



Realisatie tankfundatie Chemours aan de Baanhoekweg te Dordrecht

Geotechnisch onderzoek en advies fundering op palen | Dordrecht

1321-191687 | 10 augustus 2021

Definitief

Chemours Netherlands B.V.



Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Realisatie tankfundatie Chemours aan de Baanhoekweg te Dordrecht
Documentnaam	Geotechnisch onderzoek en advies fundering op palen
Fugro-projectnr.	1321-191687
Fugro-documentnr.	1321-191687-64-R01
Versienummer	1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Edisonlaan 31B 6003 DB WEERT T 049 551 3560

Klantgegevens

Klant	Chemours Netherlands B.V.
Adres klant	Baanhoekweg 22, 3313 LA DORDRECHT
Contactpersoon klant	Dhr. 2E

Gegevens constructeur

Constructeur	Fluor Consultants B.V.
Adres constructeur	Postbus 168 , 4600 AD BERGEN OP ZOOM
Contactpersoon	Dhr. 2E

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	10-8-2021	Definitief	Initiële versie	JEV	EV	ECT

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ECT	ing. 2E	Senior Project Manager
JEV	ing. 2E	Senior Adviseur Geotechniek
EV	ir. 2E	Senior Adviseur Geotechniek

Inhoudsopgave

1. Algemene toelichting	1
1.1 Inleiding	1
1.2 Projectomschrijving	1
2. Geotechnisch onderzoek en bodemgesteldheid	3
2.1 Algemeen	3
2.2 Globale bodemgesteldheid	3
2.3 Grondwaterstanden en stijghoogten	3
3. Funderingsadvies	4
3.1 Algemeen	4
3.2 Uitgangspunten	4
3.3 Op druk belaste palen	5
4. Uitvoering	8
4.1 In de grond gevormde schroefpalen met verloren punt / stalen palen met schroefpunt	8

Bijlagen

Bijlage A Geotechnisch onderzoek

A.1 Rapportage geotechnisch veldwerk

Bijlage B Berekening negatieve kleeft

B.1 Uitgangspunten

B.2 Berekening negatieve kleeft

Bijlage C Berekening en toetsing rekenwaarde netto draagkracht

C.1 Uitgangspunten

C.2 Maximale draagkracht van de paalpunt

C.3 Maximale paalschachtwrijving

C.4 Maximale draagkracht

Bijlage D Uitvoeringsaspecten

D.1 Uitvoering schroefpalen met verloren punt – Stalen buispalen met schroefpunt

1. Algemene toelichting

1.1 Inleiding

Op 5 juli 2021 ontving Fugro te Weert van Chemours Netherlands B.V. te Dordrecht de opdracht voor het uitvoeren van een geotechnisch onderzoek alsmede het uitbrengen van een funderingsadvies voor een te realiseren fundering voor een tweetal te plaatsen tanks (MPRF-1 & -13) op het terrein van Chemours aan de Baanhoekweg te Dordrecht.

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

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

Dit rapport bevat:

- Een korte project omschrijving.
- 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).

1.2 Projectomschrijving

De projectlocatie is gelegen op het terrein van Chemours aan de Baanhoekweg te Dordrecht en is middels een rode cirkel globaal weergegeven in figuur 1.1.



Figuur 1.1: Projectlocatie aan de Baanhoekhaven te Dordrecht.

Het plan betreft de plaatsing van 2 tanks op een funderingsplaat met afmetingen 5 x 9,65 m.

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 geotechnisch onderzoek voor dit project heeft bestaan uit een twee sonderingen.

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

2.2 Globale bodemgesteldheid

De maaiveldniveaus ter plaatse van de sondeerlocaties zijn ten tijde van het onderzoek ingemeten op respectievelijk NAP +3,44 m en NAP +3,40 m.

Op basis van het geotechnisch onderzoek kan de bodemgesteldheid globaal worden geschematiseerd zoals in tabel 2.1 is weergegeven.

Tabel 2.1: Globale bodemgesteldheid

Bovenkant laag in m t.o.v. NAP			Bodembeschrijving
+3,44	à	+3,40	<u>ZAND</u> , los tot vast gepakt
-4,0	à	-4,2	<u>KLEI</u>
ca. -5,6			<u>VEEN</u> en <u>KLEI</u> , humeus
-7,1	à	-8,2	<u>KLEI</u>
-11,8	à	-12,4	<u>ZAND</u> , matig vast tot vast gepakt
ca. -24,0			<u>KLEI</u> , siltig/zandig
ca. -27,0			Maximale verkende diepte

2.3 Grondwaterstanden en stijghoogten

Door na het trekken van de sondeerstangen te peilen in de sondeergaten, is de grondwaterstand vastgesteld op NAP +2,10 m. Deze grondwaterstand is een éénmalige opname en slechts bedoeld als een oriënterend gegeven. De (grond)waterstand 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 opdrachtgever is uitgegaan van de toepassing van geschroefde stalen buispalen, zonder toepassing van groutinjectie. Aangezien de te hanteren paalfactoren gunstiger zijn wanneer wél groutinjectie wordt, is in onderhavige rapportage tevens deze optie beschouwd. Hierbij wordt opgemerkt dat, gezien de vaste pakking van het diepe zand, de kans van slagen van de uitvoering van de diepere paalpuntniveaus met de toepassing van groutinjectie groter is door de smerende werking van het grout. Deze funderingsoplossingen zijn in de volgende paragrafen van dit hoofdstuk nader uitgewerkt.

Het funderingsadvies voor dit project is opgesteld conform de norm geotechniek NEN 9997-1. Conform 1.5.2.127 van NEN 9997-1 dient de minimale paallengte ten minste $5 \times D_{eq}$ te bedragen. Het mede op basis van dit advies gemaakte funderingsontwerp dient achteraf te worden getoetst aan de geldende geotechnische normen.

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

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

3.2 Uitgangspunten

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

- De rekenwaarde (UGT) voor de paalbelastingen vanuit de constructie ($F_{c,d}$) bedraagt circa 700 kN.
- Het effect van de horizontale belasting (15 kN) is vooralsnog niet beschouwd. Gezien de aard van het paalsysteem (stalen buis) en de beperkte belasting zal het resulterende moment opneembaar zijn door de palen. Indien gewenst kunnen het optredende moment en de te verwachten uitbuiging van de paal in een later stadium nader worden bepaald.
- Het terrein zal niet significant worden opgehoogd of ontgraven.

3.3 Op druk belaste palen

Voor het funderingsadvies voor op druk belaste palen is voor diverse schachtafmetingen van geschroefde stalen buispalen (zonder en met groutinjectie) op gekozen paalpuntniveaus de rekenwaarde van de draagkracht van de palen bepaald. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in tabel 3.1 en tabel 3.2.

Tabel 3.1: Paalpuntniveaus en rekenwaarden van de paal draagkracht, geschroefde stalen buispalen zonder groutinjectie.

