

KWR2019.071 | November 2019

DRAINSTORE: procedé opslag drainwater onder kleilaag

Activiteit B&C: Veldwerk, nadere
modellering en ontwerp

DRAINSTORE: procedé opslag drainwater onder kleilaag

**Activiteit B&C: Veldwerk, nadere modellering en
ontwerp**

KWR2019.071 | November 2019

Opdrachtnummer

402613

Projectmanager

ir. J.W. (Jan Willem) Kooiman

Opdrachtgever

Provincie Zeeland

Kwaliteitsborger(s)

prof. dr. P.J. (Pieter) Stuyfzand

Auteur(s)

T.C.G.W. (Teun) van Dooren, MSc

S.E.M. (Steven) Ros, MSc.

dr. K.G. (Koen) Zuurbier

Verzonden naar

V.A. (Vincent) Klap

Jaar van publicatie

2019

Meer informatie

Teun C.G.W. van Dooren

T 030-6069563

E teun.van.dooren@kwrwater.nl

Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

F +31 (0)30 60 61 165

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl

The logo for KWR (Knowledge and Water Research Institute) features the letters 'KWR' in a bold, blue, sans-serif font. The 'K' and 'W' are connected, and the 'R' is slightly separated. The letters are dark blue.

KWR2019.071 | November 2019 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding en doel	5
1.2	Projectlocatie	5
1.3	Activiteit B: Veldwerk	7
1.4	Activiteit C:	7
2	Fase B: onderzoeksmethoden	8
2.1	Gedetailleerde kartering van de ondergrond	8
2.2	Analyse drainwater	9
2.3	Proefboring, boorgatmeting, en analyse bodemmonsters en grondwater	10
3	Fase B: resultaten nader onderzoek geohydrologie	11
3.1	Geleidbaarheidssonderingen, ERT-profielen, en interpretatie vlieglijn	11
3.2	Proefboring	17
3.3	Grondwaterkwaliteit	21
4	Fase B: Kwaliteit drainwater	23
4.1	Infiltratiebesluit	23
4.2	Verstoppingspotentie	23
4.3	Voorzuivering	24
5	Fase C: Herijking modellering grondwatertransport	26
5.1	Aanpak	26
5.2	Aanpassingen grondwatermodel	26
5.3	Verticale putconfiguratie (scenario 1): 3 MPPWs met 2 filterniveaus en 7 ondiepe onttrekkingsputten	30
5.4	Verticale putconfiguratie (scenario 2): 3 MPPWs met 2 filterniveaus in een strook en 6 ondiepe onttrekkingsputten	34
6	Optimaal procedé en functionele design specificatie	41
6.1	Schematische weergave procedé	41
6.2	Drainage	42
6.3	Voorzuivering	47
6.4	Infiltratie- en onttrekkingsbronnen	48
6.5	Leidingtracées / bovenaanzichten	48
7	Conclusies	49
7.1	Kwaliteit drainwater voor infiltratie	49
7.2	Geohydrologische karakterisatie	49

7.3	Nadere modellering van ASR-systeem	49
7.4	Functionele design specificatie (FDS)	50
8	Referenties	51
	Bijlage I Rapportage geleidbaarheidsonderingen	52
	Bijlage II Rapportage ERT-metingen	119
	Bijlage III Boorstaten puls boring (B1) en handboring (HB1)	141
	Bijlage IV Korrelverdelingen van geroerde steekmonsters 2 - 35 m-mv	145
	Bijlage V Boorgatmeting	157
	Bijlage VI Methode voor berekenen drainafstand	158
	Bijlage VII Bovenaanzichten ontwerp	159

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Het conserveren van zoetwatervoorraden, zodat deze bij droogte benut kunnen worden voor (sub)irrigatie, is van groot belang voor de zoetwatervoorziening in de Zeeuwse landbouw. Binnen GO-Fresh is hiervoor een drietal concepten ontwikkeld (Freshmaker, Kreekruginfiltratiesysteem, Drains2Buffer), welke kunnen worden toegepast onder specifieke condities. De laatste jaren is gebleken dat twee condities nog onderbelicht zijn gebleven, ondanks dat deze op vele plekken respectievelijk voorkomen en beoogd zijn:

1. Aanwezigheid van de zoetwatervoorraad onder een (>8 m) dikke laag klei, waardoor conventionele diepdrains (tot ca. 6 en max. 8 m) geen productie geven.
 - a. De aanleg van diepdrains onder (>8 m) dikke kleilagen is technisch doorgaans niet mogelijk.
 - b. Daarnaast zorgt de aanwezigheid van een dikke kleilaag voor een beperkte/trage natuurlijke aanvulling van de zoetwatervoorraad;
2. Het benutten van water vrijkomend uit samengestelde, peilgestuurde drainage voor infiltratie en daarmee aanvulling van de zoetwatervoorraad, zonder risico op verstopping van infiltratiemiddelen en verontreiniging van het grondwater.

Beide condities zijn niet per definitie gekoppeld en kunnen los van elkaar voorkomen, maar zij vragen om een generiek toepasbaar procedé zodat het uiteindelijke doel (conserveren en benutten zoetwatervoorraden) bereikt kan worden. Hoewel bouwstenen voor een dergelijk procedé aanwezig zijn vanuit GO-Fresh en gerelateerde projecten elders in Nederland, is dit procedé nog niet beschikbaar.

Het doel van dit project is dan ook om:

Te komen tot een geschikt procedé voor het conserveren en benutten van zoetwatervoorraden onder een dikke kleilaag, en voor het benutten van overtollig zoetwater vrijkomend uit samengestelde, peilgestuurde drainage voor kunstmatige aanvulling van zoetwatervoorraden via putten.

1.2 Projectlocatie

Bij het biodynamische landbouwbedrijf Meulwaeter, gevestigd aan de Hogenakkerweg 25 te Kruiningen en eigendom van de familie Van Hootegem, komen de genoemde condities samen. Meulwaeter is een in hoofdzaak plantaardig biologisch productiebedrijf van meer dan 100 hectare (Figuur 1-1). De gewassen die worden verbouwd zijn gevoelig voor droogte, hetgeen leidt tot een reductie van de opbrengst. Momenteel zijn de percelen van Meulwaeter conventioneel gedraineerd. Ook zijn in 2017 drie diepdrains (5 m-maaiveld) aangelegd. Uit waarnemingen van Dhr. Van Hootegem blijkt dat slechts één van deze drains enig water produceert. Meulwaeter wenst de watervoorziening te verbeteren met een overstap naar peilgestuurde drainage, subirrigatie en beregening in het voorjaar (jonge aanplant, met een gewenst maximaal debiet dat wordt geschat op 60 m³/uur).

De ca. 10 m dikke, bruikbare zoetwatervoorraad, die aanwezig is onder een heterogene deklaag ter plaatse van een centraal perceel van 25 ha, kan hierbij als bron dienen voor subirrigatie en beregening op een zo groot mogelijk areaal. Voorwaarden hierbij zijn dat er productieve winmiddelen (horizontaal en/of verticaal) onder de heterogene deklaag aangebracht kunnen worden én er kunstmatige aanvulling van de zoetwatervoorraad wordt gerealiseerd, zodat conservering van de zoetwatervoorraad is gegarandeerd.



Figuur 1-1: Overzicht van de percelen van Meulwaeter. 'Poldertje', een perceel van 25 ha, is de beoogde projectlocatie.

1.3 Activiteit B: Veldwerk

Op basis van de regionale geohydrologische situatie, de waterbalans van Meulwaeter, en een grondwatermodellering, is in Activiteit A gebleken dat ondergrondse waterberging mogelijk is ter plaatse van het centrale perceel van 25 ha. Om te bepalen wat voor systeem het meest geschikt is, en op welke exacte locatie een dergelijk systeem geplaatst kan worden, moet de lokale geohydrologische situatie beter in kaart worden gebracht. Daarom is in Activiteit B het volgende veldwerk uitgevoerd:

- Gedetailleerde kartering van de ondergrond ter plaatse van het perceel van 25 ha door middel van geleidbaarheidssonderingen en geo-elektrische weerstandsmetingen (ERT);
- Uitvoering van een proefboring tot 40 m voor een gedetailleerde lithologische beschrijving, verzameling van bodemonsters, plaatsing van peilbuizen, en uitvoering van een boorgatmeting;
- Bemonstering en analyse van de geplaatste peilbuizen t.b.v. de grondwaterkwaliteit;
- Bemonstering van het drainwater.

