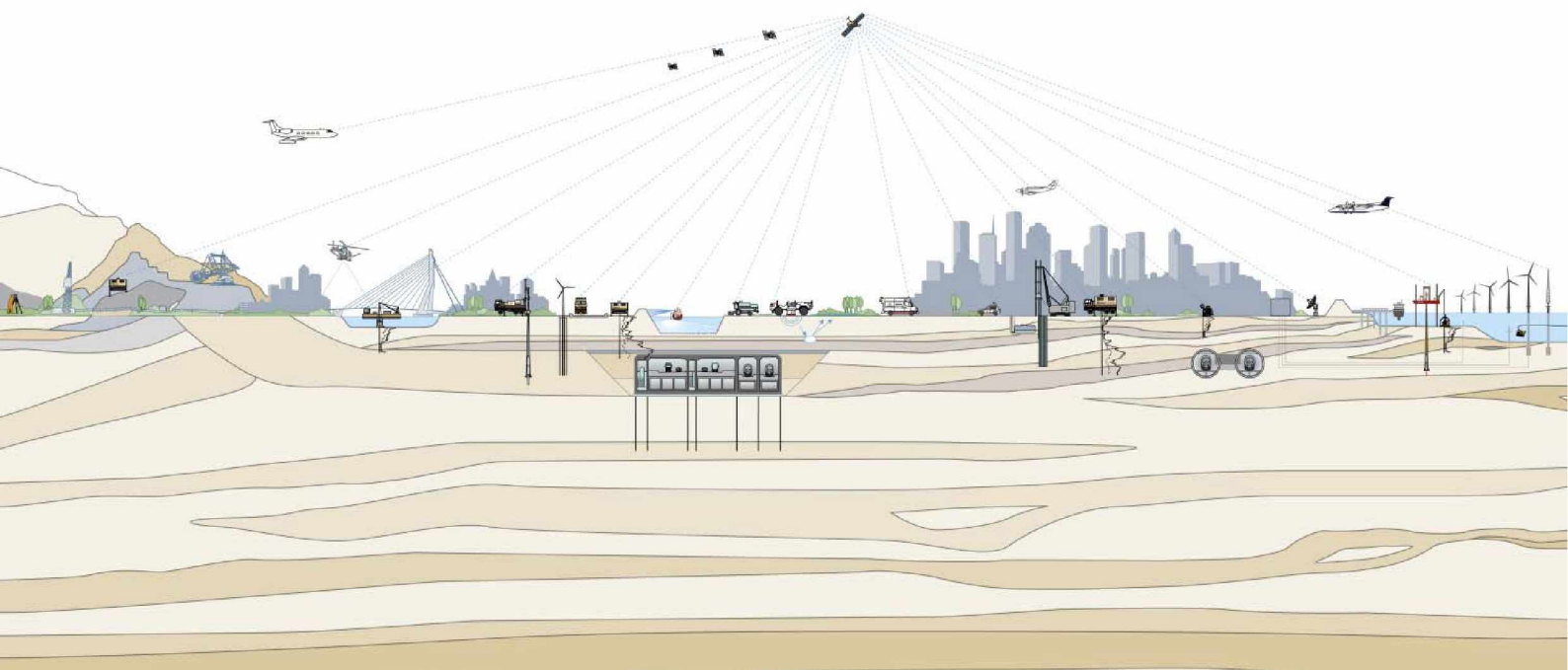


GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN
FUNDERINGSADVIES
betreffende

WILLEMSPARKWEG 220 TE AMSTERDAM

Opdrachtnummer: 1016-0552-000



GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN
FUNDERINGSADVIES
betreffende

WILLEMPARKWEG 220 TE AMSTERDAM

Opdrachtnummer: 1016-0552-000

Opdrachtgever : Bouwkundig adviesbureau HouseCheck
Max Euweplein 30 A
1017 MB Amsterdam

Datum grondonderzoek : 10 augustus 2016

Projectleider : ir. [REDACTED]
Senior Geotechnical Consultant

Opgesteld door : [REDACTED]
Adviseur Geotechniek

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	19 augustus 2016		

FILE: 1016-0552-000_31.R01

<u>INHOUDSOPGAVE</u>	<u>Blz.</u>
1. ALGEMENE TOELICHTING	1
1.1. Inleiding	1
1.2. Projectomschrijving	1
2. GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN BODEMGESTELDHEID	2
2.1. Algemeen	2
2.2. Globale bodemgesteldheid	2
2.3. Grondwaterstanden en stijghoogten	2
3. FUNDERINGSADVIES	3
3.1. Algemeen	3
3.2. Fundering op palen	3
4. UITVOERING	6
<u>BIJLAGEN</u>	<u>Nr.</u>
<u>Geotechnisch onderzoek</u>	
- Rapportage Geotechnisch Veldwerk	1016-0552-000.21_KR01
<u>Funderingsadvies</u>	
- Berekening en toetsing rekenwaarde netto draagkracht	A1
<u>Uitvoering</u>	
- "Uitvoering Heiwerk Stalen Buispalen"	

1. ALGEMENE TOELICHTING

1.1. Inleiding

Op 25 juli 2016 ontving Fugro GeoServices B.V. te Amsterdam van Bouwkundig adviesbureau HouseCheck te Amsterdam, de opdracht voor het uitvoeren van een geotechnisch grondonderzoek alsmede het uitbrengen van een funderingsadvies en een geohydrologisch advies (analyse barrièrewerking) voor het pand Willemsparkweg 220 te Amsterdam.

Dit rapport bevat:

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

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

1.2. Projectomschrijving

De bouwlocatie is gelegen aan de Willemsparkweg 220 te Amsterdam.

Het plan betreft funderingsherstel in combinatie met de aanleg van een kelder onder het bovengenoemde pand. De kelder komt hierbij te liggen op PEIL -2,81 m (ca. NAP -2,5 m).

Bovenstaande gegevens zijn door de opdrachtgever verstrekt.

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

2. GEOTECHNISCH ONDERZOEK EN BODEMGESTELDHEID

2.1. Algemeen

Het grondonderzoek voor dit project heeft bestaan uit 3 diepsonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand (code DKM) tot circa 25 m diepte en een boring met peilbuis. Hierbij is, wegens een obstakel in de bodem, DKM2 niet geheel op diepte gekomen en na verplaatsing opnieuw uitgevoerd.

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

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

2.2. Globale bodemgesteldheid

De maaiveldniveaus ter plaatse van de sondeerlocaties varieerden ten tijde van het onderzoek van NAP +0,33 m tot NAP +0,22 m.

De globale bodemgesteldheid is naast de sondeergrafieken weergegeven.

2.3. Grondwaterstanden en stijghoogten

Bij de draagkrachtberekening is, op basis van peilbuisgegevens van Waternet in de directe omgeving de grondwaterstand aangehouden op NAP-1,8 m. Deze grondwaterstand is slechts bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd fluctueren onder invloed van weersgesteldheid en de seizoenen.

3. FUNDERINGSADVIES

3.1. Algemeen

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

Op verzoek van de constructeur is uitgegaan van de toepassing van inwendig geheide stalen buispalen. Deze funderingsoplossing is in paragraaf 3.2 nader uitgewerkt.

Doorgaans kunnen inwendig geheide stalen buispalen worden aangemerkt als een trillingsarm paalsysteem. De mate waarin trillingen optreden is echter afhankelijk van de gekozen paaldiameter en paalpuntniveau. Zo zal de toepassing van een relatief grote paaldiameter en/of een relatief diep paalpuntniveau in het draagkrachtige zandpakket meer trillingen opwekken dan een relatief kleine paaldiameter en/of een relatief ondiep paalpuntniveau. Teneinde de kans op gevolgschade door trillingen te beperken wordt bij de toepassing van inwendig geheide stalen buispalen geadviseerd te streven naar een zo hoog mogelijk paalpuntniveau. Om nazakkingen van de bestaande palen te voorkomen dient in ieder geval te worden gestreefd naar een paalpuntniveau gelijk aan of hoger dan dat van de bestaande palen.

