen	g eff omlaag	0,3971 kN/m1streng "
$\lambda = \text{sqrt}(\text{sqrt}(k_v \times B / 4 / E / I))$	$\lambda$	0,002244 mm <sup>-1</sup>
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>	0,04 N/mm <sup>3</sup> "
Oplegbreedte van de bundel	B	528 mm
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B / R_1$	Q <sub>r1</sub>	0,0028 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B / R_h$	Q <sub>rh</sub>	0,0000 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B / R_2$	Q <sub>r2</sub>	0,0028 N/mm <sup>2</sup> "
Reductiefactor voor bundel = n x 1/n <sup>0.3</sup>	b'	2,639 x Omtrek van een buis

Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	426	380	305	305	122	122	48	0	
T <sub>1</sub> (kN)	18,62	16,58	13,34	13,34	5,32	5,32	2,07	0	
L <sub>2</sub> (m)	0	47	74	0	184	0	74	48	
T <sub>2</sub> (kN)	0	15,71	24,90	0,00	61,61	0,00	24,90	15,97	
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	0,92	0,00	0,00	0,00	0,92	0	
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	3,22	3,22	2,74	2,74	10,42	10	
F x f (totale kracht, kN)	19	32	58	58	111	111	141	155	
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	34	58	105	105	200	200	255	279	
<i>De te verwachten trekkracht ligt tussen</i>			<i>86 kN en 279 kN</i>						
<i>De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk</i>							<i>310 kN</i>		
<i>De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid</i>									

Spanningen in boorgat								
Totale spanning in boorgat								
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	0,8	1,4	2,5	2,5	4,8	4,8	6,1	6,7
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0
SI tot	0,8	1,4	3,1	2,5	4,8	4,8	6,7	6,7

Spanningen op rollenbaan		
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling		
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R	Sr	2,6 N/mm <sup>2</sup>
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>	M	3,6 kNm total
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal	SI	5,5 N/mm <sup>2</sup>

# GRAFIEK



# Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

## INVOER

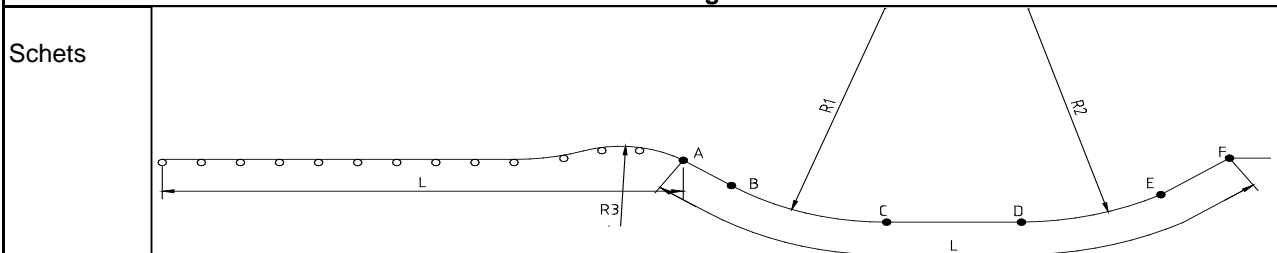
### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad 380kV Noordring
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-08 380kV HDD 1 t/m 4 Bennebroekerweg te Zwaanshoek
Berekend door	EHO

### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	250 mm
Wanddikte	$d$	22,7 mm
Dikte externe coating	$c-e$	0 mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0 kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0 mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0 kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY		pe100
buizen met flexibele verbindingen		nee
Elasticiteitsmodulus	E	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	sg	955 kg/m <sup>3</sup>

### Maatvoering



Lengte boring	L	424 m		
Afstand	A-B	35 m		
Afstand	A-C	101 m	A-H1	101 m
Afstand	A-D	320 m	A-H2	320 m
Afstand	A-E	381 m		
Afstand	A-F	424 m		
Straal boor profiel	$R_1$	250 m	excl. 10% marge	
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	0		
Straal boor profiel	$R_2$	250 m	excl. 10% marge	
Straal rollenbaan	$R_3$	50 m		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	15 graden	(bij punt A)	
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0 graden	(+ naar beneden ri. rig zijde)	
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	0 graden		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	14 graden	(bij punt F)	
Aantal buizen	aantal, n	4 buis/buizen	--	
Bundel gekoppeld		nee		
Buisvulling in boorgat	leeg		Buisvulling (water) ook op rolstellen	nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012		
Pipe Pusher capaciteit	0 kN	nee		
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen		nee		

## SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	407 kN	41 ton
SI max in boorgat	SI	6,5 N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	5,8 N/mm <sup>2</sup>	
		65,1 % S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>

## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2 ,f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

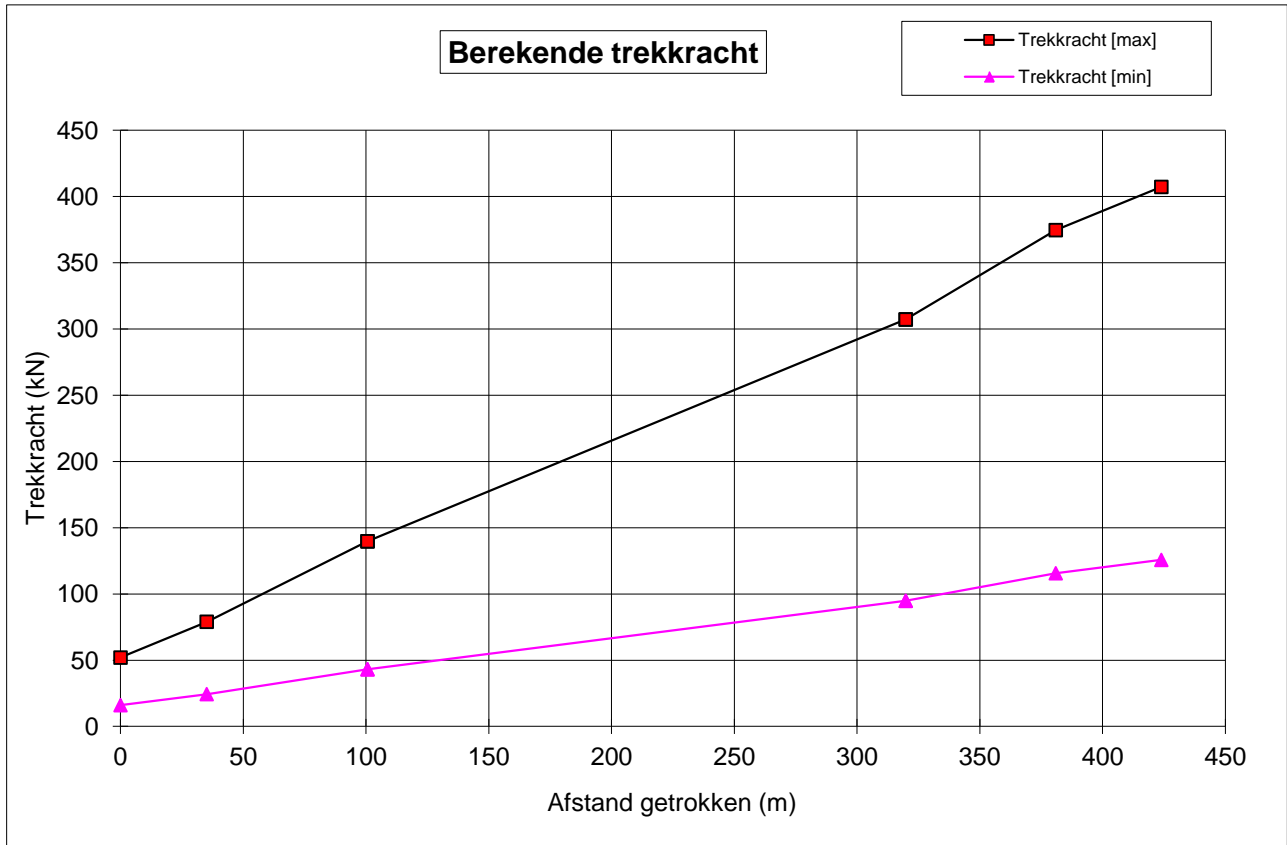
Diverse gegevens		
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel	10 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht bentoniet	sg	1200 kg/m <sup>3</sup>
Doorsnedeoppervlak	Abuis	16210 mm <sup>2</sup> per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>3</sup>
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>4</sup>
Weerstandmoment	W	845832 mm <sup>3</sup> per buis
Traagheidsmoment	I	105728989 mm <sup>4</sup> per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>	3383328 mm <sup>3</sup> voor: 4 buis/buis
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>	422915957 mm <sup>4</sup> voor: 4 buis/buis
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g omlaag	0,6192 kN/m1streng "
gewicht vull x aantal buizen	g vull omhoog	0,0000 kN/m1streng "
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra omhoog	0,0000 kN/m1streng "
opdrijving x aantal buizen	g opw omhoog	-2,3562 kN/m1streng "
g eff in gat = g-gopw	g eff omhoog	-1,7370 kN/m1streng "
g eff op rolstellen	g eff omlaag	0,6192 kN/m1streng "
$\lambda = \text{sqrt}(\text{sqrt}(k_v \times B / 4 / E / I))$	$\lambda$	0,001899 mm <sup>-1</sup>
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>	0,04 N/mm <sup>3</sup> "
Oplegbreedte van de bundel	B	660 mm
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B / R_1$	Q <sub>r1</sub>	0,0040 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B / R_h$	Q <sub>rh</sub>	0,0000 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B / R_2$	Q <sub>r2</sub>	0,0040 N/mm <sup>2</sup> "
Reductiefactor voor bundel = n x 1/n <sup>0.3</sup>	b'	2,639 x Omtrek van een buis

Trekkracht										
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F		
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig		
L (m)	424	389	323	323	104	104	43		0	
T <sub>1</sub> (kN)	28,87	26,48	22,01	22,01	7,08	7,08	2,92		0	
L <sub>2</sub> (m)	0	35	66	0	219	0	61		43	
T <sub>2</sub> (kN)	0	17,41	32,50	0,00	108,75	0,00	30,31		21,33	
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	1,91	0,00	0,00	0,00	1,91		0	
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	3,80	3,80	3,03	3,03	12,44		12	
F x f (totale kracht, kN)	29	44	78	78	171	171	208		226	
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	52	79	140	140	307	307	375		407	
De te verwachten trekkracht ligt tussen			126 kN	en	407 kN					
De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk							453 kN			
De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid										

Spanningen in boorgat									
Totale spanning in boorgat									
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	0,8	1,2	2,2	2,2	4,7	4,7	5,8	6,3	
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	
SI tot	0,8	1,2	2,9	2,2	4,7	4,7	6,5	6,3	

Spanningen op rollenbaan									
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling									
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R		Sr	3,3 N/mm <sup>2</sup>						
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>		M	5,7 kNm	total					
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal		SI	5,8 N/mm <sup>2</sup>						

# GRAFIEK





---

## 4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-08 150kV HDD1 en 2, punt met diepte van 8x de gatdiameter</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>18,20</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV 0,5x load model 2</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>0</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>nvt</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>5,1</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>17</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>neutraal</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>1,8</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>27,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$



HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>veld</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>rechte leiding</b>	
		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	502,38 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	55,21 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	90,9 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	181,8 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	18,2 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,21 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,10 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	18,2 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	0,43 *10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	43,38 *10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,1160 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	2,3	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	29	% toetswaarde <100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	2,4 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	$f$	1,50
Totaal factor $Q_n$	$f$	1,10
Totaal factor $Q_p$	$f$	1,50
Totaal factor kv omlaag	$f$	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	10,74 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	10,74 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa      veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		10 mm
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		8 mm
$z_{\text{max reken}}$		10 mm
$q_n$	0,0537	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	0,1906	N/mm <sup>2</sup> $Q_p$ met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	0,1369	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,013830	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058	N/mm <sup>3</sup>
$u$	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
$u \times D_o$	20 mm	
$u \times D_o \leq z_{\text{max reken}}$	10 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,154	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	30,79	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP  $Q_k$  is hoger dan  $Q_p$

#### Berekening gereduceerde gronddrukken

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$		0 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$		0 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0 m
Dikte samendrukbare grondmassief	$H$	0 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	30,0 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	5,1 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	15,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma' - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,22 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,50
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	10,53 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	1,57 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond}$ reken	$Q \times f$	11,81 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	10,88 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	1,50 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,30 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,54	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	5,21 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_y/2 \times \sin 60$		14,51 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	6,88 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	4,39 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	4,39 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,64
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,64
	$d_{y1}/2$	3,44 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  5,21 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  5,21 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  5,21 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  5,21 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_n$	5,21 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	5,21 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen		0,45 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene		-0,25 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	$Q_{h,n,r}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos		4,69 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk		4,69 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{ toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	---------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$Q_{grond}$	11,81 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	
$S_q \text{ bodem}$	4,57 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ top}$	2,88 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ zijden}$	-2,96 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q \text{ bodem}$	4,57 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	2,88 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-2,96 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$Q_{h, grond}$	4,69 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	
$S_q \text{ bodem}$	-1,10 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ top}$	-1,10 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ zijden}$	1,10 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$Q_{h, grond}$	4,69 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	
$S_q \text{ bodem}$	-1,10 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ top}$	-1,10 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ zijden}$	-1,10 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	1,50 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,30 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	0,12 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,07 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,08 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,12 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,12 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,12 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,11121E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$		
	$S_r$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$		
	nvt	
	$S_{rl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 \cdot S \cdot De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D \left( (0.113 \cdot Q - 0.096 \cdot 0.866 \cdot Q_{n,h} + 0.071 \cdot Q_{indir}) \cdot rg^3 \right) / (E' \cdot lw + 0.061 \cdot kh \cdot rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	4,9 mm	
	2,4 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E \cdot lw / Dg^3$	25,08 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,91 N/mm <sup>2</sup> 19,11 bar 191,11 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,39 bar 23,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	4,57	2,88	2,96 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-1,10	-1,10	-1,10 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,12	0,07	0,08 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	3,58	1,85	1,93 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a \cdot i_x \cdot S_{b,x} + S_{T;x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a \cdot (S_y max + i_y \cdot S_{b,x})$	2,33	1,20	1,25 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	29	15	16 % < 100%



Deflectie	
Deflectie	2,4 % van uitwendige diameter

Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b;x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b;x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-08 150kV HDD1 en 2, punt met de grootste dekking</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>18,20</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV load model 2</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>250</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>onder</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>27</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>17</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>gered. pleistoceen</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>6,9</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>30</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	502,38 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	55,21 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	90,9 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	181,8 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	18,2 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,21 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,10 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	18,2 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	0,43 *10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	43,38 *10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,1160 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	0,5	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	7 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	0,6 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Qn	f	1,10
Totaal factor Qp	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	51,60 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	51,60 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa      veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max}} \text{ klei/veen} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		4 mm
$z_{\text{max}} \text{ zand} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		3 mm
$z_{\text{max}} \text{ reken}$		4 mm
$q_n$	0,2580	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	3,7410	N/mm <sup>2</sup> Qp met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	3,4830	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,809376	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058	N/mm <sup>3</sup>
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	20 mm	
u x $D_o \leq z_{\text{max}} \text{ reken}$	4 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,250	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	50,03	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

#### Berekening gereduceerde gronddrukken

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	0 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	30,0 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	27,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	15,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma' - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,22 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,50
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	9,56 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	1,43 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. pleistoceen	
$Q_{grond\ reken}$	$Q \times f$	1,57 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	51,74 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	2,50 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,50 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,50	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	22,62 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_{y2}/2 \times \sin 60$		2,66 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	1,26 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	-9,56 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	-9,56 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	-7,58
	$d_{y2}'/d_{y1}$	-7,58
	$d_{y1}/2$	0,63 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  22,62 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  22,62 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  22,62 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  22,62 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_h$	22,62 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_h$	22,62 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	0,41 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	-0,25 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,41 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	0,37 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{ toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	---------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$Q_{grond}$	1,57 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	0,61 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,38 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,39 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$			
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q \text{ bodem}$	0,61 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ top}$	0,38 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q \text{ zijden}$	-0,39 N/mm <sup>2</sup>	

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	0,37 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	-0,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-0,09 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,09 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	2,50 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,50 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q \text{ bodem}$	0,19 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,12 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,13 N/mm <sup>2</sup>



<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,19 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,19 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,19 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,11121E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$		
	$S_r$ bodem	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,05 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,05 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$		
	onder	
	$S_{rl}$	0,12 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * I_w + 0.061 kh * rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	1,1 mm	
	0,6 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * I_w / Dg^3$	25,08 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,91 N/mm <sup>2</sup> 19,11 bar 191,11 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,39 bar 23,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	0,61	0,38	0,39 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,09	-0,09	-0,09 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,19	0,12	0,13 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,10	0,05	0,05 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	0,82	0,46	0,48 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,12	-0,12	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,12	-0,12	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	<b>0,08</b>	<b>-0,08</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	1	1	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_y max + i_y * S_{b,x})$	<b>0,53</b>	<b>0,30</b>	<b>0,31</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	7	4	4 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	0,6 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-08 380kV HDD1 t/m 4, punt met diepte van 8x de gatdiameter</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>250</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>250</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>22,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV 0,5x load model 2</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>0</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>nvt</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>6</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>17</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>neutraal</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>1,8</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,049</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0343</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>27,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>veld</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalwaarden op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>rechte leiding onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	974,76 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	85,88 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	113,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	227,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	22,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,33 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,15 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,49 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	22,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,85 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$105,73 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0980 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0583 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalwaarde

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	2,6	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	32	% toetswaarde <100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	2,7 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,72 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0441 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0309 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Qn	f	1,10
Totaal factor Qp	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	15,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	15,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa      veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		13 mm
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		10 mm
$z_{\text{max reken}}$		13 mm
$q_n$	0,0600	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	0,2040	N/mm <sup>2</sup> Qp met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$		0,1440 N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$		0,011287 N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel		0,049 N/mm <sup>3</sup>
u		0,1      autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$		25 mm
u x $D_o \leq z_{\text{max reken}}$		13 mm
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,166	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$		41,45 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP Qk is hoger dan Qp

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$		0 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$		0 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	0 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,20 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	30,0 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	6,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,31 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	15,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o * B_1 * (\gamma' - c_h / B_1) / (K * \tan \phi_h) * (1 - e^{-(K * h_h * \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h * \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) * 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 * (3H - 2h) * \alpha) / (2 C * H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 * k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h * \gamma'_h - F_r / 2B_1) * D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,27 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,50
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	10,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o * B_1 * \gamma') / (K * \tan \phi) * (1 - e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h * h_h * D_o * e^{-(K * h * \tan \phi) / B_1}$		
	$Q_{n,r}$	2,33 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond}$ reken	$Q * f$	16,50 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f



### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	15,22 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	1,25 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,54	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	7,24 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_{y2}/2 \times \sin 60$		21,37 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	9,59 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	6,11 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	6,11 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,64
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,64
	$d_{y1}/2$	4,80 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  7,24 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  7,24 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  7,24 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  7,24 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_h$	7,24 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_h$	7,24 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen		0,67 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene		-0,32 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	$Q_{h,n,r}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos		6,52 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk		6,52 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m$ , toel	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	--------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$Q_{grond}$	16,50 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	5,13 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	3,23 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-3,32 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$			
Reroundingeffect	$f_{rr}$	1,00	voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q$ bodem	5,13 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ top	3,23 N/mm <sup>2</sup>	
	$S_q$ zijden	-3,32 N/mm <sup>2</sup>	

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h,grond}$	6,52 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	-1,23 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-1,23 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	1,23 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h,grond}$	6,52 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q$ bodem	-1,23 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	-1,23 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-1,23 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	1,25 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q$ bodem	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,06 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	-0,06 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
$S_q$ bodem		0,10 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,10 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,10 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuurverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
$S_t$		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		1,38962E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$		
$S_r$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$		
nvt		
$S_{rl}$		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
$S_l$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
$Q$		0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + (2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' I_w)$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
$S_q$ bodem		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ top		0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zijden		0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	20,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * I_w + 0.061 * k_h * r_g^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	6,8 mm	
	2,7 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * I_w / Dg^3$	24,90 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,90 N/mm <sup>2</sup> 18,97 bar 189,72 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,37 bar 23,72 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	5,13	3,23	3,32 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-1,23	-1,23	-1,23 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,10	0,06	0,06 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	3,99	2,06	2,15 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	0	0	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_y max + i_y * S_{b,x})$	2,60	1,34	1,40 N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	32	17	17 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	2,7 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-08 380kV HDD1 t/m 4, punt met grootste dekking</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>250</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>250</b> mm	
SDR waarde		<b>11</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>22,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV load model 2</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>250</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>onder</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>22,3</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>17</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>zand</b>	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>gered. pleistoceen</b>	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>6,9</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,049</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0343</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>30</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	ix	<b>1</b>	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	<b>0</b>	>=0

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	974,76 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	85,88 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	113,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	227,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	22,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,33 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,15 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,49 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	22,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,85 * 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$105,73 * 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	2,00	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0980 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0583 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	0,7	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	8 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	0,7 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	23,72 m waterkolom
--	--------------------



### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0441 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0309 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Qn	f	1,10
Totaal factor Qp	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	56,28 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	56,28 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa      veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		7 mm
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		5 mm
$z_{\text{max reken}}$		7 mm
$q_n$	0,2251	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	2,2330	N/mm <sup>2</sup> Qp met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	2,0079	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,303419	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,049	N/mm <sup>3</sup>
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	25 mm	
u x $D_o \leq z_{\text{max reken}}$	7 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,310	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	77,62	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP Qk is hoger dan Qp

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	0 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	0 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,20 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	30,0 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	17,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	22,3 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,31 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	15,0 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma' - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,00 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	0,00 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	0,00
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,27 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,50
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	10,09 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	2,35 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	gered. pleistoceen	
$Q_{grond}$ reken	$Q \times f$	2,59 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	56,49 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	2,50 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,63 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,50	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	24,73 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_y/2 \times \sin 60$		4,33 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	1,94 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	-9,98 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	-9,98 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	-5,13
	$d_{y2}'/d_{y1}$	-5,13
	$d_{y1}/2$	0,97 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  24,73 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  24,73 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  24,73 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  24,73 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		zand	
drukloos	$Q_n$	24,73 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	24,73 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen		0,68 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene		-0,32 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$		
	$Q_{h,n,r}$	0,68 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos		0,61 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{ toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	---------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$Q_{grond}$	2,59 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	
$S_q \text{ bodem}$	0,80 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ top}$	0,51 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ zijden}$	-0,52 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q \text{ bodem}$	0,80 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,51 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,52 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$Q_{h, grond}$	0,61 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	
$S_q \text{ bodem}$	-0,12 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ top}$	-0,12 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ zijden}$	0,12 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$Q_{h, grond}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	
$S_q \text{ bodem}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ top}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ zijden}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	2,50 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,63 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	0,19 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,12 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,13 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,19 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,19 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,19 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		
		1,38962E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$		
	$S_r$ bodem	0,13 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,06 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,07 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$		
	onder	
	$S_{rl}$	0,15 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 \cdot S \cdot De$	20,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D \left( (0.113 \cdot Q - 0.096 \cdot 0.866 \cdot Q_{n,h} + 0.071 \cdot Q_{indir}) \cdot rg^3 \right) / (E' \cdot lw + 0.061 \cdot kh \cdot rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	1,8 mm	
	0,7 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E \cdot lw / Dg^3$	24,90 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	1,90 N/mm <sup>2</sup> 18,97 bar 189,72 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,24 N/mm <sup>2</sup> 2,37 bar 23,72 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	0,80	0,51	0,52 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-0,12	-0,12	-0,12 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,19	0,12	0,13 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,13	0,06	0,07 N/mm <sup>2</sup>
$S_y max$	1,02	0,57	0,60 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,15	-0,15	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,15	-0,15	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a \cdot i_x \cdot S_{b,x} + S_{T;x}$	<b>0,10</b>	<b>-0,10</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	1	1	0 % < 100%
$S_y = S_p + a \cdot (S_y max + i_y \cdot S_{b,x})$	<b>0,66</b>	<b>0,37</b>	<b>0,39</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	8	5	5 % < 100%

Deflectie	
Deflectie	0,7 % van uitwendige diameter

Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis			
Spanningen in omtreksrichting	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in langsrichting	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b;x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b;x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%



---

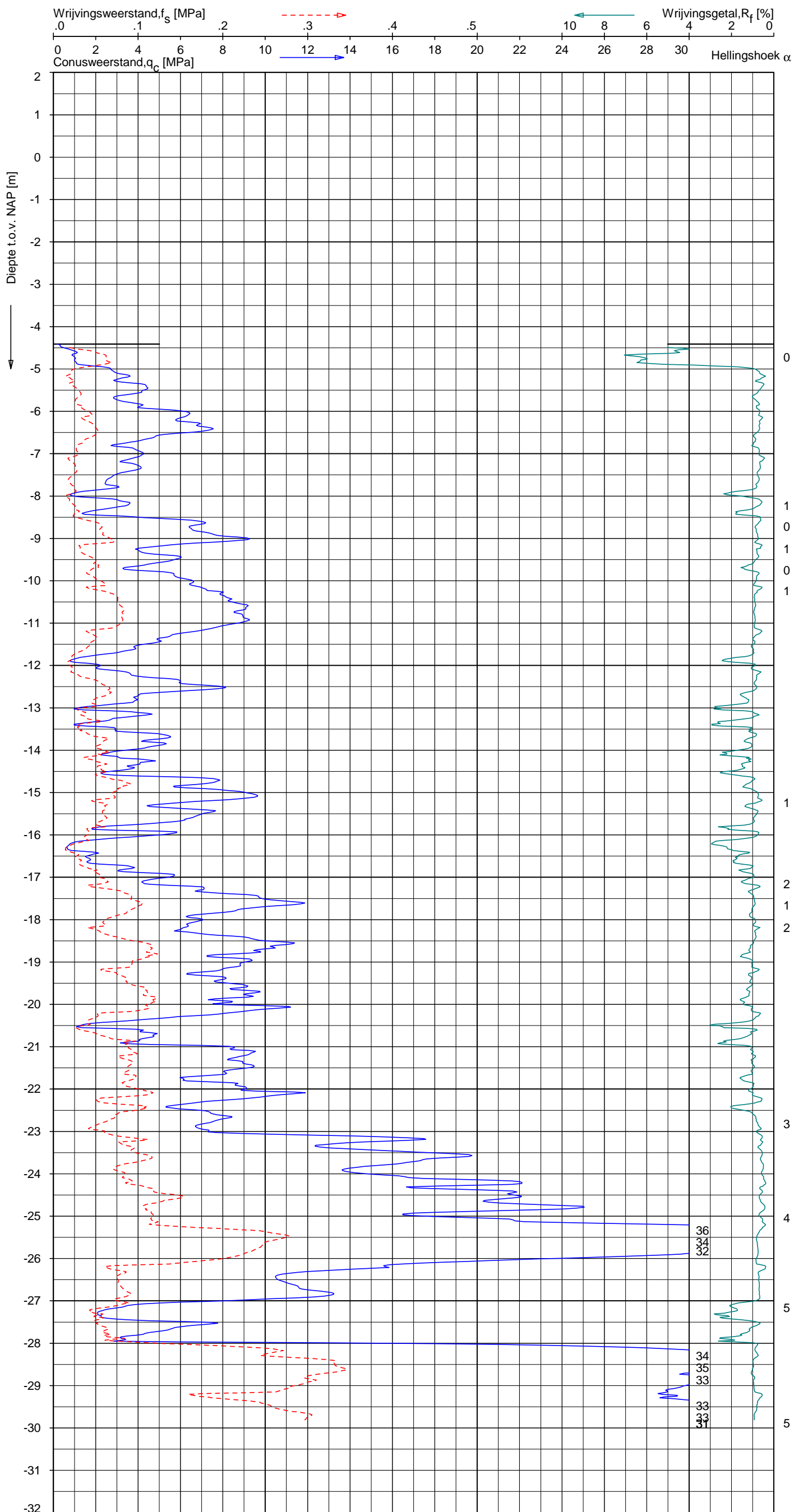
## 4.5 Grondonderzoek



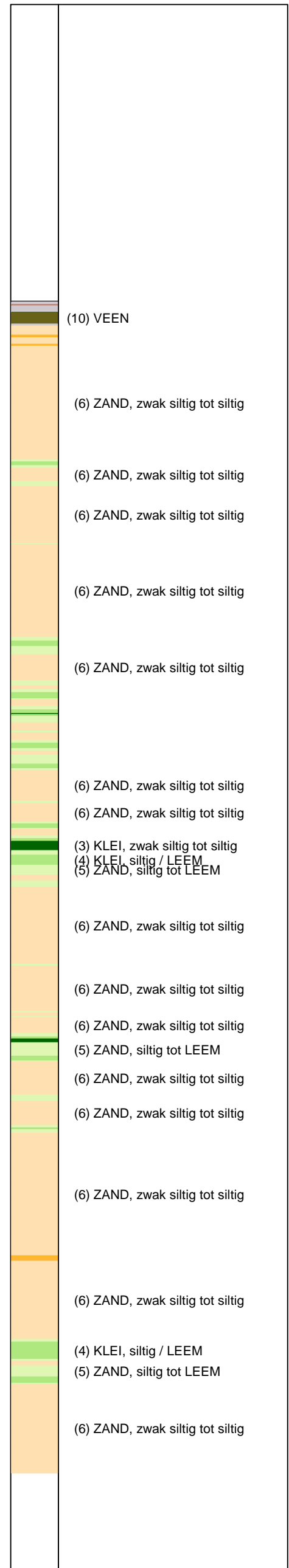
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-22 16:48:25

1010-0117-003

DKM1057 - 1



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



Opg. : JBL/MW d.d. 16-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 103097.4 Y = 480431.3  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-22 MV = NAP -4.41 m  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2. Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm. Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



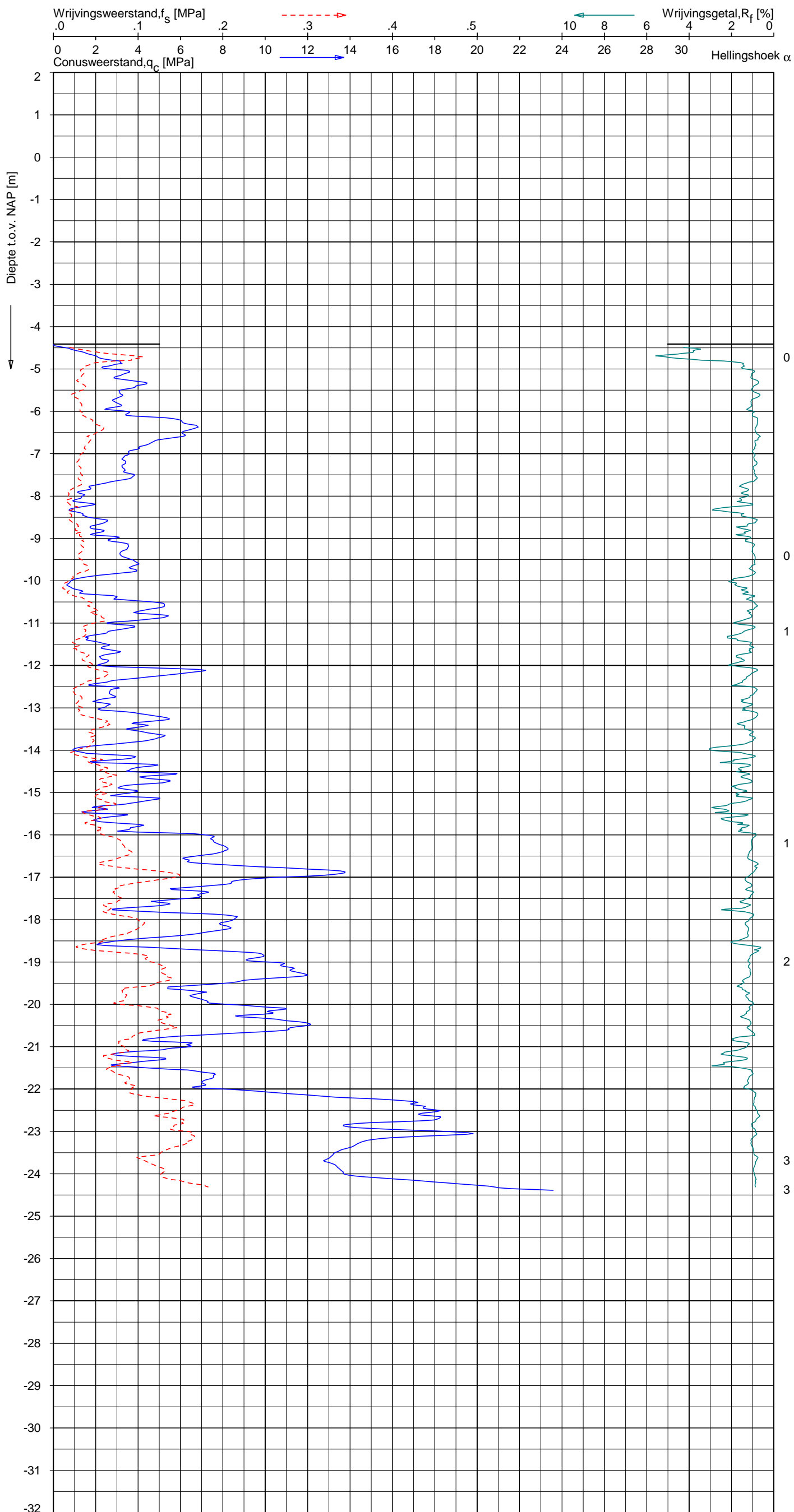
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1057