Sondering nr.	Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP	Paalpuntniveau in m t.o.v. NAP	$R_{c,net,d}$ in kN		
			Geschroefde stalen buispalen, zonder groutinjectie		
			Ø 324/450 mm	Ø 406/560 mm	Ø 457/670 mm
DKM01	+3,44	-14,00	300	500	770
		-14,50	360	580	860
		-15,00	410	620	890
		-15,50	490	720	1025
		-16,00	550	810	1125
		-16,50	560	860	1175
		-17,00	530	850	1150
		-17,50	550	900	1275
DKM02	+3,40	-18,00 n.d.	600	940	1250
		-14,00	190	320	510
		-14,50	230	370	570
		-15,00	285	440	650
		-15,50	330	510	730
		-16,00	380	590	820
		-16,50	430	680	950
		-17,00	450	730	1025
		-17,50	440	700	1000
		-18,00	510	790	1150

Opmerkingen bij tabel 3.1 en tabel 3.2:

$R_{c,net,d}$ = rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal, rekening houdend met negatieve kleeft (= $R_{cd} - F_{nk,d}$)

n.d. = niet dieper heien/installeren. Op een dieper paalpuntniveau is de theoretische draagkracht minder dan de in de tabel vermelde waarde

o.d. = of dieper

Ø 324/450 = buisdiameter (d) = 324 mm; puntdiameter (D) = Ø 450 mm. Bij palen met groutinjectie is voor de schachtafmeting uitgegaan van het gemiddelde van de buis en de punt. Bij toepassing van groutinjectie wordt voldaan aan 7.6.2.3(g) van NEN 9997-1: $D_{eq}^2/d_{eq}^2 < 1,5$, derhalve kan voor de paalvoetvormfactor β een waarde van 1,0 worden gehanteerd. Bij palen zonder groutinjectie wordt niet aan voornoemde voorwaarde voldaan, zodat een gereduceerde waarde voor β is aangehouden.

Tabel 3.2: Paalpuntniveaus en rekenwaarden van de paal draagkracht, geschroefde stalen buispalen met groutinjectie.

Sondering nr.	Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP	Paalpuntniveau in m t.o.v. NAP	$R_{cnet,d}$ in kN		
			Geschroefde stalen buispalen, met groutinjectie		
			Ø 324/450 mm	Ø 406/560 mm	Ø 457/670 mm
DKM01	+3,44	-13,50	540	860	1275
		-14,00	640	1000	1450
		-14,50	750	1125	1600
		-15,00	820	1200	1650
		-15,50	960	1375	1900
		-16,00 o.d.	1050	1525	2050
DKM02	+3,40	-13,50	420	650	950
		-14,00	460	710	1025
		-14,50	530	810	1150
		-15,00	630	920	1275
		-15,50	710	1025	1400
		-16,00	800	1175	1575
		-16,50	870	1325	1775
		-17,00	920	1400	1925
		-17,50	900	1375	1900
		-18,00	1000	1525	2100

Opmerkingen bij de tabellen

$R_{cnet,d}$ = rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal, rekening houdend met negatieve kleef (= $R_{c,d}$ - $F_{nk,d}$)

n.d. = niet dieper heien/installeren. Op een dieper paalpuntniveau is de theoretische draagkracht minder dan de in de tabel vermelde waarde

o.d. = of dieper

Ø 324/450 = buisdiameter (d) = 324 mm; puntdiameter (D) = Ø 450 mm. Bij palen met groutinjectie is voor de schachtafmeting uitgegaan van het gemiddelde van de buis en de punt. Bij toepassing van groutinjectie wordt voldaan aan 7.6.2.3(g) van NEN 9997-1: $D^2_{eq}/d^2_{eq} < 1,5$, derhalve kan voor de paalvoetvormfactor β een waarde van 1,0 worden gehanteerd. Bij palen zonder groutinjectie wordt niet aan voornoemde voorwaarde voldaan, zodat een gereduceerde waarde voor β is aangehouden.

Geadviseerd wordt de haalbaarheid van de diepere paalpuntniveaus, met name voor de palen zonder groutinjectie, voorafgaand aan de uitvoering met de paalleverancier te overleggen.

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

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. Hierbij kan als bijdrage voor de rekenwaarde van de negatieve kleef ($F_{nk,d}$) 336 kN per m^1 paalomtrek worden gehanteerd.

Voorbeeldberekeningen van de rekenwaarde van de negatieve kleef, netto draagkracht van een paal en de toetsing van UGT type B zijn gegeven in Bijlage B en Bijlage C.

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.
- Bij de draagkrachtberekeningen is rekening gehouden met het optreden van negatieve kleeft langs de paalschacht. Deze kan ontstaan door het optreden van zettingen in de samendrukbare lagen tot een diepte van NAP -12,0 m à NAP -12,5 m.
- Bij de draagkrachtberekeningen zijn de volgende paalfactoren aangehouden:

	<u>Zonder groutinjectie</u>	<u>Met groutinjectie</u>
α_p	0,56	0,63
α_s	0,006	0,009
β	0,7	1,0
s	1,0	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.

4. Uitvoering

4.1 In de grond gevormde schroefpalen met verloren punt / stalen palen met schroefpunt

Voor algemene richtlijnen betreffende de installatie van grondverdringende, al dan niet in de grond gevormde schroefpalen met tijdelijke of permanente casing, wordt verwezen naar NEN-EN 12699 'Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Verdringingspalen'.

Het aanbrengen van geschroefde in de grond gevormde palen met verloren punt en stalen palen met schroefpunt dient te worden uitgevoerd door een gerenommeerd en in dit paaltype gespecialiseerd bedrijf.

Toezicht op de realisatie van de palen dient plaats te vinden op basis van CUR Aanbeveling 114 "Toezicht op de realisatie van paalfunderingen".

Voor aanbevelingen betreffende installatie volgorde, installatieproces, ontgravingen, groutinjectie, en uitvoerings- en kwaliteitscontrole wordt verwezen naar Bijlage D "Uitvoering schroefpalen met verloren punt / Stalen buispalen met schroefpunt". In aanvulling hierop geldt het volgende:

- Horizontale belastingen op de palen, door bijvoorbeeld het verplaatsen van de stelling in de bouwput en/of het ontgraven van de bouwput, dienen te worden vermeden in verband met de kans op het ontstaan van schade aan de palen. Dit geldt vooral bij gedeeltelijk gewapende palen.
- De kwaliteit van de geïnstalleerde paalschacht dient door middel van akoestische metingen te worden gecontroleerd. Fugro beschikt hiervoor over de benodigde apparatuur en expertise.

Bijlage A

Geotechnisch onderzoek

A.1 Rapportage geotechnisch veldwerk



Grondonderzoek Chemour NL Dordrecht

Rapportage geotechnisch onderzoek | Dordrecht

1321-191687 | 09-08-2021

Definitief

Fluor Consultants B.V.

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	2E [REDACTED] NL Dordrecht
Documentnaam	Rapportage geotechnisch onderzoek
Fugro-projectnr.	1321-191687
Fugro-documentnr.	1321-191687-21-R01-v1.0-20210809
Versienummer	1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Edisonlaan 31B, 6003 DB, Weert
Telefoonnummer	+ 31 495 513 560

Klantgegevens

Klant	Fluor Consultants B.V.
Klant adres	Postbus 168, 4600 AD, BERGEN OP ZOOM
Contact klant	2E [REDACTED]

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	09-08-2021	Definitief	Initiële versie	LM	KKN	ECT

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
ECT	ing. 2E [REDACTED] kamp	Senior Projectmanager Geo-Projecten

Inhoudsopgave

1. Rapportageoverzicht
2. Situatietekening(en)
3. Onderzoeksdata
4. Toelichting geotechnisch onderzoek
5. Continu elektrisch sonderen
6. Legenda terreinproeven