Bij het opstellen van het advies is ervan uitgegaan dat geen trillingsgevoelige bebouwing in de nabije omgeving aanwezig is. Indien dit het geval is, dient te worden overwogen een trillingsvrij paalsysteem toe te passen teneinde gevolgschade tijdens het heien te voorkomen.

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

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

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

3.2. Fundering op palen

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

- De rekenwaarde (UGT) voor de paalbelastingen vanuit de constructie ($F_{c,d}$) bedraagt maximaal 577 kN;
- PEIL \approx maaiveld = ca. NAP +0,3 m;
- Het terrein zal t.b.v. de aan te leggen kelder worden ontgraven tot PEIL -2,805 m, wat overeenkomt met ca. NAP -2,5 m.

Voor het funderingsadvies is voor op druk belaste inwendig geheide stalen buispalen op geadviseerde paalpuntniveaus de rekenwaarde van de draagkracht van de palen bepaald. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in tabel 3-1.

tabel 3-1: Paalpuntniveaus en rekenwaarden van de paal draagkracht

Sondering nr.	Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP	Paalpuntniveau in m t.o.v. NAP	$R_{net,d}$ in kN
			Stalen buispaal, geheid, gesloten punt Ø 219 mm
DKM1	0,33	-18,5	350
		-19,0	480
		-19,5	530
DKM2A	0,31	-18,5	410
		-19,0	460
		-19,5	460

Opmerkingen bij de tabel:

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

Opgemerkt dient te worden dat de gewenste draagkracht van 577 niet gehaald wordt op de in de tabel geadviseerde paalpuntniveaus. Vanwege het risico op zwaar heikwerk en/of trillingshinder aan de omgeving, wordt dieper heien dat dan NAP -19,5 m of de toepassing van stalen buispalen Ø 273 mm naar genoemde niveaus niet aangeraden.

Geadviseerd wordt de belasting te reduceren. Indien dit niet mogelijk is, wordt geadviseerd een trillingsvrij paalsysteem toe te passen.

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

Bij stalen buispalen met een voetplaat is bij de berekening van de draagkracht ervan uitgegaan dat de diameter van de voetplaat niet noemenswaardig groter is dan de schachtdiameter.

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

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

- Het project is geplaatst in geotechnische categorie 2.
- Omdat in dit stadium van het ontwerp de stijfheid van de constructie nog niet exact bekend is, is de stijfheid van de constructie niet in rekening gebracht. Volgens tabel A.10a van NEN 9997-1 is voor de factoren ξ_3 en ξ_4 een waarde van 1,39 gehanteerd.
- In verband met de uitvoering van ontgravingen tot een niveau van ca. NAP -2,5 m zijn de gemeten conusweerstand gereduceerd conform 7.6.2.3(k) van NEN 9997-1.

- Bij de draagkrachtberekeningen zijn de volgende paalfactoren aangehouden;
 $\alpha_p = 1,0$
 $\alpha_s = 0,010$
 $\beta = 1,0$
 $s = 1,0$
- Toetsing volgens de UGT type B houdt in dat voldaan moet worden aan:
 $F_{c;d} \leq (R_{c;d} - F_{nk;d})$. De vervormingsgrenstoestanden zijn, gezien de zeer geringe zakking van de palen onder invloed van de belasting, niet maatgevend.
- Bij de draagkracht berekening is de positieve schachtwrijving van de 1^e en tussenlaag gereduceerd tot 4 MPa.

RAPPORTAGE GEOTECHNISCH VELDWERK

Project	Willemsparkweg 220 te Amsterdam	Opdrachtnummer	1016-0552-000
Opdrachtgever	HouseCheck Max Euweplein 30 A 1017 MB Amserdam	Datum rapportage	24 augustus 2016
		Uitvoeringsperiode	10 augustus 2016
Opgesteld door	G. Hofstede		
Gecontroleerd door	[REDACTED]		
Projectleider	ir. [REDACTED]		
Documentnaam	1016-0552-000_21.KR01.doc		

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

Tot deze rapportage behoren de volgende bijlagen:

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

1. GEOTECHNISCH VELDWERK

Het geotechnisch veldwerk voor dit project heeft bestaan uit:

- 3 sonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand;
- 1 handboring, inclusief het plaatsen van een peilbuis.

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

2. COORDINATEN EN HOOGTE VAN ONDERZOEKSPUNTEN

De hoogte en de coördinaten van de onderzoekslocaties zijn bepaald in NAP en RD. De maximale afwijking van de meting van de coördinaten bedraagt 10 cm, de maximale afwijking van de meting van de hoogte bedraagt 5 cm.

Tijdens de uitvoering van het onderzoek is een nabijgelegen put ingemeten. De locatie met betreffende NAP-hoogte is aangegeven op de situatietekening.

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

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

3. SONDEREN

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

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

In verband met de mogelijke aanwezigheid van kabels en leidingen is ter plaatse van de sondeerlocaties voorgeboord.

4. BOREN

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

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

De in het boorgat geïnstalleerde peilbuis is geplaatst conform NEN-EN-ISO 22475-1. De filterdiepte, omstorting en afdichting zijn aangegeven op de betreffende boorstaat. De boring met peilbuis is met bijbehorend symbool aangegeven op de situatietekening.

5. (GROND)WATERSTAND

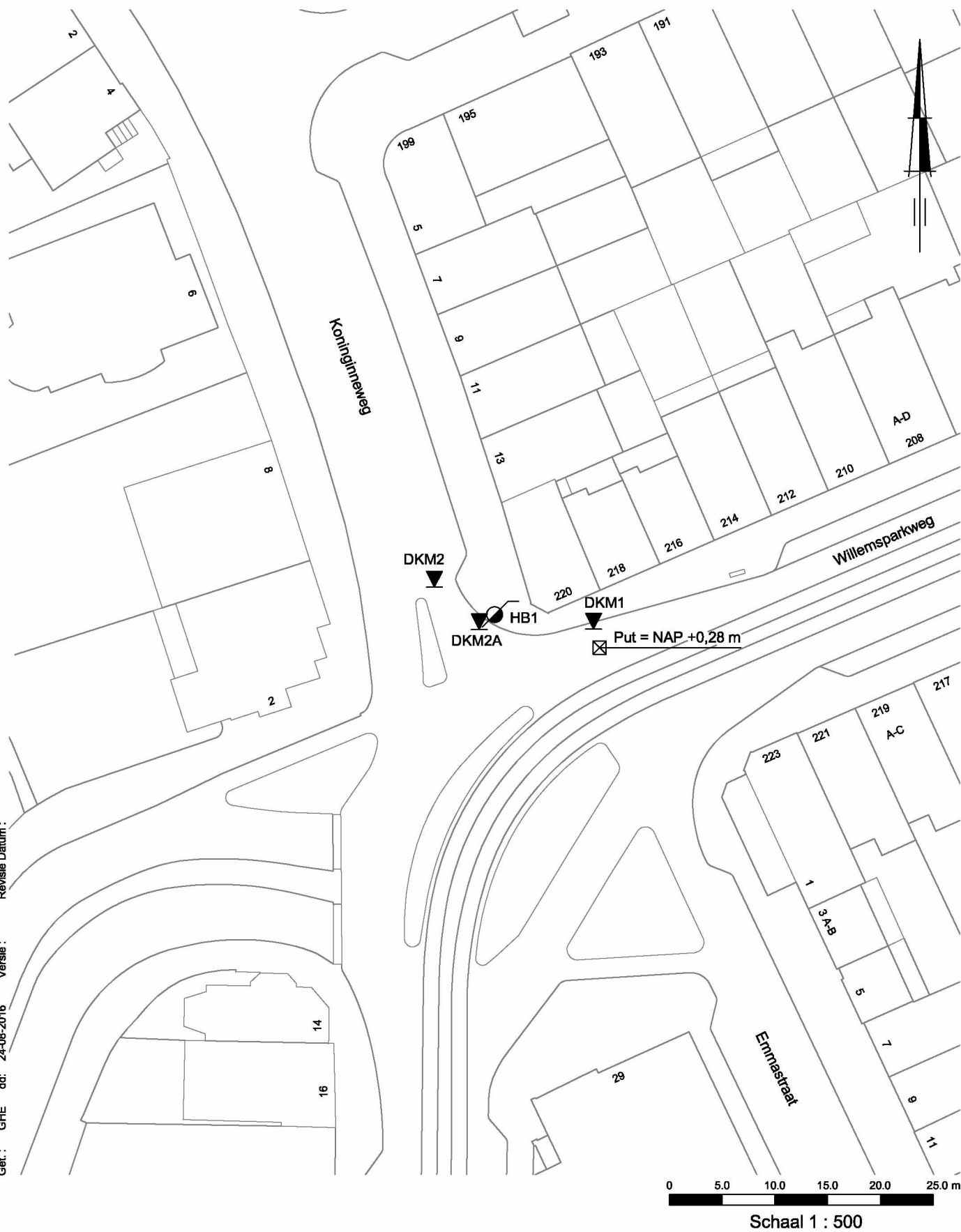
Tijdens de uitvoering van het grondonderzoek is de grondwaterstand in de peilbuis aangetroffen op 2,7 m beneden maaiveld, hetgeen overeenkomt met circa NAP -2,4 m. Deze grondwaterstand is een eenmalige opname en bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd fluctueren onder invloed van de weersgesteldheid en de seizoenen.