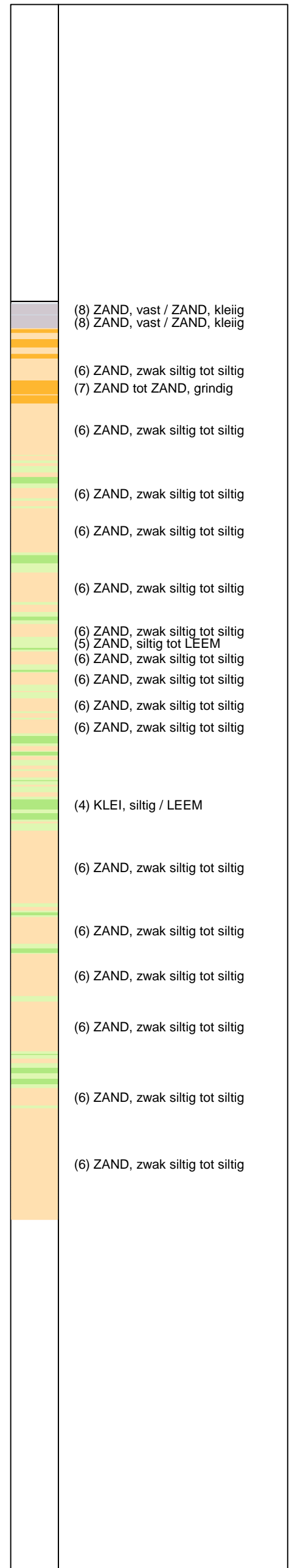
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-02 09:01:03

1010-0117-003

DKM1059 - 1



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



Opg. : JWV/FAS d.d. 30-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 103003.8 Y = 480408.9  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-02 MV = NAP -4.41 m  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2. Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm. Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



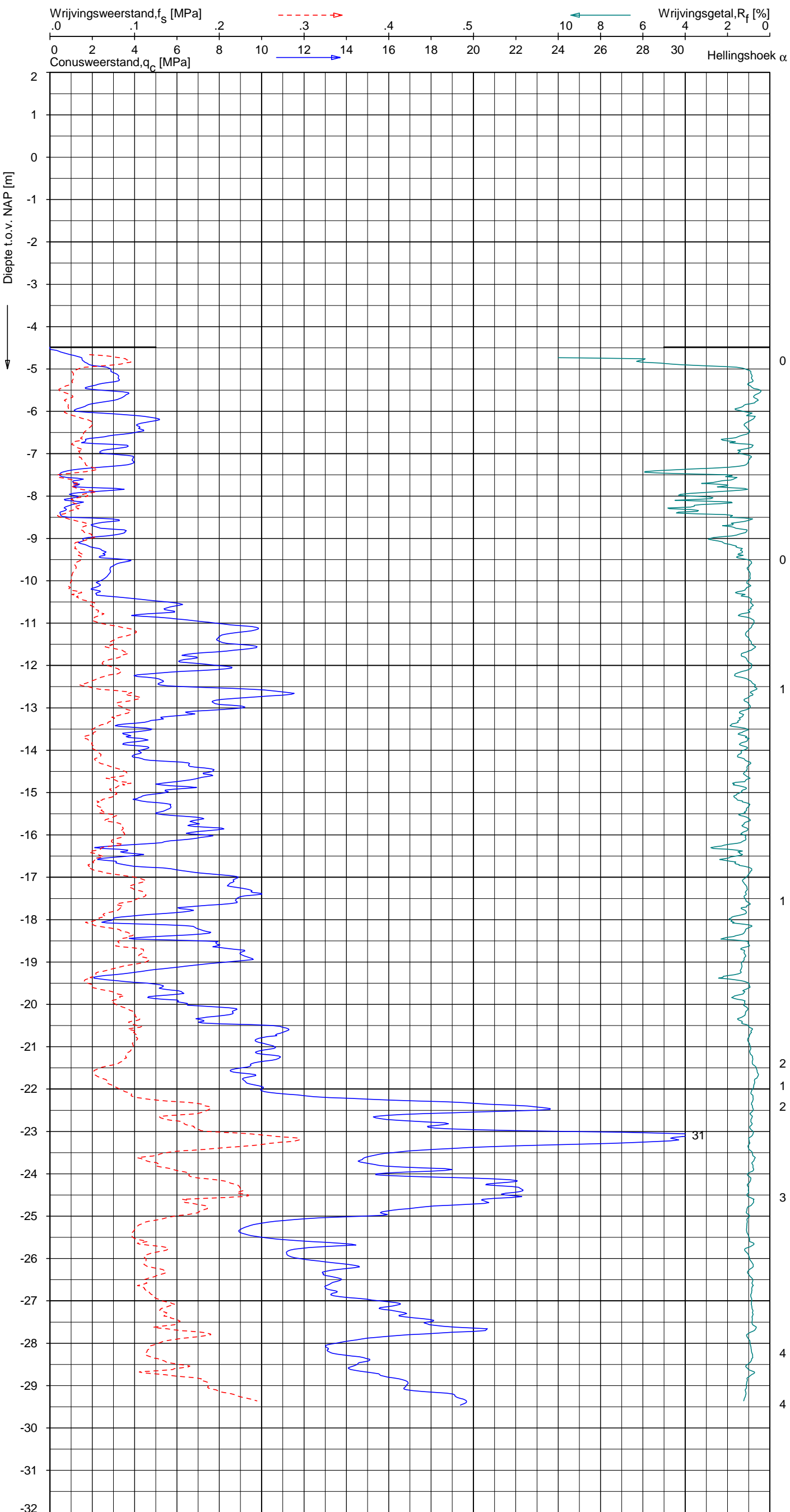
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1059

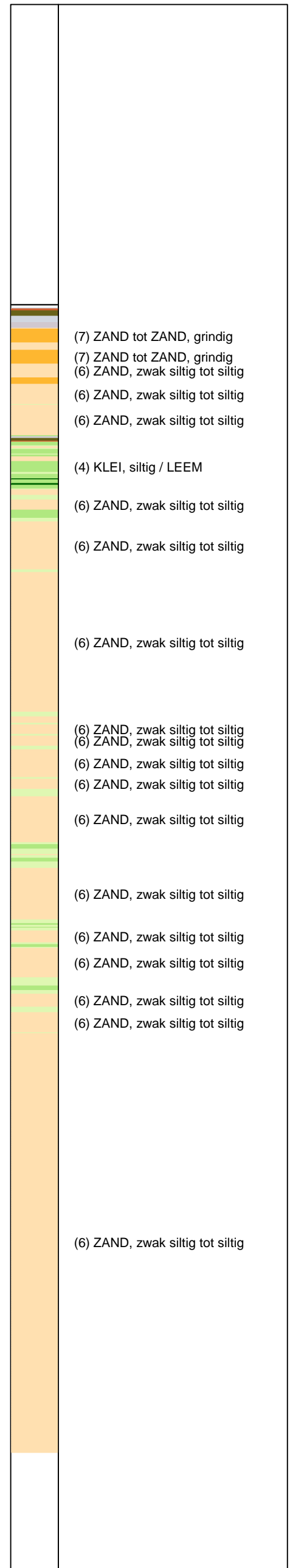
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-02 09:01:08

1010-0117-003

DKM1060 - 1



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



Opg. : JWV/FAS d.d. 30-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 102976.2  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-02 MV = NAP -4.48 m Y = 480328.0  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



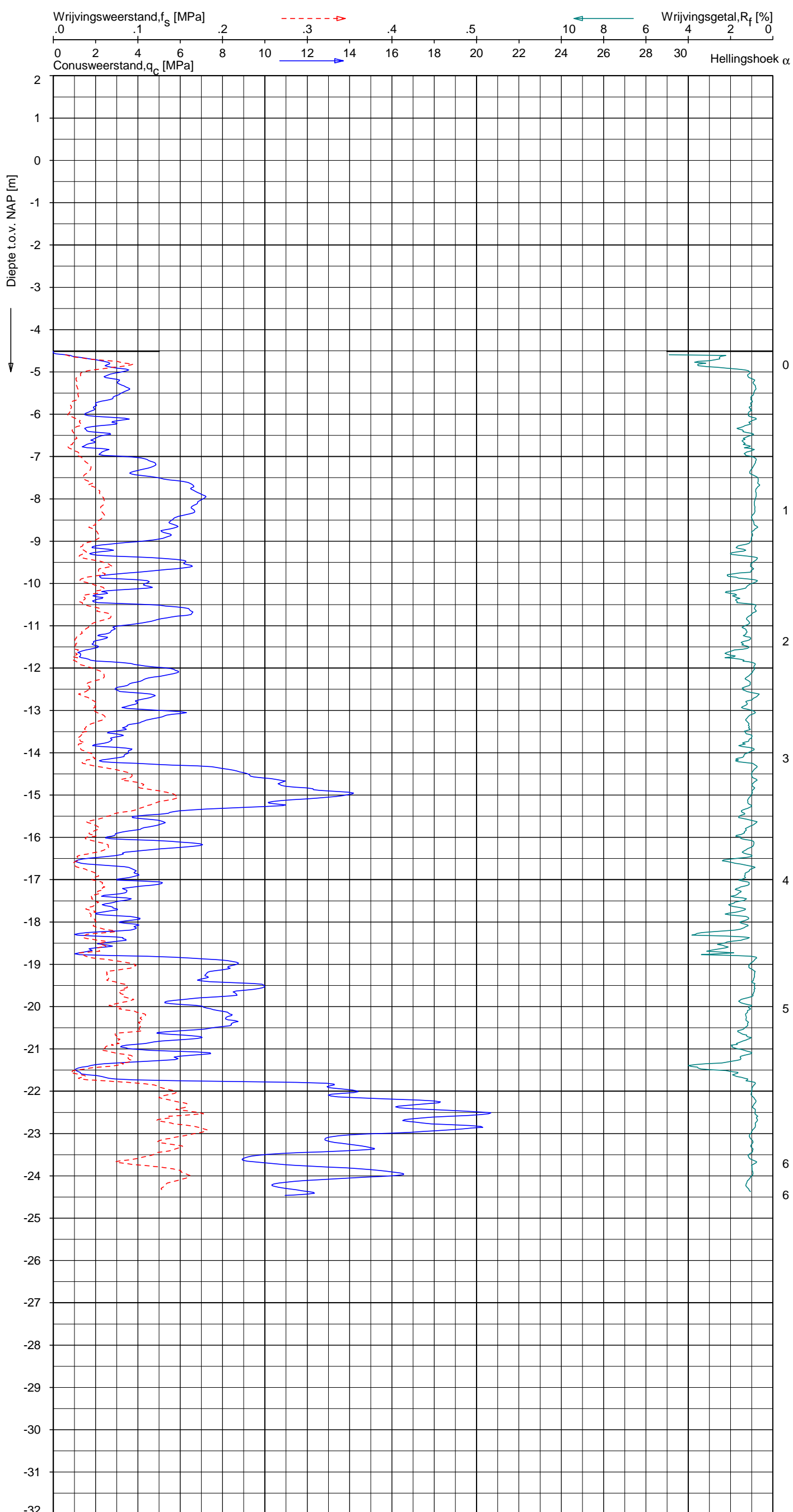
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1060

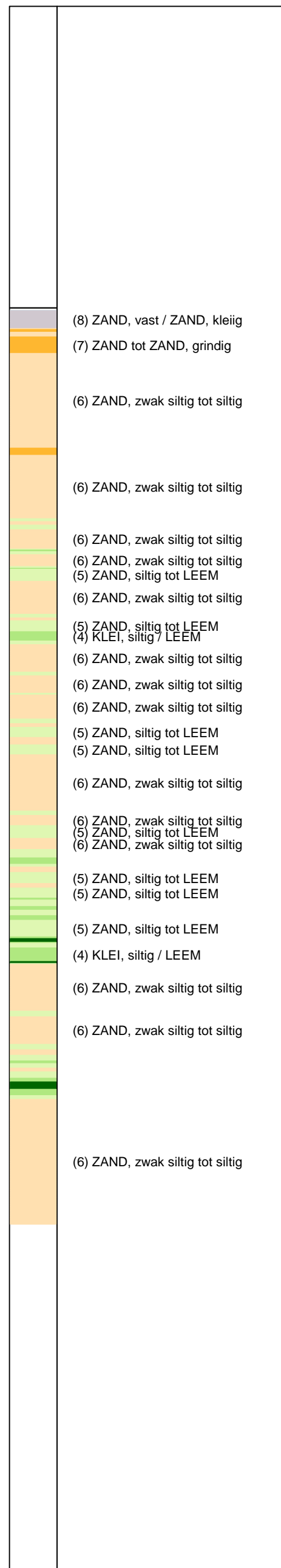
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-02 09:01:09

1010-0117-003

DKM1062 - 1



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



Opg. : JWV/FAS d.d. 30-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 102889.7  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-02 MV = NAP -4.51 m Y = 480257.5

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

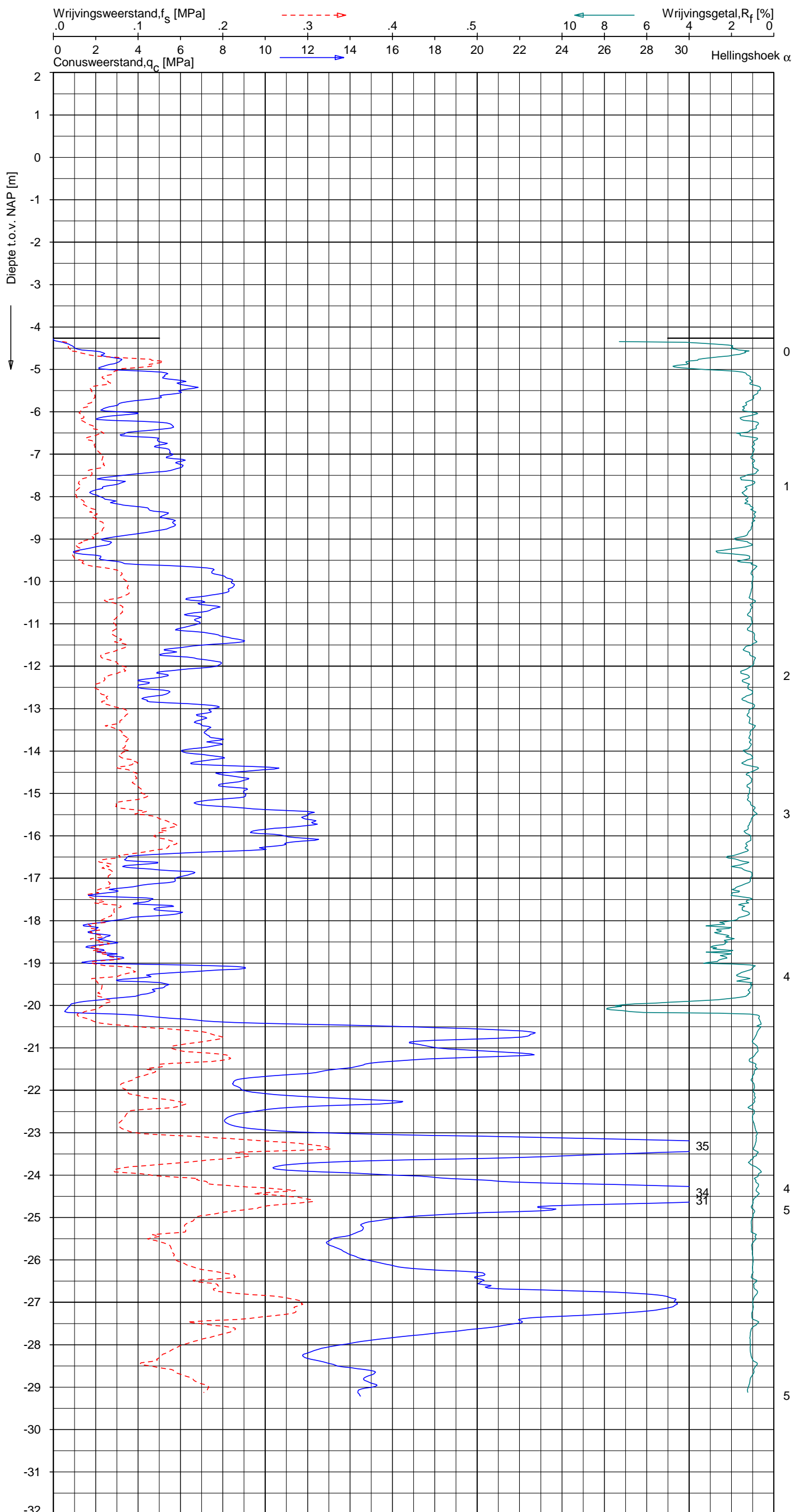
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1062

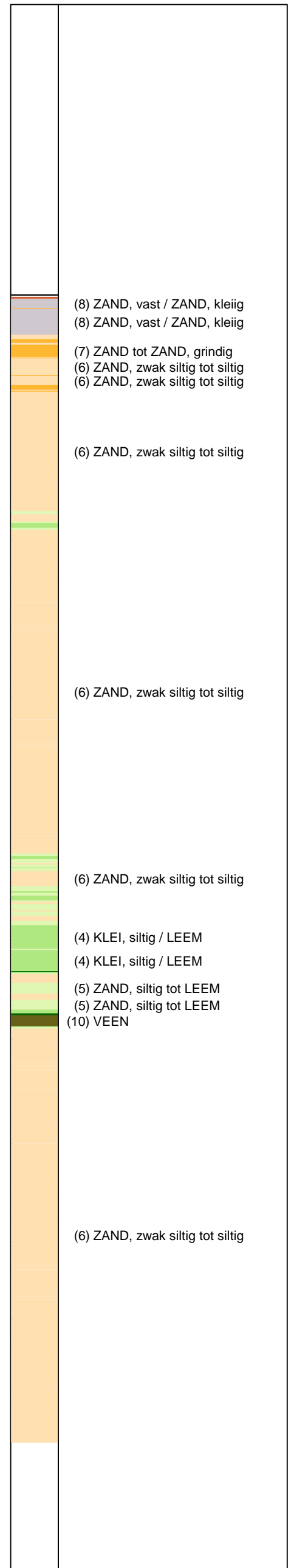
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-02 09:01:12

1010-0117-003

DKM1063 - 1



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



Opg. : JWV/FAS d.d. 30-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 102894.3 Y = 480198.4  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-02 MV = NAP -4.26 m  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2. Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm. Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



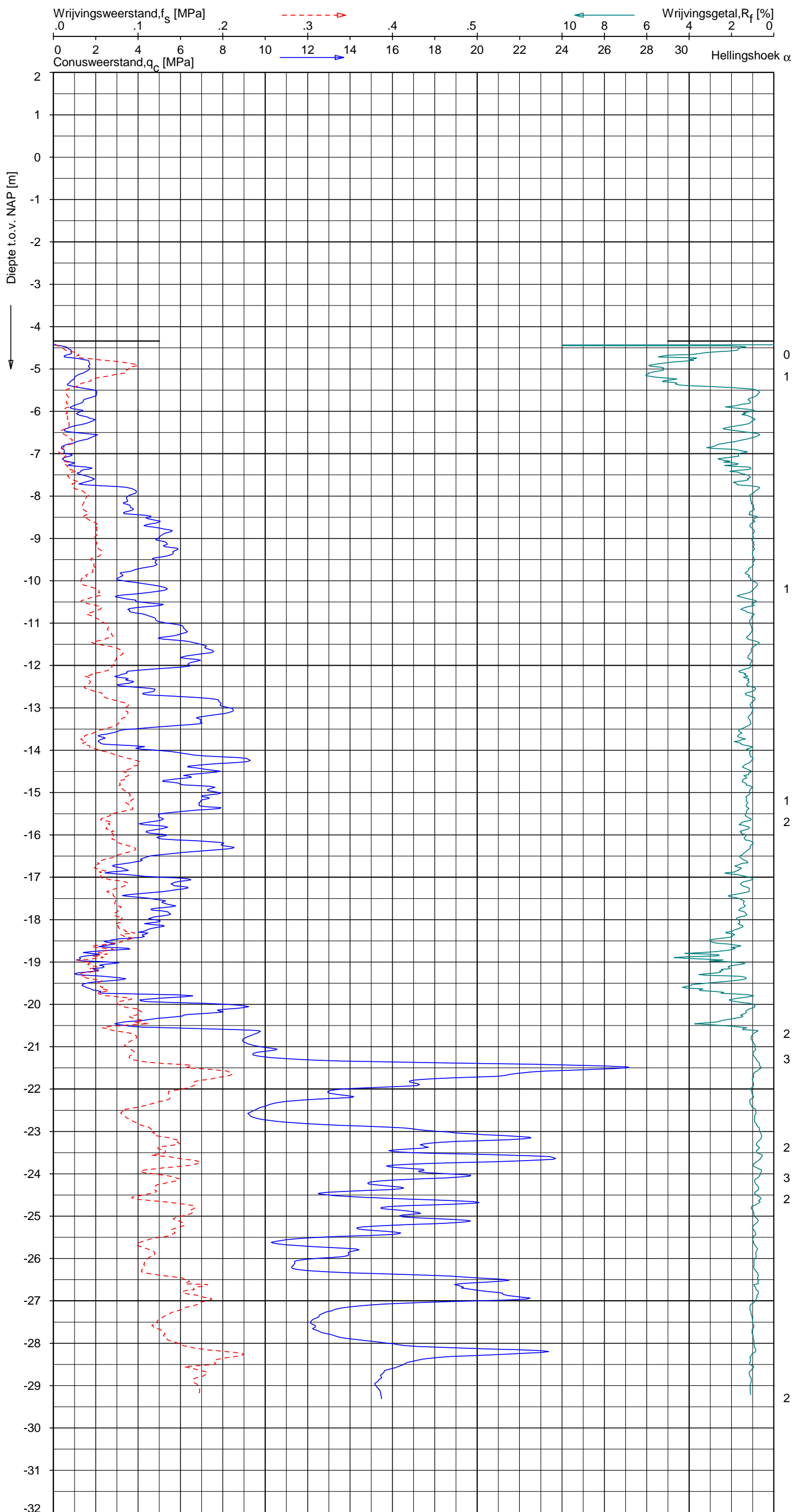
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1063

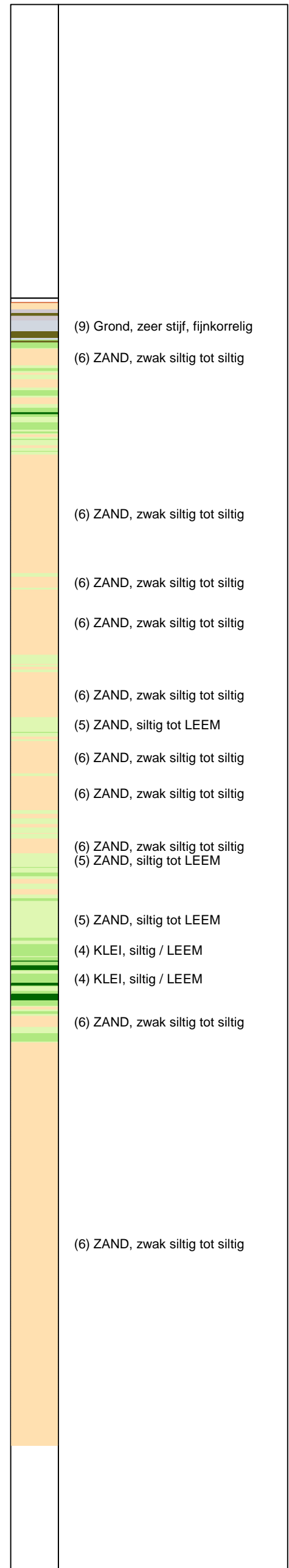
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-02 09:01:15

1010-0117-003

DKM1065 - 1



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



Opg. : JWV/JLA d.d. 15-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HA/B X = 102830.9  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-02 MV = NAP -4.34 m Y = 480122.4

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

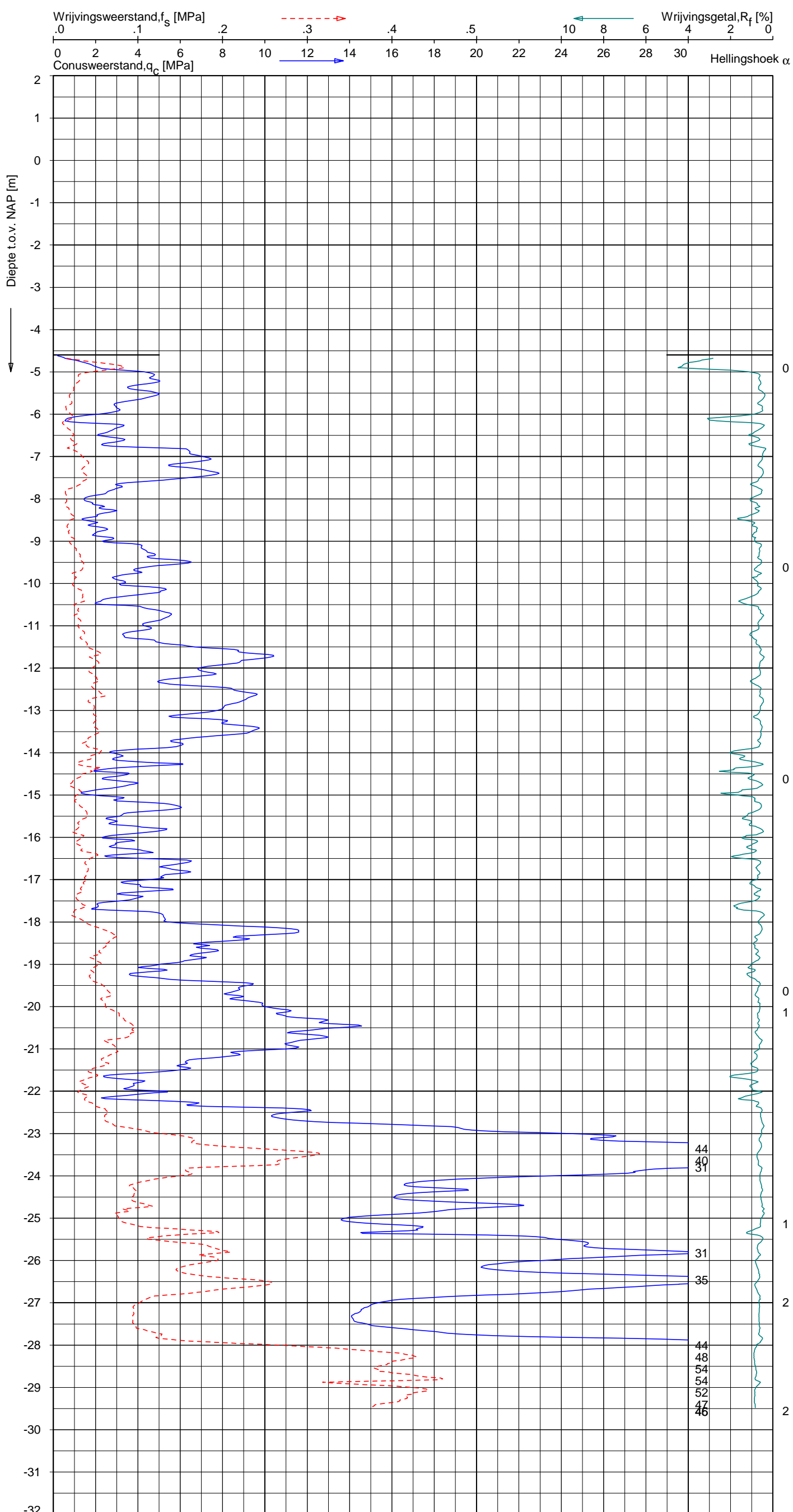
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKM1065

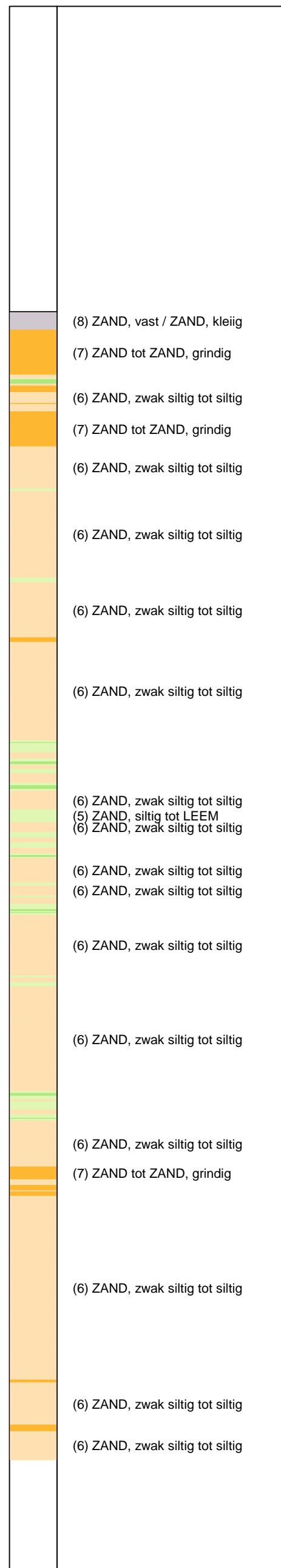
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-02 09:05:05

1010-0117-003

DKMP1058 - 1



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



Opg. : JWV/FAS d.d. 30-Oct-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103027.7 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Get. : VALKF d.d. 2012-11-02 MV = NAP -4.60 m Y = 480436.4 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1058