1.4 Activiteit C:

Aansluitend op activiteit B is het volgende uitgevoerd om te komen tot inzichten ter validatie van de keuze van het uiteindelijke putontwerp:

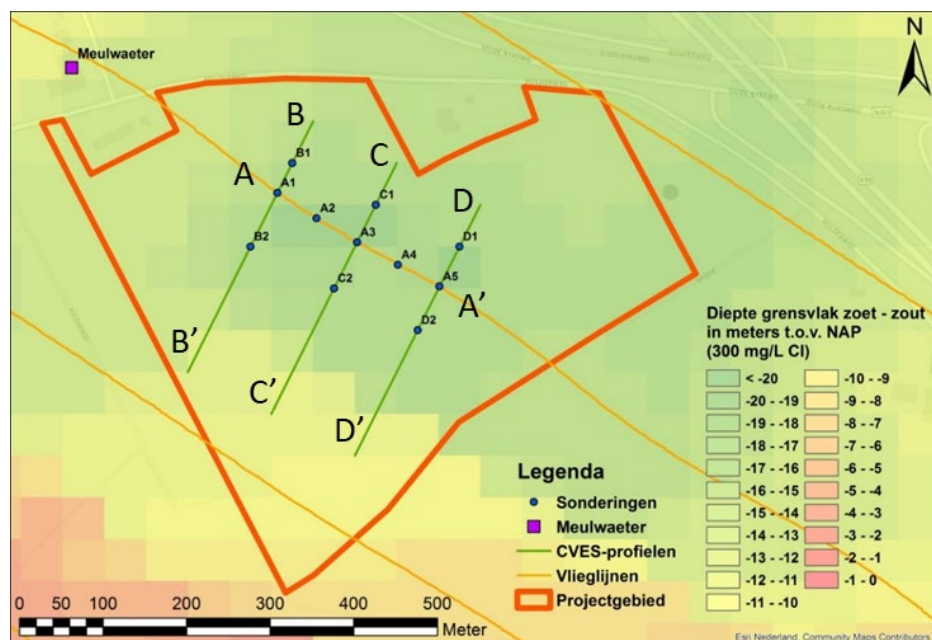
- Bijwerken grondwatermodel op basis van de nieuw verkregen resultaten, valideren prestaties van meest kansrijke putconfiguratie(s) uit Activiteit A;
- Definiëren van vermoedelijk optimale procedé op basis van de geohydrologische situatie, de waterbalans en de modelresultaten, alsmede de drainwaterkwaliteit;
- Functioneel design specificatie (FDS) opstellen van het totale watersysteem ten behoeve van nadere engineering en realisatie door aannemer.
- Opstellen kostenraming.

2 Fase B: onderzoeksmethoden

2.1 Gedetailleerde kartering van de ondergrond

Voor een gedetailleerde kartering van de ondergrond ter plaatse van het centrale perceel van 25 ha heeft Fugro op 9-4-2019 11 geleidbaarheidsonderingen uitgevoerd tot een diepte van 40 meter (Figuur 2-1 en Tabel 2-1). Daarnaast heeft Deltares langs drie profielen geo-elektrische weerstandsmetingen (ERT: electrical resistivity tomography) verricht op 27-3-2019 (Figuur 2-1 en Tabel 2-2). De ERT-metingen zijn uitgevoerd met een 8-kanaals DAS1 systeem (Multi Phase Technologies, zie www.mpotech3d.com/), met een elektrodenafstand van 2 m. De inversie van de schijnbare weerstanden zijn uitgevoerd met inversie-codes RES2DINV en DC2DPRO, met inachtneming van de NAP hoogte (gemeten met DGPS). De resultaten van de geleidbaarheidsonderingen zijn meegenomen in deze inversie. Langs een vierde profiel is de elektrische weerstand van de bodem geëxtraheerd uit de FRESHEM Zeeland vlieglijn. De locaties van deze metingen zijn opgenomen in Figuur 2-1.

Op basis van deze gegevens is de heterogeniteit van de ondergrond geanalyseerd, met name van de aanwezigheid van kleilagen. Daar waar het grondwater zoet is kan op basis van de elektrische weerstandsverdeling de aanwezigheid van kleilagen worden vastgesteld. Het grondwater in de kreekrug is tot 20 m-mv zoet, op basis van FRESHEM. In brak tot zout grondwater (naastgelegen poelgronden) zijn kleivoorkomens lastiger te onderscheiden. Met deze informatie kan een geschikte locatie worden uitgekozen voor het te realiseren ondergronds waterbergingsstelsel.



Figuur 2-1: Locaties van geleidbaarheidsonderingen en ERT-profielen ('CVES-profielen') in het projectgebied. De exacte x- en y-coördinaten zijn weergegeven in Tabel 2-1 en Tabel 2-2. De geschatte diepte van het zoet-zout grensvlak is weergegeven als de diepte waar de chlorideconcentratie van grondwater gelijk is aan 300 mg/L Cl. De oranje lijnen zijn vlieglijnen waarvan de geleidbaarheid van de bodem reeds is bepaald (FRESHEM Zeeland).

Tabel 2-1: Overzicht van x- en y- coördinaten (RD) van de geleidbaarheidssonderingen.

Sondering	X-coördinaat	Y-coördinaat
A1	62507,2	383914,3
A2	62553,8	383883,9
A3	62602,8	383855,2
A4	62647,5	383826,3
A5	62701,2	383802,8
B1	62524,9	383950,0
B2	62475,3	383850,1
C1	62630,1	383911,8
C2	62574,7	383800,0
D1	62725,0	383850,0
D2	62674,8	383749,9

Tabel 2-2: Overzicht van de x- en y- coördinaten (RD) van de ERT-profielen.

ERT	Startpunt		Eindpunt		Lengte m
	X-coördinaat	Y-coördinaat	X-coördinaat	Y-coördinaat	
B-B'	62548,6	383999,0	62406,9	383713,8	320
C-C'	62649,9	383950,0	62506,9	383663,7	320
D-D'	62750,0	383900,0	62606,9	383613,8	320

2.2 Analyse drainwater

Om te toetsen of het drainwater voldoende schoon is voor infiltratie, is als leidraad het infiltratiebesluit bodembescherming gebruikt (wetten.overheid.nl/BWBR0005957/2009-12-22). Daarnaast kan putverstopping optreden als de kwaliteit van het drainwater niet voldoet aan bepaalde operationele richtlijnen. Putverstopping kan o.a. optreden door colloïdale en gesuspendeerde deeltjes, chemische neerslagen, of biologische groei (Martin, 2013). Het drainwater is daarom driemaal bemonsterd voor een uitgebreide chemische analyse: op 11-2-2019, 12-3-2019, en 19-3-2019 (Figuur 2-2). EC, pH, O₂, temperatuur, troebelingsgraad, en MFI zijn direct in het veld geanalyseerd. De macrochemie en de concentratie zwevend stof zijn door Aqualab Zuid geanalyseerd, en de concentratie adenosinetrifosfaat (ATP) is door KWR bepaald in het lab. Eurofins heeft het drainwater geanalyseerd op bestrijdingsmiddelen.



Figuur 2-2: Bemonstering van drainwater. De drain is rechtsonder zichtbaar in oranje. Het uittredende drainwater is opgevangen in een stalen emmer en vervolgens zijn de veldparameters geanalyseerd en is het drainwater bemonsterd voor analyses in het lab. De betonnen buis is een duiker van de sloot die momenteel het drainwater vanaf het perceel verzameld.