6. KWALITEITSBORGING

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

\\fsgbv-fs01.fugro.nl.local\FGSBV-data\Projecten\10\1016-0552-000\21_Uitvoering_terreinonderzoek\1016-0552-000.dwg

Get.: GHE dd: 24-08-2016 Versie: Revisie Datum:

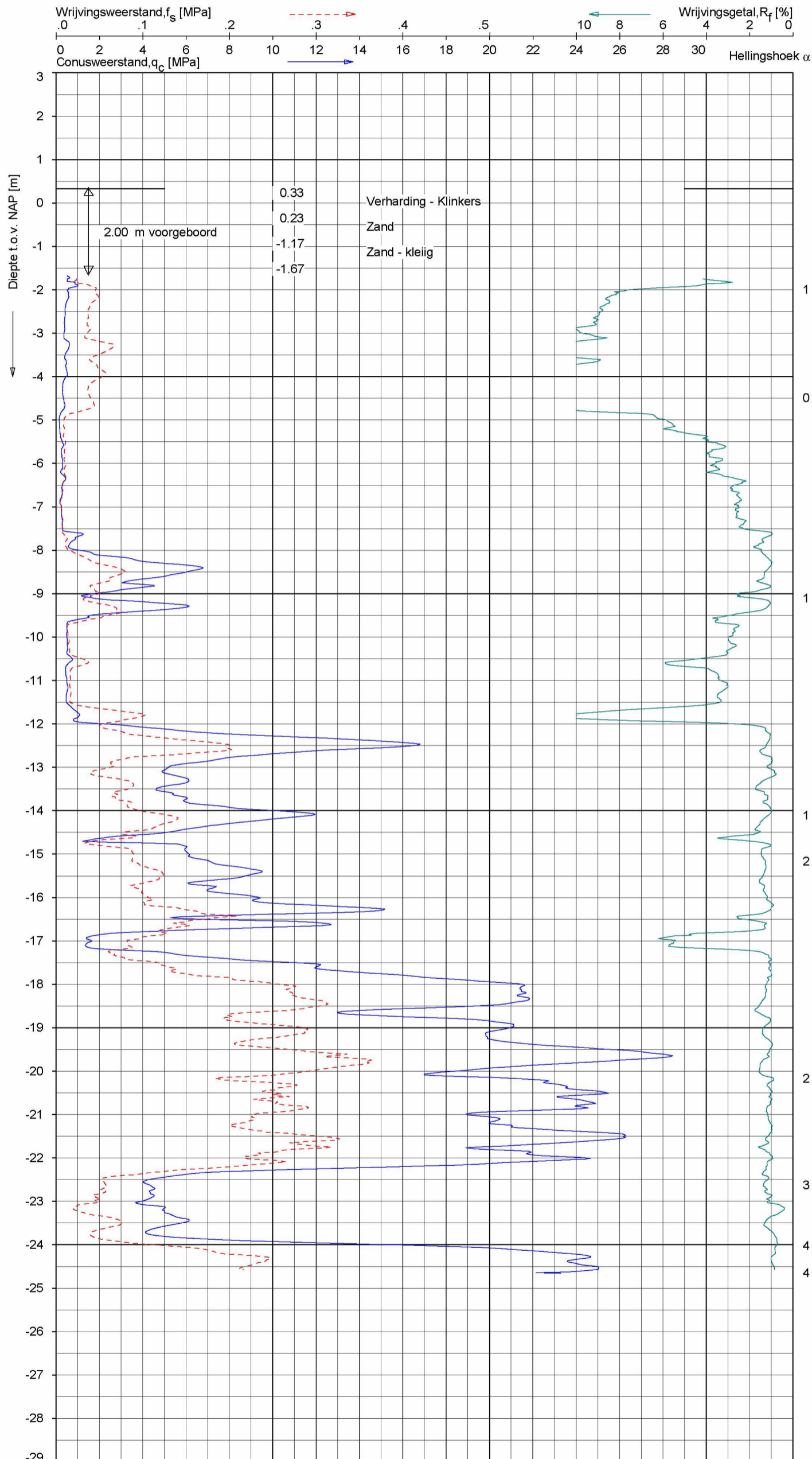


SITUATIE

WILLEMSPARKWEG 220 TE AMSTERDAM

Opdr.: 1016-0552-000

Bijl.: 1



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

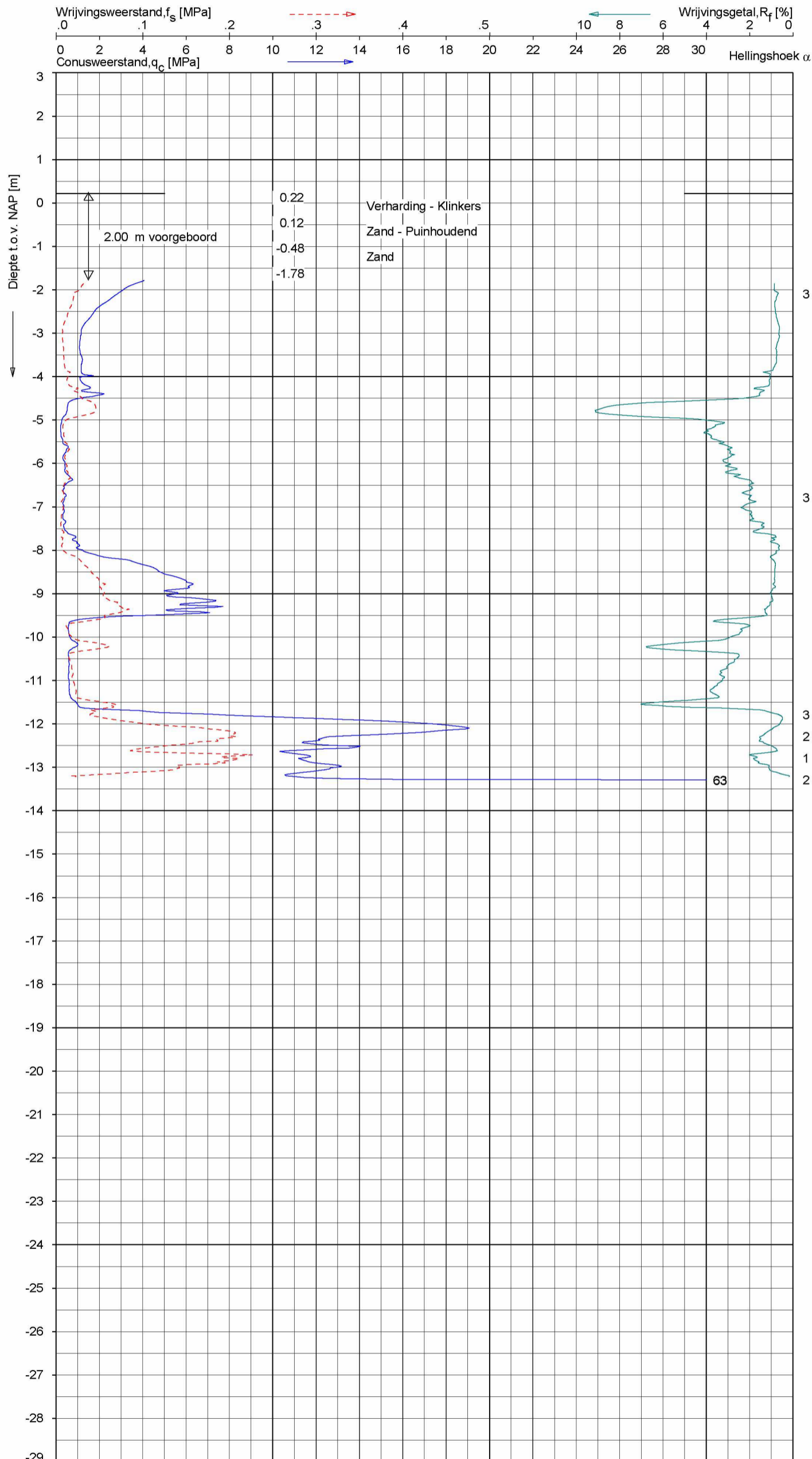


Opg.: DRD/JBL d.d. 10-aug-2016 Coord.: X=119636.5m Y=485403.1m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: NIKKELSU d.d. 15-aug-2016 MV = NAP +0.33 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2624 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
 Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

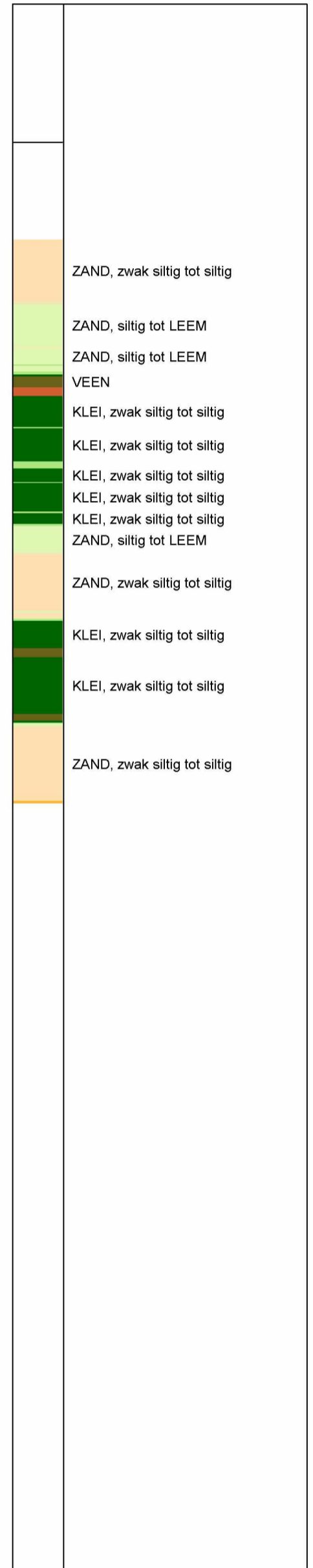
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

WILLEMSPARKWEG 220 TE AMSTERDAM

Opdr. 1016-0552-000
 Sond. DKM1



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

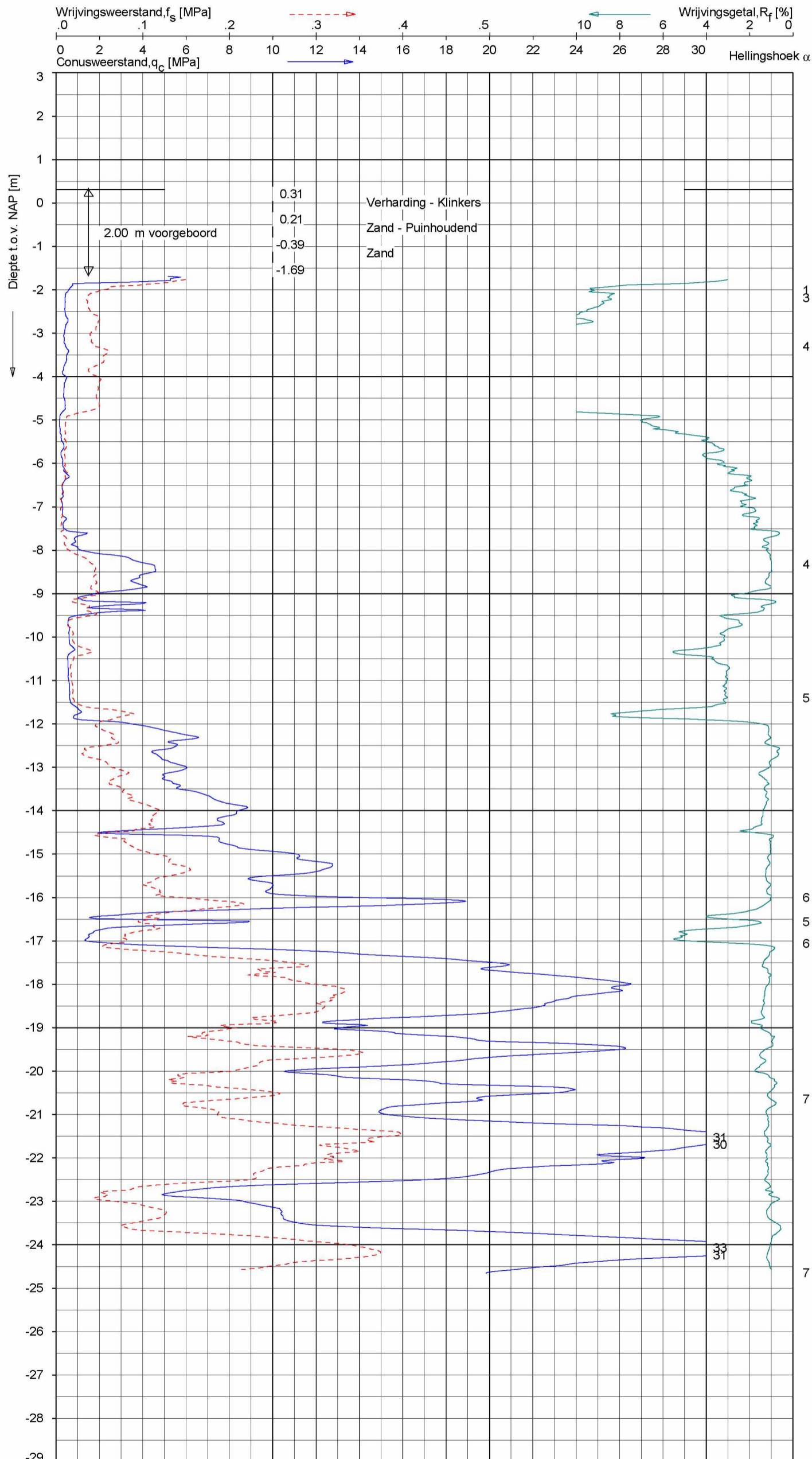


Opg.: DRD/JBL d.d. 10-aug-2016 Coord.: X=119621.4m Y= 485407.1 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: NIKKELSU d.d. 15-aug-2016 MV = NAP +0.22 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2624 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
 Conustype: A_c = 1510mm²; A_s = 19895mm²