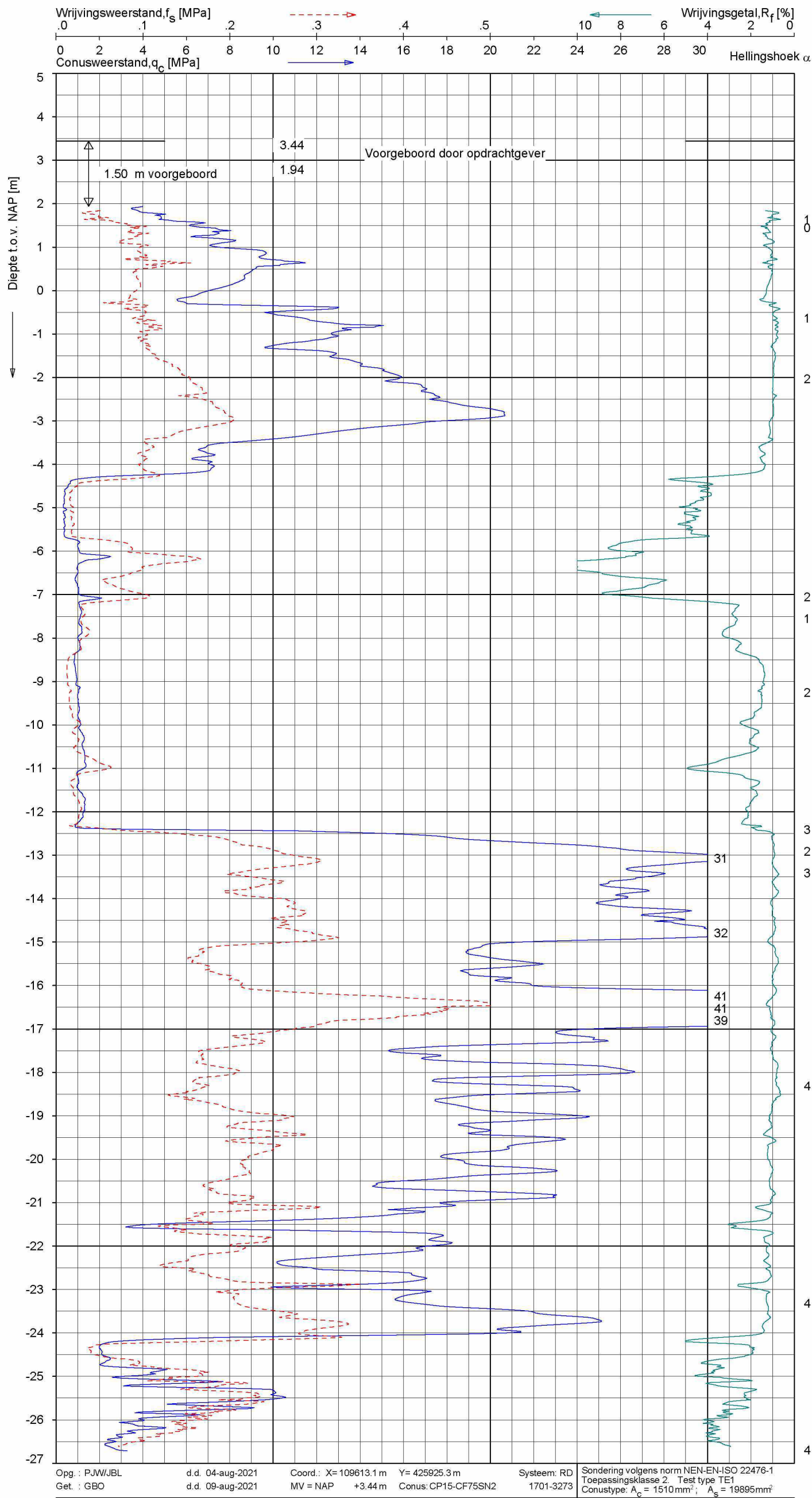
Rapportageoverzicht

Projectnaam: Grondonderzoek Chemour NL Dordrecht
Fugro-projectnr.: 1321-191687

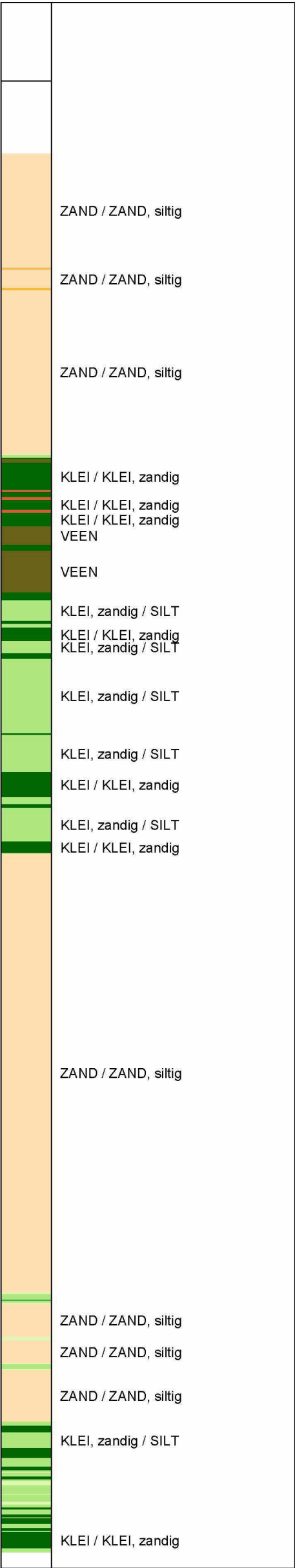
Naam	RD Coördinaten (m)		Hoogte (m) t.o.v. NAP	Grondwater-stand (m) t.o.v. NAP	Opmerkingen
	X	Y			
DKM01	109613.1	425925.3	+3.44		
DKM02	109610.7	425914.7	+3.40	+2.10	
Kruinweg	109618.7	425913.2	+3.51		06-08-2021
Put1	109613.7	425930.9	+3.33		06-08-2021
Put2	109623.4	425905.6	+3.62		06-08-2021



Leaflet | Kaartgegevens: CBS, Kadaster-auteurs (CC-BY-SA).