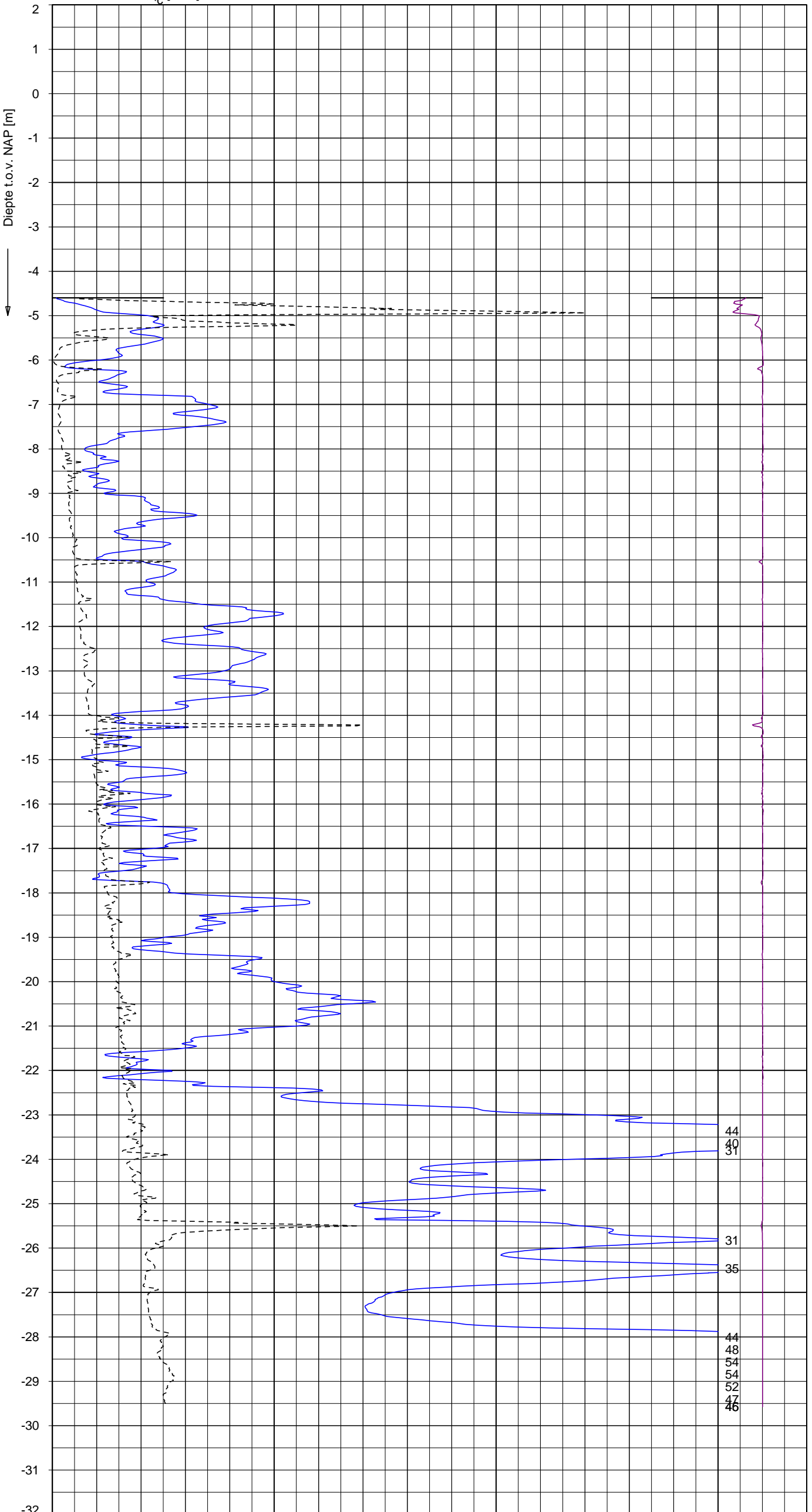
UNIPLOT 05.19.nl / QcU1Class-N3.cmd / 2012-11-02 09:05:33

1010-0117-003

DKMP1058 - 1

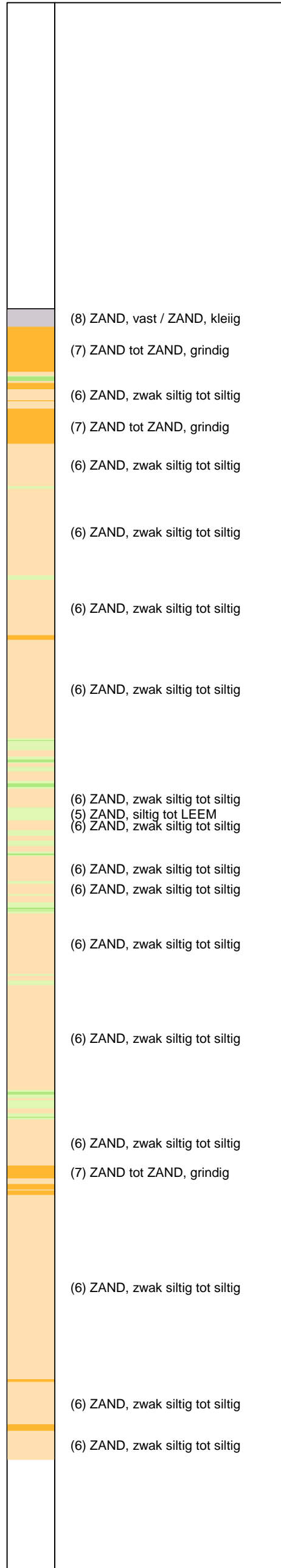
Waterspanning,  $u_1$  [MPa] ---> Wateroverspanningsindex,  $B_q$  [-] ←  
0 .2 .4 .6 .8 1.0 1.2 1.0 .5 .0

Conusweerstand,  $q_c$  [MPa] → Hellingshoek  $\alpha$



### Indicatieve bodembeschrijving

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



Opg.: JWV/FAS d.d. 30-Oct-2012 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 103027.7  
Get.: VALKF d.d. 2012-11-02 MV = NAP -4.60 m Y = 480436.4

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



### SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

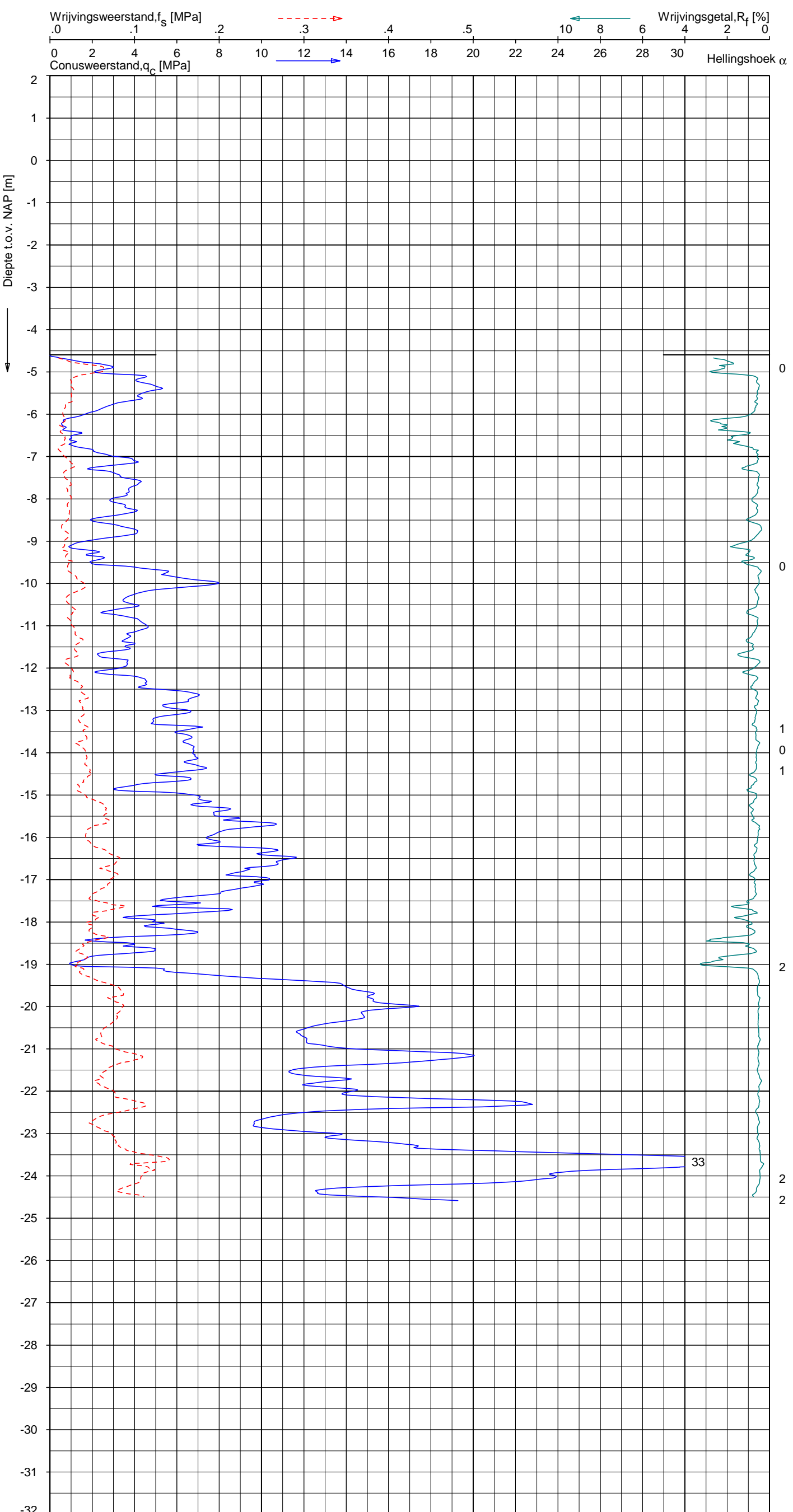
Opdr. 1010-0117-003  
Sond. DKMP1058



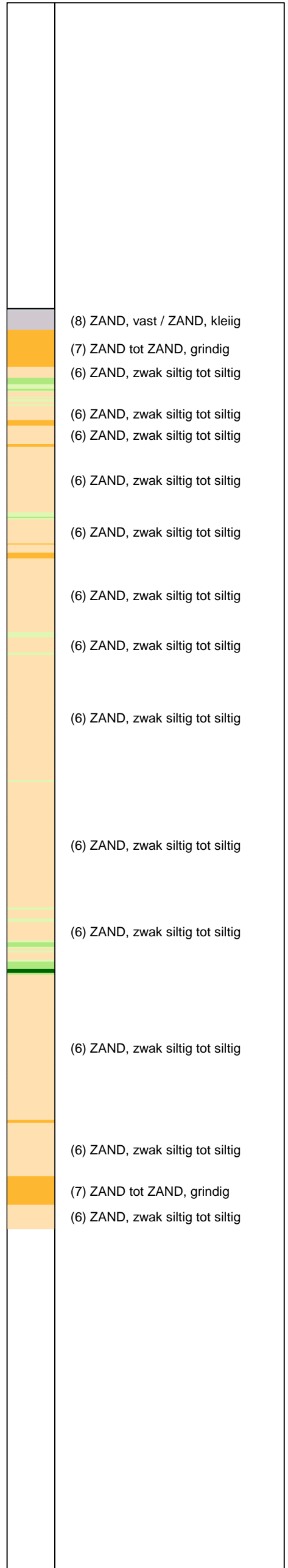
UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-02 09:05:08

1010-0117-003

DKMP1061 - 1



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



Opg.: JWV/FAS d.d. 30-Oct-2012 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 102925.8  
 Get.: VALKF d.d. 2012-11-02 MV = NAP -4.59 m Y = 480304.9  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2. Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm. Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



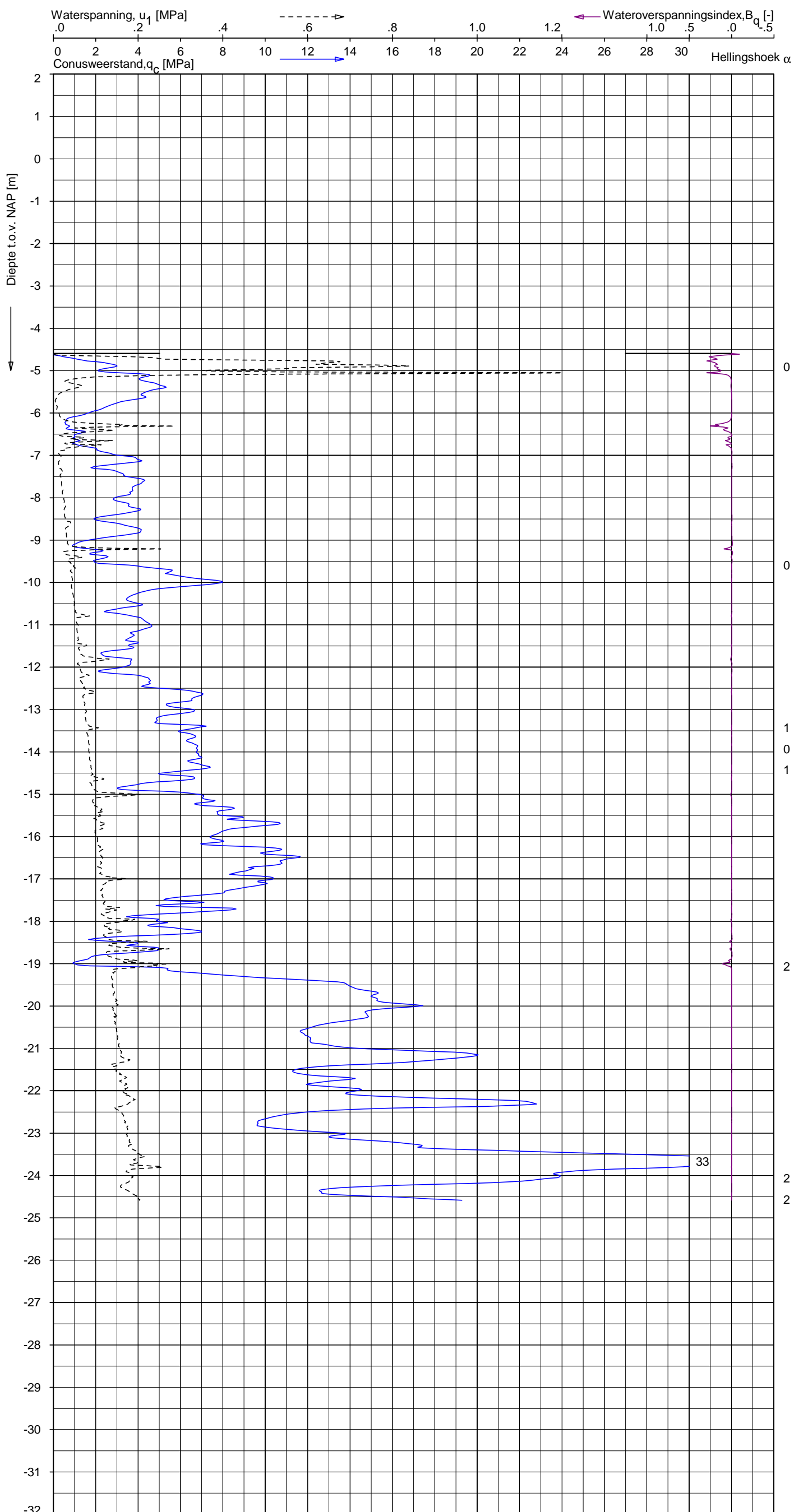
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1061

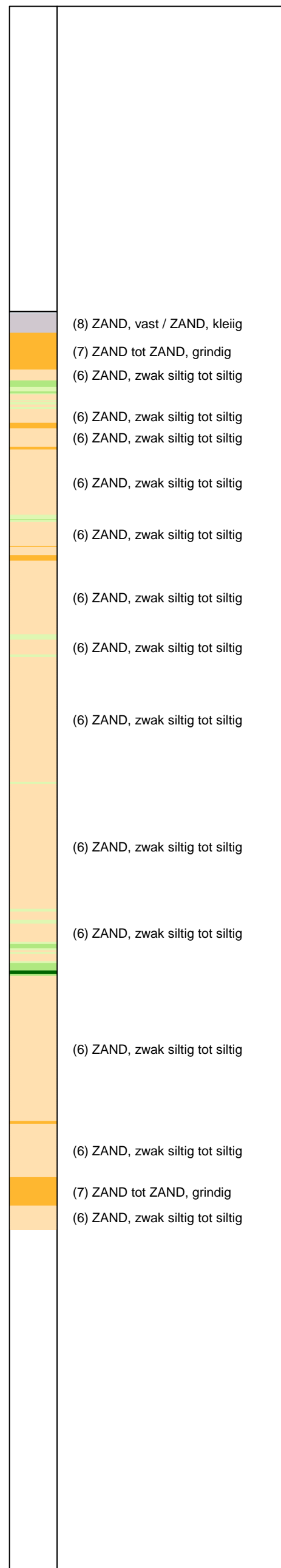
UNIPLOT 05.19.nl / QcU1Class-N3.cmd / 2012-11-02 09:05:36

1010-0117-003

DKMP1061 - 1



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

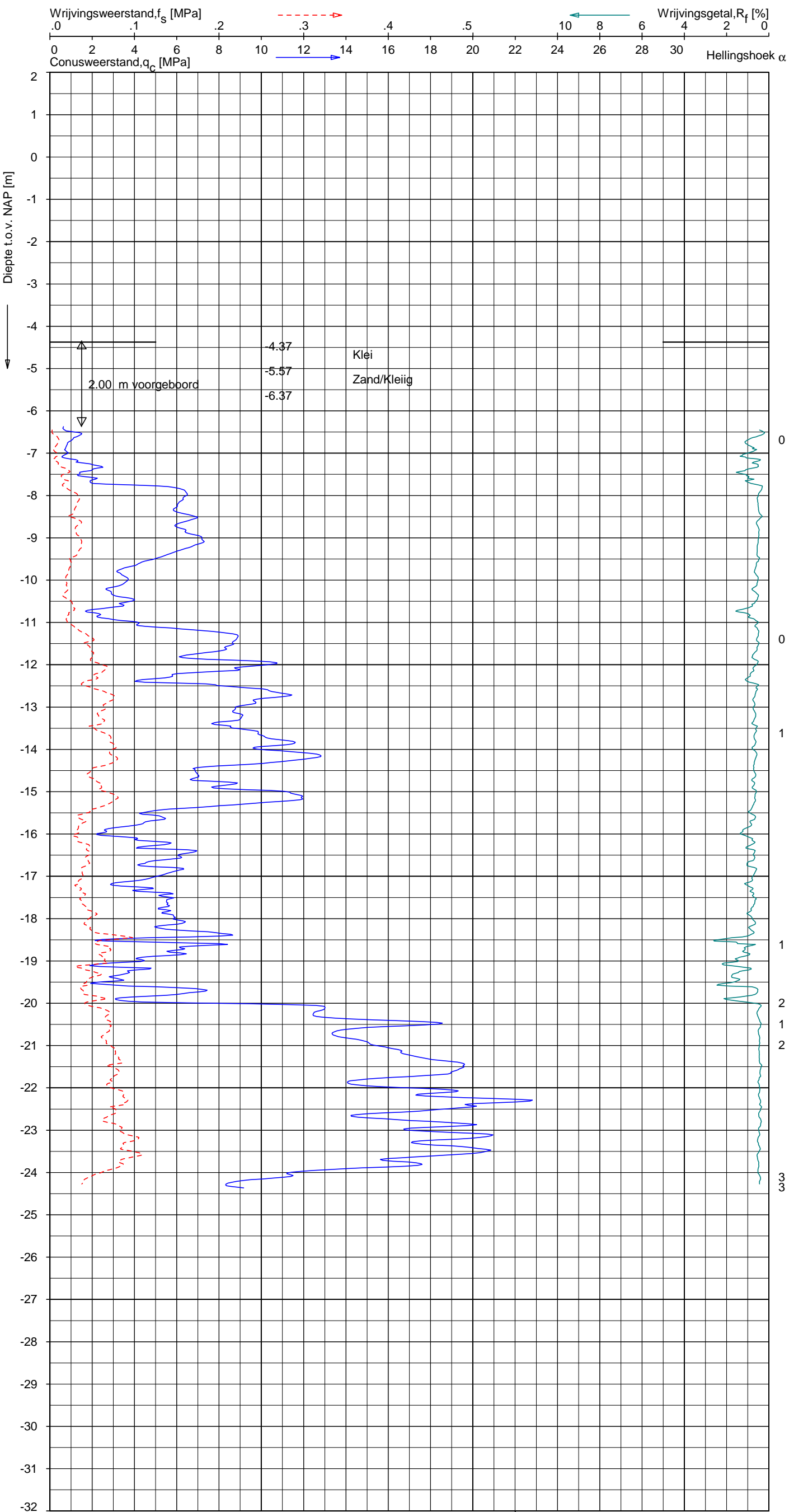


Opg.: JWV/FAS d.d. 30-Oct-2012 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 102925.8 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Get.: VALKF d.d. 2012-11-02 MV = NAP -4.59 m Y = 480304.9 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.

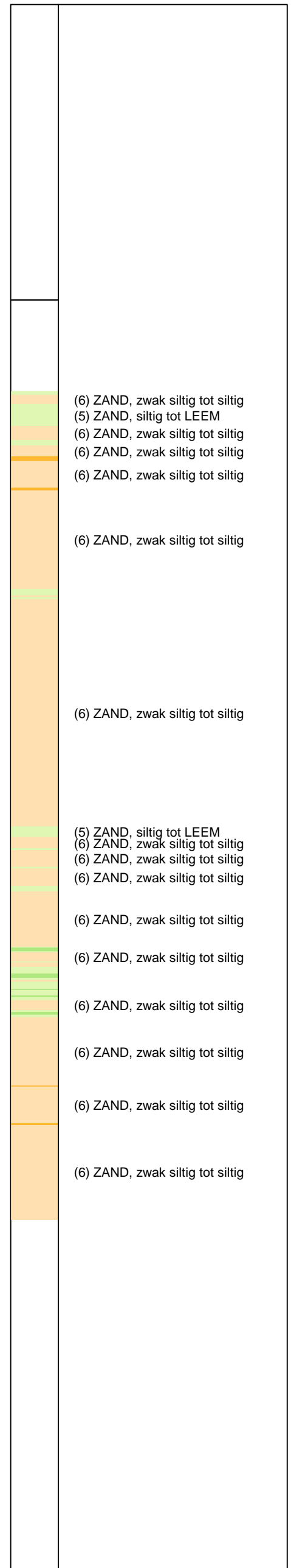


**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1061



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



Opg.: JWV/JLA d.d. 15-Oct-2012 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 102825.5  
 Get.: VALKF d.d. 2012-11-02 MV = NAP -4.37 m Y = 480165.9  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1064



# Berekeningen X-09 HDD langs Provinciale weg N207 te Nieuw-Vennep

## Civiele Werkzaamheden R380 Noordring Perceel 1: Vijfhuizen – Zuidelijke Ringvaart

Documentnummer: : VIR-0.000.524  
Referentienummer: : TP13141-doc-09  
Documentstatus: : Definitief  
Datum: : 15-11-2013  
Versie: : 2.0

Opdrachtgever:



Opdrachtnemer:

	Naam	Functie	Paraaf	Datum
Opsteller	E.M.P. Hooglander	Civil Engineer		15-11-2013
Gecontroleerd	J. Hermus	Groepsleider Civiel		15-11-2013
Gecontroleerd	M. Molema	Disciplineleider		15-11-2013
Geautoriseerd / Vrijgave	M. Roohé	Projectmanager		15-11-2013



## DOCUMENT HISTORIE

Revisie	Omschrijving/Belangrijkste wijzigingen	Datum
0.1	Concept definitief ontwerp	17-07-2013
1.0	Definitief Ontwerp	02-08-2013
2.0	Opmerkingen RFA/ RFC verwerkt	15-11-2013



## Inhoud

1. Inleiding .....	4
2. Uitgangspunten .....	5
2.1 Algemeen.....	5
2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren .....	5
2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis.....	5
2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase .....	5
2.5 Kwelproblematiek.....	6
2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring.....	6
2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting.....	6
2.5.3 Kwel op lange termijn.....	6
3. Conclusies.....	7
3.1 Muddrukken tijdens boren.....	7
3.2 Sterkte tijdens installeren.....	7
3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik.....	7
4. Bijlagen .....	8
4.1 Tekening VIR-0.000509, Referentienr. TP13141-K-X-09 .....	8
4.2 Muddrukberekening.....	9
4.3 Trekkrachten berekening .....	10
4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase.....	11
4.5 Grondonderzoek .....	12



## 1. Inleiding

In de Randstad wordt de komende jaren een sterke toename verwacht in de vraag naar electriciteit. Om de elektriciteitsvoorziening in de toekomst veilig te stellen wordt er door TenneT een nieuwe 380kV hoogspanningsverbinding tussen Beverwijk – Vijfhuizen – Bleiswijk – Wateringen gerealiseerd. Dit project wordt Randstad380kV genoemd.

Project Randstad380 Noordring is de tweede fase van het project en bestaat uit een hoogspanningsverbinding van Beverwijk via Vijfhuizen naar Bleiswijk.

Naast de aanleg van een 380kV hoogspanningsverbinding wordt er ook een 150kV hoogspanningsverbinding gerealiseerd. In verband met de aanleg van deze 150kV hoogspanningsverbinding moet een watergang en een aantal leidingen (o.a. Gasunie) langs de N207 ter hoogte van Nieuw-Vennep gekruist worden. Deze kruising wordt uitgevoerd door middel van twee horizontaal gestuurde boringen. In de boringen worden de volgende mantelbuizen geïnstalleerd:

150kV :

- HDD 01 4x Ø200 PE100 SDR13.6/ SDR11
- HDD 02 4x Ø200 PE100 SDR13.6/ SDR11

In dit rapport worden de voor de boringen benodigde berekeningen uitgevoerd.

De berekeningen worden uitgevoerd op basis van PE100 ø200 SDR13.6. De vraagspecificaite schrijft SDR11 voor. Hiermee wordt de meest ongunstige situatie berekend.

*Hiertoe worden de volgende aspecten bekeken:*

- De bij het boren te verwachten muddrukken en de maximaal toelaatbare muddrukken.
- De benodigde trekkracht voor het intrekken van de mantelbuizen en de hierbij optredende spanningen in de buizen.
- De sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase.
- Mogelijke kwelproblematiek.

Bovenstaande berekeningen worden uitgevoerd met spreadsheet-programma's.

*Uitgangspunten van deze berekeningen zijn de normen:*

- NEN 3650-1:2012, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1 algemeen
- NEN 3650-3:2012 ontwerp, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 3 Kunststoffen
- NEN 3651:2012, Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken.

*Grondonderzoek:*

- Gegevens grondonderzoek afkomstig van Fugro, opdrachtnr. 1010-0117-003 Bijlage 4.5

*Bijbehorende tekeningen:*

- Algemeen plantekening op A4 formaat Bijlage 4.1





## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Algemeen

*De belangrijkste ontwerpgegevens van de mantelbuizen, die gelden voor de boringen:*

Kenmerk	<b>150kV</b> HDD 1 en 2
Materiaal	PE
Kwaliteit	PE100
Treksterkte	10 N/mm <sup>2</sup>
Aantal buizen	4
Diameter	200 mm
Wanddikte	14.7 mm (SDR 13.6)

### 2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren

Voor het afvoeren van de afgeboorde grond is in het boorgat een minimale muddruk nodig. Tevens mag de druk in het boorgat niet groter worden dan de maximaal toelaatbare muddruk. Bij overschrijding van deze druk bestaat het gevaar voor bezwijken van de grond en uitstromen van boorvloeistof aan het maaiveld.

De maximaal toelaatbare muddruk en de minimaal benodigde muddrukken zijn berekend in Bijlage 4.2. De resultaten worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd.

### 2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de mantelbuis in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de buis optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.3. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.

### 2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase

Voor de sterkte van de mantelbuizen zijn voor een aantal locaties doorsnede-berekeningen gemaakt. Het punt op de maatgevende locatie heeft een dekking van ca. 7.8m. Dit punt is het punt met de grootste dekking. Er wordt met neutrale gronddruk gerekend. Dit is een ongunstige benadering omdat hier in principe met gereduceerde gronddruk mag worden gerekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.4. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.



## 2.5 Kwelproblematiek

In het kader van de kwelproblematiek worden de hieronder vermelde situaties bekeken.

- Tijdens de uitvoering van de boring
- Tijdens het maken van de aansluiting
- Op lange termijn

### 2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring

De in- en uitredepunten van de boringen hebben een (aangenomen) maaiveldhoogte van 4.5m-N.A.P. Het hart van de boringen ligt op het diepste punt op 12.3m-N.A.P.

Het eerste watervoerende zandpakket ligt op een diepte van ca. 13m-N.A.P. en wordt niet aangeboord.

Volgens de door de opdrachtgever verstrekte informatie bedraagt de gemiddelde stijghoogte van het spanningswater in het eerste watervoerende pakket ca. 5.75m-N.A.P.

Het eerste watervoerende zandpakket wordt niet aangeboord. Daarnaast is de stijghoogte van het spanningswater lager dan het maaiveld niveau. Er is hierdoor geen gevaar voor kwel tijdens de uitvoering van de boringen.

Het eerste watervoerende zandpakket wordt niet aangeboord. Daarnaast zijn muduitbraken ter plaatse van de watergang volgens de berekeningen niet te verwachten (zie hoofdstuk 3 of bijlage 4.2). Er is hierdoor geen gevaar voor kwel vanuit het watervoerende zandpakket naar de watergang.

### 2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting

Ten tijde van het maken van de aansluitingen moet tijdelijk een ontgraving van ca. 3m-maaiveld worden gemaakt, waarbij een kwelscherm met kleikist dient te worden aangebracht.

Het eerste watervoerende zandpakket wordt niet aangeboord. Er is hierdoor geen gevaar voor kwel vanuit het watervoerende zandpakket tijdens het maken van de aansluitingen.

### 2.5.3 Kwel op lange termijn

Zowel aan de intrede- als aan de uittredezijde dienen kwelschermen in kleikisten geplaatst te worden om de kwel op lange termijn te voorkomen.



### 3. Conclusies

#### 3.1 Muddrukken tijdens boren

Overzicht minimum en maximum muddrukken tijdens boren:

Locatie		Afstand tot intredepunt	Minimaal benodigde muddruk (Bijlage 4.2)	Maximaal toelaatbare muddruk (Bijlage 4.2)
IN	Intredepunt	0 m		
A		15 m	67 kN/m <sup>2</sup>	121 kN/m <sup>2</sup>
B		27 m	103 kN/m <sup>2</sup>	106 kN/m <sup>2</sup>
C		42 m	113 kN/m <sup>2</sup>	166 kN/m <sup>2</sup>
D		57 m	83 kN/m <sup>2</sup>	109 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uittredepunt	70 m		

De maximaal toelaatbare muddruk wordt nergens overschreden. Er zijn hierdoor tijdens het boren van de pilotboring geen muduitbraken te verwachten.

#### 3.2 Sterkte tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

150kV HDD 1 en 2	S <sub>max</sub> (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	3,6 N/mm <sup>2</sup>	36 %	
Spanning tijdens intrekken	4,8 N/mm <sup>2</sup>	48 %	
Trekkracht			61 kN

De mantelbuizen worden leeg in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkracht van maximaal 6 ton verwacht.

#### 3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de buis tijdens gebruik:

Belastingsgeval	S <sub>max</sub> (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	3,9 N/mm <sup>2</sup>	48 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		5,0 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		11,89 m	waterkolom

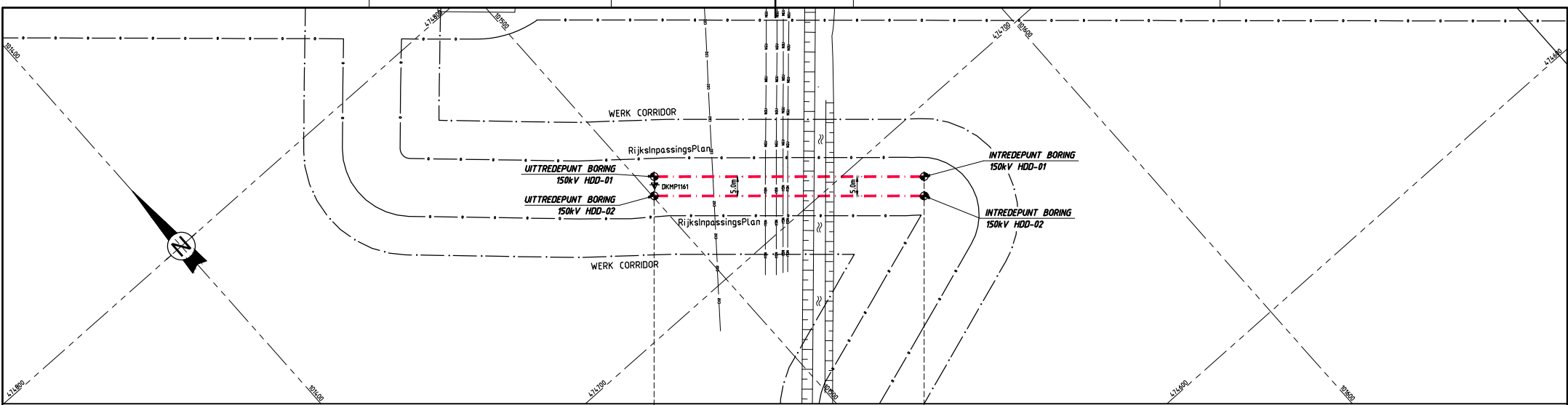
Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.