2.3 Proefboring, boorgatmeting, en analyse bodemmonsters en grondwater

Van 13-5-2019 tot 17-5-2019 is een pulsboring uitgevoerd en zijn bodemmonsters verzameld voor een gedetailleerde lithologische beschrijving op de locatie die het meest kansrijk is voor een ondergronds waterbergingssysteem (Figuur 2-3). De locatie van deze proefboring komt overeen met sondering A3. Na deze boring zijn drie peilbuizen geplaatst in het boorgat, en is met een handboring een freatische peilbuis (peilbuis 1) geplaatst naast het boorgat van de pulsboring. De peilbuizen zijn afgewerkt met twee schutkokers (Figuur 2-4). De filterdieptes van deze peilbuizen zijn weergegeven in Tabel 2-3 en Bijlage III. De einddiepte van peilbuis 4 is dieper dan de bodem van het filter, en de diameter is 2 inch. Dit faciliteert een boorgatmeting tot 40 m-mv, welke op 20-5-2019 is uitgevoerd met een sonde die gamma-metingen en EM-metingen verricht. Het grondwater uit de peilbuisfilters is op 27-5-2019 bemonsterd na grondig doorspoelen van de peilbuisfilters (Figuur 2-4).



Figuur 2-3: Uitvoering van de proefboring en een impressie van de geroerde bodemmonsters.



Figuur 2-4: Veldimpressie van de geplaatste peilbuizen tijdens de bemonstering van grondwater.

Tabel 2-3: Gegevens van de geplaatste peilbuizen op sonderlocatie A3 (X = 62603; Y = 383855).

Peilbuis	Methode	Diameter (inch)	Top filter (m-mv)	Bodem filter (m-mv)	Einddiepte (m-mv)
1	Handboring	1	1,5	2,5	2,5
2	Pulsboring	1	11	12	12
3	Pulsboring	1	19	20	20
4	Pulsboring	2	29,5	30,5	40

3 Fase B: resultaten nader onderzoek geohydrologie

3.1 Geleidbaarheidssonderingen, ERT-profielen, en interpretatie vlieglijn

De Deltaresrapportages van de geleidbaarheidssonderingen zijn opgenomen in Bijlage I en weergegeven in Figuur 3-1 t/m Figuur 3-4. De elektrische geleidbaarheid van de ondergrond (EC_{bulk}) is in deze figuren weergegeven als blauwe lijn, de berekende weerstandsratio (Rf) als zwarte lijn, en het midden van de mengzone tussen zoet en zout grondwater (D_{mix} bij 2,5 mS/cm) als rood punt. De rapportage van de interpretatie van de FRESHM-vlieglijn en van de ERT-metingen, die door Deltares is opgesteld, is opgenomen in Bijlage II. Profielen van de elektrische weerstand van de bodem ($\rho_{bulk} = 1/EC_{bulk}$) zijn weergegeven in Figuur 3-5 en Figuur 3-6. De globale patronen die uit deze data naar voren komen zijn opgenomen in Figuur 3-7.

De lage EC_{bulk} -waarden tot ca. 20 m-mv laten duidelijk de aanwezigheid van een zoet waterlichaam zien tot een diepte van ca. 20 m-mv. Deze waarneming is in lijn met het onderzoek dat in fase A is verricht. Voor profiel A-A' geldt dat de diepte van D_{mix} toeneemt van A naar A'. De overgang van zoet naar zout grondwater is het scherpst tussen A2 en A4 en de dikte van deze mengzone neemt toe naar A'. Daarom wordt brak grondwater minder diep aangetroffen bij A', en is de zoetwaterlens het dikst tussen A2 en A4. Voor profielen B-B' en C-C' geldt dat de diepte van D_{mix} afneemt van respectievelijk B naar B' en C naar C'. Dit heeft echter geen significante invloed op de dikte van de zoetwaterlens, en de mengzone tussen zoet en brak grondwater is vrijwel gelijk voor deze sonderingen. De mengzone tussen zoet en brak grondwater is erg dik bij profiel D-D' en neemt toe van D naar D'. Globaal gezien neemt de dikte van de mengzone toe van het noordwesten naar het zuidoosten. Vanwege de dikkere mengzone tussen zoet en brak grondwater, en het kleinere volume zoetwater dat kan worden benut, is het gebied rondom profiel D-D' in ieder geval minder geschikt voor het plaatsen van een ASR-systeem dan de overige sondeerlocaties.

De hoge Rf -waarden in de bovenste meters van de ondergrond duiden op een kleiige toplaag. De dikte van deze kleiige toplaag bedraagt ca. 5-6 meter bij sonderingen A1, B1, en C1 (DKMG1, DKMG6, en DKMG8), wat de beperkte capaciteit van de diepdrain aldaar kan verklaren. De dikte van deze kleiige toplaag neemt af van A naar A', van B naar B', en van C naar C' en dus van het noordwesten naar het zuidoosten.

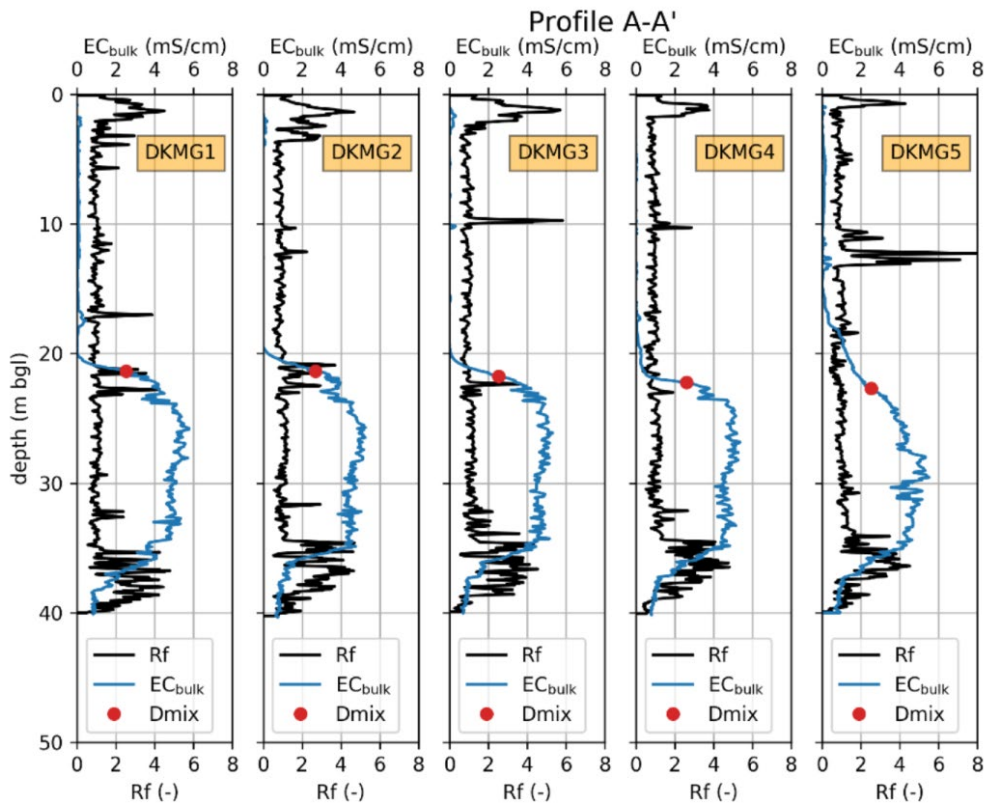
Op een diepte van ca. 35 m-mv neemt de EC_{bulk} af in alle geleidbaarheidssonderingen. Deze afname correspondeert met de toename van de Rf -waarden. Dit duidt op de aanwezigheid van klei-afzettingen van de mariene Oosterhout formatie, waarvan het poriewater waarschijnlijk een lager zoutgehalte heeft dan de zandige afzettingen daarboven (zie ook sectie 3.2).

In de overgangszone van zoet naar zout grondwater zijn in veel sonderingen hoge Rf -waarden gemeten. Deze hoge waarden corresponderen met de aanwezigheid van kleilagen op ca. 20-25 m-mv. Deze kleilagen zijn minder sterk aanwezig in het zuidoosten (profielen C-C' en D-D'), wat de verklaring kan zijn voor een dikkere mengzone van zoet en brak grondwater aldaar.