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

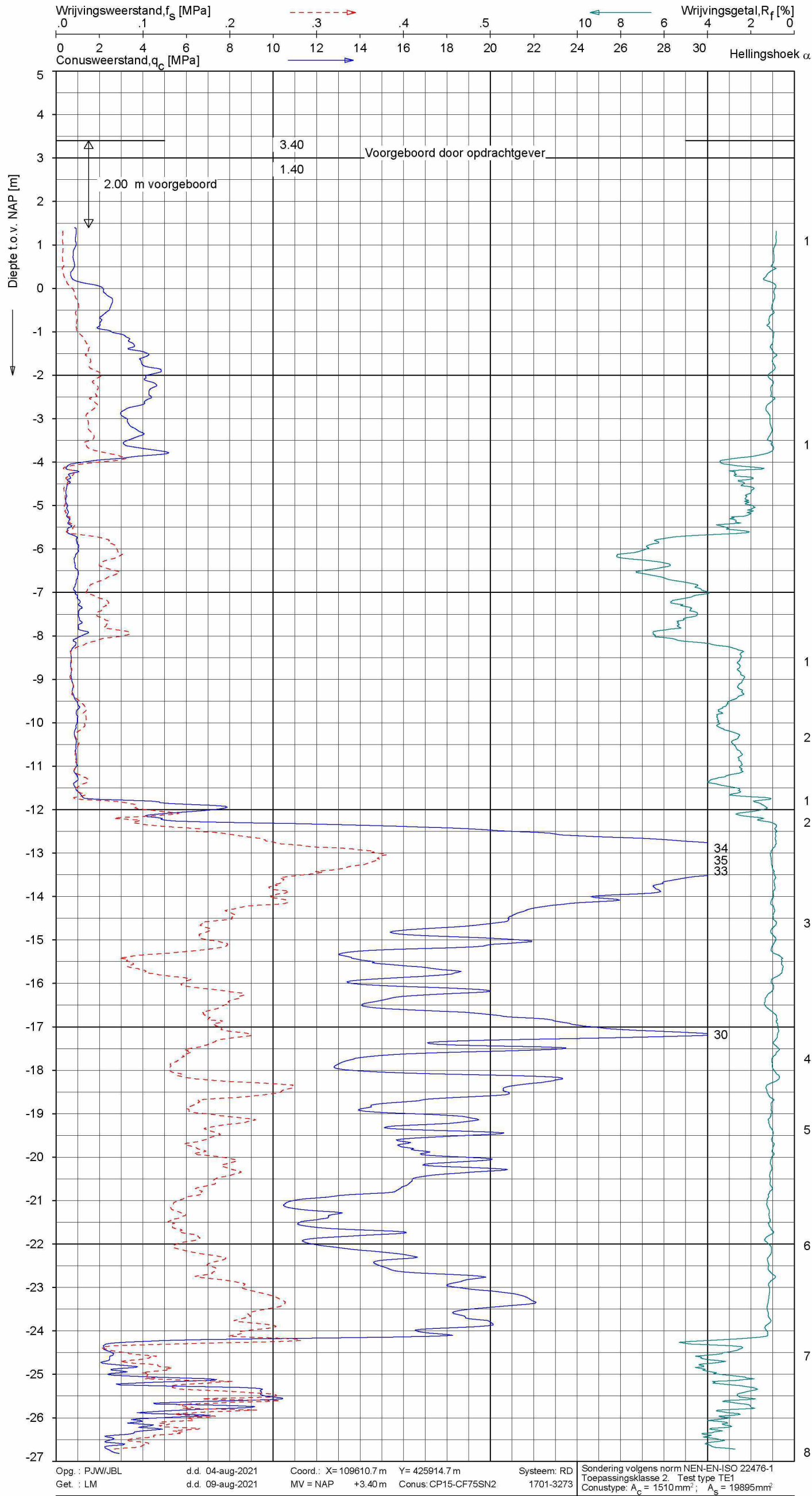


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

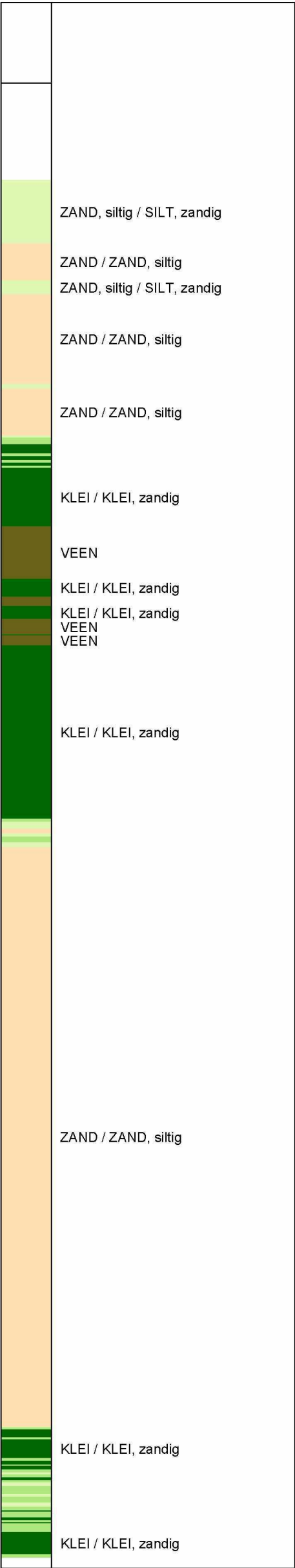
GRONDONDERZOEK CHEMOUR NL DORDRECHT

Opdr. 1321-191687
Sond. DKM01





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



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GRONDONDERZOEK CHEMOUR NL DORDRECHT

Opdr. 1321-191687
Sond. DKM02



Toelichting geotechnisch onderzoek

Coördinaten en hoogte van de onderzoekspunten

Indien de hoogte en coördinaten van de onderzoekslocaties zijn bepaald in NAP en RD bedragen de maximale afwijking van de meting van de coördinaten ca. 10 cm en de maximale afwijking van de meting van de hoogte ca. 5 cm. Bij projecten waarbij de sonderingen zijn gerefereerd aan een lokaal vast punt bedraagt de maximale afwijking in de hoogte ca 5 cm. De maximale afwijking in de maatvoering door middel van traditioneel uitzetten met een meetband bedraagt ca. 25 cm.

Indien de onderzoekslocaties niet zijn gerefereerd aan een vaste referentiehoogte wijkt het onderzoek af van de gestelde eisen in de NEN-EN-ISO 22476-1.

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.

Sonderen

Een beschrijving van de gevolgde meet- en registratiemethode is gegeven in de bijlage 'Continu Elektrisch Sonderen'.

Boren

Mechanisch boorwerk wordt verbuisd uitgevoerd, waarbij de grond uit de buis wordt verwijderd met behulp van een puls (niet-cohesieve gronden) en/of een avegaarboor (cohesieve gronden).

Bij handboren wordt gebruik gemaakt van een edelmanboor (cohesieve gronden) en een handpuls (niet-cohesieve gronden).

De werkzaamheden worden uitgevoerd conform de NEN-EN-ISO 22475-1.

Peilbuizen worden gepresenteerd op de betreffende boorstaten. De boringen met peilbuis zijn met bijbehorend symbool aangegeven op de situatietekening.

Ongeroerde monsternamen bij het mechanisch boren kan plaatsvinden door:

- Een Ackermann steekbus te slaan of te drukken;
- Een Pistonbus te drukken;
- Een Gelpush monster te drukken.

Bij handboren worden ongeroerde monsters genomen met een -steekapparaat.

De tijdens het boren genomen geroerde monsters worden in het veld globaal geïdentificeerd. Als er laboratoriumonderzoek volgt na het veldwerk, worden in het laboratorium de monsters gedetailleerd geclassificeerd en/of geïdentificeerd. Bij eventuele verschillen tussen de veld- en laboratorium-identificatie is de laboratoriumidentificatie bepalend.

Op het beschrijven van grond is de NEN-EN-ISO 14688-1 of NEN 5104 van toepassing. Op de boorstaat staat aangegeven welke NEN Norm gehanteerd is.

(Grond)waterstand

De gemeten (grond)waterstand(en) betreffen een eenmalige opname en zijn bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd fluctueren onder invloed van de weersgesteldheid en de seizoenen.

Kwaliteitsborging

Alle werkzaamheden zijn verricht in overeenstemming met het managementsysteem van Fugro NL Land B.V. dat voldoet aan de NEN-ISO 9001:2015 en VCA ** 2008/5.1.

De kalibratiesheet(s) van de gebruikte conus(sen) kunnen op verzoek worden toegestuurd.

Continu elektrisch sonderen

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 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 teruggetrokken. 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. Het basisoppervlak van de conus mag 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. Onderzoek* heeft aangetoond, dat de invloed van de lengte van deze conus op het sondeerresultaat verwaarloosbaar is, terwijl met een kortere conus met minder risico een grotere sondeerdiepte kan worden bereikt.

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

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

Interpretatie van de sonderingen met plaatselijke wrijvingsweerstand

Meting van zowel de conusweerstand q_c als de plaatselijke wrijvingsweerstand f_s maakt het mogelijk het wrijvingsgetal R_f te berekenen. Het wrijvingsgetal wordt gedefinieerd als het quotiënt van de

* Lunne and Powell, A comparison of different sized piezocones in UK clays.