---

## 4. Bijlagen

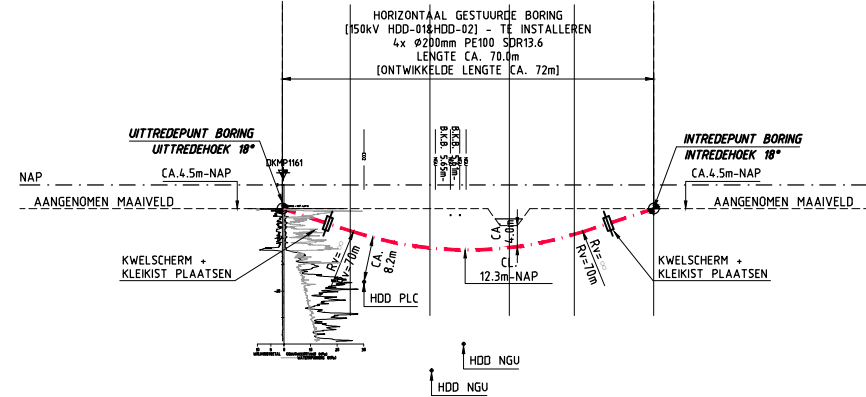
### 4.1 Tekening VIR-0.000509, Referentienr. TP13141-K-X-09



# SITUATIE

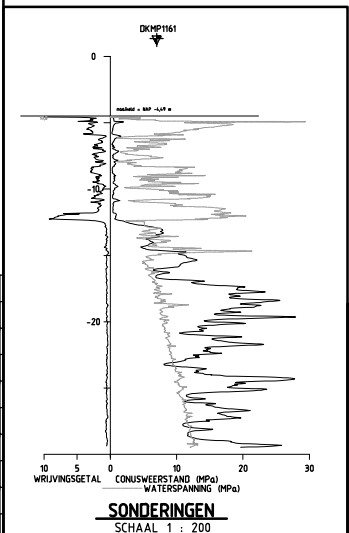
SCHAAL 1 : 500

# UITD C B A IN



## LANGDOORSNEDE HDD'S 150kV TRACE

SCHAAL 1 : 500



TE INSTALLEREN (150kV) PER BORING  
 4x Ø200 PE100 SDR13.6  
 2x UITVOEREN

**DOORSNEDE HDD'S 150kV TRACE**  
 SCHAAL 1 : 20

COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RD		
PUNT OMSCHRIJVING	X	Y
INREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	101556.03	474685.77
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	101503.65	474732.22
INREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	101552.71	474682.03
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	101500.34	474728.48

**OPMERKINGEN:**

- SITUATIE ONTVANGEN VAN OPDRACHTGEVER
- BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN INGETEKEND A.D.H.V. KLIC GEGEVENS
- GRONDONDERZOEK AFKOMSTIG VAN FUGRO RAPPORT (OPDR.NR.100-017-003)
- DIEPTE LIGGING PIPELINE CONTROL LEIDINGEN ONTVANGEN VAN PIPELINE CONTROL
- DIEPTE LIGGING NGU LEIDINGEN AFKOMSTIG UIT NGU TEKeningen W-532-17-KR-006-A11, W-532-17-KR-006-B11, W-532-09-KR-004-A11 EN W-532-09-KR-004-B11
- DIEPTE WATERGANGEN GEKOMEN VAN LIGGER HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND.
- EXACTE LIGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN VOOR AANVAANG WERKZAAMHEDEN NADER TE BEPALEN EN INDIEN NODIG TIJDELIJK ONTLEZEN OP BOORPROFIEL HIEROP AAN TE PASSEN.

0.1	17-07-13	CONCEPT DO	SMA	JRH
Wg:	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.

**OPDRACHTGEVER:** TENNET

**PROJECT:** RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV

**BENAMING:** ALGEMEEN PLAN  
150kV TRACE  
HDD'S LANGS N207

Tekening Nr.: VIR-0.000.509  
 Referentie Nr.: TP13141-K-X-09

Volker Infra  
 Flansland TRD

Tennet  
 Tuning power together

Volker Staal en Funderingen bv  
 Oostindiastraat 10  
 3089 KP Rotterdam  
 Postbus 5434  
 3008 VA Rotterdam  
 Telefoon 010-2922288  
 Telefax 010-2922277  
 Handtekening: Rotterdam 24229/78

Bijz.: --  
 Schaal: 1 : 500  
 Datum: 17-07-13  
 Get.: SMA  
 Gez.: JRH  
 Formaat: A1

Muz.: 0.1



---

## 4.2 Muddrukberkening

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-09 150kV HDD1 en 2 HDD langs N207 te Nieuw-Venep
Berekend door	EHO

Te installeren buis of bundel		
Uitwendige diameter buis/bundel	d	485 mm

Boorstelling		
Type boorstelling		27 ton
Uitwendige diameter pilotbuis	d-uitw.	89 mm
Inwendige diameter pilotbuis	d-inw.	66 mm

Boorvloeistof		
Volumegewicht boorvloeistof	$V_{bo}$	10,50 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht grond / boorvloeistof mengsel	$V_b$	12,00 kN/m <sup>3</sup>
Schijnbare viscositeit	visc	100 MarshFunnelseconden
Yieldpoint boorvloeistof	$y_b$	0,01 kN/m <sup>2</sup>
Viscositeit	eta	0,11 Pas

Boorbuizen		
Lengte boorbuis	L	4,6 m
Lengte koppeling	L-kopp	0,5 m
Inwendige diameter koppeling	d-kop	61 mm
Nik. Ruwheid	k	1 mm

**SAMENVATTING INVOER/RESULTATEN**

Lokatie	Omschrijving	Afstand tot intredepunt	Diepte cl t.o.v ref. lijn [m]	Pmin* in pilot gat	Pmax* toelaatbaar in gat tijdens ruimen
IN	Intredepunt	0,0	0,0 m	-	0 kN/m2
A		15,0	-4,9 m	67	121 kN/m2
B		27,2	-7,3 m	103	106 kN/m2
C		42,2	-7,4 m	113	166 kN/m2
D		57,2	-4,2 m	83	109 kN/m2
E			m	0	kN/m2
F			m	0	kN/m2
G			m	0	kN/m2
H			m	0	kN/m2
I			m	0	kN/m2
J			m	0	kN/m2
K			m	0	kN/m2
L			m	0	kN/m2
M			m	0	kN/m2
UIT	Uitredepunt	70,0	0,0 m	-	0 kN/m2

Pmin benodigd bij max. mud debiet

**noot \*: Pmin in pilot gat vergelijken met Pmax tijdens ruimen is de meest ongunstige benadering**

**Berekening van de maximaal toelaatbare boorvloei­stof­druk­ken P'max  
volgens NEN 3650-1:2012 bijlage E.2**

**INVOER/UITVOER**

Lokatie	IN	A	B	C	D
Grondsoort (zand / klei)	-	<b>klei</b>	<b>klei</b>	<b>klei</b>	<b>klei</b>
Gronddekking	-	<b>4,9</b>	<b>4,2</b>	<b>7,4</b>	<b>4,2</b> m
Diepte water onder mv (+)	-	<b>1,9</b>	<b>-1,2</b>	<b>1,9</b>	<b>1,9</b> m
Hoek inwendige wrijving	-	<b>17,5</b>	<b>17,5</b>	<b>17,5</b>	<b>17,5</b> gr
Volumegewicht nat	-	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b> kN/m3
Volumegewicht droog	-	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b> kN/m3
Cohesie	-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	-	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	-	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b> MPa
Rpmax	-	2,45	2,10	3,70	2,10 m
Elasticiteitsmodulus	-	750	750	750	750 kN/m2
P'max in gat	-	121	106	166	109 kN/m2

Location	E	F	G	H	I
Grondsoort (zand / klei)					
Gronddekking					m
Diepte water onder mv (+)					m
Hoek inwendige wrijving					gr
Volumegewicht nat					kN/m3
Volumegewicht droog					kN/m3
Cohesie					kN/m2
Dwarscontractiecoefficient					
CPT Conusweerstand: qc					MPa
Rpmax	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 m
Elasticiteitsmodulus	0	0	0	0	0 kN/m2
P'max in gat					kN/m2

Location	J	K	L	M	UIT
Grondsoort (zand / klei)					-
Gronddekking					- m
Diepte water onder mv (+)					- m
Hoek inwendige wrijving					- gr
Volumegewicht nat					- kN/m3
Volumegewicht droog					- kN/m3
Cohesie					- kN/m2
Dwarscontractiecoefficient					-
CPT Conusweerstand: qc					- MPa
Rpmax	0,00	0,00	0,00	0,00	- m
Elasticiteitsmodulus	0	0	0	0	- kN/m2
P'max in gat					kN/m2





---

### 4.3 Trekrachten berekening

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de leiding in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN 3650-1:2012 gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de leiding optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.

# Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

## INVOER

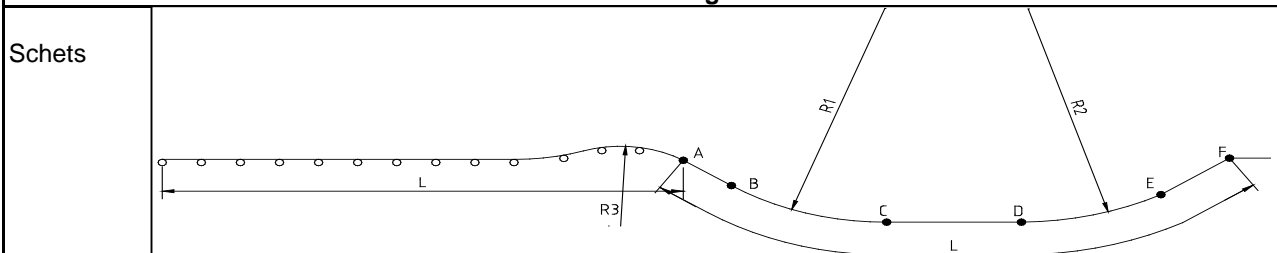
### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-09 150kV HDD 1 en 2 HDD langs N207 te Nieuw-Venep
Berekend door	EHO

### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	200 mm
Wanddikte	$d$	14,7 mm
Dikte externe coating	$c-e$	0 mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0 kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0 mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0 kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY		pe100
buizen met flexibele verbindingen		nee
Elasticiteitsmodulus	E	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	sg	955 kg/m <sup>3</sup>

### Maatvoering



Lengte boring	L	72 m		
Afstand	A-B	14 m		
Afstand	A-C	36 m	A-H1	36 m
Afstand	A-D	36 m	A-H2	36 m
Afstand	A-E	58 m		
Afstand	A-F	72 m		
Straal boor profiel	$R_1$	70 m	excl. 10% marge	
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	0		
Straal boor profiel	$R_2$	70 m	excl. 10% marge	
Straal rollenbaan	$R_3$	50 m		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	18 graden	(bij punt A)	
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0 graden	(+ naar beneden ri. rig zijde)	
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	0 graden		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	18 graden	(bij punt F)	
Aantal buizen	aantal, n	4 buis/buizen	--	
Bundel gekoppeld		nee		
Buisvulling in boorgat	leeg		Buisvulling (water) ook op rolstellen	nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012		
Pipe Pusher capaciteit	0 kN	nee		
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen		nee		

## SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	61 kN	6 ton
SI max in boorgat	SI	3,6 N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	4,8 N/mm <sup>2</sup>	
		48,0 % S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>

## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2 ,f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

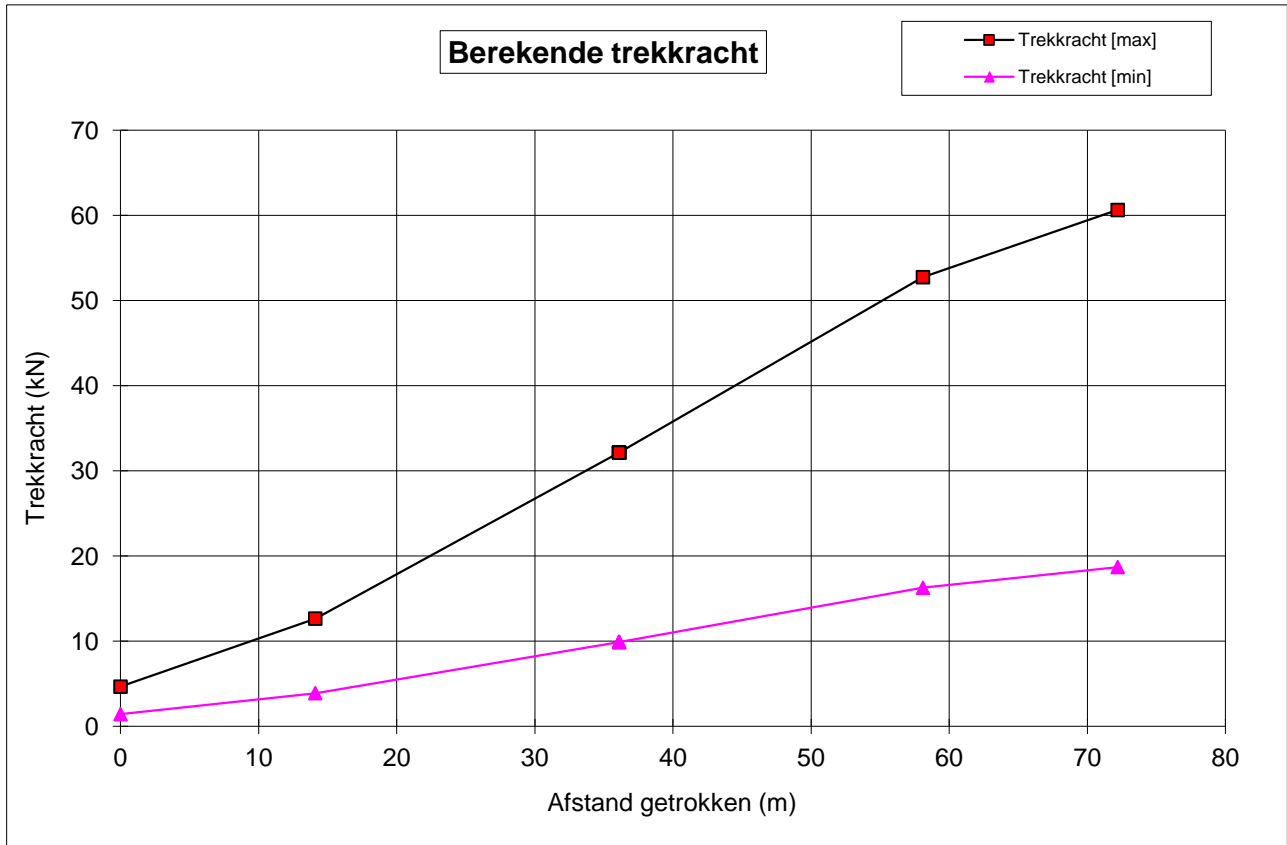
Diverse gegevens		
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel	10 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht bentoniet	sg	1200 kg/m <sup>3</sup>
Doorsnedeoppervlak	Abuis	8557 mm <sup>2</sup> per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>3</sup>
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>4</sup>
Weerstandmoment	W	369597 mm <sup>3</sup> per buis
Traagheidsmoment	I	36959671 mm <sup>4</sup> per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>	1478387 mm <sup>3</sup> voor: 4 buis/buizen
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>	147838683 mm <sup>4</sup> voor: 4 buis/buizen
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g omlaag	0,3269 kN/m1streng "
gewicht vull x aantal buizen	g vull omhoog	0,0000 kN/m1streng "
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra omhoog	0,0000 kN/m1streng "
opdrijving x aantal buizen	g opw omhoog	-1,5080 kN/m1streng "
g eff in gat = g-gopw	g eff omhoog	-1,1811 kN/m1streng "
g eff op rolstellen	g eff omlaag	0,3269 kN/m1streng "
$\lambda = \text{sqrt}(\text{sqrt}(k_v \times B / 4 / E / I))$	$\lambda$	0,002335 mm <sup>-1</sup>
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>	0,04 N/mm <sup>3</sup> "
Oplegbreedte van de bundel	B	528 mm
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B / R_1$	Q <sub>r1</sub>	0,0094 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B / R_h$	Q <sub>rh</sub>	0,0000 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B / R_2$	Q <sub>r2</sub>	0,0094 N/mm <sup>2</sup> "
Reductiefactor voor bundel = $n \times 1/n^{0.3}$	b'	2,639 x Omtrek van een buis

Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	72	58	36	36	36	36	36	14	0
T <sub>1</sub> (kN)	2,59	2,09	1,29	1,29	1,29	1,29	0,50		0
L <sub>2</sub> (m)	0	14	22	0	0	0	22	14	
T <sub>2</sub> (kN)	0	4,95	7,72	0,00	0,00	0,00	7,72	4,95	
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	2,93	0,00	0,00	0,00	2,93	0	
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	0,97	0,97	0,97	0,97	2,56	2	
F x f (totale kracht, kN)	3	7	18	18	18	18	29	34	
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	5	13	32	32	32	32	53	61	
<i>De te verwachten trekkracht ligt tussen</i>			<i>19 kN en 61 kN</i>						
<i>De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk</i>							<i>67 kN</i>		
<i>De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid</i>									

Spanningen in boorgat									
Totale spanning in boorgat									
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	0,1	0,4	0,9	0,9	0,9	0,9	1,5	1,8	
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	
SI tot	0,1	0,4	3,0	0,9	0,9	0,9	3,6	1,8	

Spanningen op rollenbaan		
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling		
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R	Sr	2,6 N/mm <sup>2</sup>
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>	M	3,0 kNm
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal	SI	4,8 N/mm <sup>2</sup> total

# GRAFIEK





---

## 4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-09 150kV HDD1 en 2 HDD langs N207 te Nieuw-Vennep</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>13,6</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>14,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV 0,5x load model 2</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>70</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>onder</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>7,8</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>15</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>klei</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>neutraal</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>1,9</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>17,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	G	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	E	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	ix	<b>1</b>	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	<b>0</b>	>=0

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	264,71 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	36,02 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	92,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	185,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	d	14,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,23 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,08 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	14,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	W	0,37 *10 <sup>6</sup> mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	I	36,96 *10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	f	1,60	
Totaalfactor horizontale bedding	f	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0928 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	3,9	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	48	% toetswaarde <100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	5,0 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	11,89 m waterkolom
--	--------------------



### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Qn	f	1,10
Totaal factor Qp	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	11,60 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	11,60 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa      veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		8 mm
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		6 mm
$z_{\text{max reken}}$		8 mm
$q_n$	0,0580	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	0,2842	N/mm <sup>2</sup> Qp met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	0,2262	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,028252	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058	N/mm <sup>3</sup>
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	20 mm	
u x $D_o \leq z_{\text{max reken}}$	8 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,191	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	38,22	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP Qk is hoger dan Qp

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	8 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	8 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	27,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	18,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	0,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	7,4 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma' - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,74 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	27,27 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,08
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	12,94 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	6,55 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,22 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,54
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	8,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	6,55 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond\ reken}$	$Q \times f$	12,76 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	11,70 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	1,25 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,25 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
$K_n$	$K_n$	0,70	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	7,24 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_{y2}/2 \times \sin 60$		31,26 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	14,82 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	7,86 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	7,86 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,53
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,53
	$d_{y1}/2$	7,41 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  7,24 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  7,24 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  7,24 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  7,24 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		klei	
drukloos	$Q_n$	7,24 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	7,24 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	2,09 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	2,80 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	6,51 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	6,51 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

Materiaalgegevens		
Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{ toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)		
$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$Q_{grond}$	12,76 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	7,71 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	4,86 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-4,99 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
<i>Reroundingeffect</i>	$S_q \text{ bodem}$	7,71 N/mm <sup>2</sup>
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q \text{ top}$	4,86 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-4,99 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)		
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	6,51 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	-2,40 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-2,40 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	2,40 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)		
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	6,51 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	-2,40 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-2,40 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-2,40 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)		
Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	1,25 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,25 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q \text{ bodem}$	0,15 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,10 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,15 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,15 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,15 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuursverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,04566E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,48 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,21 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,24 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	onder	
	$S_{rl}$	0,43 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * I_w + 0.061 * k_h * r_g^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	10,0 mm	
	5,0 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * I_w / Dg^3$	12,48 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	0,95 N/mm <sup>2</sup> 9,51 bar 95,10 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,12 N/mm <sup>2</sup> 1,19 bar 11,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	7,71	4,86	4,99 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-2,40	-2,40	-2,40 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,15	0,10	0,10 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,48	0,21	0,24 N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$	5,95	2,77	2,93 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,43	-0,43	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,43	-0,43	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	<b>0,28</b>	<b>-0,28</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	3	3	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	<b>3,87</b>	<b>1,80</b>	<b>1,90</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	48	22	24 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	5,0 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%



---

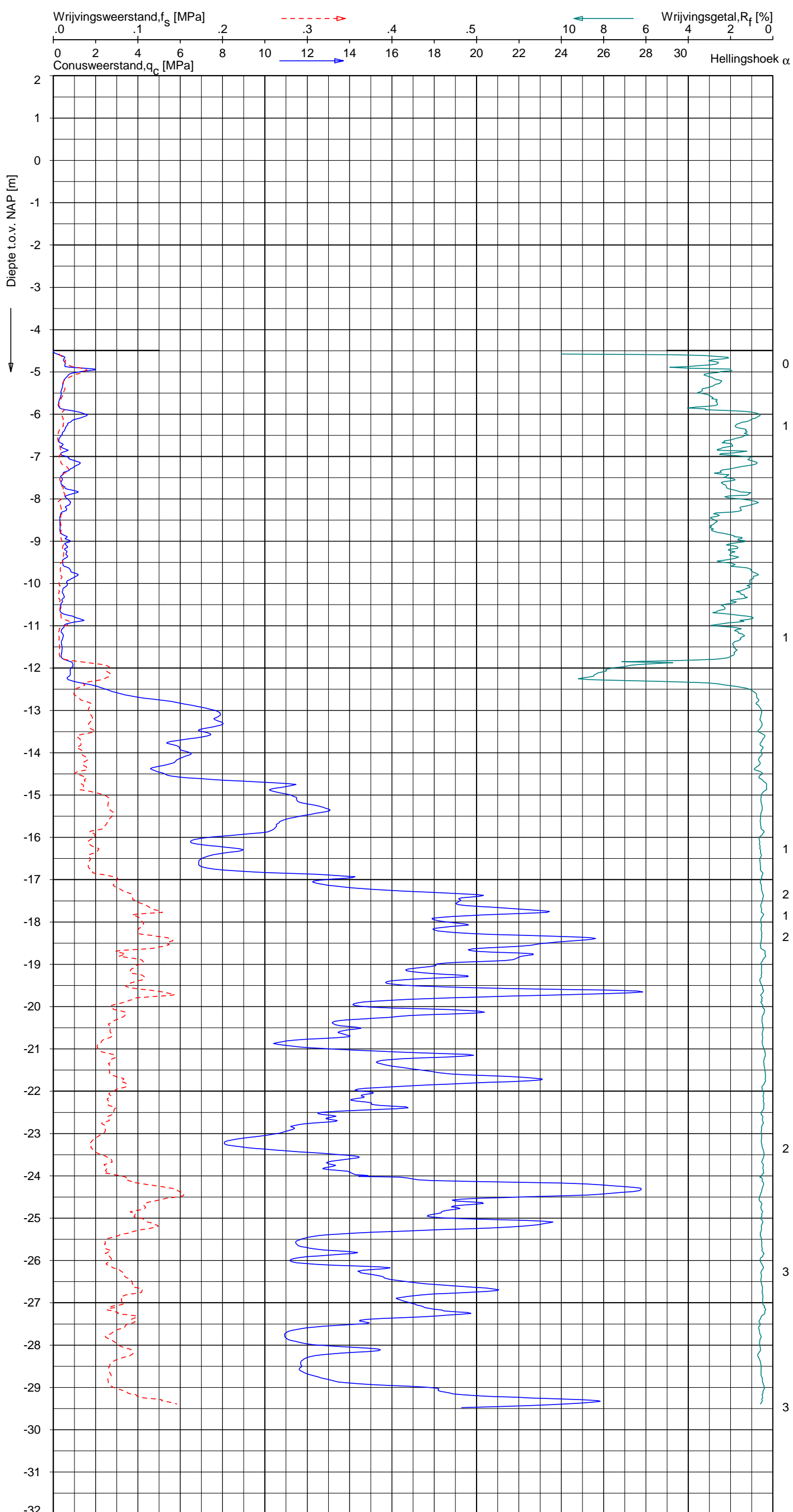
## 4.5 Grondonderzoek



UNIPLOT 05.19.nl / QcfClass-N3.cmd / 2012-11-23 16:32:08

1010-0117-003

DKMP1161 - 1



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



Opg. : JWV/ d.d. 02-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 101502.4 Y = 474730.5  
 Get. : UNISTART d.d. 2012-11-22 MV = NAP -4.49 m

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

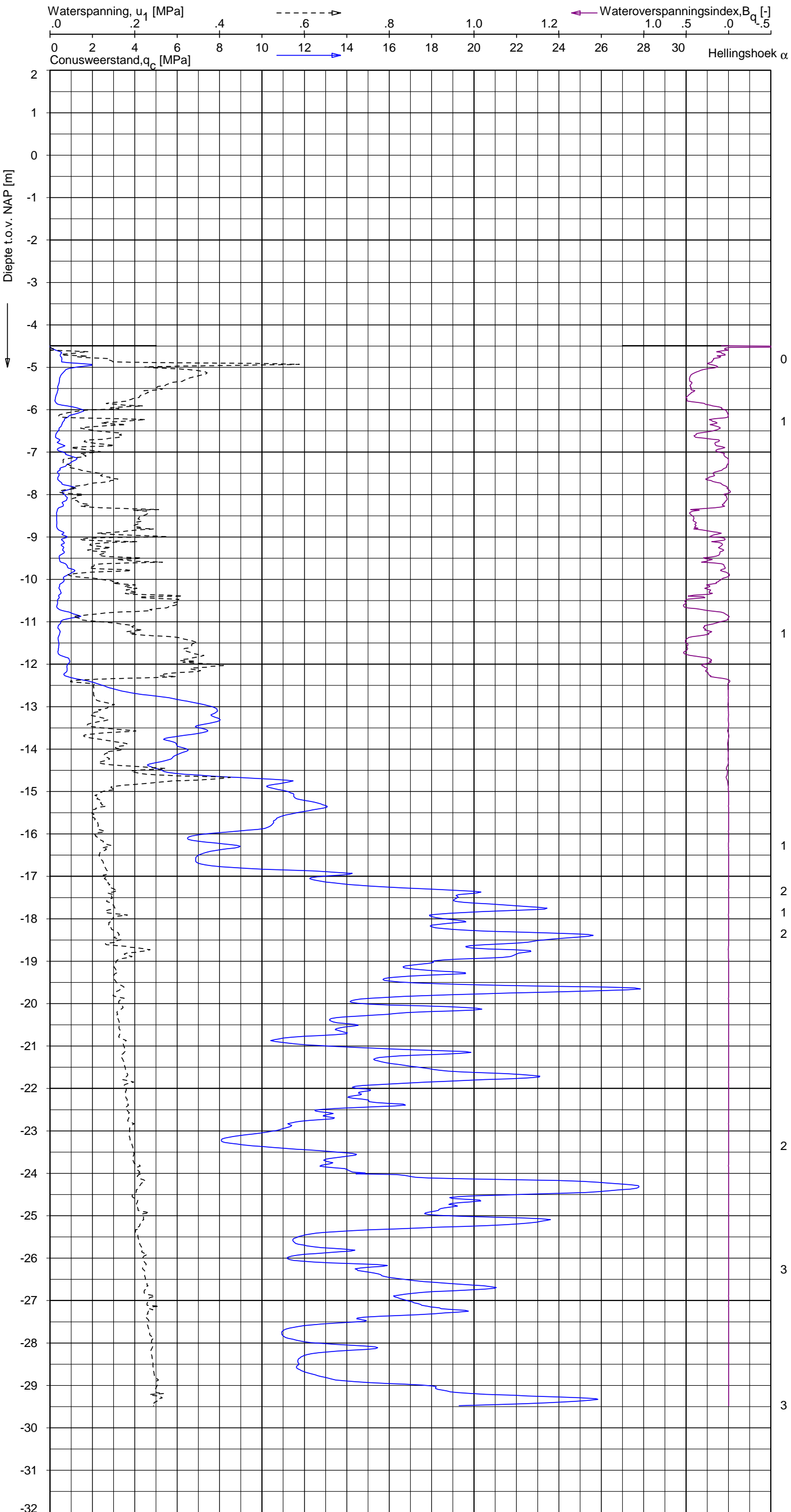
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1161

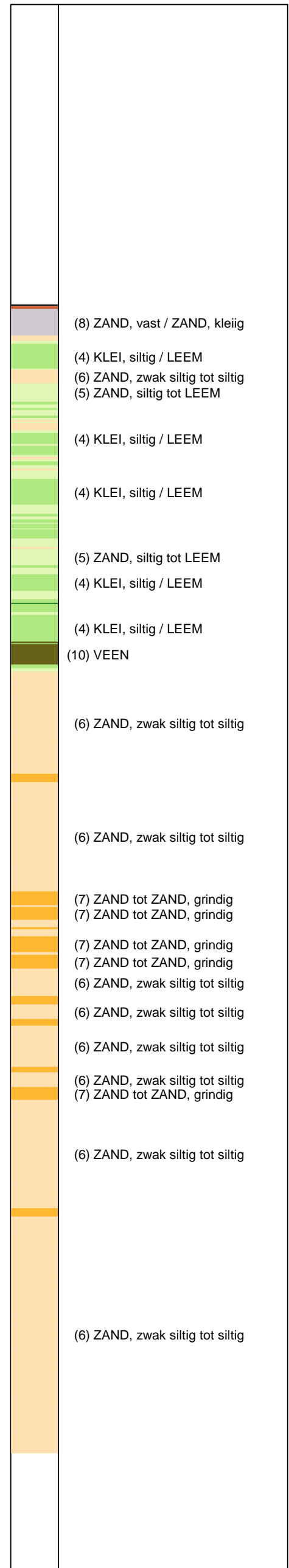
UNIPLOT 05.19.nl / QcU1Class-N3.cmd / 2012-11-23 16:32:37

1010-0117-003

DKMP1161 - 1



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



Opg. : JWV/ d.d. 02-Nov-2012 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 101502.4  
 Get. : UNISTART d.d. 2012-11-22 MV = NAP -4.49 m Y = 474730.5

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1161

# Berekeningen X-10 HDD kruising Lisserweg te Lisserbroek

## Civiele Werkzaamheden R380 Noordring Perceel 1: Vijfhuizen – Zuidelijke Ringvaart

**Documentnummer:** : VIR-0.000.525  
**Referentienummer:** : TP13141-doc-10  
**Documentstatus:** : Definitief  
**Datum:** : 15-11-2013  
**Versie:** : 2.0

Opdrachtgever:



Opdrachtnemer:



	Naam	Functie	Paraaf	Datum
Opsteller	E.M.P. Hooglander	Civil Engineer		15-11-2013
Gecontroleerd	J. Hermus	Groepsleider Civiel		15-11-2013
Gecontroleerd	M. Molema	Disciplineleider		15-11-2013
Geautoriseerd / Vrijgave	M. Roohé	Projectmanager		15-11-2013



## DOCUMENT HISTORIE

Revisie	Omschrijving/Belangrijkste wijzigingen	Datum
0.1	Concept definitief ontwerp	17-07-2013
1.0	Definitief Ontwerp	02-08-2013
2.0	Opmerkingen RFA/ RFC verwerkt	15-11-2013



## Inhoud

1. Inleiding .....	4
2. Uitgangspunten .....	5
2.1 Algemeen.....	5
2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren .....	5
2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis .....	5
2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase .....	5
2.5 Kwelproblematiek.....	6
2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring.....	6
2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting.....	6
2.5.3 Kwel op lange termijn.....	6
3. Conclusies.....	7
3.1 Muddrukken tijdens boren.....	7
3.2 Sterkte tijdens installeren.....	7
3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik.....	7
4. Bijlagen .....	8
4.1 Tekening VIR-0.000510, Referentienr. TP13141-K-X-10 .....	8
4.2 Muddrukberekening.....	9
4.3 Trekkrachten berekening .....	10
4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase.....	11
4.5 Grondonderzoek .....	12



## 1. Inleiding

In de Randstad wordt de komende jaren een sterke toename verwacht in de vraag naar electriciteit. Om de elektriciteitsvoorziening in de toekomst veilig te stellen wordt er door TenneT een nieuwe 380kV hoogspanningsverbinding tussen Beverwijk – Vijfhuizen – Bleiswijk – Wateringen gerealiseerd. Dit project wordt Randstad380kV genoemd.