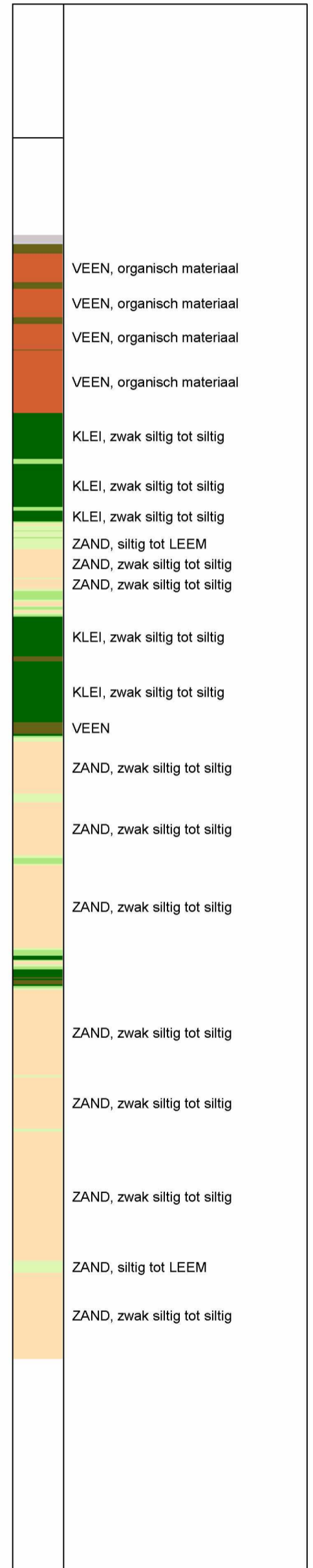
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

WILLEMSPARKWEG 220 TE AMSTERDAM

Opdr. 1016-0552-000
 Sond. DKM2



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



Opg.: DRD/JBL d.d. 10-aug-2016 Coord.: X=119625.6m Y= 485403.1 m Systeem: RD
 Get.: NIKKELSU d.d. 15-aug-2016 MV = NAP +0.31 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2624
 Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
 Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

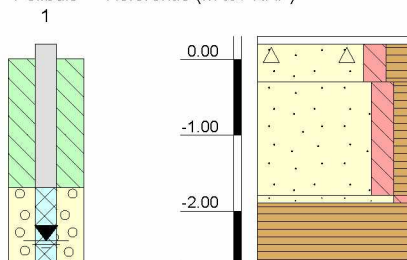
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

WILLEMSPARKWEG 220 TE AMSTERDAM

Opdr. 1016-0552-000
 Sond. DKM2A

Boring: HB1

Peilbuis 1 Referentie (m tov NAP)



Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104

0.31 tot 0.21	Verharding, tegel
0.21 tot -0.29	Zand, matig fijn, matig siltig, matig humeus, resten puin grijs-bruin
-0.29 tot -1.79	Zand, matig fijn, matig siltig, zwak humeus grijs
-1.79 tot -1.89	Zand, matig fijn, zwak siltig grijs
-1.89 tot -2.69	Veen, mineraalarm, stevig bruin

Algemene opmerking:

X: 119625.6

GWS (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 0.31

Boorloeistof:

Datum uitvoering: 15-05-2016

Y: 485403.1

GHG (m tov NAP):

bk PB1 (m tov NAP): 0.21

WS PB1 (m tov NAP): -2.39

Boormeester: ahd

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP):

WS PB2 (m tov NAP):

Geclassificeerd door:

bk PB3 (m tov NAP):

WS PB3 (m tov NAP):

bk PB4 (m tov NAP):

WS PB4 (m tov NAP):

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Fugro GeoServices B.V.

Willemsparkweg 220 te Amsterdam

1016-0552-000

Meettechniek

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

Bij het uitvoeren van een sondering conform *NEN-EN-ISO 22476-1:2012/C1:2013* wordt de puntweerstand gemeten, die moet worden overwonnen om een conus met een tophoek van 60° en een basisoppervlak van 1000 mm² met een constante snelheid van ca 20 mm/s in de bodem te drukken. Voor de meting van de wrijvingsweerstand is een mantel met een oppervlak van 15000 mm² boven de punt aangebracht. De druk op de conuspunt (conusweerstand in MPa) en de wrijving langs de kleefmantel (plaatselijke wrijvingsweerstand in MPa) worden door rekstroken in de conus continu digitaal gemeten. Volgens *NEN-EN-ISO 22476-1* mag het basisoppervlak van de conus tussen 500 en 2000 mm² variëren zonder dat correctiefactoren op de meetresultaten moeten worden toegepast. Fugro sonderingen worden standaard uitgevoerd met een sondeerconus met een basisoppervlak van 1500 mm² en een manteloppervlak van 20000 mm².

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

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

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

Interpretatie van de sonderingen met plaatselijke wrijvingsweerstand

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

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

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

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

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

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

Presentatie sondeergegevens

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

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

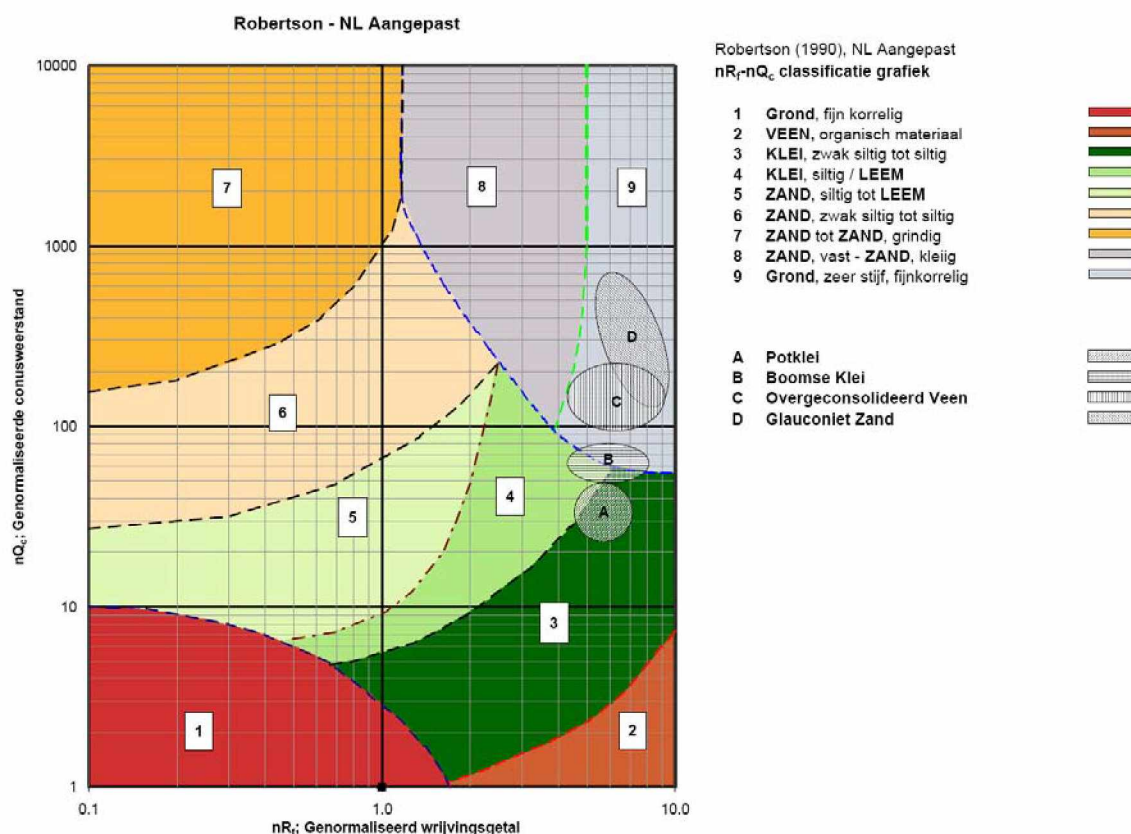
Genormaliseerde conusweerstand:
$$nQ_c = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