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.*

Tabel 1: Wrijvingsgetal per grondsoort

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, 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.

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][†], die door Fugro is aangepast aan de Nederlandse omstandigheden. Bij deze interpretatie wordt uitgegaan van de genormaliseerde waarden van de conusweerstand nQ_c en wrijvingsgetal nR_f als ingangsparameters.

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

Genormaliseerde conusweerstand:

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

Vergelijking 1

Genormaliseerd wrijvingsgetal

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

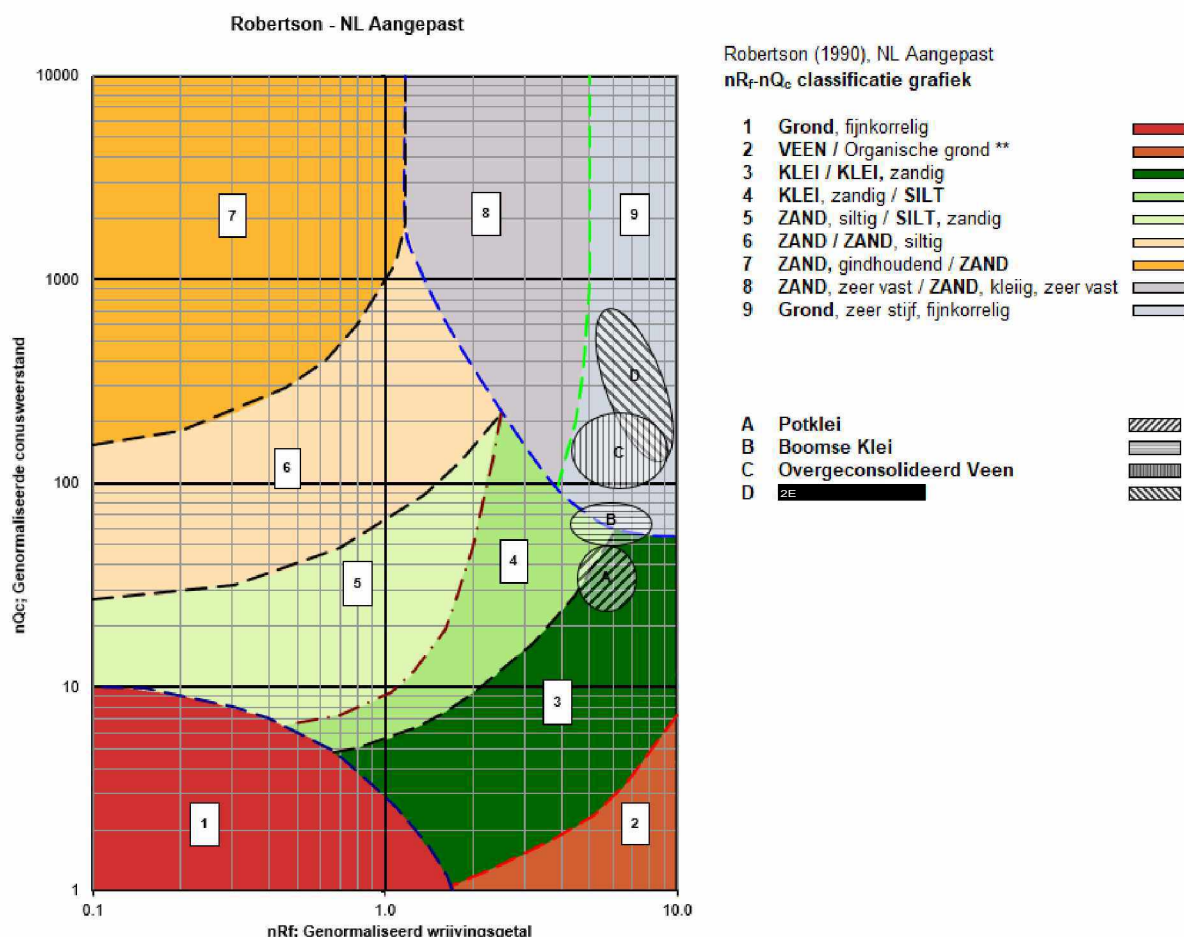
Vergelijking 2

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

[†] Robertson, P.K. [1990] "Soil Classification using the cone penetration test". Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151-158

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;
- er is een extra voorwaarde ingebracht om Holocene veenlagen goed te kunnen classificeren. Voor $q_c < 1,5 \text{ MPa}$ en $R_f > 5 \%$ wordt de grond als veen geïnterpreteerd.



** In Nederland is dit meestal VEEN. Op basis van boorgegevens en/of geologische gegevens kan nader onderscheid worden gemaakt in het type organische grond

Figuur 1: Classificatiegrafiek Robertson (1990), aangepast voor Nederlandse grondsoorten

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

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

Andere conustypen

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

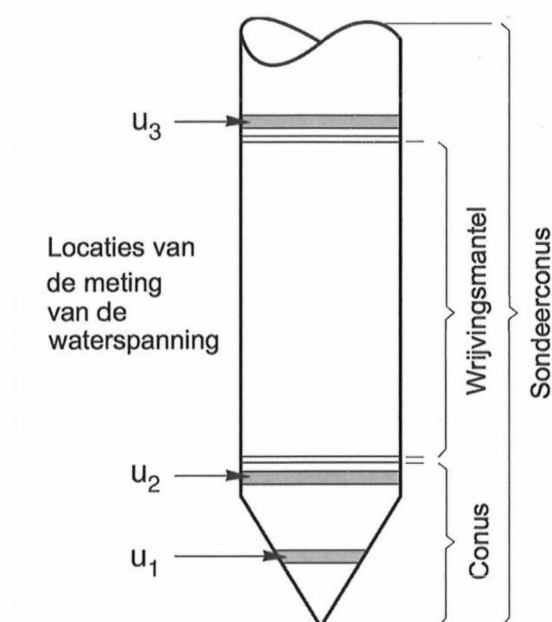
Tabel 2: Overzicht andere conustypen met toepassingsmogelijkheden

Type meting	Meetresultaten	Toepassingsmogelijkheden
Waterspanning	Waterspanning ter plaatse van de punt	<ul style="list-style-type: none"> ■ registreren waterremmende lagen; ■ indicatie stijghoogte grondwater; ■ classificatie / gelaagdheid bodem.
Magnetometer	Magnetische veldsterkte in 3 orthogonale richtingen (X,Y,Z)	<ul style="list-style-type: none"> ■ blindgangeronderzoek; ■ onderzoek ligging obstakels (stalen leidingen, grondankers); ■ onderzoek paalpuntniveau / schoorstand funderingspalen; ■ onderzoek ligging onderzijde stalen damwanden.
Geleidbaarheid	Elektrische geleiding grond en grondwater	<ul style="list-style-type: none"> ■ indicatie waterkwaliteit / zoet - zout water grens; ■ onderzoek verspreiding verontreiniging.
Temperatuur	Temperatuurmeting op verschillende diepten	<ul style="list-style-type: none"> ■ warmteoverdracht in de bodem; ■ bepaling temperatuurgradiënt.
Schuifgolfsnelheid (seismisch)	Dynamische bodemparameters op verschillende diepten	<ul style="list-style-type: none"> ■ machinefunderingen; ■ windturbinefunderingen.
Versnelling	Versnellingen op verschillende diepten	<ul style="list-style-type: none"> ■ heittrillingen; ■ verkeerstrillingen
MIP (Membrane Interface Probe)	Verticale verspreiding van vluchtige (gechloreerde) koolwaterstoffen	<ul style="list-style-type: none"> ■ bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met (gechloreerde) koolwaterstoffen
ROST (Rapid Optical )	Verticale verspreiding van (aromatische) koolwaterstoffen	<ul style="list-style-type: none"> ■ bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met (aromatische) koolwaterstoffen
HPT (Hydraulic )	Doorlatendheid	<ul style="list-style-type: none"> ■ niet-stationaire grondwatermodellen ■ ontwerp bemalingen; ■ onderzoek infiltratiecapaciteit (DSI); ■ beoordeling pipinggevoeligheid dijken.