Project Randstad380 Noordring is de tweede fase van het project en bestaat uit een hoogspanningsverbinding van Beverwijk via Vijfhuizen naar Bleiswijk.

Naast de aanleg van een 380kV hoogspanningsverbinding wordt er ook een 150kV hoogspanningsverbinding gerealiseerd. In verband met de aanleg van deze 150kV hoogspanningsverbinding moet de Lisserweg te Lisserbroek gekruist worden. Deze kruising wordt uitgevoerd door middel van twee horizontaal gestuurde boringen. In de boringen worden de volgende mantelbuizen geïnstalleerd:

150kV :

- HDD 01 4x Ø200 PE100 SDR13.6/ SDR11
- HDD 02 4x Ø200 PE100 SDR13.6/ SDR11

In dit rapport worden de voor de boringen benodigde berekeningen uitgevoerd.

De berekeningen worden uitgevoerd op basis van PE100 ø200 SDR13.6. De vraagspecificaite schrijft SDR11 voor. Hiermee wordt de meest ongunstige situatie berekend.

*Hiertoe worden de volgende aspecten bekeken:*

- De bij het boren te verwachten muddrukken en de maximaal toelaatbare muddrukken.
- De benodigde trekkracht voor het intrekken van de mantelbuizen en de hierbij optredende spanningen in de buizen.
- De sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase.
- Mogelijke kwelproblematiek.

Bovenstaande berekeningen worden uitgevoerd met spreadsheet-programma's.

*Uitgangspunten van deze berekeningen zijn de normen:*

- NEN 3650-1:2012, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1 algemeen
- NEN 3650-3:2012 ontwerp, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 3 Kunststoffen
- NEN 3651:2012, Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken.

*Grondonderzoek:*

- Gegevens grondonderzoek afkomstig van Fugro, opdrachtnr. 1010-0117-003 Bijlage 4.5

*Bijbehorende tekeningen:*

- Algemeen plantekening op A4 formaat Bijlage 4.1



## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Algemeen

*De belangrijkste ontwerpgegevens van de mantelbuizen, die gelden voor de boringen:*

Kenmerk	<b>150kV</b> HDD 1 en 2
Materiaal	PE
Kwaliteit	PE100
Treksterkte	10 N/mm <sup>2</sup>
Aantal buizen	4
Diameter	200 mm
Wanddikte	14.7 mm (SDR 13.6)

### 2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren

Voor het afvoeren van de afgeboorde grond is in het boorgat een minimale muddruk nodig. Tevens mag de druk in het boorgat niet groter worden dan de maximaal toelaatbare muddruk. Bij overschrijding van deze druk bestaat het gevaar voor bezwijken van de grond en uitstromen van boorvloeistof aan het maaiveld.

De maximaal toelaatbare muddruk en de minimaal benodigde muddrukken zijn berekend in Bijlage 4.2. De resultaten worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd.

### 2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de mantelbuis in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de buis optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.3. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.

### 2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase

Voor de sterkte van de mantelbuizen zijn voor een aantal locaties doorsnede-berekeningen gemaakt. Het punt op de maatgevende locatie heeft een dekking van ca. 9.8m. Dit punt is het punt met de grootste dekking. Er wordt met neutrale gronddruk gerekend. Dit is een ongunstige benadering omdat hier in principe met gereduceerde gronddruk mag worden gerekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.4. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.



## 2.5 Kwelproblematiek

In het kader van de kwelproblematiek worden de hieronder vermelde situaties bekeken.

- Tijdens de uitvoering van de boring
- Tijdens het maken van de aansluiting
- Op lange termijn

### 2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring

De in- en uittredepunten van de boringen hebben een (aangenomen) maaiveldhoogte van 4.1m-N.A.P. Het hart van de boringen ligt op het diepste punt op 13.7m-N.A.P.

Het eerste watervoerende zandpakket ligt op een diepte van ca. 13m-N.A.P. en wordt aangeboord.

Volgens de door de opdrachtgever verstrekte informatie bedraagt de gemiddelde stijghoogte van het spanningswater in het eerste watervoerende pakket ca. 4.75m-N.A.P.

De stijghoogte van het spanningswater is lager dan het maaiveld niveau en daarmee is er geen gevaar voor kwel tijdens de uitvoering van de boringen.

Muduitbraken ter plaatse van de watergangen zijn volgens de berekeningen niet te verwachten (zie hoofdstuk 3 of bijlage 4.2). Kwel vanuit het watervoerende zandpakket naar de watergangen is hierdoor niet te verwachten.

### 2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting

Ten tijde van het maken van de aansluitingen moet tijdelijk een ontgraving van ca. 3m-maaiveld worden gemaakt, waarbij een kwelscherm met kleikist dient te worden aangebracht.

Op het grensvlak werkt een opwaartse waterdruk van  $(4.75 - 13) \times 10 \text{ kN/m}^3 = 82.5 \text{ kN/m}^2$

De bentonietkolom oefent bij een bentoniet gewicht van  $12 \text{ kN/m}^3$  een neerwaartse kracht uit van  $(7.1 - 13) \times 12 \text{ kN/m}^3 = 70.8 \text{ kN/m}^2$

Hoewel het gebruik van zwaardere bentoniet een oplossing zou kunnen zijn, kan hier ook met verzwaarde bentoniet geen evenwicht worden bereikt.

Tijdens het maken van de aansluitingen dient daarom kortdurend spanningsbemaling te worden toegepast.

### 2.5.3 Kwel op lange termijn

Zowel aan de intrede- als aan de uittredezijde dienen kwelschermen in kleikisten geplaatst te worden om de kwel op lange termijn te voorkomen.





### 3. Conclusies

#### 3.1 Muddrukken tijdens boren

Overzicht minimum en maximum muddrukken tijdens boren:

Lokatie		Afstand tot intredepunt	Minimaal benodigde muddruk (Bijlage 4.2)	Maximaal toelaatbare muddruk (Bijlage 4.2)
IN	Intredepunt	0 m		
A		15 m	67 kN/m <sup>2</sup>	122 kN/m <sup>2</sup>
B		29 m	118 kN/m <sup>2</sup>	197 kN/m <sup>2</sup>
C		37 m	133 kN/m <sup>2</sup>	210 kN/m <sup>2</sup>
D		47 m	135 kN/m <sup>2</sup>	141 kN/m <sup>2</sup>
E		63 m	101 kN/m <sup>2</sup>	131 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uittredepunt	80 m		

De maximaal toelaatbare muddruk wordt nergens overschreden. Er zijn hierdoor tijdens het boren van de pilotboring geen muduitbraken te verwachten.

#### 3.2 Sterkte tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

150kV HDD 1 en 2	Smax (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	3,8 N/mm <sup>2</sup>	38 %	
Spanning tijdens intrekken	4,8 N/mm <sup>2</sup>	48 %	
Trekkkracht			68 kN

De mantelbuizen worden leeg in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkkracht van maximaal 7 ton verwacht.

#### 3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de buis tijdens gebruik:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	4,9 N/mm <sup>2</sup>	61 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		6,4 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		11,89 m	waterkolom

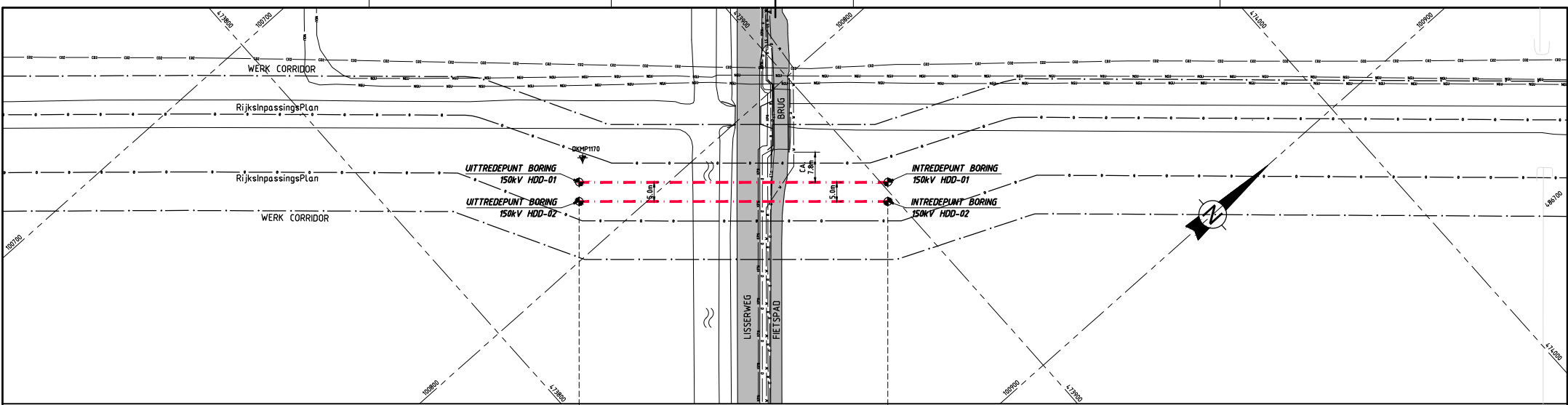
Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.



---

## 4. Bijlagen

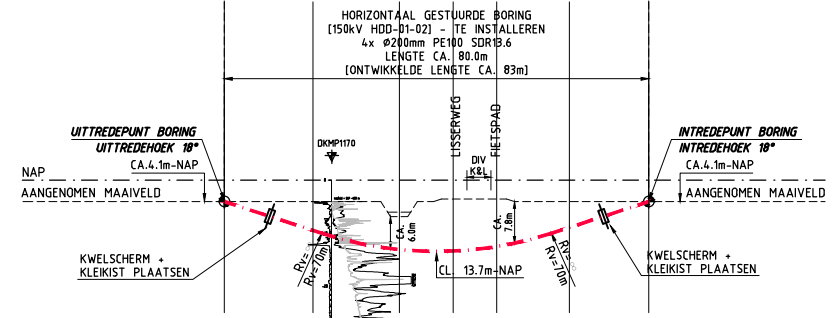
### 4.1 Tekening VIR-0.000510, Referentienr. TP13141-K-X-10



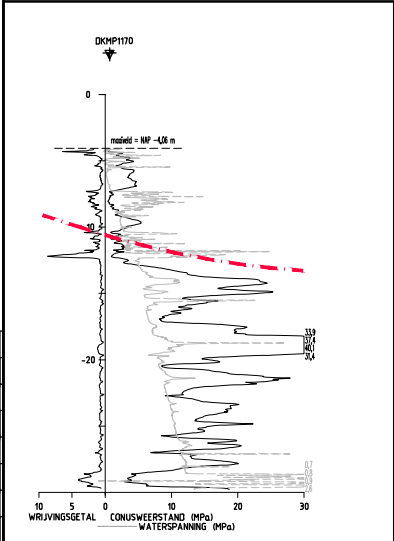
# SITUATIE

SCHAAL 1 : 500

# UIT E DCBA IN

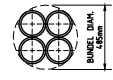


**LANGSDOORSNED E HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 500



**SONDERINGEN**  
SCHAAL 1 : 200

TE INSTALLEREN (150kV)  
PER BORING  
4x Ø200 PE100 SDR13.6  
2x UITVOEREN



**DOORSNED E**  
**HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 20

COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RD		
PUNT OMSCHRIJVING	X	Y
PUNT OMSCHRIJVING		
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	100837.81	473901.42
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	100784.63	473841.65
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	100841.55	473898.09
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	100788.37	473838.33

**OPMERKINGEN:**  
 -SITUATIE ONTVANGEN VAN OPDRACHTGEVER  
 -BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN INGETEKEND A.D.H.V. KLIJG GEGEVENS  
 -GRONDONDERZOEK AFKOMSTIG VAN RUGO RAPPORT (OPDR.NR.1010-017-003)  
 -DIEPTE WATERGANGEN GENOMEN VAN LEGGER HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND.  
 -EXACTE LIGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN VOOR AANVANG WERKZAAMHEDEN NADER TE BEPALEN EN INDIEN NODIG TIJDELIJK ONTLEGGEN OF BOORPROFIEL HIEROP AAN TE PASSEN.

0.1	17-07-13	CONCEPT DO	SMA	JRH
WGZ.	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.

**OPDRACHTGEVER:** TENNET

**PROJECT:** RANDSTAD NOORD  
380kV & 150kV

**BENAMING:** ALGEMEEN PLAN  
150kV TRACE  
HDD'S ONDER LISSERWEG

Tekening Nr.: VIR-0.000.510  
Referentie Nr.: TP13141-K-X-10

Volkorinfra  
Fluorindustrial B.V.

Tennet  
Turning power just fit

Volkor Staal en Funderingen bv  
Oostindiastraat 10  
3089 KP Rotterdam  
Postbus 5434  
3008 VA Rotterdam  
Telefoon 010-292288  
Telefax 010-292277  
Handtekening: Rotterdam 24229/78

Bijz.: -  
 Schaal: 1 : 500  
 Datum: 17-07-13  
 Get.: SMA  
 Gez.: JRH  
 Formaat: A1

MUZ.: 0.1



---

## 4.2 Muddrukberkening

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-10 150kV HDD1 en 2 HDD kruising Lisserweg te Lisserbroek
Berekend door	EHO

Te installeren buis of bundel		
Uitwendige diameter buis/bundel	d	485 mm

Boorstelling		
Type boorstelling		27 ton
Uitwendige diameter pilotbuis	d-uitw.	89 mm
Inwendige diameter pilotbuis	d-inw.	66 mm

Boorvloeistof		
Volumegewicht boorvloeistof	$v_{bo}$	10,50 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht grond / boorvloeistof mengsel	$v_b$	12,00 kN/m <sup>3</sup>
Schijnbare viscositeit	visc	100 MarshFunnelseconden
Yieldpoint boorvloeistof	$y_b$	0,01 kN/m <sup>2</sup>
Viscositeit	eta	0,11 Pas

Boorbuizen		
Lengte boorbuis	L	4,6 m
Lengte koppeling	L-kopp	0,5 m
Inwendige diameter koppeling	d-kop	61 mm
Nik. Ruwheid	k	1 mm

**SAMENVATTING INVOER/RESULTATEN**

Lokatie	Omschrijving	Afstand tot intredepunt	Diepte cl t.o.v ref. lijn [m]	Pmin* in pilot gat	Pmax* toelaatbaar in gat tijdens ruimen
IN	Intredepunt	0,0	0,0 m	-	0 kN/m2
A		15,0	-4,9 m	67	122 kN/m2
B		28,7	-8,5 m	118	197 kN/m2
C		36,9	-9,3 m	133	210 kN/m2
D		47,0	-9,0 m	135	141 kN/m2
E		63,3	-5,4 m	101	131 kN/m2
F			m	0	kN/m2
G			m	0	kN/m2
H			m	0	kN/m2
I			m	0	kN/m2
J			m	0	kN/m2
K			m	0	kN/m2
L			m	0	kN/m2
M			m	0	kN/m2
UIT	Uitredepunt	80,0	0,0 m	-	0 kN/m2
				Pmin benodigd bij max. mud debiet	
<b>noot *: Pmin in pilot gat vergelijken met Pmax tijdens ruimen is de meest ongunstige benadering</b>					

**Berekening van de maximaal toelaatbare boorvloei­stof­druk­ken P'max  
volgens NEN 3650-1:2012 bijlage E.2**

**INVOER/UITVOER**

Lokatie	IN	A	B	C	D
Grondsoort (zand / klei)	-	<b>klei</b>	<b>klei</b>	<b>klei</b>	<b>klei</b>
Gronddekking	-	<b>4,9</b>	<b>9</b>	<b>9,8</b>	<b>6,2</b> m
Diepte water onder mv (+)	-	<b>2</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>-0,9</b> m
Hoek inwendige wrijving	-	<b>17,5</b>	<b>17,5</b>	<b>17,5</b>	<b>17,5</b> gr
Volumegewicht nat	-	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b> kN/m3
Volumegewicht droog	-	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b> kN/m3
Cohesie	-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	-	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	-	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b> MPa
Rpmax	-	2,45	4,50	4,90	3,10 m
Elasticiteitsmodulus	-	750	750	750	750 kN/m2
P'max in gat	-	122	197	210	141 kN/m2

Location	E	F	G	H	I
Grondsoort (zand / klei)	<b>klei</b>				
Gronddekking	<b>5,4</b>				m
Diepte water onder mv (+)	<b>2,0</b>				m
Hoek inwendige wrijving	<b>17,5</b>				gr
Volumegewicht nat	<b>15</b>				kN/m3
Volumegewicht droog	<b>15</b>				kN/m3
Cohesie	<b>0</b>				kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	<b>0,33</b>				
CPT Conusweerstand: qc	<b>0,5</b>				MPa
Rpmax	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00 m
Elasticiteitsmodulus	750	0	0	0	0 kN/m2
P'max in gat	131				kN/m2

Location	J	K	L	M	UIT
Grondsoort (zand / klei)					-
Gronddekking					- m
Diepte water onder mv (+)					- m
Hoek inwendige wrijving					- gr
Volumegewicht nat					- kN/m3
Volumegewicht droog					- kN/m3
Cohesie					- kN/m2
Dwarscontractiecoefficient					-
CPT Conusweerstand: qc					- MPa
Rpmax	0,00	0,00	0,00	0,00	- m
Elasticiteitsmodulus	0	0	0	0	- kN/m2
P'max in gat					kN/m2



---

### 4.3 Trekrachten berekening

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de leiding in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN 3650-1:2012 gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de leiding optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.

# Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

## INVOER

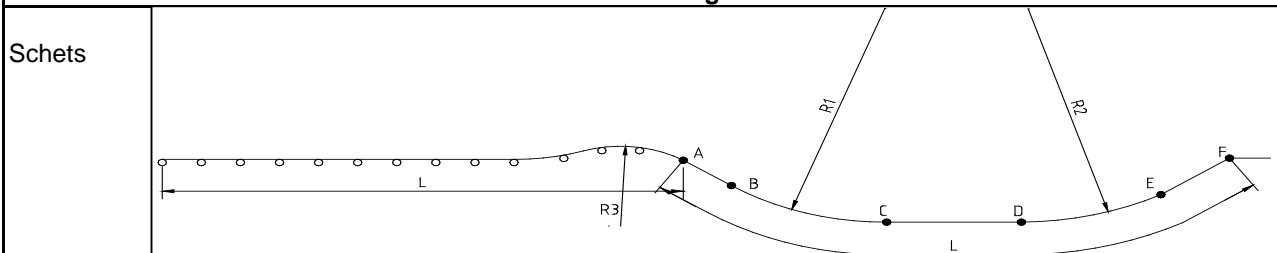
### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-10 150kV HDD 1 en 2 HDD kruising Lisserweg te Lisserbroek
Berekend door	EHO

### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	200 mm
Wanddikte	$d$	14,7 mm
Dikte externe coating	$c-e$	0 mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0 kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0 mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0 kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY		pe100
buizen met flexibele verbindingen		nee
Elasticiteitsmodulus	E	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	sg	955 kg/m <sup>3</sup>

### Maatvoering



Lengte boring	L	83 m		
Afstand	A-B	19 m		
Afstand	A-C	41 m	A-H1	41 m
Afstand	A-D	41 m	A-H2	41 m
Afstand	A-E	63 m		
Afstand	A-F	83 m		
Straal boor profiel	$R_1$	70 m	excl. 10% marge	
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	0		
Straal boor profiel	$R_2$	70 m	excl. 10% marge	
Straal rollenbaan	$R_3$	50 m		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	18 graden	(bij punt A)	
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0 graden	(+ naar beneden ri. rig zijde)	
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	0 graden		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	18 graden	(bij punt F)	
Aantal buizen	aantal, n	4 buis/buizen	--	
Bundel gekoppeld		nee		
Buisvulling in boorgat	leeg		Buisvulling (water) ook op rolstellen	nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012		
Pipe Pusher capaciteit	0 kN	nee		
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen		nee		

## SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	68 kN	7 ton
SI max in boorgat	SI	3,8 N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	4,8 N/mm <sup>2</sup>	
		48,2 % S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>



## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2 ,f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

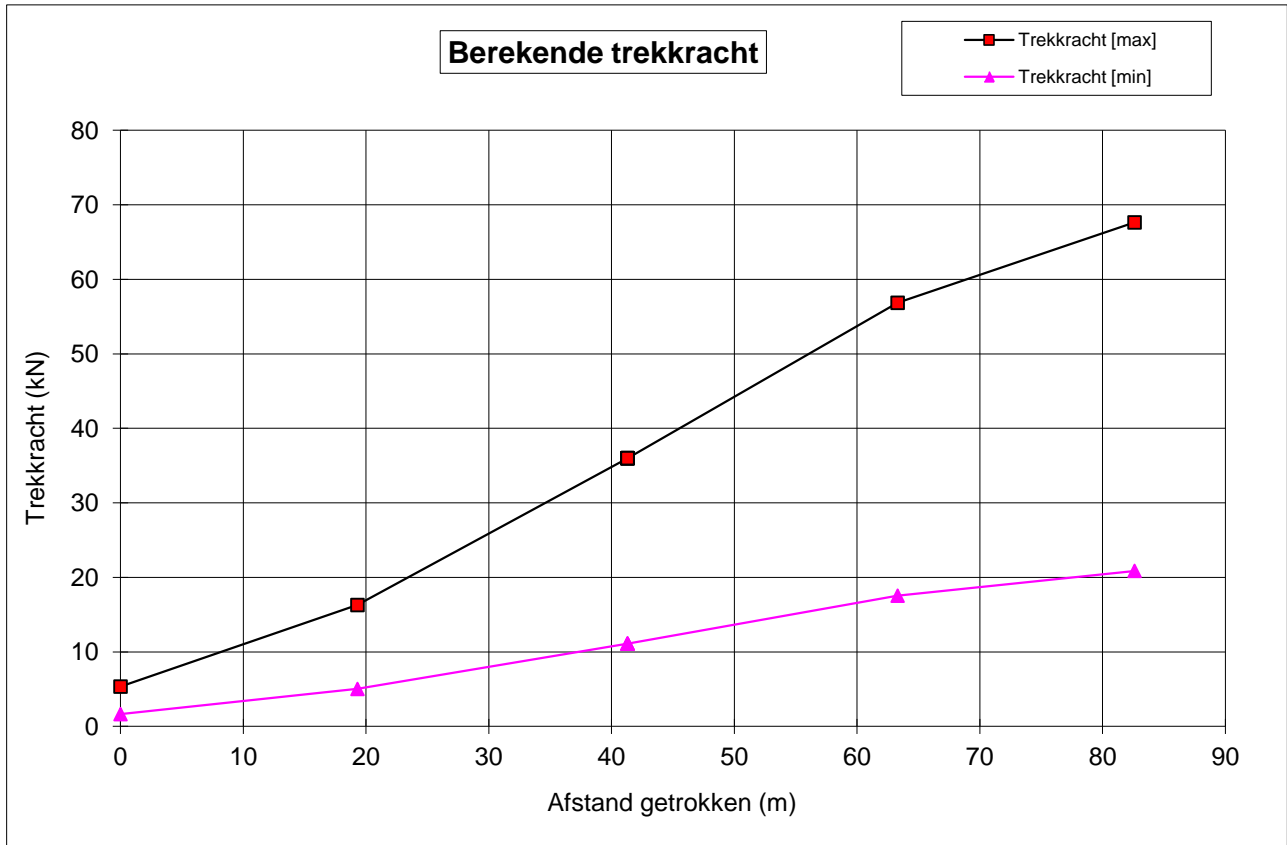
Diverse gegevens		
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel	10 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht bentoniet	sg	1200 kg/m <sup>3</sup>
Doorsnedeoppervlak	Abuis	8557 mm <sup>2</sup> per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>3</sup>
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>4</sup>
Weerstandmoment	W	369597 mm <sup>3</sup> per buis
Traagheidsmoment	I	36959671 mm <sup>4</sup> per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>	1478387 mm <sup>3</sup> voor: 4 buis/buizen
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>	147838683 mm <sup>4</sup> voor: 4 buis/buizen
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g omlaag	0,3269 kN/m1streng "
gewicht vull x aantal buizen	g vull omhoog	0,0000 kN/m1streng "
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra omhoog	0,0000 kN/m1streng "
opdrijving x aantal buizen	g opw omhoog	-1,5080 kN/m1streng "
g eff in gat = g-gopw	g eff omhoog	-1,1811 kN/m1streng "
g eff op rolstellen	g eff omlaag	0,3269 kN/m1streng "
$\lambda = \text{sqrt}(\text{sqrt}(k_v \times B / 4 / E / I))$	$\lambda$	0,002335 mm <sup>-1</sup>
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>	0,04 N/mm <sup>3</sup> "
Oplegbreedte van de bundel	B	528 mm
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B / R_1$	Q <sub>r1</sub>	0,0094 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B / R_h$	Q <sub>rh</sub>	0,0000 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B / R_2$	Q <sub>r2</sub>	0,0094 N/mm <sup>2</sup> "
Reductiefactor voor bundel = $n \times 1/n^{0.3}$	b'	2,639 x Omtrek van een buis

Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	83	63	41	41	41	41	41	19	0
T <sub>1</sub> (kN)	2,97	2,28	1,49	1,49	1,49	1,49	0,69		0
L <sub>2</sub> (m)	0	19	22	0	0	0	22	19	
T <sub>2</sub> (kN)	0	6,77	7,72	0,00	0,00	0,00	7,72	6,77	
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	2,93	0,00	0,00	0,00	2,93	0	
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	1,09	1,09	1,09	1,09	2,82	3	
F x f (totale kracht, kN)	3	9	20	20	20	20	32	38	
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	5	16	36	36	36	36	57	68	
<i>De te verwachten trekkracht ligt tussen</i>			<i>21 kN en</i>		<i>68 kN</i>				
<i>De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk</i>							<i>75 kN</i>		
<i>De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid</i>									

Spanningen in boorgat								
Totale spanning in boorgat								
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	0,2	0,5	1,1	1,1	1,1	1,1	1,7	2,0
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0
SI tot	0,2	0,5	3,1	1,1	1,1	1,1	3,8	2,0

Spanningen op rollenbaan			
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling			
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R	Sr	2,6 N/mm <sup>2</sup>	
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>	M	3,0 kNm	total
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal	SI	4,8 N/mm <sup>2</sup>	

# GRAFIEK





---

## 4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-10 150kV HDD1 en 2 HDD kruising Lisserweg te Lisserbroek</b>
Berekend door	<b>EHO</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>13,6</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>14,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV load model 2</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>70</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>onder</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>9,8</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>15</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>klei</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>neutraal</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>2,5</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>17,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model ( + is trek )			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	Qindirect	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	ix	<b>1</b>	>=1
Spanningsverhogende factor	iy	<b>0</b>	>=0

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	264,71 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	36,02 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	92,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	185,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	14,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,23 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,08 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	14,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,37 * 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$36,96 * 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	1,60	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0928 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	4,9 N/mm <sup>2</sup>	
	% $R_m$ , allow	61 % toetswaarde	<100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	6,4 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	11,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Q <sub>n</sub>	f	1,10
Totaal factor Q <sub>p</sub>	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	Q <sub>n</sub>	14,80 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	Q <sub>p</sub>	14,80 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa      veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		7 mm
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		6 mm
$z_{\text{max reken}}$		7 mm
q <sub>n</sub>	0,0740	N/mm <sup>2</sup>
q <sub>p (fm=0,10)</sub>	0,4366	N/mm <sup>2</sup> Q <sub>p</sub> met fm= 0,10
q <sub>p</sub> -q <sub>n</sub>	0,3626	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,050764	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058	N/mm <sup>3</sup>
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x D <sub>o</sub>	20 mm	
u x D <sub>o</sub> <= z <sub>max reken</sub>	7 mm	
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,233	N/mm <sup>2</sup>
Q <sub>k</sub>	46,56	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP Q<sub>k</sub> is hoger dan Q<sub>p</sub>

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur Q <sub>n,r</sub>	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur Q <sub>n,n,r</sub>	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holoceen		
Inwendige wrijvingshoek	φ <sub>h</sub>	17,5 graden
Cohesie	c <sub>h</sub>	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holoceen	γ <sub>h</sub>	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	h <sub>h</sub>	9,1 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	9,1 m
Straal boorgat	R <sub>boorgat</sub>	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	27,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	18,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	0,7 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	7,7 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o \cdot B_1 \cdot (\gamma' - c_h / B_1) / (K \cdot \tan \phi_h) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h_h \cdot \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,83 kN/m
$F_{max} = (h \cdot \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) \cdot 2B_1$	$F_{max}$	32,74 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,21
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 \cdot (3H - 2h) \cdot \alpha) / (2 C \cdot H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 \cdot k_v))))$		
	$F_r$	16,10 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h \cdot \gamma'_h - F_r / 2B_1) \cdot D_o$	$Q_{n,r2}$	7,57 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,22 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,54
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	8,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o \cdot B_1 \cdot \gamma') / (K \cdot \tan \phi) \cdot (1 - e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h \cdot h_h \cdot D_o \cdot e^{-(K \cdot h \cdot \tan \phi / B_1)}$		
	$Q_{n,r}$	6,34 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond}$ reken	$Q \times f$	16,28 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f



### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	14,90 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	2,50 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,50 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,70	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	$Q_{h, \text{neutraal}}$	9,33 kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_{y2}/2 \times \sin 60$		40,47 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	$Q_{h, \text{iowa, reken}}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	19,18 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	10,22 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	10,22 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,53
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,53
	$d_{y1}/2$	9,59 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  9,33 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  9,33 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  9,33 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  9,33 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		klei	
drukloos	$Q_n$	9,33 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	9,33 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	2,02 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	3,27 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	8,39 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	8,39 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

#### Materiaalgegevens

Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{ toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------------	---------------------	---------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk

$S_p = p_d \cdot (r_e^2 + r_i^2) / (r_e^2 - r_i^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
---	-------	------------------------

#### Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk

$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
----------	----------	------------------------

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)

$Q_{grond}$	16,28 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	
$S_q \text{ bodem}$	9,84 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ top}$	6,20 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ zijden}$	-6,36 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)

$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q \text{ bodem}$	9,84 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	6,20 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-6,36 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)

$Q_{h, grond}$	8,39 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	
$S_q \text{ bodem}$	-3,09 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ top}$	-3,09 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ zijden}$	3,09 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)