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

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

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

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



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

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

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

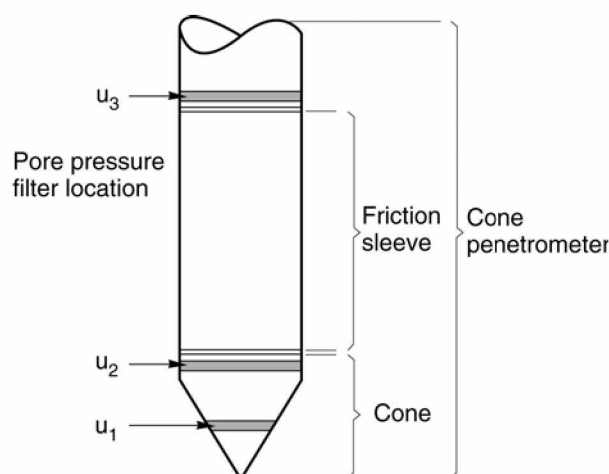
Andere conustypen

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

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

Waterspanningssonderingen

Naast registratie van conusweerstand en plaatselijke wrijvingsweerstand wordt bij een groot deel van de sonderingen waterspanning geregistreerd. Een waterspanningsconus (*piëzo-conus*) is voorzien van een ingebouwde druksensor, waarmee de waterdruk tijdens het sonderen wordt gemeten. Een filter voorkomt het contact van grond met de druksensor. De waterdruk kan op drie locaties in de conus worden gemeten waarbij de posities u_1 en u_2 veelvuldig voorkomen (zie figuur 1). Positie u_3 wordt zelden toegepast. Slechts een kleine hoeveelheid water ($0,2 \text{ mm}^3$) is nodig om een nauwkeurige waterdruk te meten. Het meetbereik kan worden gekozen afhankelijk van de te verwachten wateroverspanning. In stijve kleien kan deze oplopen tot meer dan 3 MPa.



Figuur 1 Principe piëzo-conus

Uitvoeringswijze

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

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

Interpretatie

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

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

Bij de interpretatie speelt met name de wateroverspanning een rol, dat wil zeggen de verhoging van de waterspanning die door het indrukken van de conus ontstaan is. Dunne cohesieve laagjes in een zandpakket en dunne zandlaagjes in een kleipakket, die in de conusweerstand en de plaatselijke wrijvingsweerstand door uitmiddeling niet of slecht zichtbaar zijn, kunnen goed worden gedetecteerd aan de hand van de water(over)spanningen, die door het sonderen ontstaan. Deze laagjes kunnen van groot belang zijn voor het zettingsgedrag van funderingen en voor de verticale (on)doorlatendheid van de grond.

Verder kunnen met de piëzo-conus, met name via de u_1 -meting, sterk gelaagde structuren van zand en klei onderscheiden worden van homogene lagen hetgeen op basis van conusweerstand en plaatselijke wrijving in de meeste gevallen niet lukt. Aangetoond is dat het detectievermogen van de u_1 -meting veel hoger is dan van de u_2 -meting.

Wateroverspanningindex B_q

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

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

waarin:

- β = factor voor de verschillende grondsoorten voor omrekening van u_1 naar u_2 ; standaard wordt hiervoor aangehouden 0,8, zijnde normaal geconsolideerde kleien (zie hierna volgende tabel);
- q_{net} = $q_t - \sigma_{v0}$ = netto conusweerstand;
- q_t = $q_c + (1-a) \cdot \{\beta \cdot (u_1 - u_0) + u_0\}$ voor een filter in de conuspunt;
- q_t = $q_c + (1-a) \cdot u_2$ voor een filter direct achter de conuspunt;
- σ_{v0} = de verticale grondspanning; standaard wordt hierbij uitgegaan van een gemiddeld volumiek gewicht van de bodemlagen van 14 kN/m^3 en een grondwaterstand op 1 m beneden maaiveld;
- a = netto oppervlakteverhoudingscoëfficiënt van de conus i.v.m. de spleet achter de conuspunt;
- u_1 = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing *in* de punt;
- u_2 = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing *achter* de punt;
- u_0 = de hydrostatische stijghoogte; standaard wordt hiervoor in de berekening een niveau uitgegaan van 1 m beneden maaiveld.

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

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

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

Dissipatietest

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

In doorlatende gronden geeft de dissipatietest een goed beeld van de heersende hydrostatische waterspanning en daarmee van de stijghoogte. Het betreft slechts een indicatie aangezien de meetnauwkeurigheid beperkt is. Door het uitvoeren van meerdere metingen in een grondlaag en de gemiddelde waarde van de stijghoogte te bepalen kan een beduidend hogere nauwkeurigheid worden behaald. Ervaring leert dat de onnauwkeurigheid circa 0,5 m bedraagt. Voor een meer nauwkeurige bepaling en de optredende fluctuaties zijn peilbuismetingen over een langere waarnemingsperiode nodig, afhankelijk van het doel.

In slecht doorlatende, cohesieve lagen kan met behulp van de dissipatietest een indicatie van de consolidatiecoëfficiënt en daarmee van de verticale (on)doorlatendheid worden verkregen. Hierbij dient de dissipatietest te worden voortgezet totdat de wateroverspanning tenminste met 50 % is afgenomen. In de praktijk komt dat in zand overeen met circa 1/2 uur à 3/4 uur. Uit berekeningen en kwalitatieve vergelijking van de metingen wordt inzicht verkregen in het consolidatiegedrag van de grond. Voor het vaststellen van de heersende hydrostatische waterspanning in kleilagen is de dissipatietest in de meeste gevallen weinig geschikt, vanwege de benodigde lange aanpassingstijd en de onnauwkeurigheid.

Klassenindeling EN-ISO 22476-1

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

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

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

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

Voor projecten, waarbij parameters op basis van Tabel 2.b NEN 9997-1 worden afgeleid, is een hoge nauwkeurigheidsklasse gewenst. Het is echter in een bodemgesteldheid met zowel zeer slappe grondlagen als zeer vaste zandlagen met hoge conusweerstand onmogelijk om aan de eisen van toepassing klasse 1 voldoen zoals ook blijkt uit de bovenstaande tabel. Het bij Fugro gehanteerde meetsysteem voor sonderen is bijzonder nauwkeurig door toepassing van digitale conussen, strikte kwaliteitscontroles en calibraties. In de praktijk is gebleken dat standaard Fugro sonderingen in de nieuwe norm voor het overgrote deel (>95%) in toepassingsklasse 2 vallen. Sonderingen volgens toepassingsklasse 3 in de nieuwe norm zijn vergelijkbaar met sonderingen volgens klasse 2 van de oude NEN 5140.