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: Schematische weergave sondeerconus met meting van waterspanning

Uitvoeringswijze

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

Wateroverspanningsindex B_q

Met de wateroverspanningsindex 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, rekening houdend met de heersende effectieve verticale spanning op het betreffende niveau. De wateroverspanningsindex B_q wordt als volgt berekend:

$$B_q = \frac{\beta \cdot (u_1 - u_o)}{q_{net}}$$

Vergelijking 3

$$B_q = \frac{(u_2 - u_o)}{q_{net}}$$

Vergelijking 4

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 = $q_c + (1 - a) \cdot \{\beta(u_1 - u_o) + u_o\}$ voor een filter in de conuspunt
- = $q_c + (1 - a) \cdot u_2$ 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/m³ 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_o = 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 tabel 3 gegeven.

Tabel 3: β -factor per grondsoort

Grondgedrag	β -factor
Normaal geconsolideerde klei	0,6 – 0,8
Licht overgeconsolideerde klei	0,5 – 0,7
Sterk overgeconsolideerde klei	0,0* – 0,3
Silt, samendrukbaar	0,5 – 0,6
Silt, vast en dilatant gedrag	0,0* – 0,2
Zand, siltig, los gepakt	0,2 – 0,4
Opmerking: * = 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 klei overeen met circa 1/2 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. In de norm *EN-ISO 22476-1* is de nauwkeurigheid van de meetresultaten 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 tabel 4.

Tabel 4: Overzicht toepassingsklassen *EN-ISO 22476-1*

Toepassing-klasse	Test type	Gemeten parameter	Toegestane minimum nauwkeurigheid ^a	Maximum lengte tussen metingen	Gebruik	
					Grondsoort	Interpretatie
1	TE2	<ul style="list-style-type: none"> ■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ Sondeerlengte 	500 kPa of 5 % 50 kPa of 20 % 0,2 m of 1 %	50 mm	A B C D	G* G* G* G*

Opmerking:

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) (typische gronden met $q_c < 3$ MPa);
 - B gemengde bodemprofielen met slappe tot stijve kleien ($q_c \leq 3$ MPa) en matig vaste tot vaste zanden (conusweerstand 5 MPa \cdot $q_c < 10$ MPa);
 - C gemengde bodemprofielen met stijve kleien (conusweerstand 1,5 MPa \cdot $q_c < 3$ 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 uit *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 niet realistisch 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 kalibraties. In de praktijk is gebleken dat standaard Fugro sonderingen in de nieuwe norm voor het overgrote deel (>95%) in toepassingsklasse 2 vallen.

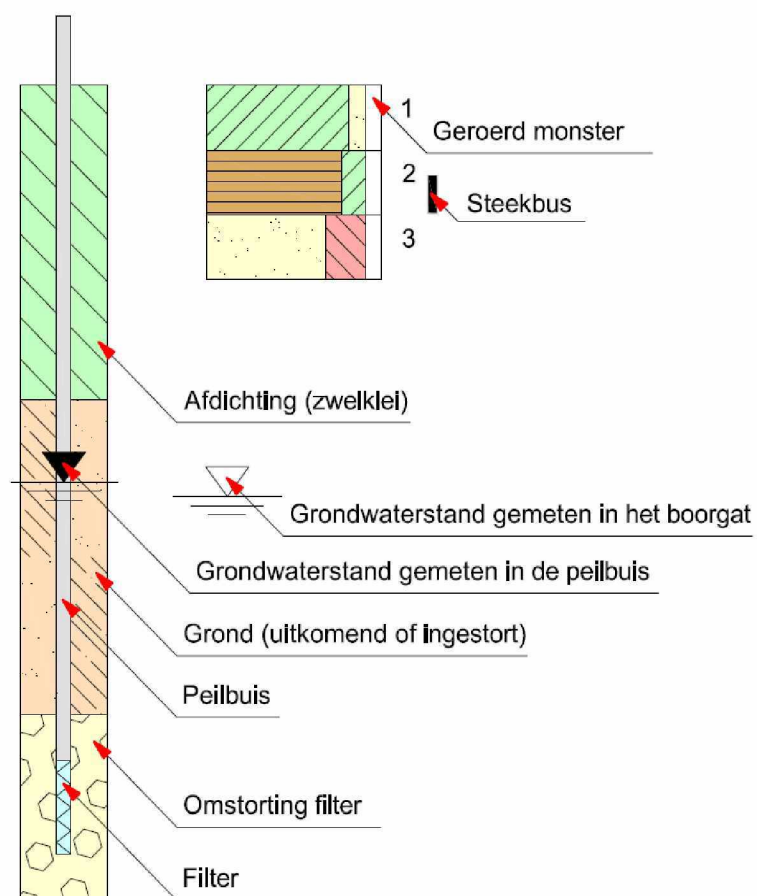
Voor sondering in toepassingklasse 1 worden speciale gevoelige conussen met een beperkt meetbereik toegepast. De enige praktische indicatie over de bereikte sondeerklasse is controle van recente kalibraties en 0-puntsverlopen tussen het begin en eind van de sondering.

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

Legenda terreinproeven

Boringen / Peilbuizen		Sonderingen	
	Handboring nog niet uitgevoerd		Sondering met plaatselijke kleefmeting nog niet uitgevoerd
	Handboring uitgevoerd		Sondering met plaatselijke kleefmeting uitgevoerd
	Handboring uitgevoerd met 1 peilbuis		Sondering zonder plaatselijke kleefmeting nog niet uitgevoerd
	Handboring uitgevoerd met 2 peilbuizen		Sondering zonder plaatselijke kleefmeting uitgevoerd
	Mechanische boring nog niet uitgevoerd		Slagsondering uitgevoerd
	Mechanische boring uitgevoerd		Handsondering uitgevoerd
	Mechanische boring uitgevoerd met 1 peilbuis		Multigrondwatersondering nog niet uitgevoerd
	Mechanische boring uitgevoerd met 2 peilbuizen		Multigrondwatersondering uitgevoerd
	Mechanische boring uitgevoerd met 3 peilbuizen		Sondering met bolconus nog niet uitgevoerd
	Boring uitgevoerd door derden		Sondering met bolconus uitgevoerd
	Boring uitgevoerd met peilbuis door derden		Waterspanningsmeter nog niet uitgevoerd
	Gedrukte peilbuis (PB) / minifilter (MF) nog niet uitgevoerd		Waterspanningsmeter uitgevoerd
	Gedrukte peilbuis (PB) / minifilter (MF) uitgevoerd		Sondering uitgevoerd door derden
Overige symbolen			Sondering met plaatselijke kleefmeting uitgevoerd door derden
	Meetpunt		Hellingmeterbuis nog niet uitgevoerd
	Hoogtemaat		Hellingmeterbuis uitgevoerd
Type sonderingen		Toegevoegde metingen	
D	Diepsondering	KM	Meting van de plaatselijke kleef
HS	Handsondering	P	Meting van de waterspanning
S	Slagsondering	M	Meting van de magnetische veldsterkte
		G	Meting van de geleidbaarheid
		S	Meting van de schuifgolfsnelheid (seismische meting)
		T	Meting van de temperatuur