$Q_{h, grond}$	8,39 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	
$S_q \text{ bodem}$	-3,09 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ top}$	-3,09 N/mm <sup>2</sup>
$S_q \text{ zijden}$	-3,09 N/mm <sup>2</sup>

#### Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)

Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	2,50 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,50 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q \text{ bodem}$	0,30 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,19 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,20 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,30 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,30 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,30 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuurverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,04566E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,48 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,21 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,24 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	onder	
	$S_{rl}$	0,43 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' \cdot I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * l_w + 0.061 * k_h * rg^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	12,7 mm	
	6,4 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * l_w / Dg^3$	12,48 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	0,95 N/mm <sup>2</sup> 9,51 bar 95,10 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,12 N/mm <sup>2</sup> 1,19 bar 11,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	9,84	6,20	6,36 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-3,09	-3,09	-3,09 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,30	0,19	0,20 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,48	0,21	0,24 N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$	7,53	3,51	3,71 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,43	-0,43	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,43	-0,43	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	<b>0,28</b>	<b>-0,28</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	3	3	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	<b>4,90</b>	<b>2,28</b>	<b>2,41</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	61	29	30 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	6,4 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<u>bodem</u>	<u>top</u>	<u>zijden</u>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%



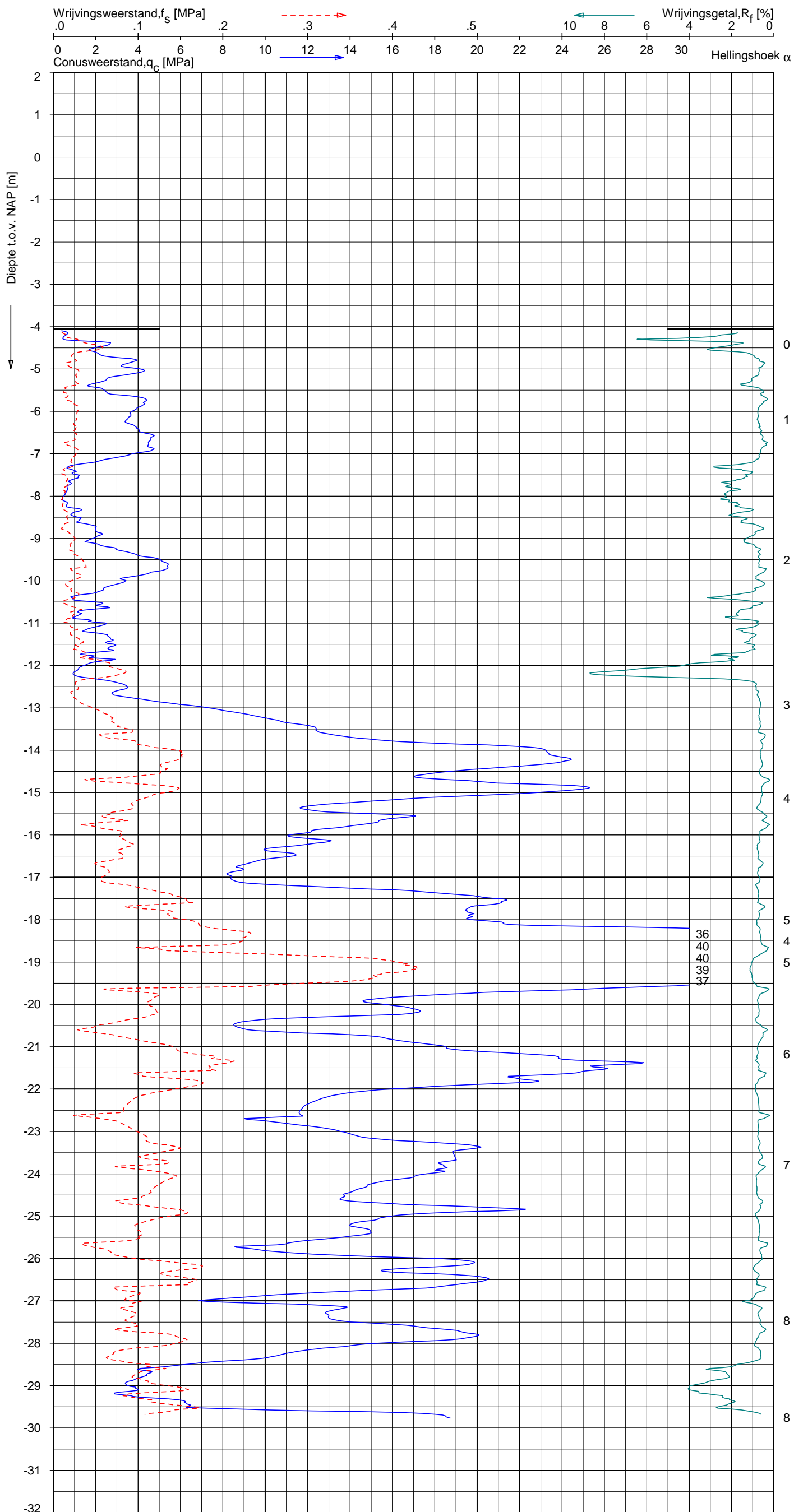
---

## 4.5 Grondonderzoek

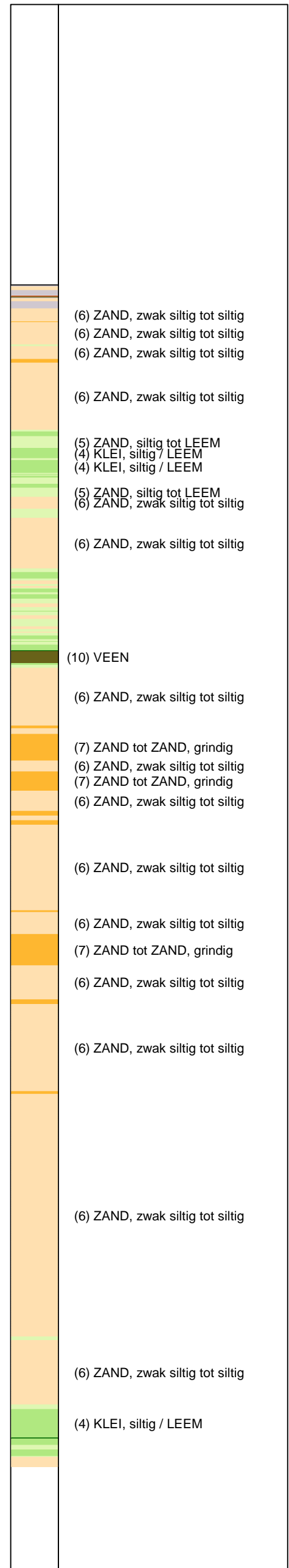
UNIPLOT 05.21.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-02-14 10:32:29

1010-0117-003

DKMP1170 - 1



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



Opg.: JBL/PRV d.d. 05-Feb-2013 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 100780.5 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Get.: VALKF d.d. 2013-02-14 MV = NAP -4.06 m Y = 473846.5 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

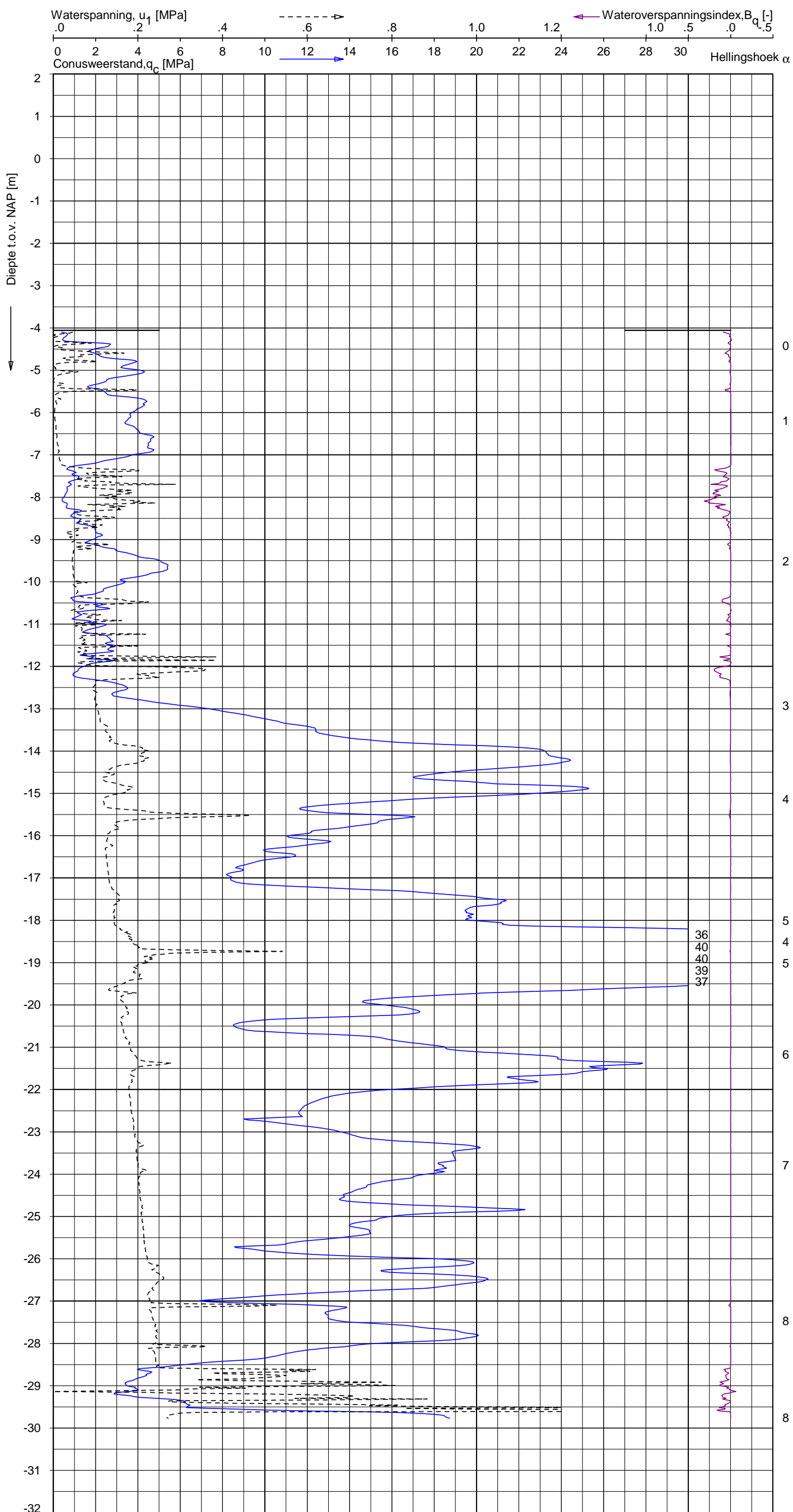
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1170

UNIPLOT 05.21.nl / Qcd\1\Class-N3.cmd / 2013-02-14 10:34:38

1010-0117-003

DKMP1170 - 1



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



Opg.: JBL/PRV d.d. 05-Feb-2013 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 100780.5 Y = 473846.5  
 Get.: VALKF d.d. 2013-02-14 MV = NAP -4.06 m

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1170



# Berekeningen X-11 HDD kruising Nieuwkerker- tocht te Lisserbroek-Abbenes

## Civiele Werkzaamheden R380 Noordring Perceel 1: Vijfhuizen – Zuidelijke Ringvaart

Documentnummer: : VIR-0.000.526  
Referentienummer: : TP13141-doc-11  
Documentstatus: : Definitief  
Datum: : 15-11-2013  
Versie: : 2.0

Opdrachtgever:



**VolkerInfra**



Randstad 380

Opdrachtnemer:

	Naam	Functie	Paraaf	Datum
Opsteller	E.M.P. Hooglander	Civil Engineer		15-11-2013
Gecontroleerd	J. Hermus	Groepsleider Civiel		15-11-2013
Gecontroleerd	M. Molema	Disciplineleider		15-11-2013
Geautoriseerd / Vrijgave	M. Roohé	Projectmanager		15-11-2013



## DOCUMENT HISTORIE

Revisie	Omschrijving/Belangrijkste wijzigingen	Datum
0.1	Concept definitief ontwerp	17-07-2013
1.0	Definitief Ontwerp	02-08-2013
2.0	Opmerkingen RFA/ RFC verwerkt	15-11-2013



## Inhoud

1. Inleiding .....	4
2. Uitgangspunten .....	5
2.1 Algemeen.....	5
2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren .....	5
2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis.....	5
2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase .....	5
2.5 Kwelproblematiek.....	6
2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring.....	6
2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting.....	6
2.5.3 Kwel op lange termijn.....	6
3. Conclusies.....	7
3.1 Muddrukken tijdens boren.....	7
3.2 Sterkte tijdens installeren.....	7
3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik.....	7
4. Bijlagen .....	8
4.1 Tekening VIR-0.000511, Referentienr. TP13141-K-X-11 .....	8
4.2 Muddrukberekening.....	9
4.3 Trekkrachten berekening .....	10
4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase.....	11
4.5 Grondonderzoek .....	12



## 1. Inleiding

In de Randstad wordt de komende jaren een sterke toename verwacht in de vraag naar electriciteit. Om de elektriciteitsvoorziening in de toekomst veilig te stellen wordt er door TenneT een nieuwe 380kV hoogspanningsverbinding tussen Beverwijk – Vijfhuizen – Bleiswijk – Wateringen gerealiseerd. Dit project wordt Randstad380kV genoemd.

Project Randstad380 Noordring is de tweede fase van het project en bestaat uit een hoogspanningsverbinding van Beverwijk via Vijfhuizen naar Bleiswijk.

Naast de aanleg van een 380kV hoogspanningsverbinding wordt er ook een 150kV hoogspanningsverbinding gerealiseerd. In verband met de aanleg van deze 150kV hoogspanningsverbinding moet de watergang genaamd Nieuwkerkertocht te Lisserbroek-Abbenes gekruist worden. Deze kruising wordt uitgevoerd door middel van twee horizontaal gestuurde boringen. In de boringen worden de volgende mantelbuizen geïnstalleerd:

150kV :

- HDD 01 4x Ø200 PE100 SDR13.6/ SDR11
- HDD 02 4x Ø200 PE100 SDR13.6/ SDR11

In dit rapport worden de voor de boringen benodigde berekeningen uitgevoerd.

De berekeningen worden uitgevoerd op basis van PE100 ø200 SDR13.6. De vraagspecificaite schrijft SDR11 voor. Hiermee wordt de meest ongunstige situatie berekend.

*Hiertoe worden de volgende aspecten bekeken:*

- De bij het boren te verwachten muddrukken en de maximaal toelaatbare muddrukken.
- De benodigde trekkracht voor het intrekken van de mantelbuizen en de hierbij optredende spanningen in de buizen.
- De sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase.
- Mogelijke kwelproblematiek.

Bovenstaande berekeningen worden uitgevoerd met spreadsheet-programma's.

*Uitgangspunten van deze berekeningen zijn de normen:*

- NEN 3650-1:2012, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 1 algemeen
- NEN 3650-3:2012 ontwerp, Eisen voor buisleidingsystemen - Deel 3 Kunststoffen
- NEN 3651:2012, Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken.

*Grondonderzoek:*

- Gegevens grondonderzoek afkomstig van Fugro, opdrachtnr. 1010-0117-003 Bijlage 4.5

*Bijbehorende tekeningen:*

- Algemeen plantekening op A4 formaat Bijlage 4.1



## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Algemeen

*De belangrijkste ontwerpgegevens van de mantelbuizen, die gelden voor de boringen:*

Kenmerk	<b>150kV</b> HDD 1 en 2
Materiaal	PE
Kwaliteit	PE100
Treksterkte	10 N/mm <sup>2</sup>
Aantal buizen	4
Diameter	200 mm
Wanddikte	14.7 mm (SDR 13.6)

### 2.2 Berekening muddrukken tijdens het boren

Voor het afvoeren van de afgeboorde grond is in het boorgat een minimale muddruk nodig. Tevens mag de druk in het boorgat niet groter worden dan de maximaal toelaatbare muddruk. Bij overschrijding van deze druk bestaat het gevaar voor bezwijken van de grond en uitstromen van boorvloeistof aan het maaiveld. De maximaal toelaatbare muddruk en de minimaal benodigde muddrukken zijn berekend in Bijlage 4.2. De resultaten worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd.

### 2.3 Berekening trekkracht tijdens het installeren van de buis

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de mantelbuis in het boorgat in te trekken worden de wrijvingscoëfficiënten volgens de NEN gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de buis optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.3. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.

### 2.4 Berekening sterkte van de mantelbuizen in de gebruiksfase

Voor de sterkte van de mantelbuizen zijn voor een aantal locaties doorsnede-berekeningen gemaakt. Het punt op de maatgevende locatie heeft een dekking van ca. 7.5m. Dit punt is het punt met de grootste dekking. Er wordt met neutrale gronddruk gerekend. Dit is een ongunstige benadering omdat hier in principe met gereduceerde gronddruk mag worden gerekend.

De volledige uitvoer van deze berekening is bijgevoegd in Bijlage 4.4. In hoofdstuk 3 worden de berekende waarden gepresenteerd.



## 2.5 Kwelproblematiek

In het kader van de kwelproblematiek worden de hieronder vermelde situaties bekeken.

- Tijdens de uitvoering van de boring
- Tijdens het maken van de aansluiting
- Op lange termijn

### 2.5.1 Kwel tijdens de uitvoering van de boring

De intredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van 3.8m-N.A.P. De uittredepunten van de boringen hebben een maaiveldhoogte van 4.1m-N.A.P. Het hart van de boringen ligt op het diepste punt op 11.7m-N.A.P.

Het eerste watervoerende zandpakket ligt op een diepte van ca. 12m-N.A.P. en wordt (net) niet aangeboord.

Volgens de door de opdrachtgever verstrekte informatie bedraagt de gemiddelde stijghoogte van het spanningswater in het eerste watervoerende pakket ca. 4.5m-N.A.P.

De stijghoogte van het spanningswater is lager dan het maaiveld niveau en daarmee is er geen gevaar voor kwel tijdens de uitvoering van de boringen.

Muduitbraken ter plaatse van de watergangen zijn volgens de berekeningen niet te verwachten (zie hoofdstuk 3 of bijlage 4.2). Kwel vanuit het watervoerende zandpakket naar de watergangen is hierdoor niet te verwachten.

### 2.5.2 Kwel tijdens het maken dan de aansluiting

Ten tijde van het maken van de aansluitingen moet tijdelijk een ontgraving van ca. 3m-maaiveld worden gemaakt, waarbij een kwelscherm met kleikist dient te worden aangebracht.

Op het grensvlak werkt een opwaartse waterdruk van  $(4.5 - 12) \times 10 \text{ kN/m}^3 = 75 \text{ kN/m}^2$   
De bentonietkolom oefent bij een bentoniet gewicht van  $12 \text{ kN/m}^3$  een neerwaartse kracht uit van  $(7.1 - 12) \times 12 \text{ kN/m}^3 = 58.8 \text{ kN/m}^2$

Hoewel het gebruik van zwaardere bentoniet een oplossing zou kunnen zijn, kan hier ook met verzwaarde bentoniet geen evenwicht worden bereikt.

Tijdens het maken van de aansluitingen dient daarom kortdurend spanningsbemaling te worden toegepast.

### 2.5.3 Kwel op lange termijn

Zowel aan de intrede- als aan de uittredezijde dienen kwelschermen in kleikisten geplaatst te worden om de kwel op lange termijn te voorkomen.



### 3. Conclusies

#### 3.1 Muddrukken tijdens boren

Overzicht minimum en maximum muddrukken tijdens boren:

Locatie		Afstand tot intredepunt	Minimaal benodigde muddruk (Bijlage 4.2)	Maximaal toelaatbare muddruk (Bijlage 4.2)
IN	Intredepunt	0 m		
A		14 m	62 kN/m <sup>2</sup>	118 kN/m <sup>2</sup>
B		27 m	103 kN/m <sup>2</sup>	104 kN/m <sup>2</sup>
C		35 m	115 kN/m <sup>2</sup>	167 kN/m <sup>2</sup>
D		52 m	101 kN/m <sup>2</sup>	136 kN/m <sup>2</sup>
UIT	Uittredepunt	70 m		

De maximaal toelaatbare muddruk wordt nergens overschreden. Er zijn hierdoor tijdens het boren van de pilotboring geen muduitbraken te verwachten.

#### 3.2 Sterkte tijdens installeren

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de mantelbuis tijdens installatie:

150kV HDD 1 en 2	Smax (Bijlage 4.3)	max % <100%	
Spanning in boorgat	3,6 N/mm <sup>2</sup>	36 %	
Spanning tijdens intrekken	4,8 N/mm <sup>2</sup>	48 %	
Trekkraft			61 kN

De mantelbuizen worden leeg in het boorgat getrokken. Hiervoor wordt een trekkraft van maximaal 6 ton verwacht.

#### 3.3 Sterkte mantelbuizen tijdens gebruik

Overzicht van de berekende maatgevende spanningen in de buis tijdens gebruik:

Belastingsgeval	Smax (Bijlage 4.4)		
Leiding drukloos	3,7 N/mm <sup>2</sup>	46 %	toetswaarde
Leiding onder druk niet van toepassing	nvt	nvt	toetswaarde
Deflectie bij drukloze leiding		4,8 %	Do
Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk		11,89 m	waterkolom

Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de voorgestelde buis tijdens de gebruiksfase voldoet aan de in de normen gestelde eisen.

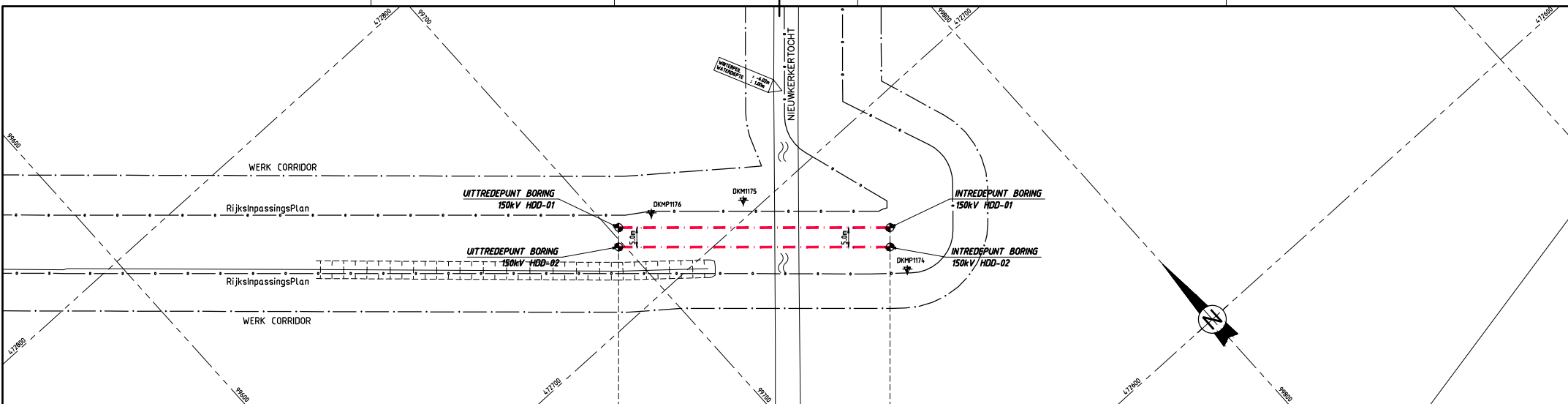


---

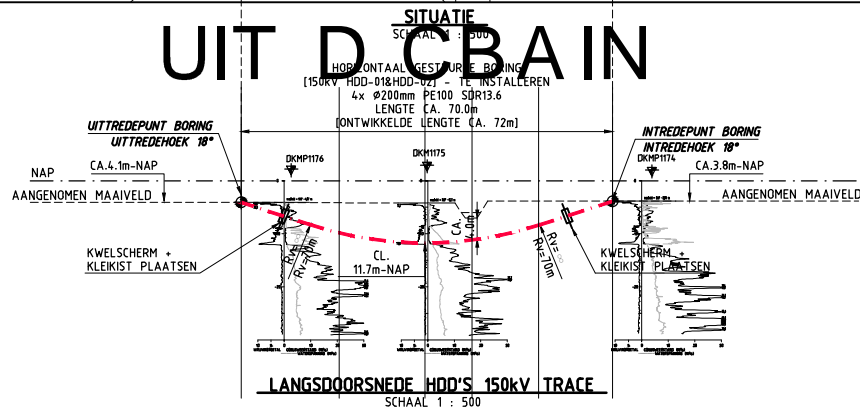
## 4. Bijlagen

### 4.1 Tekening VIR-0.000511, Referentienr. TP13141-K-X-11

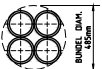




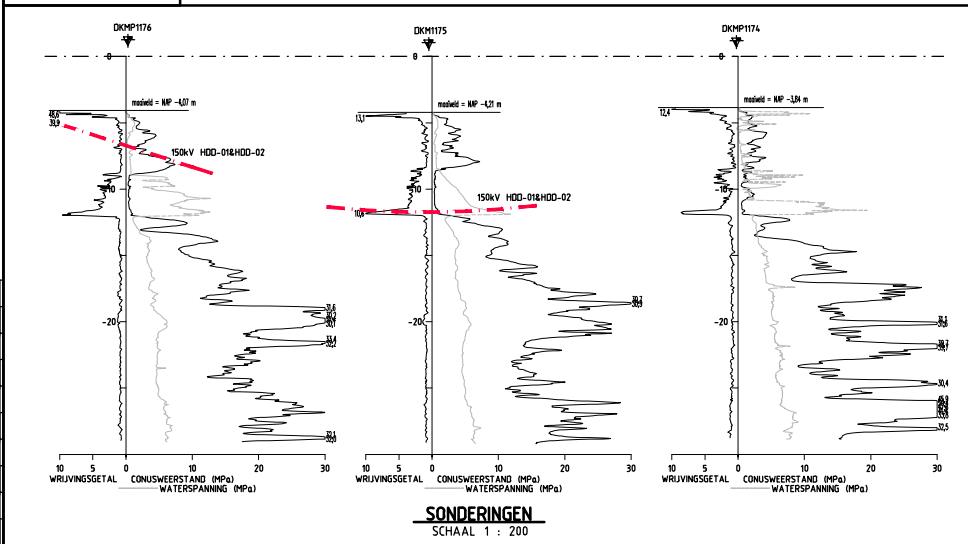
# UIT DGBAIN



TE INSTALLEREN (150kV)  
PER BORING  
4x Ø200 PE100 SDR13.6  
2x UITVOEREN



**DOORSNEDE  
HDD'S 150kV TRACE**  
SCHAAL 1 : 20



COORDINATENLIJST OP BASIS VAN RD		
PUNT OMSCHRIJVING	X	Y
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	99754.02	472673.15
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-01	99701.99	472719.98
INTREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	99750.67	472669.44
UITREDEPUNT BORING 150kV HDD-02	99698.64	472716.27

**OPMERKINGEN:**  
-SITUATIE ONTVANGEN VAN OPDRACHTGEVER  
-BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN INGETEKEND A.D.H.V. KLIC GEGEVENS  
-GRONDONDERZOEK AFKOMSTIG VAN RUGBO RAPPORT (OPDR.NR.1070-017-003)  
-DIEPTE WATERGANGEN GENOMEN VAN LEGGER HOOGHEEMRAADSCHAP VAN RIJNLAND.  
-EXACTE LIGGING BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN VOOR AANVAANG WERKZAAMHEDEN NADER TE BEPALEN EN INDIEN NODIG TIJDELIJK ONLIGGEN OF BOORPROFIEL HIEROP AAN TE PASSES.

0.1	17-07-13	CONCEPT DO	SMA	JRH
WG:	Datum	Omschrijving	Get.	Gez.

**Volkorinfra** (Hollandia TRD) and **Tennet** (Tuning power together) logos.

Volkor Staal en Fundamenteel bv  
Oudezijdenweg 10  
3089 KP Rotterdam  
Postbus 5434  
3008 VA Rotterdam  
Telefoon 010-299288  
Telefax 010-299277  
Handelreg. Rotterdam 24229/78

**OPDRACHTGEVER:** TENNET  
**PROJECT:** RANDSTAD NOORD 380kV & 150kV  
**BENAMING:** ALGEMEEN PLAN 150kV TRACE HDD'S ONDER NIEUWKERKERTOCHT

Bijz.: -  
Schaal: 1 : 500  
Datum: 17-07-13  
Get.: SMA  
Gez.: JRH  
Formaat: A1

Tekening\_Nr.: VIR-0.000.511  
Referentie\_Nr.: TP13141-K-X-11

MUZ.: 0.1



---

## 4.2 Muddrukberkening

**INVOER**

Projectgegevens	
Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-11 150kV HDD1 en 2 HDD kruising Nieuwkerkertocht te
Berekend door	EHO Lisserbroek-Abbenes

Te installeren buis of bundel		
Uitwendige diameter buis/bundel	d	485 mm

Boorstelling		
Type boorstelling		27 ton
Uitwendige diameter pilotbuis	d-uitw.	89 mm
Inwendige diameter pilotbuis	d-inw.	66 mm

Boorvloeistof		
Volumegewicht boorvloeistof	$v_{bo}$	10,50 kN/m <sup>3</sup>
Volumegewicht grond / boorvloeistof mengsel	$v_b$	12,00 kN/m <sup>3</sup>
Schijnbare viscositeit	visc	100 MarshFunnelseconden
Yieldpoint boorvloeistof	$y_b$	0,01 kN/m <sup>2</sup>
Viscositeit	eta	0,11 Pas

Boorbuizen		
Lengte boorbuis	L	4,6 m
Lengte koppeling	L-kopp	0,5 m
Inwendige diameter koppeling	d-kop	61 mm
Nik. Ruwheid	k	1 mm

**SAMENVATTING INVOER/RESULTATEN**

Lokatie	Omschrijving	Afstand tot intredepunt	Diepte cl t.o.v ref. lijn [m]	Pmin* in pilot gat	Pmax* toelaatbaar in gat tijdens ruimen
IN	Intredepunt	0,0	0,0 m	-	0 kN/m2
A		13,9	-4,5 m	62	118 kN/m2
B		26,5	-7,3 m	103	104 kN/m2
C		35,3	-7,9 m	115	167 kN/m2
D		51,5	-6,0 m	101	136 kN/m2
E			m	0	kN/m2
F			m	0	kN/m2
G			m	0	kN/m2
H			m	0	kN/m2
I			m	0	kN/m2
J			m	0	kN/m2
K			m	0	kN/m2
L			m	0	kN/m2
M			m	0	kN/m2
UIT	Uitredepunt	70,0	-0,2 m	-	0 kN/m2

Pmin benodigd bij max. mud debiet

**noot \*: Pmin in pilot gat vergelijken met Pmax tijdens ruimen is de meest ongunstige benadering**

**Berekening van de maximaal toelaatbare boorvloei­stof­druk­ken P'max  
volgens NEN 3650-1:2012 bijlage E.2**

**INVOER/UITVOER**

Lokatie	IN	A	B	C	D
Grondsoort (zand / klei)	-	<b>klei</b>	<b>klei</b>	<b>klei</b>	<b>klei</b>
Gronddekking	-	<b>4,6</b>	<b>4,2</b>	<b>7,5</b>	<b>5,7</b> m
Diepte water onder mv (+)	-	<b>2,2</b>	<b>-1</b>	<b>1,8</b>	<b>1,9</b> m
Hoek inwendige wrijving	-	<b>17,5</b>	<b>17,5</b>	<b>17,5</b>	<b>17,5</b> gr
Volumegewicht nat	-	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b> kN/m3
Volumegewicht droog	-	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b> kN/m3
Cohesie	-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b> kN/m2
Dwarscontractiecoefficient	-	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
CPT Conusweerstand: qc	-	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b> MPa
Rpmax	-	2,30	2,10	3,75	2,85 m
Elasticiteitsmodulus	-	750	750	750	750 kN/m2
P'max in gat	-	118	104	167	136 kN/m2

Location	E	F	G	H	I
Grondsoort (zand / klei)					
Gronddekking					m
Diepte water onder mv (+)					m
Hoek inwendige wrijving					gr
Volumegewicht nat					kN/m3
Volumegewicht droog					kN/m3
Cohesie					kN/m2
Dwarscontractiecoefficient					
CPT Conusweerstand: qc					MPa
Rpmax	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 m
Elasticiteitsmodulus	0	0	0	0	0 kN/m2
P'max in gat					kN/m2

Location	J	K	L	M	UIT
Grondsoort (zand / klei)					-
Gronddekking					- m
Diepte water onder mv (+)					- m
Hoek inwendige wrijving					- gr
Volumegewicht nat					- kN/m3
Volumegewicht droog					- kN/m3
Cohesie					- kN/m2
Dwarscontractiecoefficient					-
CPT Conusweerstand: qc					- MPa
Rpmax	0,00	0,00	0,00	0,00	- m
Elasticiteitsmodulus	0	0	0	0	- kN/m2
P'max in gat					kN/m2



---

### 4.3 Trekrachten berekening

Voor de berekening van de trekkracht die benodigd is om de leiding in het boorgat in te trekken worden de wrijvingcoëfficiënten volgens de NEN 3650-1:2012 gehanteerd. Tevens worden de hierdoor in de leiding optredende spanningen zowel in het boorgat als op de rollenbaan berekend.