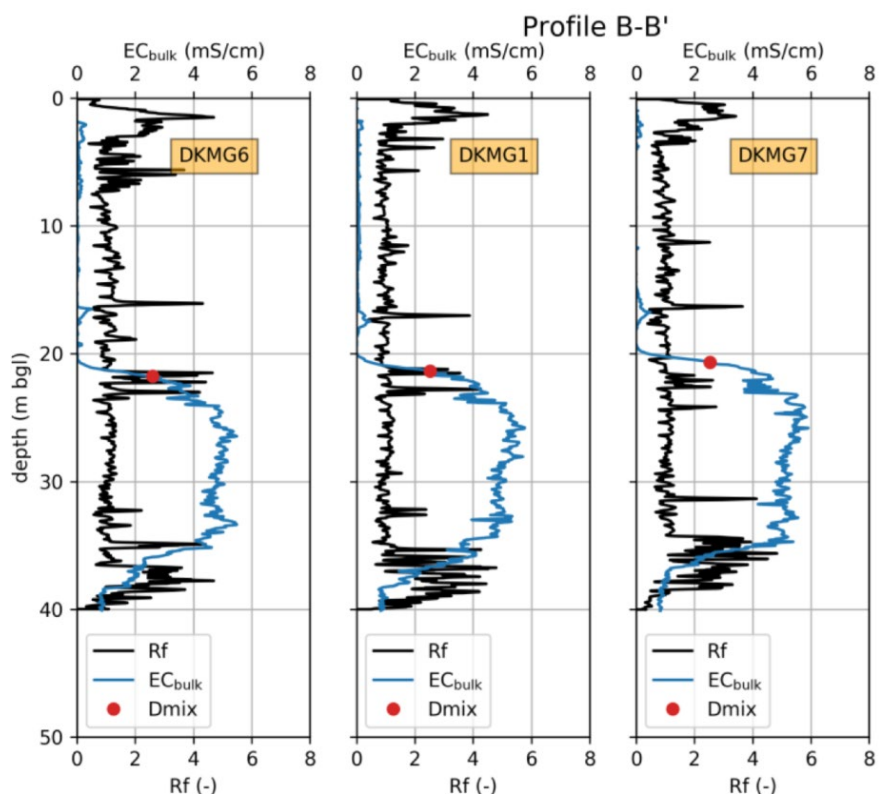
Tussen de toplaag en de kleilagen op ca. 20 m-mv komt met name zoet grondwater voor. De lage R_f -waarden op deze dieptes duiden op een laag kleigehalte en zandige afzettingen, welke geschikt kunnen zijn voor het plaatsen van putfilters t.b.v. infiltratie van drainwater. De elektrische geleidbaarheid in de bovenste 20 meter van de ondergrond neemt toe van B naar B', van C naar C', en van D naar D', oftewel van het noordoosten naar het zuidwesten, en is het hoogst langs profiel C-C'. Dit kan duiden op een lager kleigehalte of een grovere korrelgrootte.

Het plaatsen van een putfilter van een ondergronds waterbergingsysteem in een grofzandige afzetting kan de infiltratiecapaciteit bevorderen. In Bijlage I zijn deze grofzandige lagen te herkennen aan de hoge conusweerstand. Hieruit blijkt dat deze afzettingen tussen de toplaag en 20 m-mv meer voorkomen op sondeerlocaties A2, A3, A4, B2, D1, en D2 dan op de andere sondeerlocaties. Lokaal komen echter ook kleilagen voor tussen de toplaag en 20 m-mv, welke de werking van een ondergrondse wateropslag juist kunnen belemmeren. Deze kleilagen komen vooral voor op sondeerlocaties A1, A5, B1, B2, C1, C2, en D1.

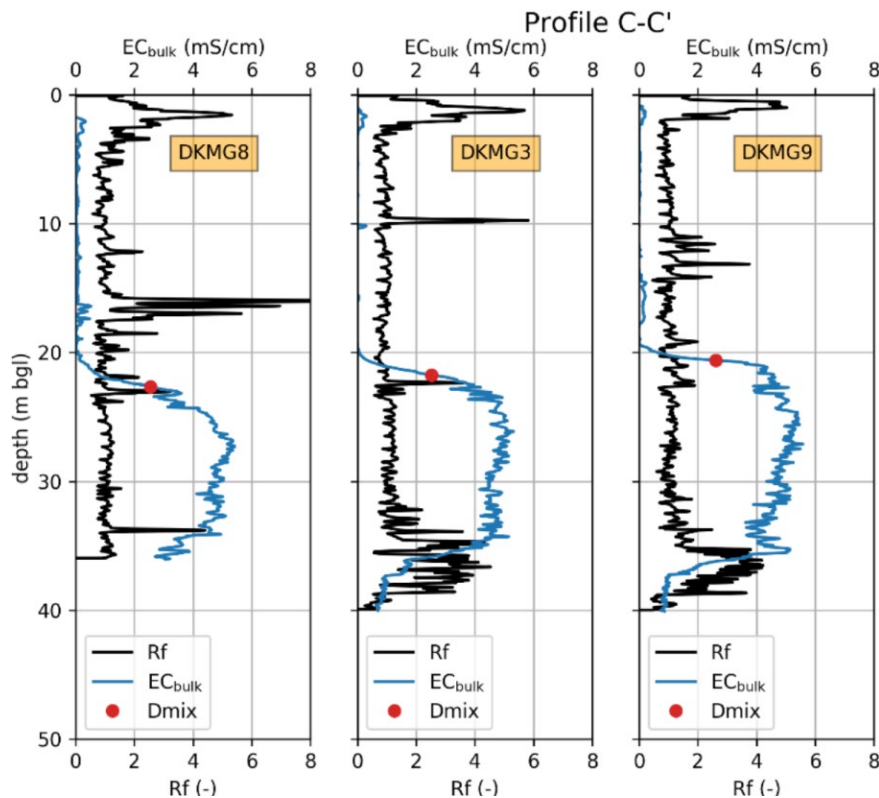
Op basis van de afwezigheid van deze lokale kleilagen, de aanwezigheid van grofzandige afzettingen, de dikte van de zoetwaterlens, en de absolute dikte van het zandpakket tussen de toplaag en de kleilagen op ca. 20 m-mv, wordt verondersteld dat een verticaal ASR-systeem het beste gerealiseerd kan worden rondom sondeerlocaties A2, A3, en A4. Een horizontaal ASR-systeem lijkt door de heterogeniteit in de ondiepe afzettingen niet haalbaar. Bij realisatie van een horizontaal systeem zouden de delen van de horizontale put die in zandige afzettingen zijn gelegen een grote capaciteit hebben, terwijl de delen die in fijnere of kleiige afzettingen zijn gelegen juist niet of nauwelijks water geven, zoals de diepdrain in het noorden van het perceel.



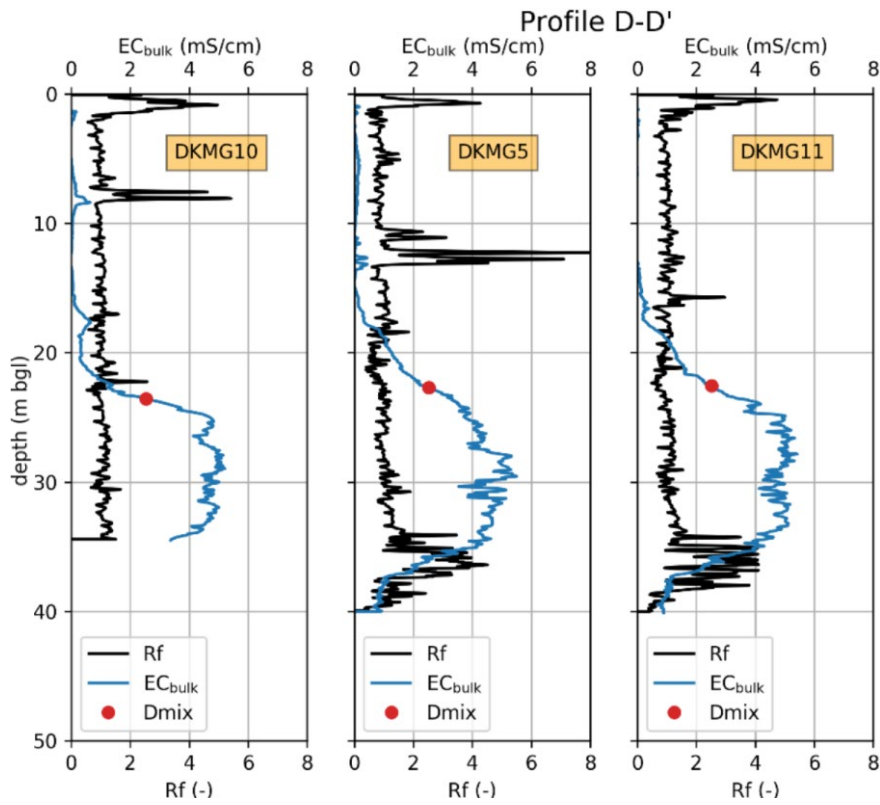
Figuur 3-1: Sonderingen A1 (DKMG1) tot A5 (DKMG5), uit Pauw et al. (2019).