Peilbuis



Bijlage B

Berekening negatieve kleeft

B.1 Uitgangspunten

- Gehanteerde sondering : DKM01
- Paaltype: Geschroefde stalen buispaal, zonder groutinjectie
- Paalpuntniveau : NAP -15,5 m
- Schachtdiameter : Ø 457 mm

B.2 Berekening negatieve kleef

De *representatieve waarde* van de maximale negatieve kleefbelasting op een alleenstaande paal volgens 7.3.2.2 NEN 9997-1 bedraagt:

$$F_{nk;rep} = \sum (d_i \cdot K_{o,i} \cdot \tan \delta_i \cdot \sigma'_{v,gem,i}) \cdot O_s$$

waarin: in dit geval:

d_i = dikte van de betreffende laag zie tabel

$K_{o,i} \cdot \tan \delta_i$ = product van de karakteristieke waarde van de neutrale gronddruk factor en de tangens van de wrijvingshoek tussen paal en grond voor de betreffende laag i 0,25

$\sigma'_{v,gem,i}$ = karakteristieke waarde van de gemiddelde effectieve verticale spanning in de betreffende laag i zie tabel

O_s = omtrek van de paalschacht zie tabel

laag	van / tot [m t.o.v. NAP]	dikte d [m]	$\gamma'_{i,rep}$ [kN/m ³]	$\sigma'_{v,i,gem}$ [kN/m ²]	$K_{o,i} \cdot \tan \delta_i$ [-]	O_s [m]	$F_{nk;rep,i}$ [kN]
1	+3,44 / +1,0	2,44	18	22,0	0,25	1,44	19,2
2	+1,0 / -4,2	5,2	10	69,9	0,25	1,44	130,5
3	-4,2 / -5,6	1,4	5	99,4	0,25	1,44	50,0
4	-5,6 / -7,1	1,5	2	104,4	0,25	1,44	56,2
5	-7,1 / -12,4	5,3	5	119,2	0,25	1,44	226,7
						Totaal	482,6

De rekenwaarde van de maximale negatieve kleefbelasting op een alleenstaande paal bedraagt:

$$F_{nk;d} = F_{nk;rep} \cdot \gamma_{f,nk}$$

$$= 483 \text{ kN}$$

waarin: in dit geval:

$\gamma_{f,nk}$ = partiële factor voor de negatieve kleef
(7.3.2.2(b) van NEN 9997-1) 1,0

Bijlage C

Berekening en toetsing
rekenwaarde netto draagkracht

C.1 Uitgangspunten

- Gehanteerde sondering: DKM01
- Paaltype: Geschroefde stalen buispalen, zonder groutinjectie
- Paalpuntniveau: NAP -15,5 m
- Schachtdiameter: Ø 457 mm
- Puntafmeting: Ø 670 mm

C.2 Maximale draagkracht van de paalpunt

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

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

$$= 6,1 \text{ MPa } (\leq 15 \text{ MPa, limietwaarde conform NEN 9997-1})$$

waarin: in dit geval:

$q_{c,I,gem}$	=	de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject I (0,7 à 4 x D_{eq} onder de punt)	20,3	MPa
$q_{c,II,gem}$	=	de minimale waarde van de conusweerstand over traject II (0,7 à 4 x D_{eq} onder de punt)	19,5	MPa
$q_{c,III,gem}$	=	de gemiddelde minimale waarde van de conusweerstand over traject III (8 x D_{eq} boven de punt)	11,2	MPa
α_p	=	paalklassefactor (tabel 7.c, NEN 9997-1)	0,56	-
β	=	factor voor de paalvoetvorm	0,7	-
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:

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

$$= 2.148 \text{ kN}$$

waarin: in dit geval:

$$A_{punt} = \text{oppervlak van de paalvoet} \quad 0,3526 \text{ m}^2$$

C.3 Maximale paalschachtwrijving

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

$$\begin{aligned} q_{s;\max} &= \alpha_s \cdot q_{c;z;a} \\ &= 0,090 \text{ MPa} \end{aligned}$$

waarin: in dit geval:

$$\begin{aligned} \alpha_s &= \text{factor voor de invloed van de uitvoering} && \text{in dit geval:} \\ &\text{en het paaltype (tabel 7.c, NEN 9997-1)} && 0,006 \quad - \\ q_{c;z;a} &= \text{de gemiddelde waarde van de conusweerstand} && \\ &\text{over het traject waarover schachtwrijving} && \\ &\text{wordt berekend} && 15,0 \quad \text{MPa} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R_{s;\Delta L;\max;i} &= O_{s;\Delta L;\text{gem}} \cdot \Delta L \cdot q_{s;\max} \\ &= 388 \text{ kN} \end{aligned}$$

waarin: in dit geval:

$$\begin{aligned} O_{s;\Delta L;\text{gem}} &= \text{gemiddelde omtrek van de paalschacht} && 1,44 \quad \text{m} \\ \Delta L &= \text{traject voor berekening schachtwrijving} && 3,0 \quad \text{m} \end{aligned}$$

C.4 Maximale draagkracht

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

$$\begin{aligned} R_{c;\text{cal}} &= R_{b;\text{cal};\max;i} + R_{s;\text{cal};\max;i} \\ &= 2.353 \text{ kN} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R_{c;k} &= \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;\text{cal}})_{\text{gem}}}{\xi_3} ; \frac{(R_{c;\text{cal}})_{\text{min}}}{\xi_4} \right\} \\ &= 1.824 \text{ kN} \end{aligned}$$

waarin: in dit geval:

$$\begin{aligned} \xi_3 &= \text{correlatiefactor volgens tabel A.10a van NEN 9997-1} && 1,39 \quad - \\ \xi_4 &= \text{correlatiefactor volgens tabel A.10a van NEN 9997-1} && 1,39 \quad - \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} R_{c;d} &= R_{c;k} / \gamma_R \\ &= 1.520 \text{ kN} \end{aligned}$$

waarin: in dit geval:

$$\begin{aligned} \gamma_R &= \gamma_b = \gamma_s \\ &= \text{partiële factor volgens tabel A.6 t/m A.8 van NEN 9997-1} \quad 1,20 \quad - \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} F_{c;d} &= \text{rekenwaarde van de belasting in kN} \\ F_{nk;d} &= \text{rekenwaarde van de negatieve kleeftbelasting} \quad 482 \quad \text{kN} \\ R_{c;d} &= \text{rekenwaarde van de maximale draagkracht van de paal} \quad 1.520 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

Voor de meeste paaltypen 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:

$$\begin{aligned} R_{c;net;d} &= R_{c;d} - F_{nk;d} \\ &= \text{de rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal,} \\ &\quad \text{rekening houdend met de negatieve kleeftbelasting} \quad 1.038 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

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.

Bijlage D

Uitvoeringsaspecten

D.1 Uitvoering schroefpalen met verloren punt – Stalen buispalen met schroefpunt

Uitvoering schroefpalen met verloren punt / stalen buispalen met schroefpunt

Algemene richtlijnen

Voor algemene richtlijnen betreffende de installatie van grondverdringende, al dan niet in de grond gevormde schroefpalen met tijdelijke of permanente casing wordt verwezen naar NEN-EN 12699 Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Verdringingspalen.