# Trekkrachtenberekening van een HD boring volgens de NEN 3650-1:2012

rev 31, 22-08-2011

## INVOER

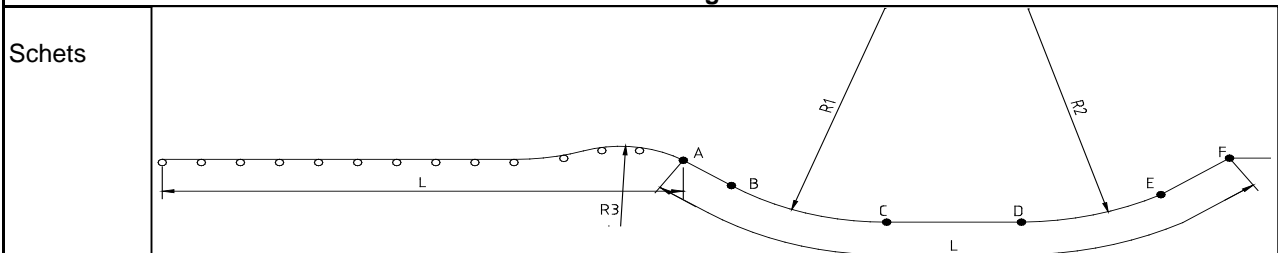
### Projectgegevens

Opdrachtgever	TenneT
Projectomschrijving	Randstad Noord 380kV & 150kV
Plaats	Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1
Calculatienummer	TP13141
Berekening	X-11 150kV HDD 1 en 2 HDD kruising Nieuwkerkertocht te
Berekend door	EHO Lisserbroek-Abbenes

### Buisgegevens

Uitwendige diameter	$D_o$	200 mm
Wanddikte	$d$	14,7 mm
Dikte externe coating	$c-e$	0 mm
Soortelijk gewicht externe coating	$sg-e$	0 kg/m <sup>3</sup>
Dikte interne coating	$c-i$	0 mm
Soortelijk gewicht interne coating	$sg-i$	0 kg/m <sup>3</sup>
API/DIN17172/EN10208/PE materiaal/ GY		pe100
buizen met flexibele verbindingen		nee
Elasticiteitsmodulus	E	1200 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht buis	sg	955 kg/m <sup>3</sup>

### Maatvoering



Lengte boring	L	72 m		
Afstand	A-B	14 m		
Afstand	A-C	36 m	A-H1	36 m
Afstand	A-D	36 m	A-H2	36 m
Afstand	A-E	58 m		
Afstand	A-F	72 m		
Straal boor profiel	$R_1$	70 m	excl. 10% marge	
Horizontale straal boor profiel	$R_{hor}$	0		
Straal boor profiel	$R_2$	70 m	excl. 10% marge	
Straal rollenbaan	$R_3$	50 m		
Uittredehoek [pijp zijde]	$\alpha_u$	18 graden	(bij punt A)	
Hellingshoek middenstuk	$\alpha_m$	0 graden	(+ naar beneden ri. rig zijde)	
Horizontale hoek middenstuk	$a_{hor}$	0 graden		
Intredehoek [rig zijde]	$\alpha_i$	18 graden	(bij punt F)	
Aantal buizen	aantal, n	4 buis/buizen	--	
Bundel gekoppeld		nee		
Buisvulling in boorgat	leeg		Buisvulling (water) ook op rolstellen	nee
Extra buisvulling in boorgat	0,00 kN/m <sup>1</sup>	per buis	Extra buisvulling ook op rolstellen	nee
Streng wordt uitgelegd op	rollen > NEN3650	Afstand tussen rolstellen	10 m	
Wrijvingscoëfficiënten volgens		NEN3650:2012		
Pipe Pusher capaciteit	0 kN	nee		
Invloed helling op wrijvingskrachten meenemen		nee		

## SAMENVATTING RESULTATEN

Benodigde trekkracht vlg de NEN	F trek buis	61 kN	6 ton
SI max in boorgat	SI	3,6 N/mm <sup>2</sup>	
SI max tijdens intrekken	SI	4,8 N/mm <sup>2</sup>	
		48,0 % S-toel	<b>Voldoet! &lt;100 %</b>

## BEREKENING

Uitgangspunten		
Belastingsfactor	f	1,1
Onzekerheidsfactor op f1, f2 ,f3	j	1,8
Wrijvingscoef. rollenbaan/maaiveld	f <sub>1</sub>	0,1
Schuifspanning leiding-boorvloeistof	f <sub>2</sub>	0,00005 N/mm <sup>2</sup>
Wrijvingscoef. leiding-boorwand	f <sub>3</sub>	0,2

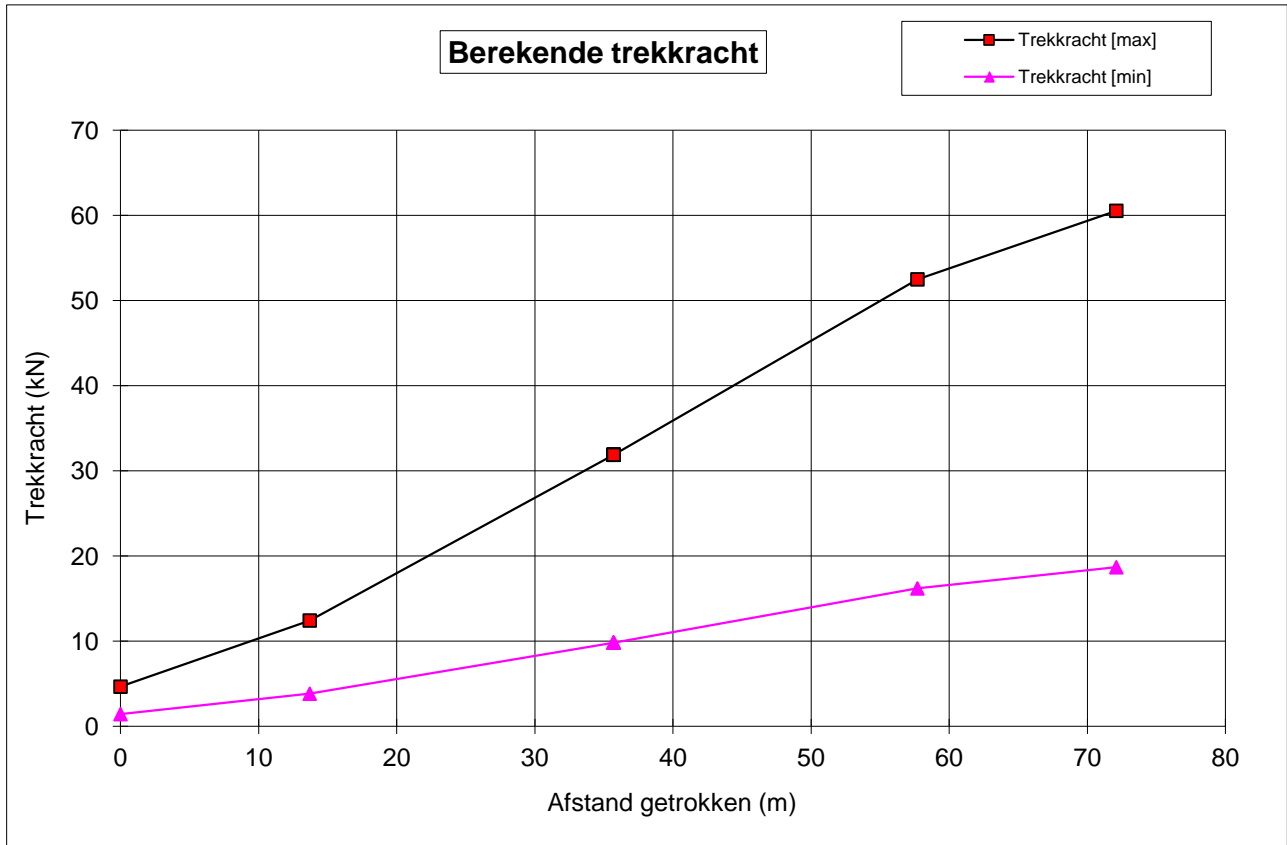
Diverse gegevens		
Toelaatbare korteduur treksterkte	S-toel	10 N/mm <sup>2</sup>
Soortelijk gewicht bentoniet	sg	1200 kg/m <sup>3</sup>
Doorsnedeoppervlak	Abuis	8557 mm <sup>2</sup> per buis
Weerstandsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>3</sup>
Traagheidsmoment voor gekoppelde bundel		0 mm <sup>4</sup>
Weerstandmoment	W	369597 mm <sup>3</sup> per buis
Traagheidsmoment	I	36959671 mm <sup>4</sup> per buis
Weerstandmoment reken	W <sub>reken</sub>	1478387 mm <sup>3</sup> voor: 4 buis/buizen
Traagheidsmoment reken	I <sub>reken</sub>	147838683 mm <sup>4</sup> voor: 4 buis/buizen
gewicht buis x aantal (incl coat.)	g omlaag	0,3269 kN/m1streng "
gewicht vull x aantal buizen	g vull omhoog	0,0000 kN/m1streng "
gewicht extra vull x aantal buizen	g extra omhoog	0,0000 kN/m1streng "
opdrijving x aantal buizen	g opw omhoog	-1,5080 kN/m1streng "
g eff in gat = g-gopw	g eff omhoog	-1,1811 kN/m1streng "
g eff op rolstellen	g eff omlaag	0,3269 kN/m1streng "
$\lambda = \sqrt{\sqrt{(k_v \times B / 4 / E / I)}}$	$\lambda$	0,002335 mm <sup>-1</sup>
Beddingsconstante	k <sub>v</sub>	0,04 N/mm <sup>3</sup> "
Oplegbreedte van de bundel	B	528 mm
$Q_{r1} = 0.322 \times \lambda \times B / R_1$	Q <sub>r1</sub>	0,0094 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{rh} = 0.322 \times \lambda \times B / R_h$	Q <sub>rh</sub>	0,0000 N/mm <sup>2</sup> "
$Q_{r2} = 0.322 \times \lambda \times B / R_2$	Q <sub>r2</sub>	0,0094 N/mm <sup>2</sup> "
Reductiefactor voor bundel = n x 1/n <sup>0.3</sup>	b'	2,639 x Omtrek van een buis

Trekkracht									
Punt	A	B	C	H1	H2	D	E	F	
	Start/ rollen	Recht	Bocht		Midden		Bocht	Rig	
L (m)	72	58	36	36	36	36	36	14	0
T <sub>1</sub> (kN)	2,59	2,10	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	0,52	0
L <sub>2</sub> (m)	0	14	22	0	0	0	0	22	14
T <sub>2</sub> (kN)	0	4,81	7,72	0,00	0,00	0,00	0,00	7,72	5,05
T <sub>3a</sub> (kN)	0	0	2,93	0,00	0,00	0,00	0,00	2,93	0
T <sub>3b</sub> (kN)	0	0	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	2,54	2
F x f (totale kracht, kN)	3	7	18	18	18	18	18	29	34
F <sub>d</sub> = F x f x j (kN)	5	12	32	32	32	32	32	52	61
<i>De te verwachten trekkracht ligt tussen</i>			<i>19 kN en</i>		<i>61 kN</i>				
<i>De NEN adviseert de trekcapaciteit van de rig hoger te kiezen, namelijk</i>								<i>67 kN</i>	
<i>De rigcapaciteit kan anders gekozen worden afhankelijk van lokale ervaring en grondgesteldheid</i>									

Spanningen in boorgat									
Totale spanning in boorgat									
SI = F <sub>trek</sub> /A/aantal	0,1	0,4	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,5	1,8
SI = f x ( I / W ) / R	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0
SI tot	0,1	0,4	3,0	0,9	0,9	0,9	0,9	3,6	1,8

Spanningen op rollenbaan		
Totale spanning op rollenbaan, lege leiding, zonder extra vulling		
Sr kromming = f x E x ( I / W ) / R	Sr	2,6 N/mm <sup>2</sup>
M buig = f x 1/12 x g/aantal x L <sup>2</sup>	M	3,0 kNm
SI = M buig / W + Sr + F <sub>trek</sub> /A/aantal	SI	4,8 N/mm <sup>2</sup> total

# GRAFIEK







---

## 4.4 Sterkteberekening mantelbuizen in de gebruiksfase

**1: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie**

rev10a: 26-09-2011

**INVOER****Projectgegevens**

Opdrachtgever	<b>TenneT</b>
Projectomschrijving	<b>Randstad Noord 380kV &amp; 150kV</b>
Plaats	<b>Tracé Vijfhuizen - Bleiswijk, Perceel 1</b>
Calculatienummer	<b>TP13141</b>
Berekening	<b>X-11 150kV HDD1 en 2 HDD kruising Nieuwkerkertocht te</b>
Berekend door	<b>EHO Lisserbroek-Abbenes</b>

**Buisgegevens**

Materiaalsoort		<b>PE</b>	
Uitwendige diameter	$D_e$	<b>200</b> mm	
Uitwendige isolatie/coating	$e$	<b>0</b>	
Uitwendige diameter incl bekleding	$D_o$	<b>200</b> mm	
SDR waarde		<b>13,6</b>	
Wanddikte	$d_n$	<b>14,70</b> mm	
Materiaalkwaliteit		<b>PE100</b>	
Treksterkte	Strek	<b>10</b> N/mm <sup>2</sup>	
Schadefactor	$S$	<b>1</b>	
Ontwerpdruk	$p_d$	<b>0</b> bar	<b>mantelbuis: geen inw. druk</b>
Verkeersklasse		<b>NVN-ENV 0,5x load model 2</b>	VOSB1963 of NVN-ENV1991-3:1995
Temperatuursverschil	$d_t$	<b>0</b> K	alleen bij verhinderde uitzetting
Vertikale elastische buigstraal	$R_v$	<b>70</b> m	0 of straal
Buigingsrichting van de elastische buigstraal		<b>onder</b>	zij, onder, boven, nvt
Toepassing als mantelbuis		<b>ja</b>	ja, nee

**Grondgegevens**

Dekking	$H$	<b>7,5</b> m	t.o.v. maaiveld
Volume gewicht grond	$sg$	<b>15</b> kN/m <sup>3</sup>	
Grondtype bedding		<b>klei</b> -	veen, klei, zand, hardzand
Type grondbelasting		<b>neutraal</b> -	neutraal, reeel, passief
Diepte grondwaterstand	$H_w$	<b>1,8</b> m	t.o.v. maaiveld
Continu uitvoeringszakking	$f_v$	<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Verticale beddingsconstante	$k_v$	<b>0,058</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Horizontale beddingsconstante	$k_h$	<b>0,0406</b> N/mm <sup>3</sup>	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.7
Hoek van inwendige wrijving	$\phi$	<b>17,5</b> °	
Opleghoek p=p berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Opleghoek p=0 berekening	$\beta$	<b>30</b> °	30,70,90,120
Lineaire uitzettingscoefficient	$\alpha_g$	<b>1,30E-04</b> mm/mm/K	
Sleufbreedte		<b>smaller dan 1,5D</b>	$Q_p=Q_k=Q_n$ , reken met $Q_n$

HD boring		<b>ja</b>	ja,nee (i.v.m. toelaatbaarheid iowa)
dE t.b.v. Iowa-formule		<b>0</b> mm	opzoeken NEN3650-1:2012 C.4.2.5
Volumegewicht vulling	$G_{vul}$	<b>1000</b> kg/m <sup>3</sup>	
Volumegewicht buismateriaal	$G$	955 kg/m <sup>3</sup>	
Elasticiteitsmodulus lang	$E'$	300 N/mm <sup>2</sup>	
Elasticiteitsmodulus kort	$E$	1200 N/mm <sup>2</sup>	
Lange veldstrekking, nabij bocht, eindafsluiting		<b>bocht</b>	

<b>Langsspanningen indien van toepassing</b>			
<b>Spanningen in lengte richting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger model berekening</b>			
Berekend met elastisch ondersteunde ligger model (+ is trek)			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters	Sq bodem	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq top	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
	Sq zijden	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>	
<b>Spanningen &amp; belasting in omtreksrichting tgv zetting uit elastisch ondersteunde ligger berekening</b>			
Inclusief totaalfactoren op grondparameters		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
		<b>0</b>	
Indirect over te dragen belasting	$Q_{indirect}$	<b>0,00</b> N/mm <sup>1</sup>	
Rechte buis of gevormde bocht		<b>bocht</b>	
Soort gevormde bocht		<b>onder-bocht</b>	
Spanningsverhogende factor	$i_x$	<b>1</b>	$\geq 1$
Spanningsverhogende factor	$i_y$	<b>0</b>	$\geq 0$

<b>Overige gegevens</b>			
Wandtraagheidsmoment	$I_w$	264,71 mm <sup>4</sup> /mm	$1/12(d_n-c_t)^3$
Wandweerstandsmoment	$W_w$	36,02 mm <sup>3</sup> /mm	$1/6(d_n-c_t)^2$
Gemiddelde straal	$r_g$	92,7 mm	$(D_e-d)/2$
Gemiddelde diameter	$D_g$	185,3 mm	$D_e-d$
Minimum wanddikte	$d$	14,7 mm	
Gewicht vulling	$Q_{vul}$	0,23 kN/m <sup>1</sup> buis	
Eigen gewicht	$Q_{eg}$	0,08 kN/m <sup>1</sup> buis	
Opdrijving	$Q_{op}$	0,31 kN/m <sup>1</sup> buis	
	$d_n-c_t$	14,7 mm	
Weerstandmoment van de buis	$W$	$0,37 \cdot 10^6$ mm <sup>3</sup>	
Traagheidsmoment van de buis	$I$	$36,96 \cdot 10^6$ mm <sup>4</sup>	
Totaalfactor verticale bedding	$f$	1,60	
Totaalfactor horizontale bedding	$f$	1,70	
Verticale beddingsconstante	$k_v \times f$	0,0928 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor
Horizontale beddingsconstante	$k_h \times f$	0,0690 N/mm <sup>3</sup>	incl totaalfactor

## 2: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### SAMENVATTING RESULTATEN PE

Uitvoerresultaten		Leiding voldoet aan alle toetsen	
Leiding drukloos	$S_{max}$	3,7	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	46	% toetswaarde <100%, voldoet
Leiding onder druk niet van toepassing	$S_{max}$	nvt	N/mm <sup>2</sup>
	% $R_m$ , allow	nvt	% toetswaarde nvt

<i>Deflectie bij drukloze leiding</i>	4,8 % Do	<b>voldoet</b>
---------------------------------------	----------	----------------

<i>Toelaatbare langdurende uitwendige overdruk</i>	11,89 m waterkolom
--	--------------------

### 3: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

#### BEREKENING GRONDBELASTINGEN

Grondgegevens		
Rekenwaarde verticale bedding	$k_v(\text{min})$	min 0,0522 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde horizontale bedding	$k_h(\text{min})$	min 0,0365 N/mm <sup>2</sup>
Rekenwaarde uitvoeringszakking	$y_c$	0 mm
Totaal factor uitvoeringszakking	f	1,50
Totaal factor Qn	f	1,10
Totaal factor Qp	f	1,50
Totaal factor kv omlaag	f	2,00
Marston factor afhankelijk sleufbreedte	$f_m$	0,00

Berekening verticale gronddrukken		
<i>Neutrale grondbelasting</i>		
$Q_n = ((sg \times H_w) + ((sg - 10) \times (H - H_w))) \times D_o$	$Q_n$	11,10 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Passieve grondbelasting</i>		
$Q_p = (Q_n \times (1 + f_m \times (H / D_o)))$	$Q_p$	11,10 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
<i>Reële grondbelasting</i>		
Grondtype aanvulmateriaal		veen
E-modulus aanvulmateriaal		1 MPa veen: 0,2; klei: 1-2-4; zand: 5-10-20
$z_{\text{max klei/veen}} = 0,25 \times D_o / (E^{1,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		8 mm
$z_{\text{max zand}} = 0,2 \times D_o / (E^{0,5} \times \text{sqrt}(H/D_o))$		7 mm
$z_{\text{max reken}}$		8 mm
$q_n$	0,0555	N/mm <sup>2</sup>
$q_p (f_m=0,10)$	0,2636	N/mm <sup>2</sup> Qp met $f_m = 0,10$
$q_p - q_n$	0,2081	N/mm <sup>2</sup>
$k_{v,\text{top}} = (q_p - q_n) / z_{\text{max}}$	0,025490	N/mm <sup>3</sup>
$k_{v,\text{bodem}}$ uit tabel	0,058	N/mm <sup>3</sup>
u	0,1	autom. uit tabel 3650-1:2003 C.4.2.3
u x $D_o$	20	mm
u x $D_o \leq z_{\text{max reken}}$	8	mm
$q_k = (q_n + u \times D_o \times k_{v,\text{top}}) / (1 + k_{v,\text{top}}/k_{v,\text{bodem}})$	0,183	N/mm <sup>2</sup>
$Q_k$	36,63	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

LET OP Qk is hoger dan Qp

Berekening gereduceerde gronddrukken		
--------------------------------------	--	--

Eventuele opgave gered. gronddruk door adviseur		
Opgave gered. gronddruk door adviseur $Q_{n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f
Opgave gered. steundruk door adviseur $Q_{h,n,r}$	0	kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gegevens holocéen		
Inwendige wrijvingshoek	$\phi_h$	17,5 graden
Cohesie	$c_h$	1 kN/m <sup>2</sup>
Volume gewicht holocéen	$\gamma_h$	15 kN/m <sup>3</sup>
Dikte holocene laag	$h_h$	8 m
Dikte samendrukbare grondmassief	H	8 m
Straal boorgat	$R_{\text{boorgat}}$	0,18 m

Gegevens pleistoceen		
Inwendige wrijvingshoek pleistoceen	$\phi$	27,5 graden
Volume gewicht pleistoceen	$\gamma$	18,0 kN/m <sup>3</sup>
Diepte buis in pleistoceen	h	0,0 m

Gereduceerde gronddruk in het holocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,25 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,6992942
Effectief volumegewicht holoceen	$\gamma'_h$	7,3 kN/m <sup>3</sup>
$Q_{n,r1} = D_o * B_1 * (\gamma' - c_h / B_1) / (K * \tan \phi_h) * (1 - e^{-(K * h_h * \tan \phi_h / B_1)})$		
Gered. neutrale gronddruk in zand	$Q_{n,r}$	0,71 kN/m
$F_{max} = (h * \gamma'_h - Q_{n,r1} / D_o) * 2B_1$	$F_{max}$	26,85 kN/m
$\alpha = \ln(h)$	$\alpha$	2,08
Samendrukkingconstante	C	19 -
Beddingsconstante van het bentoniet/grondmengsel na opstijving	$k_v$	5000 kN/m <sup>3</sup>
Relatieve verplaatsing tussen de grondkolommen bij volledig ontwikkelde kleef		
	$\delta_d$	0,004 m
$F_r$ is de blijvende wrijving (kleef) ten gevolge van de gewelfwerking		
$F_r = (0.9 F_{max}) / (1 + ((B_1 * (3H - 2h) * \alpha) / (2 C * H (\delta_d + F_{max} / 2B_1 * k_v))))$		
	$F_r$	12,67 kN/m <sup>1</sup> buis
Gereduceerde neutrale gronddruk in het holoceen pakket		
$Q_{n,r2} = (h * \gamma'_h - F_r / 2B_1) * D_o$	$Q_{n,r2}$	6,46 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

Gereduceerde gronddruk in het pleistocene pakket		
Halve br. afschuivende grondkolom		
$B_1 = 0.5 * D_o + D_o * \tan(45 - 1/2 \phi) \geq R$	$B_1$	0,22 m
$K = 1 - \sin(\phi)$	K	0,54
Effectief volumegewicht pleistoceen	$\gamma'$	8,00 kN/m <sup>3</sup>
Gereduceerde neutrale gronddruk in het pleistocene pakket		
$Q_{n,r} = (D_o * B_1 * \gamma') / (K * \tan \phi) * (1 - e^{-(K * h * \tan \phi / B_1)}) + \gamma'_h * h_h * D_o * e^{-(K * h * \tan \phi) / B_1}$		
	$Q_{n,r}$	6,46 kN/m <sup>1</sup> buis excl. f

In rekening te brengen verticale gronddruk		
Type grondbelasting	neutraal	
$Q_{grond}$ reken	$Q \times f$	12,21 kN/m <sup>1</sup> buis incl. f

### Berekening horizontale steundrukken

#### Neutrale steundruk

$Q_n$ buisasniveau	$Q_n$ buisas	11,20 kN/m <sup>1</sup> buis	Neutrale grond belasting
$P_v$ buisasniveau	$P_v$ buisas	1,25 kN/m <sup>2</sup>	
$Q_v$ buisasniveau	$Q_v$ buisas	0,25 kN/m <sup>1</sup> buis	Verkeersbelasting
Kn	Kn	0,70	Neutrale gronddruk coefficient
$Q_h = (Q_n + Q_v) \times K_n \times \sin(60)$	<b><math>Q_{h, \text{neutraal}}</math></b>	<b>6,93</b> kN/m <sup>1</sup> buis	Horizontale belasting hoek 120°

#### Iowa steundruk

dE	dE	0 mm	
iowa max = $Do \times 2k_r/3 \times dE \times \sin 60$		0,00 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{iowa}} = Do \times 2k_r/3 \times d_{y2}/2 \times \sin 60$		29,95 kN/m <sup>1</sup> buis	
$Q_{h, \text{reken}} = Q_{h, \text{iowa}}, \text{ min}$	<b><math>Q_{h, \text{iowa, reken}}</math></b>	<b>0,00</b> kN/m <sup>1</sup> buis	HD boring, geen iowa toelaatbaar

#### hulpwaarden voor bepaling toelaatbare steundruk

deflectie zonder steundruk	$d_{y1}$	14,20 mm
deflectie met neutrale steundr. en iowa	$d_{y2}$	7,53 mm
deflectie met neutrale steundruk	$d_{y2}'$	7,53 mm
	$d_{y2}/d_{y1}$	0,53
	$d_{y2}'/d_{y1}$	0,53
	$d_{y1}/2$	7,10 mm

#### Zandgrond en drukloos

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  6,93 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Zandgrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n} + Q_{h, \text{iowa}}$  6,93 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}/d_{y1}$  toelaatbaar

#### Zandgrond en drukleiding

steundruk niet toelaatbaar 0,00 kN/m<sup>1</sup> buis als  $d_{y1}/2 < dE$  toelaatbaar

#### Klei/veengrond drukloos

$Q_h = Q_{h,n}$  6,93 kN/m<sup>1</sup> buis altijd toelaatbaar

#### Klei/veengrond en lagedrukleiding

$Q_h = Q_{h,n}$  6,93 kN/m<sup>1</sup> buis als  $f_{rr} > d_{y2}'/d_{y1}$  toelaatbaar

#### In de te berekenen situatie in rekening te brengen steundruk

grondsoort		klei	
drukloos	$Q_n$	6,93 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f
druk (lagedruk < 10 bar)	$Q_n$	6,93 kN/m <sup>1</sup> buis	excl. f

### Berekening gereduceerde horizontale steundrukken

$Q_{hr}$ pleistoceen	2,06 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{hr}$ holocene	2,76 kN/m <sup>1</sup> buis
$Q_{h,n,r} = \{ \tan^2(45-0.5\phi) \times Q_{n,r} - 2 \times c \times Do \times \tan(45-0.5\phi) \} \times \sin 60$	
$Q_{h,n,r}$	0,00 kN/m <sup>1</sup> buis

### In rekening te brengen horizontale steundrukken

drukloos	6,24 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f
druk	6,24 kN/m <sup>1</sup> buis	incl. f

#### 4: Sterkteberekening van een ondergrondse leiding volgens de NEN 3650 serie

### BEREKENING SPANNINGEN EN TOETSING PE

Materiaalgegevens		
Toelaatbare treksterkte (lange duur)	$R_m, \text{ toel}$	8 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_p = p_d \cdot (re^2 + ri^2) / (re^2 - ri^2)$	$S_p$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in langsrichting t.g.v. inwendige druk		
$S_{pl}$	$S_{pl}$	0,00 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding drukloos)		
$S_q = K \times (Q_{grond} + Q_{eg} + Q_{vu} - Q_{op}) \times r_g / W_w$	$Q_{grond}$	12,21 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	7,38 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	4,65 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-4,77 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondbelasting/eg (leiding onder druk)		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' l_w))$	$f_{rr}$	1,00 voor directe belasting
<i>Reroundingeffect</i>	$S_q \text{ bodem}$	7,38 N/mm <sup>2</sup>
$S_q = S_q \times f_{rr}$	$S_q \text{ top}$	4,65 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-4,77 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding drukloos)		
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	6,24 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	-2,30 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-2,30 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	2,30 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. horizontale steundruk (leiding onder druk)		
$S_q = K \times Q_h \times r_g / W_w$	$Q_{h, grond}$	6,24 kN/m <sup>1</sup> buis
	$S_q \text{ bodem}$	-2,30 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	-2,30 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-2,30 N/mm <sup>2</sup>
Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding drukloos)		
Stootcoëfficiënt	$S$	1
Verkeersbelasting	$P_v$	1,25 kN/m <sup>2</sup>
$Q_v = P_v \times D_o \times S$	$Q_v$	0,25 kN/m <sup>1</sup> buis
$S_q = K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$	$S_q \text{ bodem}$	0,15 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ top}$	0,10 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q \text{ zijden}$	-0,10 N/mm <sup>2</sup>



<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. verkeersbelasting (leiding onder druk)</b>		
$S_q = f_{rr} \times K \times (Q_v \times f) \times r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,15 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,15 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,15 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. temperatuurverschil</b>		
$S_t = \alpha_g \cdot d_t \cdot f \cdot E'$		
	$S_t$	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. grondreacties door de verticale bochtstraal</b>		
$\lambda^2$		2,04566E-05
$M = 0.322 \cdot K \cdot (E' / R) \cdot \lambda^2 \cdot r_g$		
$S_p = f \cdot M / W_w$	$S_r$ bodem	0,48 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ top	0,21 N/mm <sup>2</sup>
	$S_r$ zijden	-0,24 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. verticale bochtstraal</b>		
$S_{rl} = (E' \cdot D) / (2 \cdot R_v)$	onder	
	$S_{rl}$	0,43 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in langsrichting t.g.v. zetting</b>		
Waarden afkomstig van een elastisch ondersteunde ligger model (waarin ix is verwerkt)		
	$S_l$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_l$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding drukloos)</b>		
Indirect over te dragen bovenbelasting		
	Q	0,00 N/mm <sup>1</sup>
$S = K \cdot Q \cdot r_g / W_w$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