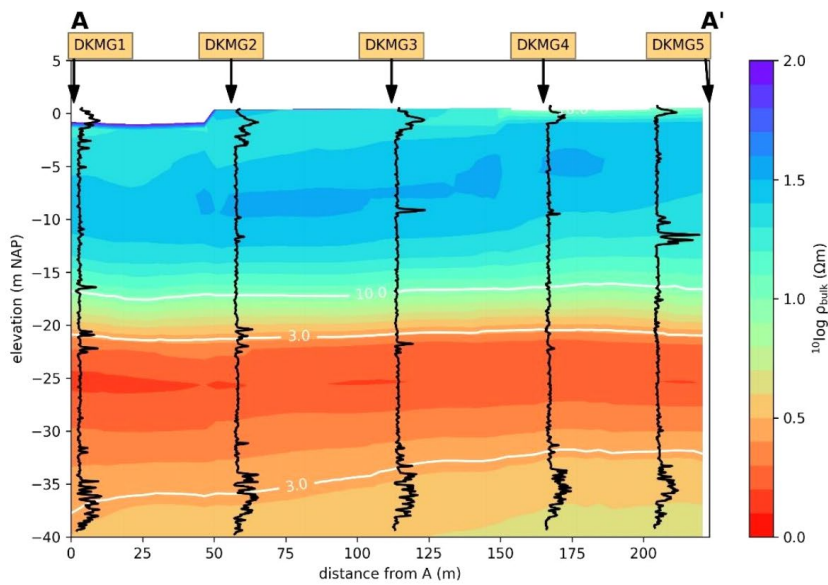
Figuur 3-2: Sonderingen B1 (DKMG6), A1 (DKMG1), en B2 (DKMG7), uit Pauw et al. (2019).



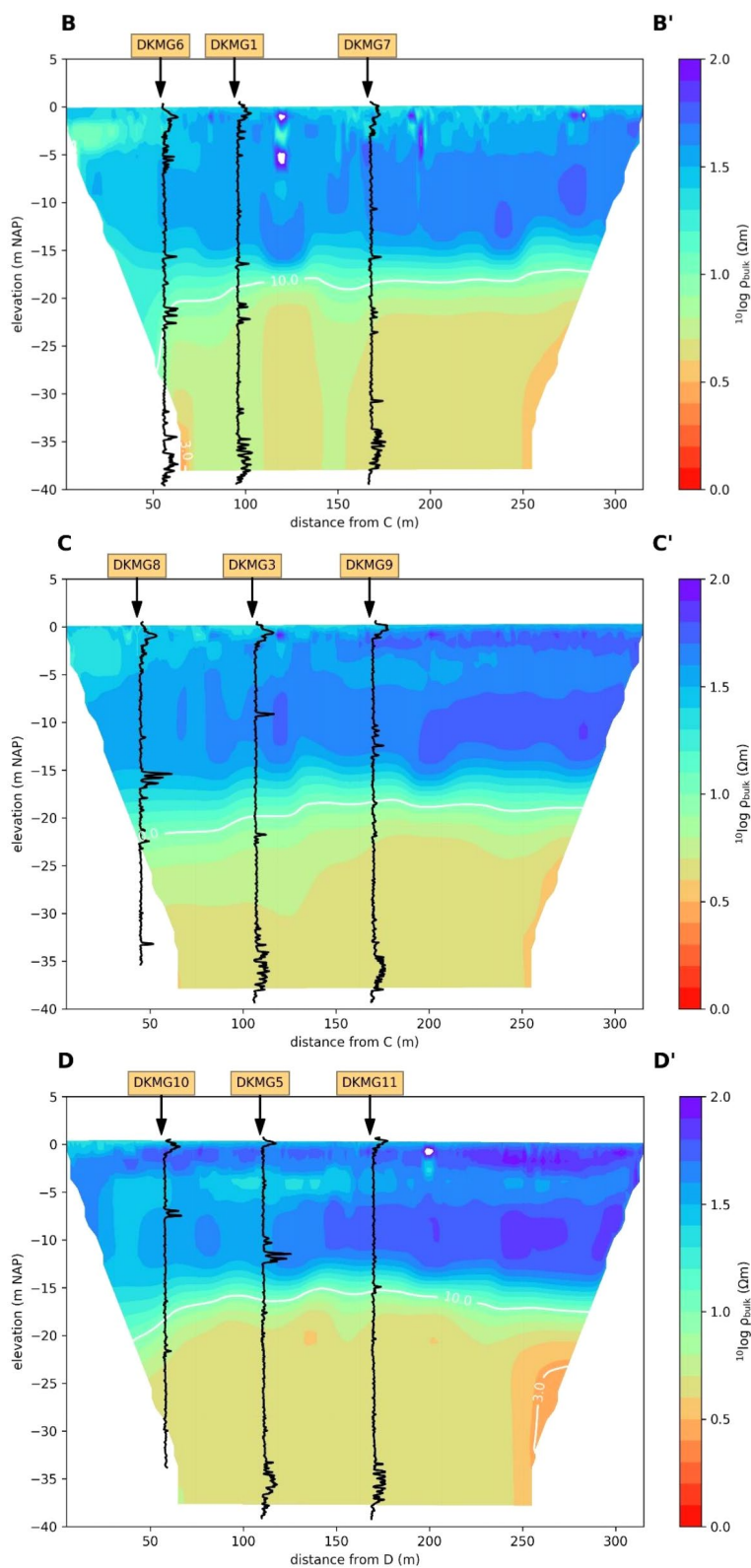
Figuur 3-3: Sonderingen C1 (DKMG8), A3 (DKMG3), en C2 (DKMG9), uit Pauw et al. (2019).