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

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

Klassenindeling NEN 5140

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

klasse	Meetgrootheid	toelaatbare meetonzekerheid	meetinterval
1	Conusweerstand	0,05 MPa of 3%	20 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,01 MPa of 10%	
	Helling	2°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 1 %	
2	Conusweerstand	0,25 MPa of 5%	50 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 15%	
	Helling	2°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 2 %	
3	Conusweerstand	0,5 MPa of 5%	100 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 20%	
	Helling	5°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 2 %	
4	Conusweerstand	0,5 MPa of 5%	100 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 20%	
	Sondeerlengte	0,1 m of 1%	

Opmerking: De toelaatbare meetonzekerheid is de grotere waarde van de absolute meetonzekerheid en de relatieve meetonzekerheid. De relatieve meetonzekerheid geldt voor de meetwaarde en niet voor het meetbereik.

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

LEGENDA TERREINPROEVEN EN GRONDSOORTEN

Boringen / Peilbuizen

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

Overige symbolen

- Meetpunt
- Hoogtemaat

Type sonderingen

- D Diepsondering
- HS Handsondering
- S Slagsondering

Legenda / Terminologie

Grind

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

Zand

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

Veen

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

Klei

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

Leem

- Leem, zwak zandig
- Leem, sterk zandig

Overige toevoegingen

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

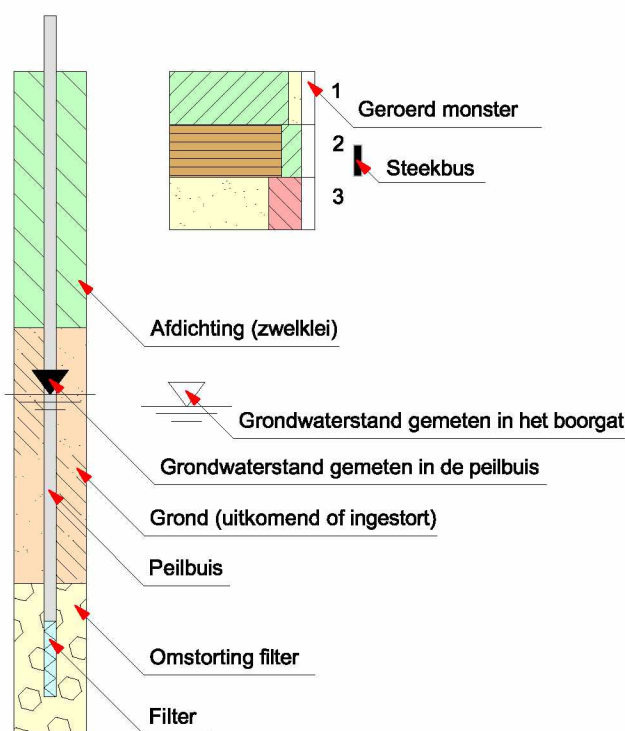
Sonderingen

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

Toegevoegde metingen

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

Peilbuis



4. UITVOERING

De stalen buispalen dienen te worden geïnstalleerd door een gerenommeerd, in dit paaltype gespecialiseerd bedrijf, conform KIWA beoordelingsrichtlijn BRL 1710 1996-07-01 "Het aanbrengen van stalen buissegmentpalen". Toezicht dient plaats te vinden op basis van CUR Aanbeveling 114 "Toezicht op de realisatie van paalfunderingen".

Voor informatie en aanbevelingen met betrekking tot de wijze van uitvoering wordt verwezen naar de bijlage "Uitvoering Heiwerk Stalen Buispalen".

Uitgangspunten

- gehanteerde sondering : DKM1
- paaltype : Stalen buispaal, geheid, gesloten punt
- paalpuntniveau : NAP -19,50 m
- schachtdiameter : Ø 219 mm
- puntafmeting : Ø 219 mm

Reductie conusweerstand

In verband met de voorziene ontgraving tot -1 m zijn de conusweerstand in overeenstemming met 7.6.2.3(k) van NEN 9997-1 gereduceerd, uitgaande van een trillingsarme paalinstallatie.

Maximale draagkracht van de paalpunt

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

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

$$= 14,9 \text{ MPa. } (\leq 15 \text{ MPa, limietwaarde conform NEN 9997-1})$$

waarin:

$q_{c,I,gem}$	= de gemiddelde waarde van de gereduceerde conusweerstand over traject I (0,7 à 4 x D_{eq} onder de punt)	19,9	MPa
$q_{c,II,gem}$	= de minimale waarde van de gereduceerde conusweerstand over traject II (0,7 à 4 x D_{eq} onder de punt)	14,6	MPa
$q_{c,III,gem}$	= de gemiddelde minimale waarde van de gereduceerde conusweerstand over traject III (8 x D_{eq} boven de punt)	12,6	MPa
α_p	= paalklassefactor (tabel 7.c, NEN 9997-1)	1,0	-
β	= factor voor de paalvoetvorm	1,0	-
s	= factor voor de vorm van de dwarsdoorsnede van de paalvoet	1,0	-

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

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

$$= 562 \text{ kN}$$

waarin:

A_{punt}	= oppervlak van de paalvoet	0,0377	m ²
------------	-----------------------------	--------	----------------

Maximale paalschachtwrijving

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

$$q_{s;\max} = \alpha_s \cdot q_{c;z;a} = 0,063 \text{ MPa}$$

waarin: in dit geval:

α_s	= factor voor de invloed van de uitvoering en het paaltype (tabel 7.c, NEN 9997-1)	0,010 -
$q_{c;z;a}$	= de gemiddelde waarde van de gereduceerde conusweerstand over het traject waarover schachtwrijving wordt berekend	6,3 MPa

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

$$R_{s;\text{cal};\max;i} = O_{s;\Delta L;\text{gem}} \cdot \Delta L \cdot q_{s;\max} = 326 \text{ kN}$$

waarin: in dit geval:

$O_{s;\Delta L;\text{gem}}$	= gemiddelde omtrek van de paalschacht	0,688 m
ΔL	= traject voor berekening schachtwrijving	7,5 m

Maximale draagkracht

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

$$R_{c;\text{cal}} = R_{b;\text{cal};\max;i} + R_{s;\text{cal};\max;i} = 888 \text{ kN}$$

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

$$R_{c;k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;\text{cal}})_{\text{gem}}}{\xi_3} ; \frac{(R_{c;\text{cal}})_{\text{min}}}{\xi_4} \right\} = 638 \text{ kN}$$

waarin: in dit geval:

ξ_3	= correlatiefactor volgens tabel A.10a van NEN 9997-1	1,39 -
ξ_4	= correlatiefactor volgens tabel A.10a van NEN 9997-1	1,39 -

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

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_R = 532 \text{ kN}$$

waarin: in dit geval:

γ_R	= $\gamma_b = \gamma_s$ = partiële factor volgens tabel A.6 t/m A.8 van NEN 9997-1	1,2 -
------------	---	-------

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

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

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

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

waarin:		in dit geval:
$F_{c;d}$	= rekenwaarde van de belasting in kN	
$F_{nk;d}$	= rekenwaarde van de negatieve kleefbelasting	nihil
$R_{c;d}$	= rekenwaarde van de maximale draagkracht van de paal	530 kN

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

Bovenstaande formule kan worden bewerkt tot de volgende voorwaarde:

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

waarin:		in dit geval:
$R_{c;net;d}$	= $R_{c;d} - F_{nk;d}$	
	= de rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal	532 kN

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

Algemene richtlijnen

Voor algemene richtlijnen betreffende het heien van de palen wordt verwezen naar NEN-EN 12699 *Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Verdringingspalen*. Daarnaast wordt verwezen naar de beoordelingsrichtlijn BRL 1710 d.d. 01-07-1996 van KIWA inclusief wijzigingsblad d.d. 15-07-2000. Toezicht dient plaats te vinden op basis van CUR Aanbeveling 114 "Toezicht op de realisatie van paalfunderingen". In het bijzonder dient op de volgende aspecten te worden gelet.