<b>Spanningen in omtreksrichting t.g.v. zetting (leiding onder druk)</b>		
$f_{rr} = 1 / (1 + ((2 \times p_d \times r_g^3 \times k_y) / E' I_w))$		
<i>Reroundingeffect</i>	$f_{rr}$	1,00
$S_q = S_q \times f_{rr}$		
	$S_q$ bodem	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ top	0,00 N/mm <sup>2</sup>
	$S_q$ zijden	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Deflectie (leiding drukloos)		
Toelaatbare deflectie		
$d_{toel} = 0.08 * S * De$	16,0 mm	
	8,0 % van De	
Deflectie		
$d = D ((0.113 * Q - 0.096 * 0.866 * Q_{n,h} + 0.071 * Q_{indir}) * rg^3) / (E' * I_w + 0.061 * k_h * r_g^4)$		
Deflectionlag factor	1	IOWA toegepast
kh reken	0	
d =	9,6 mm	
	4,8 % van De	

Minimale ringstijfheid		
$SN = E * I_w / Dg^3$	12,48 kN/m <sup>2</sup>	voldoet > 0,5

Implosie		
Toelaatbare uitwendige overdruk	kortdurend	0,95 N/mm <sup>2</sup> 9,51 bar 95,10 m waterkolom
Toelaatbare uitwendige overdruk	langdurend	0,12 N/mm <sup>2</sup> 1,19 bar 11,89 m waterkolom

## TOETSINGEN

Spanningen drukloos			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting	7,38	4,65	4,77 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk	-2,30	-2,30	-2,30 N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting	0,15	0,10	0,10 N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,48	0,21	0,24 N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$	5,72	2,66	2,81 N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal	0,43	-0,43	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$	0,43	-0,43	0,00 N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur	0,00	0,00	0,00 N/mm <sup>2</sup>

Toetsing spanningen			
<i>Toetsing</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$	<b>0,28</b>	<b>-0,28</b>	<b>0,00</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	3	3	0 % < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$	<b>3,71</b>	<b>1,73</b>	<b>1,83</b> N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$	8,00	8,00	8,00 N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$	46	22	23 % < 100%

<b>Deflectie</b>	
Deflectie	4,8 % van uitwendige diameter

<b>Spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor een mantelbuis</b>			
<i>Spanningen in omtreksrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_p$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Grondbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ Steundruk			N/mm <sup>2</sup>
$S_{ver}$ Verkeersbelasting			N/mm <sup>2</sup>
$S_q$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_r$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{y,max}$			N/mm <sup>2</sup>
<i>Spanningen in langsrichting</i>	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_{pl}$ Inwendige druk			N/mm <sup>2</sup>
$S_l$ zetting			N/mm <sup>2</sup>
$S_{rl}$ elastische verticale bochtstraal			N/mm <sup>2</sup>
$S_{b,x}$			N/mm <sup>2</sup>
$S_{T;x}$ temperatuur			N/mm <sup>2</sup>

<b>Toetsing spanningen leiding onder druk: niet van toepassing voor mantelbuis</b>			
	<i>bodem</i>	<i>top</i>	<i>zijden</i>
$S_x = S_{pl} + a * i_x * S_{b,x} + S_{T;x}$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%
$S_y = S_p + a * (S_{y,max} + i_y * S_{b,x})$			N/mm <sup>2</sup>
$R_{m,toel}$			N/mm <sup>2</sup>
% $R_{m,toel}$			% < 100%



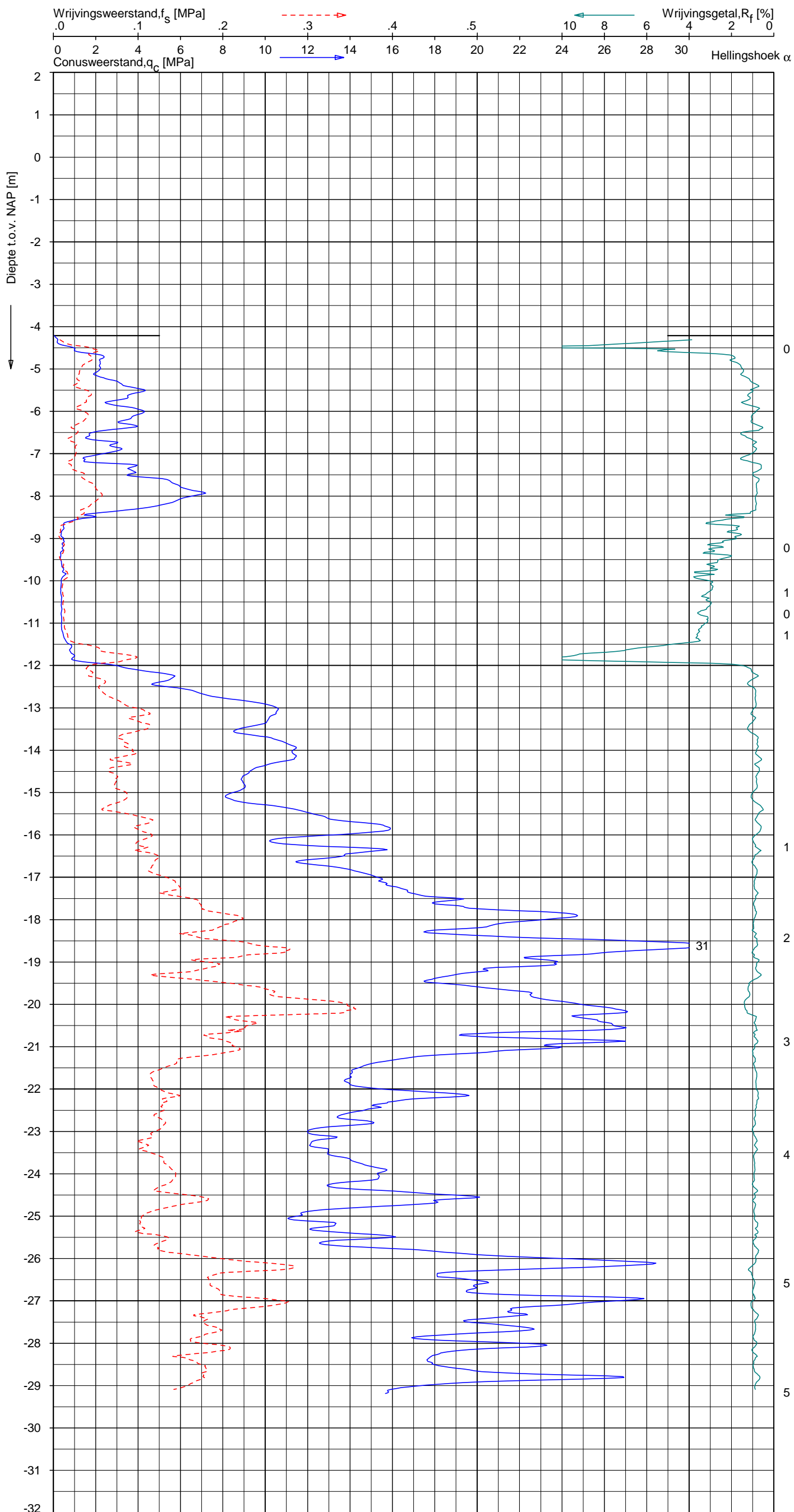
---

## 4.5 Grondonderzoek

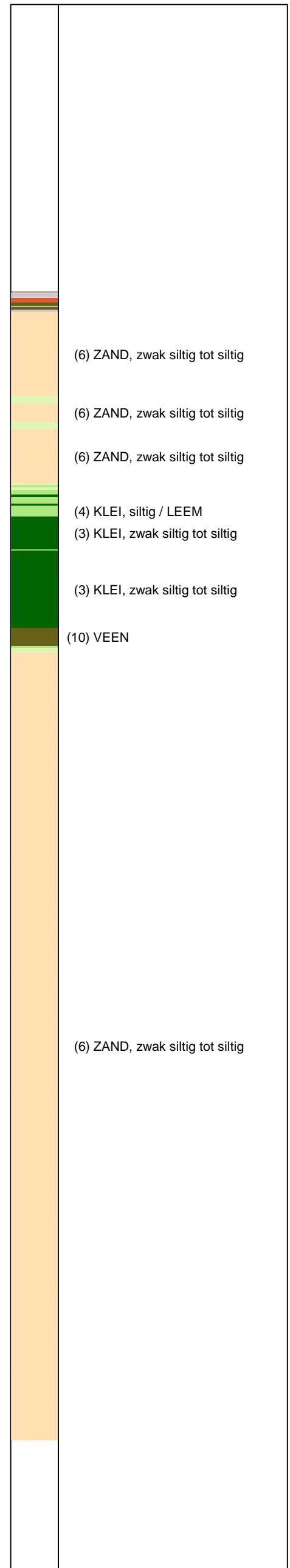
UNIPLOT 05.21.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-02-21 15:31:05

1010-0117-003

DKM1175 - 1



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



Opg. : AVS/DRD d.d. 30-Jan-2013 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 99730.7  
Get. : VALKF d.d. 2013-02-21 MV = NAP -4.21 m Y = 472703.7

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

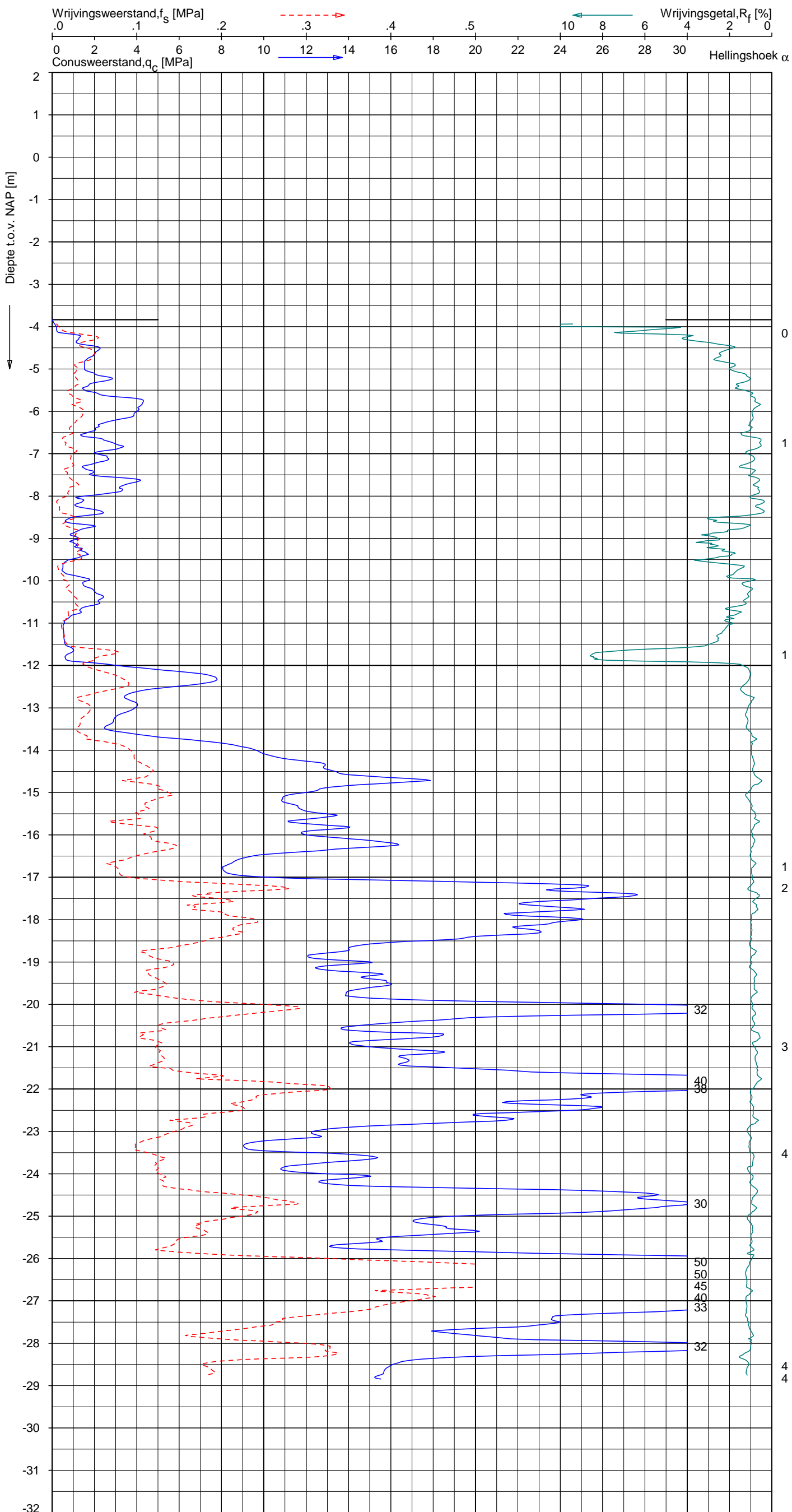
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
Sond. DKM1175

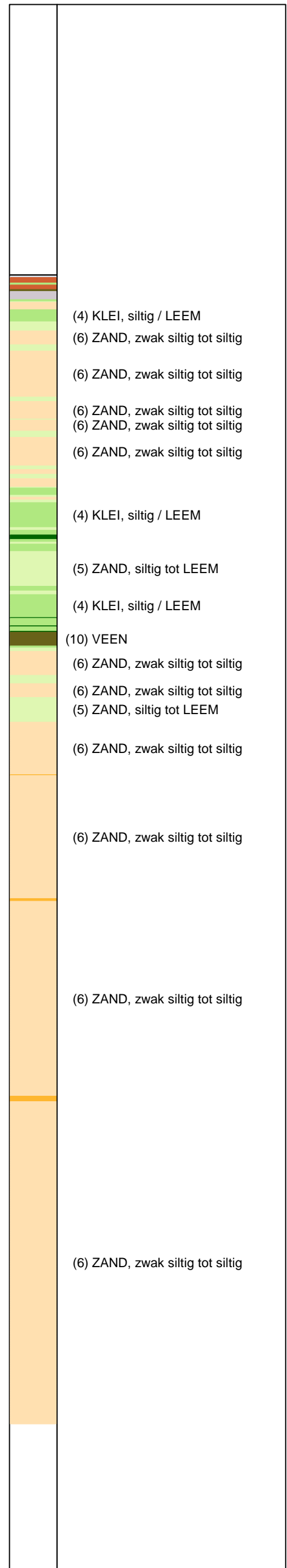
UNIPLOT 05.21.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-02-21 15:31:02

1010-0117-003

DKMP1174 - 1



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



Opg. : AVS/DRD d.d. 29-Jan-2013 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 99750.2  
 Get. : UNISTART d.d. 2013-01-30 MV = NAP -3.84 m Y = 472662.2  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



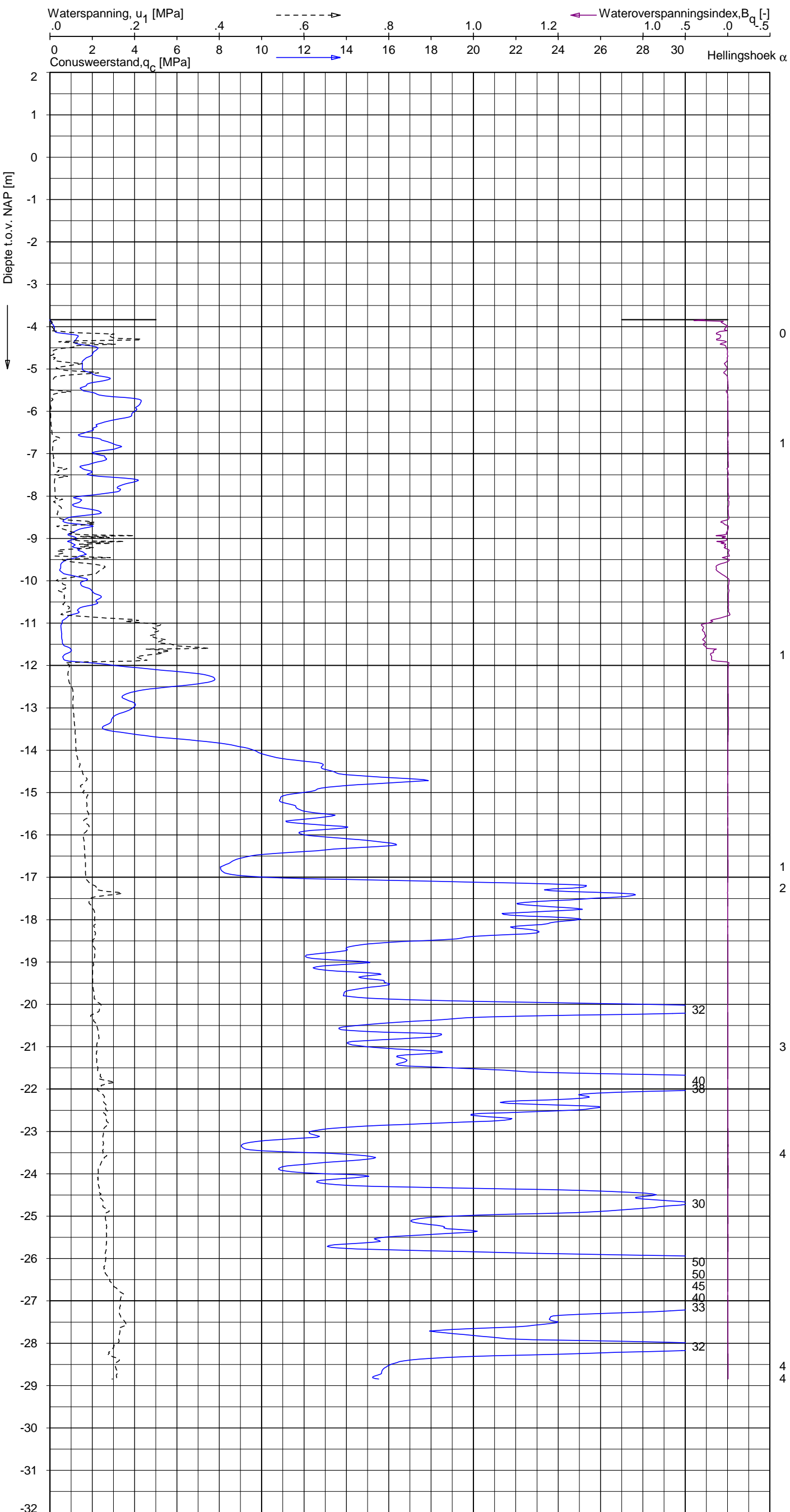
**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**  
 GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1174

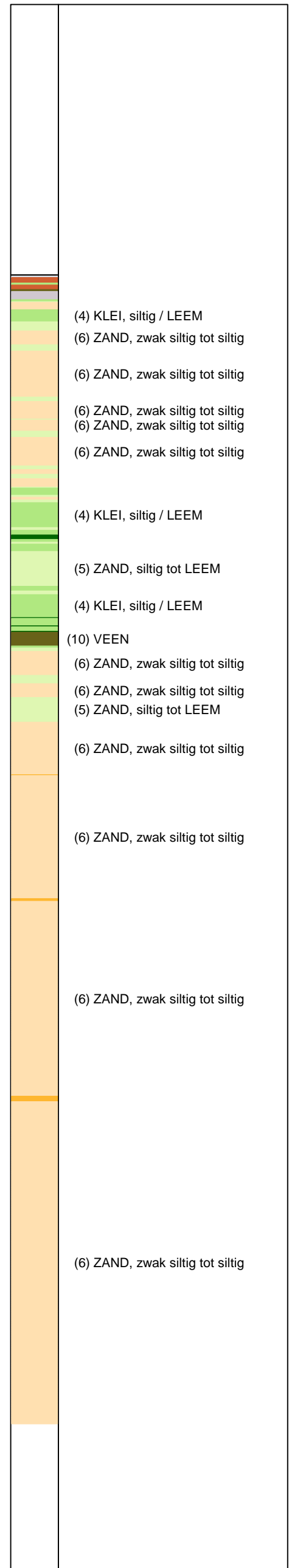
UNIPLOT 05.21.nl / QcU1Class-N3.cmd / 2013-02-21 15:33:14

1010-0117-003

DKMP1174 - 1



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



Opg.: AVS/DRD d.d. 29-Jan-2013 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 99750.2 Y = 472662.2  
 Get.: UNISTART d.d. 2013-01-30 MV = NAP -3.84 m

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

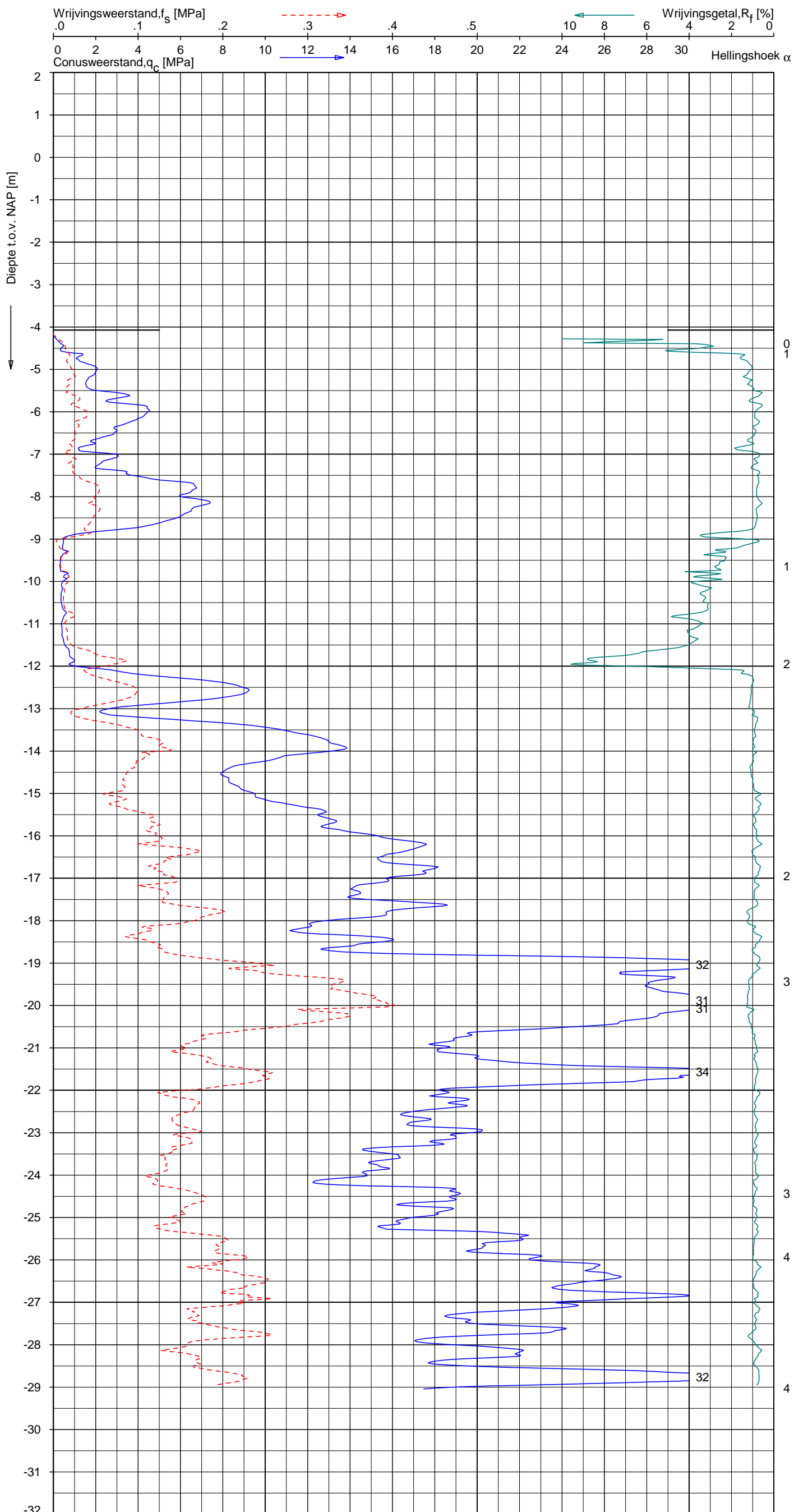
GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1174

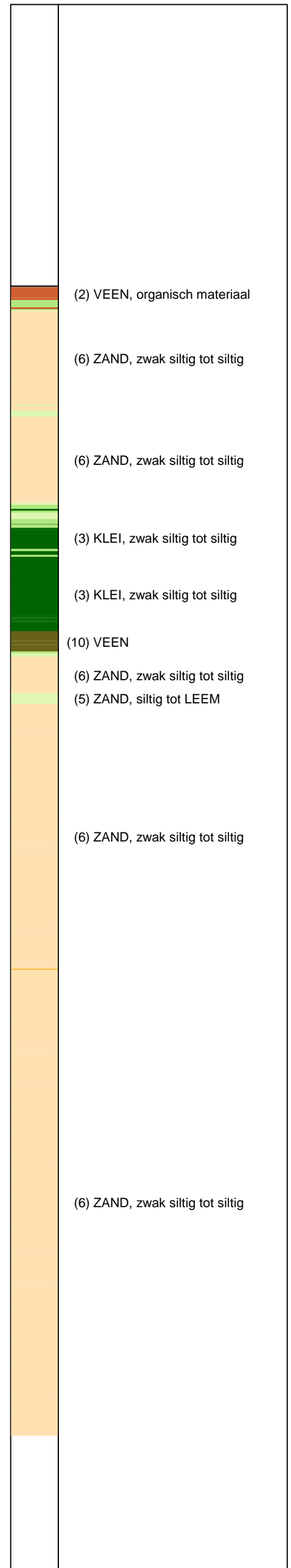
UNIPLOT 05.21.nl / QcfClass-N3.cmd / 2013-02-21 15:31:07

1010-0117-003

DKMP1176 - 1



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



Opg. : AVS/DRD d.d. 30-Jan-2013 conus : F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 99710.5  
 Get. : UNISTART d.d. 2013-01-30 MV = NAP -4.07 m Y = 472716.8  
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

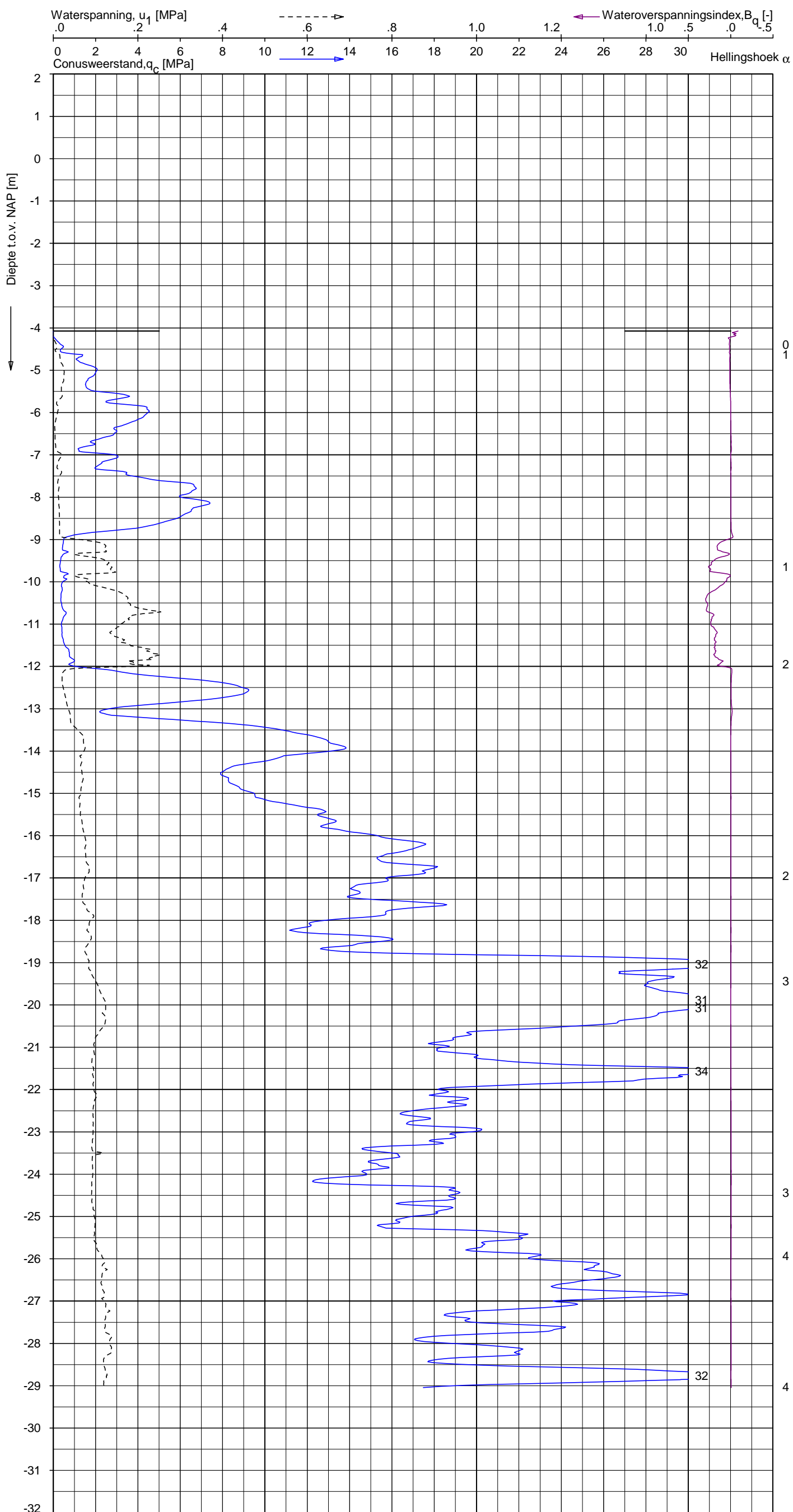
Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1176



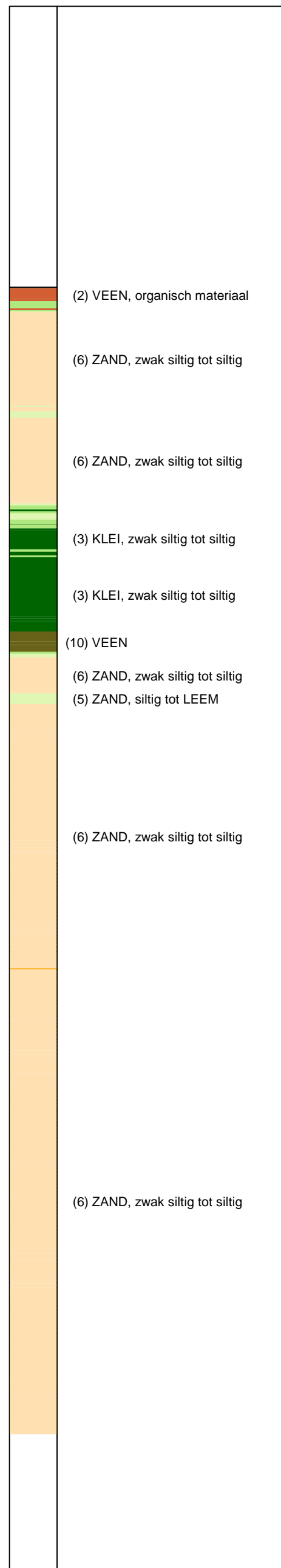
UNIPLOT 05.21.nl / QcU1Class-N3.cmd / 2013-02-21 15:33:17

1010-0117-003

DKMP1176 - 1



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



Opg.: AVS/DRD d.d. 30-Jan-2013 conus: F7.5CKE2HAW<sub>1</sub>/B P1 X = 99710.5 Y = 472716.8  
 Get.: UNISTART d.d. 2013-01-30 MV = NAP -4.07 m

Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2.  
 Conustype cilindrisch elektrisch, 1500 mm.  
 Specificaties conform bijl. Elektrisch sonderen.



**SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING**

GEOTECHNISCH ONDERZOEK PROJECT R380 NOORDRING-ZUID

Opdr. 1010-0117-003  
 Sond. DKMP1176