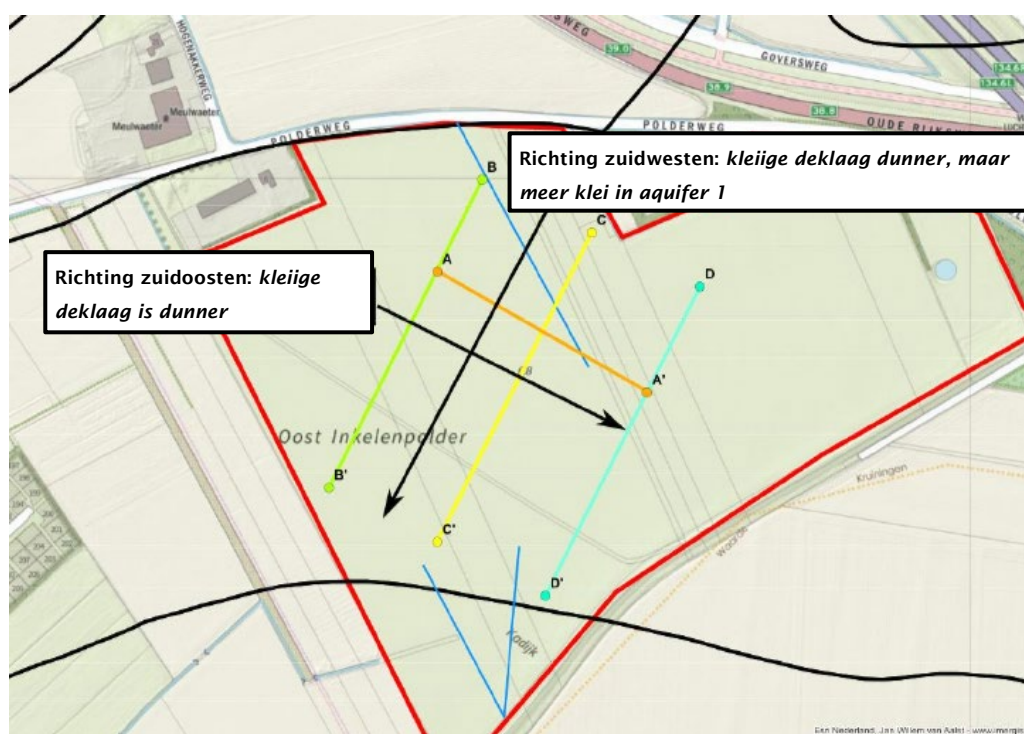
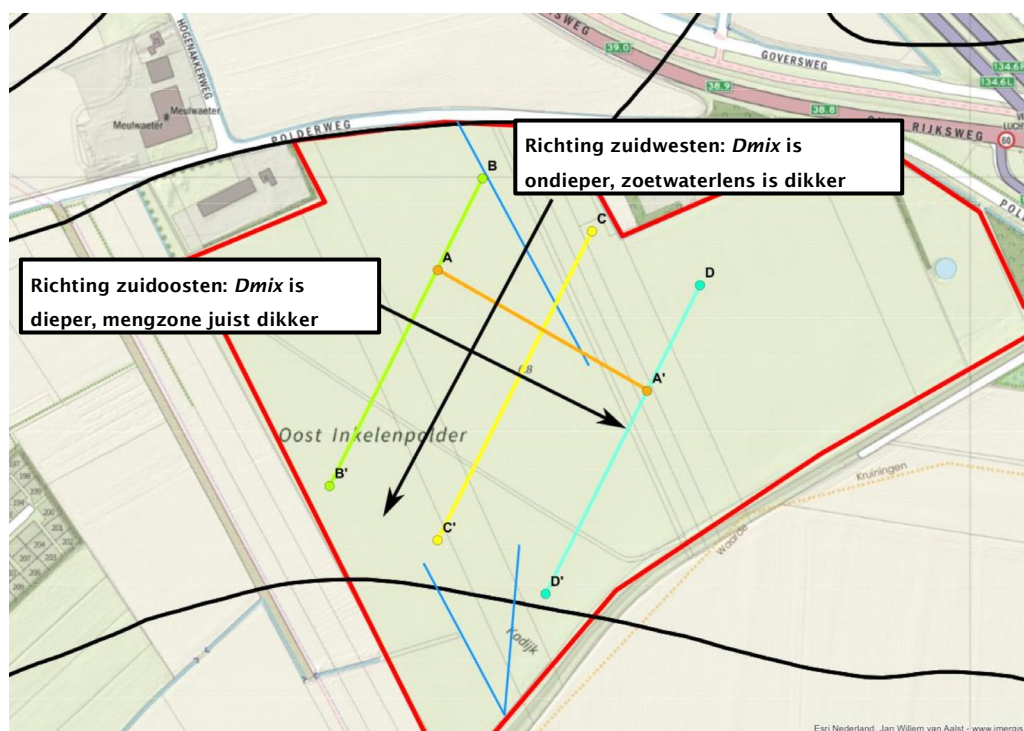
Figuur 3-4: Sondingen D1 (DKMG10), A5 (DKMG5), en D2 (DKMG11), uit Pauw et al. (2019).



Figuur 3-5: Elektrische weerstand van de ondergrond ($\rho_{bulk} = 1/EC_{bulk}$) langs traject A-A', welke zijn geëxtraheerd uit de vlieglijn-data van FRESHEM. De zwarte lijnen tonen de geschaalde Rf-waarden van de geleidbaarheidssondingen langs dit traject. De witte contouren tonen de 3 en 10 Ωm isolijnen.



Figuur 3-6: Elektrische weerstand van de ondergrond ($\rho_{\text{bulk}} = 1/EC_{\text{bulk}}$) langs trajecten B-B', C-C', en D-D' welke is bepaald middels ERT volgens de 'free inversion'-methode. De zwarte lijnen zijn de geschaalde R_f -waarden van de geleidbaarheidssonderingen langs deze trajecten. De witte contouren tonen de 3 en 10 Ωm isolijnen.



Figuur 3-7: Overzicht van het projectgebied, vergelijkbaar met Figuur 2-1, met daarin de ERT-profielen (A-A'; oranje, B-B'; groen, C-C'; geel; D-D'; cyaan), diepdraains op 5 m-mv (blauw), omvang van de kreekrugafzettingen (zwarte lijnen), en generieke trends die blijken uit de veldmetingen (zwarte pijlen en tekst). Boven = trends in zoutgehalte, onder = trends in lithologie.

3.2 Proefboring

In paragraaf 3.1 is toegelicht waarom het gebied rondom de sondeerlocaties A2, A3, en A4 het meest geschikt is voor de realisatie van een ASR-systeem. Om de resultaten van de geleidbaarheidsonderingen en ERT-metingen beter te kunnen interpreteren, is gekozen om de proefboring uit te voeren op dezelfde locatie als sondering A3.

3.2.1 Lithologische beschrijving

De boorstaten van de pulsborings en de handborings, die op basis van veldwaarnemingen van de geroerde steekmonsters zijn geconstrueerd, zijn gegeven in Bijlage III. De boorstaat die in het laboratorium is geconstrueerd op basis van de geroerde steekmonsters is opgenomen in Bijlage IV, evenals de korrelgrootteverdeling van de geroerde steekmonsters die zijn genomen tussen 2 en 35 m-mv.

Ter plaatse van de proefboring bestaat de eerste 2 meter voornamelijk uit (matig) stevige klei. In het veld is tussen de 22 m-mv en 2 m-mv een 'fining-up'-sequentie waargenomen van zwak siltig en matig fijn zand tot uiterst siltig en uiterst fijn zand. Uit de korrelverdelingen van de geroerde steekmonsters blijken in werkelijkheid twee 'fining-up' sequenties aanwezig te zijn:

- Van matig grof zand tot matig fijn zand tussen 22 m-mv en 13 m-mv;
- Van matig grof zand tot uiterst fijn zand tussen 13 m-mv en 2 m-mv.

Deze 'fining-up' sequenties duiden op geulafzettingen zoals die worden gevonden tijdens verzanding van een geul. De grofste zandfracties zijn aangetroffen op 12 - 13 m-mv en 19 - 22 m-mv: de geul bevond zich op dat moment in het onderzoeksgebied. In het veld zijn tussen 8 en 15 m-mv schelpenresten aangetroffen, welke duiden op (nabijheid van) een marien milieu. In de geroerde steekmonsters zijn deze schelpenresten aangetroffen tussen 10 en 22 m-mv. Het heterogene pakket tot 22,1 m-mv maakt dus deel uit van de kreekrug.

Op 22,1 m-mv is in het veld een kleilaag aangetroffen van ca. 20 cm. Deze komt ongeveer overeen met de grens tussen de bovenliggende Naaldwijk en Eem formaties (relatief jonge, mariene kreek) en de onderliggende Waalre formatie (fluviaal, aanmerkelijk ouder). Deze kleilaag is niet zichtbaar in de korrelverdelingen van het lab, wel in de sondering A3. Beneden 22,1 m-mv zijn met name zandige afzettingen aangetroffen tot ca. 34,7 m-mv, waarvan de korrelgrootte afneemt met de diepte van matig fijn zand tot uiterst fijn zand. Op 32,5 m-mv worden deze zandige afzettingen onderbroken door een laag klei van ca. 10 cm, welke ongeveer de overgang van de bovenliggende Waalre formatie naar de mariene Oosterhout formatie markeert. In het veld zijn in het zeer fijne zand onder deze kleilaag wederom schelpenresten aangetroffen.

Tussen 34,7 m-mv en 36,7 m-mv is in het veld zeer stevige klei aangetroffen met schelpenresten. Onder deze klei is in het veld tot 38,5 m-mv een uiterst fijne zandlaag aangetroffen, welke in het lab is geïnterpreteerd als dezelfde kleilaag die is waargenomen tussen 34,7 m-mv en 36,7 m-mv. Tussen 38,5 m-mv en 40 m-mv zijn zeer fijne tot matig fijne zanden aangetroffen met schelpenresten, welke op 39,1 m-mv worden onderbroken door een kleilaag van ca. 10 cm.