Voor in de grond gevormde schroefpalen met verloren punt (tijdelijke casing) wordt ook verwezen naar de principes in beoordelingsrichtlijn BRL 2356, algemeen gedeelte, inclusief Bijlage E d.d. 01-06-1992 van KIWA.

Installatievolgorde

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

Het beïnvloeden van een onvoldoende verharde paalschacht door het inboren van een naastliggende paal, kan in de praktijk over het algemeen worden vermeden door een hart-op-hart afstand van minimaal 4 maal de paalvoetdiameter (D) aan te houden. Indien desondanks blijkt dat door het boren van een volgende paal, het specieniveau van de nog niet verharde paal wijzigt (nazakking of oppersing), dan dient een andere werkvolgorde te worden gekozen, waarbij een grotere tussenafstand of een verhardingstijd langer dan 20 uur dient te worden aangehouden, mede afhankelijk van de toegepaste hulpstoffen.

Aan de paal waar nazakking of oppersing is geconstateerd, dient bij de kwaliteitscontrole bijzondere aandacht te worden besteed. In dit geval dient de afstand te worden vergroot volgens NEN EN 12699:2015 art 8.7.1.4 tot minimaal 6D.

Installatieproces

Het boormoment en de pull-down kracht op de stalen boorbuis dienen te worden afgestemd op de penetratiesnelheid. De capaciteit van de boormotor dient daarom te zijn gerelateerd aan de bodemopbouw en de paaldiameter, zodat ontspanning door grondtransport tot een minimum wordt beperkt.

Ontspanning in de ondergrond dient te worden voorkomen aangezien dit nadelig is voor het draagvermogen van de palen. Dit geldt eveneens voor belendende funderingen.

Zodra de boorpunt met boorbuis op diepte is, dient de boormotor gestopt te worden. Alvorens de paal wordt gestort dient te worden gecontroleerd of de buis droog is en vrij van grond.

Vervolgens kan de wapening worden aangebracht en de buis worden volgestort met specie. Bij afkeuring van de geboorde buis dient deze te worden getrokken, waarbij ter voorkoming van

verstoring van de draagkrachtige laag eerst een vulling is aangebracht bestaande uit specie of een mengsel van grof zand en eventueel grind. Het inboren van de nieuwe paal dient te geschieden naast de afgekeurde paal.

Bij palen met een tijdelijke casing wordt de buis na het afstorten van de paal met oscillerende (heen en weer) bewegingen uit de grond getrokken. De wapeningskorf mag tijdens het trekken van de voerbuis niet mee omhoog komen. Deze palen dienen te worden afgestort tot aan het werkniveau.

Palen met een permanente casing kunnen eventueel wel op een dieper niveau worden afgewerkt.

Bij schroefpalen met verloren punt (met of zonder groutinjectie) is sprake van een in de grond gevormde paalschacht. Hierbij fungeert de grond als 'bekisting' voor de verse betonmortel. De grond dient hierbij gedurende de verharding van de betonmortel voldoende steundruk te leveren, zodat een paalschacht van voldoende kwaliteit en de juiste afmeting ontstaat.

Bij een (te) lage steundruk door de omliggende grond of een te hoge betondruk zal in relatief slappe grondlagen een verdikking van de paalschacht ontstaan, wat tot extra betonverbruik zal leiden. Een (beperkte) verdikking is over het algemeen geen probleem, mits deze direct of kort na het maken van de paalschacht optreedt.

Andersom moet de betondruk voldoende hoog zijn om te voorkomen dat een insnoering van de paalschacht optreedt.

Tijdens het aanbrengen van de palen ontstaan wateroverspanningen. Die spanningen treden vooral op in de holocene klei- en veenlagen, maar kunnen ook in de (losgepakte) zandafzettingen ontstaan. De samenstelling en consistentie van de betonmortel dienen zodanig te zijn dat voldoende weerstand tegen de optredende wateroverspanningen aanwezig is. Bij onvoldoende weerstand zal overspannen grondwater via de verse paalschacht afstromen, waarbij uitspoeling van de betonmortel zal optreden.

Bleeding treedt op bij onvoldoende weerstand als gevolg van uittreding van water met fijne delen door wateroverspanningen in opgesloten zandlagen en door uittreding van water wat niet benodigd is voor de verharding van beton. In geval van optreden is het aan te bevelen om het gehalte aan fijne delen in het beton te verhogen door het cementgehalte te verhogen. Indien deze maatregel onvoldoende effect heeft dient de waterspanning in de (tussen)zand lagen door bemaling te worden verlaagd.

De palen waarbij bleeding is opgetreden dienen te worden gecontroleerd door afhakken tot aan het einde van de erosiekanaaltjes. Met akoestisch doormeten zijn de gevolgen van bleeding verschijnselen niet te controleren.

Bij de toepassing van een tijdelijke casing bestaat altijd een risico op een paalschacht van onvoldoende kwaliteit. Wij raden aan om de beoogde paalleverancier bovengenoemde uitvoeringstechnische risico's voor hun paaltype specifiek voor de bodem in dit project te laten beoordelen.

In geval van twijfel wordt geadviseerd om over te gaan op de toepassing van combi-palen. Hierbij wordt een geprefabriceerde kern in de paalschacht toegepast, waardoor 100% zekerheid over de kwaliteit en de constructieve sterkte van de paalschacht aanwezig is.

Ontgravingen

Bij eventuele ontgravingen na het installeren van de palen dient zorgvuldig te worden gewerkt om paalbeschadiging te voorkomen.

Groutinjectie

Voor paalinstallatie in vaste zandlagen kan tijdens het inboren van de buis groutinjectie worden toegepast.

Daarbij wordt gedurende het inboren van de paal via een aan de boorpunt bevestigde injectiebuis steeds water gepompt om de werking van de injectievoorziening te verzekeren en om de weerstand tijdens het boren te verminderen. Tijdens het boren in de laag waaraan de paal zijn draagkracht ontleent, wordt via de genoemde injectiebuis een watercementmengsel (grout) door de paalpunt naar buiten gepompt totdat het vereiste paalpuntniveau is bereikt. Door de schroevende beweging wordt het watercementmengsel gemengd met het omringende zand, waardoor een groutschil rondom de paalschacht ontstaat.

Controle

Toezicht op de realisatie van de palen dient plaats te vinden op basis van CUR Aanbeveling 114 'Toezicht op de realisatie van paalfunderingen'.

Een controle op de paalweerstand kan worden verkregen door registratie van het boormoment (of oliedruk van hydraulisch systeem) met de diepte. Dit profiel dient in overeenstemming met het sondeerbeeld te zijn.

De hoeveelheid gebruikte mortel/betonspecie en/of, indien van toepassing, grout dient te worden geregistreerd, en geverifieerd aan de hand van de afmetingen van de buis en de paalpunt.

De kwaliteit van de palen dient te worden gecontroleerd met behulp van akoestische metingen en bij palen zonder permanente boorbuis zo nodig in combinatie met het ontgraven van het bovenste deel van de paalschacht. Eventuele discontinuïteiten in de betondoorsnede kunnen hiermee worden vastgesteld. Het aantal door te meten palen wordt mede bepaald door eventuele onregelmatigheden tijdens de uitvoering.

Bij twijfel omtrent de kwaliteit, c.q. het draagvermogen, dient contact te worden opgenomen met de constructeur en de grond mechanisch adviseur. In onderling overleg kan dan tot een of meer van de volgende maatregelen worden besloten:

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

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

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