Heivolgorde

De eerste paal van het project dient te worden geheid ter plaatse van een sondering aangezien de draagkracht van de palen berekend is met behulp van sonderingen.

De relatie van het heigedrag met het sondeerbeeld kan worden vastgesteld door het aantal slagen per 0,25 m paalzakking te registreren (kalenderen). Het bij de eerste sondering gevonden kalenderbeeld wordt als maatstaf voor de overige palen genomen. Van iedere paal dient derhalve, over het traject in de draagkrachtige zandlaag, de kalender te worden opgenomen. Voor iedere volgende sondering is het noodzakelijk om het kalenderbeeld te controleren en zonodig de maatstaf bij te stellen.

Bij een verschil in inheinniveau tussen de sonderingen, verdient het aanbeveling het heiwerk aan te vangen bij het diepste niveau. Aangezien dan van "laag naar hoog" wordt geheid is een betere controle mogelijk op het benodigde inheinniveau voor de overige palen.

Bij het heien van grote groepen palen dient "van binnen naar buiten" te worden gewerkt. Door het verdichten van zandlagen, kan een andere volgorde onnodig zwaar heiwerk tot gevolg hebben.

Advies en berekening

De uitgangspunten die bij het berekenen van de draagkracht zijn gehanteerd, dienen op het werk te worden gecontroleerd. Aan de volgende zaken dient aandacht te worden besteed:

- Diameter schacht en wanddikte van de buis.
- Paalvorm: glad, verbrede voetplaat, gladde buisvoet, buisvoet met verbrede voetplaat of uitgeheide bolvoet.
- Paallengte en paalpuntniveau.

Heiblok-paal-draagkracht verhouding

Doorgaans wordt gezocht naar een verhouding heiblok-paal-draagkracht die een eindkalender oplevert van 15 à 25 slagen per 0,25 m.

Stalen buispalen worden meestal op diepte gebracht door middel van inwendig heien, dat wil zeggen met een heiblok in de buis. De diameter van het heiblok kan derhalve niet groter zijn dan de inwendige diameter van de stalen buis, hetgeen bijna altijd een relatief slank blok oplevert. De diameter van het blok moet niet te groot worden gekozen aangezien anders hei-energie verloren gaat, namelijk door wrijving van het blok langs de buiswand en/of doordat de lucht niet voldoende snel langs het blok kan ontsnappen (luchtkussen- of zuigereffect). Het benodigde gewicht van het heiblok moet daarom in de lengte gezocht worden en/of (soms) in de toepassing van een loden kern. In verhouding met normale geheide palen, zoals bijvoorbeeld prefab betonpalen, is er doorgaans sprake van een licht heiblok, resulterend in relatief hoge kalenderwaarde. Dit suggereert een goede "stuit", hetgeen niet per definitie het geval hoeft te zijn. Het is sterk af te raden om zonder overleg met de geotechnisch adviseur af te wijken van het voorgeschreven paalpuntniveau. Het kan voorkomen dat lagen, die alleen met zwaar heiwerk zijn te passeren, toch niet voldoende draagkrachtig zijn.

Afwijkende kalenderwaarden

Een afwijkende kalenderwaarde kan worden veroorzaakt door de bodemopbouw, maar ook andere factoren kunnen hiervoor aanleiding zijn. Een oorzaak kan bijvoorbeeld worden gezocht in de opbouw van de paal; een stalen buispaal met een verbrede voetplaat kan onder sommige omstandigheden afwijkende kalenderwaarden geven. Verder kan de kalenderwaarde worden beïnvloed door de volgende factoren:

- De valhoogte van het heiblok is niet constant.
- De grindprop in de paal wisselt per paal in vastheid.
- De paal staat krom of scheef.
- Er treedt tijdelijke wateroverspanning op onder de paalpunt tijdens het heien.

Bij een lage kalenderwaarde kan sprake zijn van een te lage draagkracht. Bij twijfel is het noodzakelijk contact op te nemen met de constructeur en de grondmechanisch adviseur. In onderling overleg kan dan tot één of meer van de volgende maatregelen worden besloten:

- Het na-heien van palen, waarbij over een traject van 0,25 m het aantal slagen per 0,05 m paalzakking wordt geregistreerd; op deze wijze kan worden onderzocht in hoeverre wateroverspanning de oorzaak is.
- Het uitvoeren van controlesonderingen, om te onderzoeken in hoeverre een afwijkende bodemopbouw de oorzaak is.
- Het plaatsen van een extra paal.

De diepte van de bovenkant van de draagkrachtige zandlaag op de hei-lokatie kan afwijken van het uitgevoerde grondonderzoek. Indien geen controlesonderingen kunnen worden gemaakt, kan het juiste paalpuntniveau als volgt worden bepaald:

- Uit het advies wordt afgeleid hoe diep de paalpunt in de draagkrachtige zandlaag staat.
- Aan de hand van de kalenders van de op of nabij een sondering geheide paal, wordt bepaald bij welke kalenderwaarde de paalpunt de zandlaag raakt. Deze kalenderwaarde wordt in principe voor het gehele werk aangehouden. Alleen als er van heiblok wordt gewisseld, dient een andere representatieve kalenderwaarde te worden vastgesteld.
- De paal wordt vervolgens tot de uit het advies afgeleide diepte in de zandlaag geheid. Indien deze diepte gering is, bijvoorbeeld 0,3 à 0,4 m, dienen bij het kalenderen geen tochten van 0,25 m te worden aangehouden maar tochten van 0,05 m of 0,10 m.

Controle van de uitvoering

Van ieder paal dienen de relevante gegevens te worden geregistreerd. Dit betreft niet alleen de kalenderwaarden en het uiteindelijke paalpuntniveau, doch ook gegevens over het gewicht van het heiblok, de valhoogte, de heivolgorde en het tijdstip van wijzigen van samenstelling van de grindprop. Het paalpuntniveau dient bij voorkeur te worden vastgesteld ten opzichte van NAP.

Tevens dient te worden vastgelegd hoe de palen zijn samengesteld wat betreft de schachtafmeting, de wanddikte van de buis, de afmeting van de voetplaat en/of van de buisvoet.

Als gevolg van obstakels in de grond kan de punt van de stalen buispaal uit de goede richting verlopen. De buispaal kan dan gebogen in de grond komen te staan. Een zekere afwijking van de ideale lijn (verticale stand) wordt geaccepteerd, zie art. 5.12 van BRL 1710.

De controle op de grootte van de buiging van de paal kan worden uitgevoerd door het in de paal laten zakken van een lamp. Een gedeelte van de op de bodem van de paal aanwezige grindprop moet nog te zien zijn. Door berekening dient te worden aangetoond dat de paalschacht voldoende draagkracht heeft en of extra wapening nodig is.

Als de paal het gewenste paalpuntniveau heeft bereikt, dient de paalschacht te worden gevuld met betonmortel en dient een kopnet te worden aangebracht.

Voordat beton wordt gestort, dient gecontroleerd te worden dat de paal schoon is en dat er geen water in staat. In een paal waar water staat mag geen beton worden gestort.

In dit verband wordt opgemerkt dat een paal tijdens het heiproces al lek kan raken. In principe is het niet altijd nodig een lekkende paal geheel af te keuren. Het lek dient echter wel in een zo vroeg mogelijk stadium te worden gedicht. Indien dergelijke lekken zich voordoen, moet de constructeur van het werk hiervan op de hoogte worden gebracht.

Uit het voorgaande kan worden opgemaakt dat tijdens het heien van stalen buispalen met vele factoren rekening moet worden gehouden. Deskundig toezicht tijdens het heien van dit type palen is dan ook gewenst.