Deze waarnemingen komen niet geheel overeen met de rapportage van sondering A3. De kleilaag die in A3 op ca. 10 m-mv is geïnterpreteerd is niet waargenomen in de boorstaat. Mogelijk betreft het dus een zeer lokale kleilaag die op de locatie van de

pulsboring (ca. 1 meter verwijderd van de sondeerlocatie) niet meer aanwezig of detecteerbaar is. Een tweede mogelijkheid is dat de schelpenresten op deze diepte voor een hogere porositeit zorgen en dus voor de hogere weerstandsratio EC_{bulk} en door een geringere conusweerstand voor een hoger wrijvingsgetal, waardoor dit is geïnterpreteerd als kleilaag. Dit kan gunstig zijn voor de realisatie van een ondergrondse waterberging nabij deze locatie, aangezien kleilagen rondom een putfilter de infiltratiecapaciteit reduceren en de doorstroming verstoren.

3.2.2 Boorgatmeting

De resultaten van de boorgatmeting zijn opgenomen in Figuur 3-8 en Bijlage V. De gamma metingen geven over het algemeen de verdeling van klei en zand weer. Een hoge gAPI- of GR-waarde duidt op de aanwezigheid van klei en een lage gAPI-waarde op de aanwezigheid van zand. Aanvulklei en het mineraal glauconiet zorgen doorgaans ook voor hogere GR-waarden. De EM-metingen geven een beeld van de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond (EC_{bulk}), welke zowel door de lithologie als de waterkwaliteit wordt beïnvloed. In zout grondwater is EC_{bulk} hoger dan in zoet grondwater en in klei is EC_{bulk} doorgaans hoger dan in grof zand. Om variaties in het lage bereik van EC_{bulk} beter zichtbaar te maken is ook de elektrische weerstand van de ondergrond ($\rho_{bulk} = 1 / EC_{bulk}$) weergegeven.

De resultaten van de boorgatmeting zijn grotendeels in lijn met de lithologische beschrijving van het boorgat (Bijlage III). De 'fining-up' sequentie van de korrelgrootte tussen 0 en 22 m-mv is ook duidelijk te herkennen in de GR-waarden die toenemen van beneden naar boven (Figuur 3-8: **A**). De hoge GR-waarden in de eerste 3 meter beneden maaiveld (Figuur 3-8: **B**) komen goed overeen met het voorkomen van uiterst fijn zand en klei (Figuur 3-8: **C**). Ook de lage ρ_{bulk} waarden komen goed overeen met het voorkomen van de kleiige toplaag (Figuur 3-8: **D**). ρ_{bulk} is hoger in de bovenste 1.6 m (Figuur 3-8: **E**) dan tussen 1,6 en 2,5 m-mv, wat samenhangt met de onverzadigde zone. De toename van ρ_{bulk} vanaf 2,5 m-mv hangt samen met een toename van de korrelgrootte en een afname van het kleigehalte (Figuur 3-8: **F**).

De dunne kleilaag tussen 22,1 en 22,3 m-mv is niet zichtbaar in de gammameting. Wel nemen de GR waarden vanaf deze diepte toe (Figuur 3-8: **G**), wat duidt op een hoger kleigehalte in het sediment en een afname van de korrelgrootte. Op de diepte van de tweede dunne kleilaag in de boorbeschrijving (32,8 m-mv) nemen de GR waarden verder toe (Figuur 3-8: **H**). Onder deze kleilaag bevindt zich tot 34.5 m zeer fijn zand (Figuur 3-8: **I**). De toename van de GR-waarden vanaf 32,8 m-mv duidt op de aanwezigheid van glauconiet. In de Oosterhout formatie, die vanaf deze diepte voorkomt, komt doorgaans het mineraal glauconiet voor. De hoge GR waarden tussen 34,5 en 37 m-mv komen overeen met de kleilaag op deze diepte (Figuur 3-8: **J**).

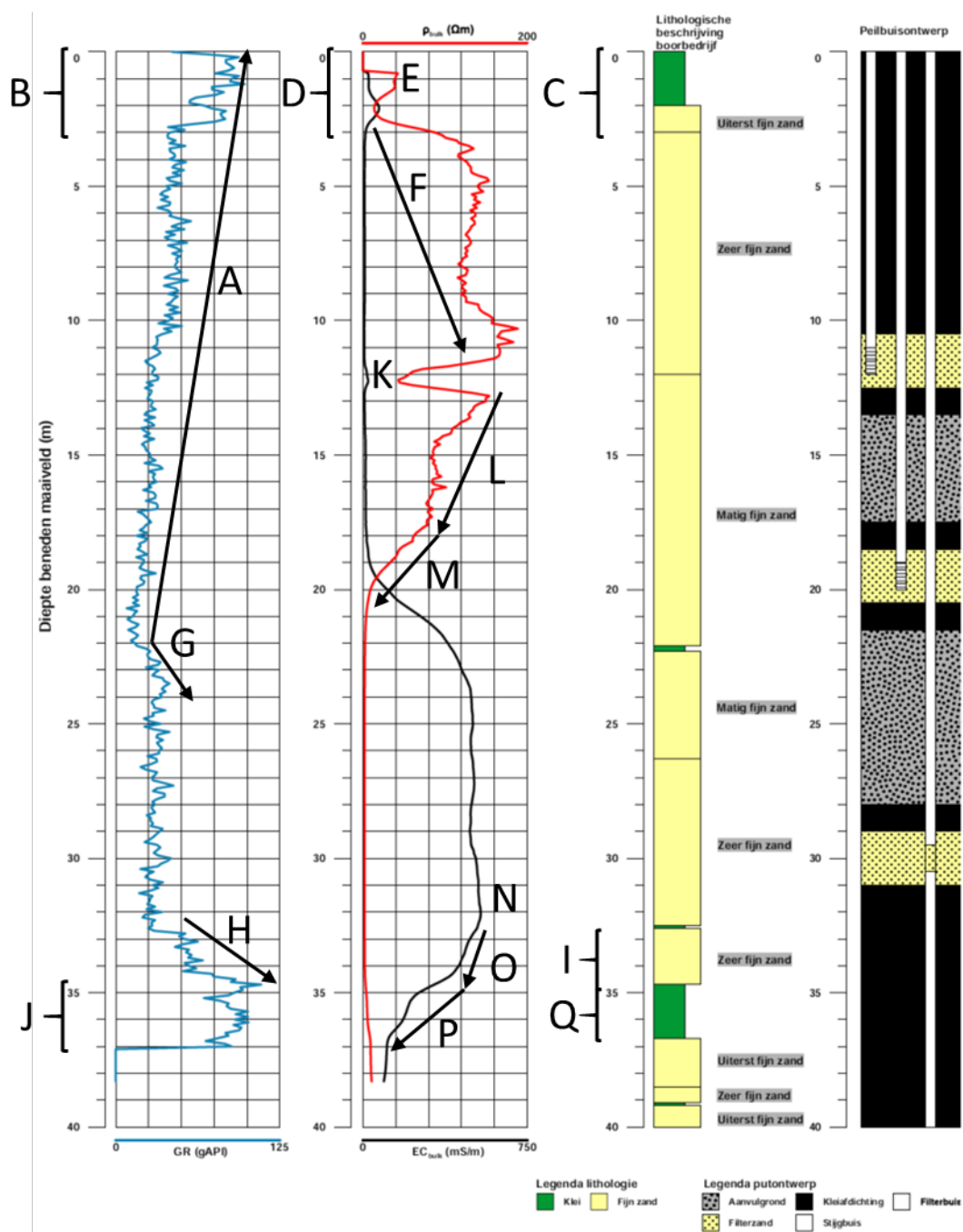
Tussen 11,5 en 12,5 m-mv neemt ρ_{bulk} opvallend af (Figuur 3-8: **K**), zonder dat de GR-waarden toenemen. Deze diepte komt ongeveer overeen met de grens tussen de twee waargenomen 'fining-up' sequenties in de geroerde steekmonsters. In sondering A3 is een opvallende laag 'klei' geïnterpreteerd op ca. 10 m-mv die niet voorkwam in de boorbeschrijving. Een toename van de porositeit (veen of schelpenlaag met een hoog poriegehalte) lijkt op basis van de resultaten echter de meest waarschijnlijke verklaring voor de lage ρ_{bulk} -waarden. In het veld zijn namelijk duidelijk schelpen aangetroffen in het sediment die voor een verhoogde porositeit kunnen hebben gezorgd.

Vanaf 13 m-mv neemt ρ_{bulk} af tot 80 Ω m op ca. 17,5 m-mv (Figuur 3-8: **L**), waarbij de GR-waarden iets hoger zijn dan vlak daarboven. Beneden 17,5 m-mv nemen de GR-

waarden sterker af en ρ_{bulk} ook (Figuur 3-8: **M**). Deze verandering duidt op een verandering van de grondwaterkwaliteit (toename van het zoutgehalte van het grondwater). Op basis van deze resultaten lijkt de transitie van zoet naar brak/zout grondwater dus ca. 2 meter minder diep voor te komen dan werd verwacht op basis van geleidbaarheidssondering A3. Wel komt het goed overeen met de interpretatie van de FRESHEM-vlieglign (Figuur 3-5).

EC_{bulk} bereikt in het zoute grondwater een waarde van ruim 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figuur 3-8: **M**), wat vermoedelijk Holoceen transgressiewater betreft. Vanaf de kleilaag op 32,8 m-mv neemt de EC_{bulk} weer geleidelijk af in het zeer fijne zand (Figuur 3-8: **O**). In de kleilaag daaronder is de afname sterker en bereikt EC_{bulk} een waarde van ca. 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figuur 3-8: **P**). Dit wijst wederom op een verandering van de grondwaterkwaliteit (afname van het zoutgehalte). Het poriewater is in de Oosterhout formatie dus zoeter dan in de Waalre formatie, wat waarschijnlijk een restant is van pre-Holoceen grondwater. Het voorkomen van zoeter water op deze diepte bleek tevens uit de interpretatie van de FRESHEM-vlieglign (Figuur 3-5). De kleilaag op ca. -32,8 m-mv beschermt dit volume zoeter grondwater tegen verzilting (Figuur 3-8: **Q**).

De invloed van klei-afdichtingen op de GR -, EC_{bulk} -, en ρ_{bulk} -waarden is op deze locatie beperkt.



Figuur 3-8: GR, EC_{bulk} , en ρ_{bulk} gemeten met de boorgatmeting in het diepste peilbuisfilter. De boorbeschrijving en het peilbuisontwerp zijn tevens weergegeven. De letters A t/m Q zijn gebruikt om naar te refereren in de tekst.

3.3 Grondwaterkwaliteit

De grondwaterkwaliteit ter hoogte van de vier peilbuisfilters is weergegeven in Tabel 3-1. Het freatische grondwater is erg zoet, met een EC van 930 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en een chlorideconcentratie van 10 mg/L ('regenwater'). Het grondwater ter hoogte van het tweede peilbuisfilter is tevens zoet, maar heeft al een duidelijk hogere chlorideconcentratie van 310 mg/L. Peilbuisfilter 3 bevindt zich in de mengzone tussen zoet en brak grondwater, met een EC van 4.030 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en een chlorideconcentratie van 940 mg/L. Het grondwater ter hoogte van peilbuisfilter 4 is zout, met een EC van 23.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en een chlorideconcentratie van 8600 mg/L. Deze waarnemingen komen goed overeen met de resultaten van de boorgatmeting.

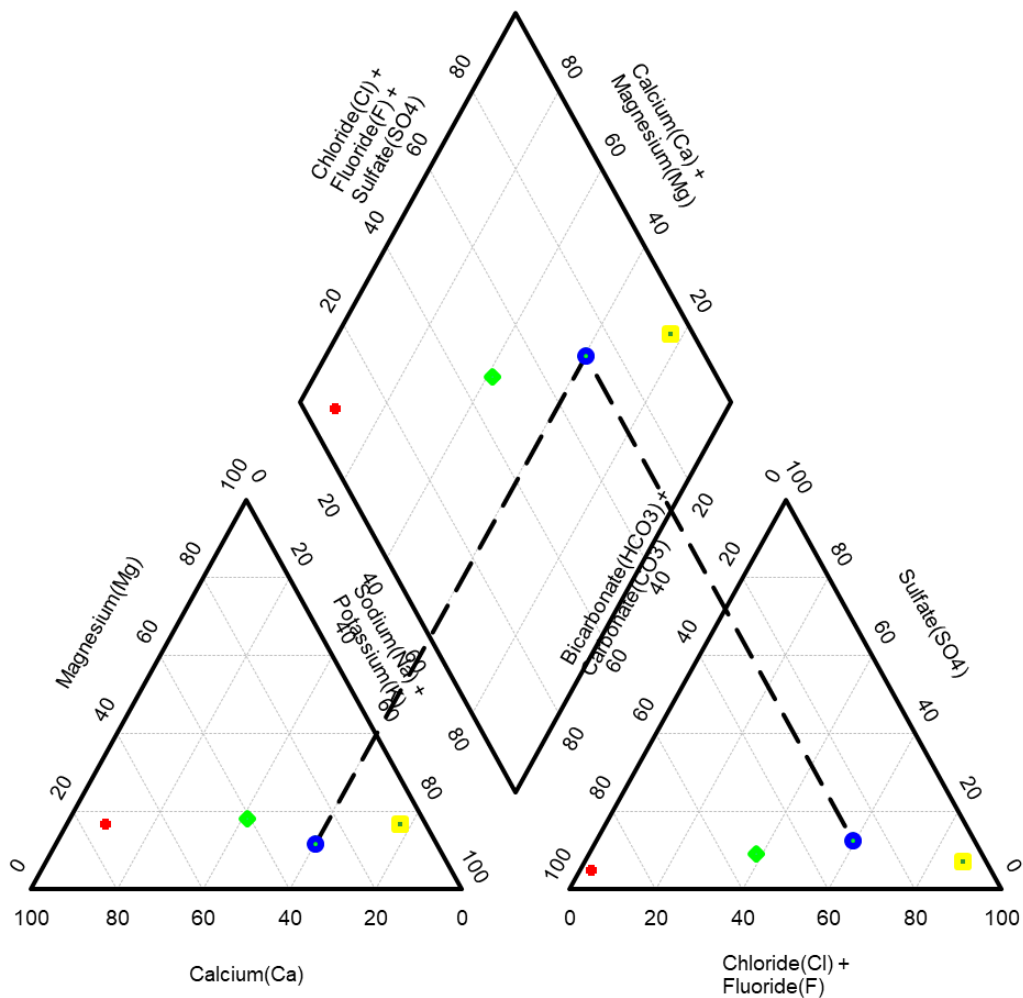
De positieve BEX-waarden ter hoogte van de eerste drie peilbuisfilters laten zien dat het grondwater aldaar onderhevig is (geweest) aan verzoeting, terwijl de negatieve waarde ter hoogte van het diepste peilbuisfilter juist duidt op verziltende omstandigheden (Stuyfzand, 2008), vermoedelijk tijdens de Holocene transgressie, of mogelijk door recentere zoetwaterwinning in de regio. Nitraat blijft voor alle peilbuisfilters onder de detectielimiet. Samen met de metingen van lage concentraties zuurstof (vermoedelijk in werkelijkheid 0,0 mg/l) en relatief hoge concentraties ijzer en mangaan duidt dit op anoxische omstandigheden.

Tabel 3-1: Grondwaterkwaliteit ter hoogte van de vier peilbuisfilters, bemonsterd op 27-5-2019. De monsters zijn geanalyseerd op 29-5-2019, wat mogelijk invloed heeft op de analyseresultaten van de 24-uursparameters ammonium, nitraat, en waterstofcarbonaat.

	Peilbuisfilter	#	1	2	3	4
	Bovenkant filter	m-mv	1.5	11	19	29.5
	Onderkant filter	m-mv	2.5	12	20	30.5
Veldmetingen						
EC (bij 20°C)		$\mu\text{S}/\text{cm}$	930	2.000	4.030	23.600
pH		-	7,13	7,92	7,05	7,21
O ₂		mg/L	3,6	0,7	0,8	1,3
Temperatuur		°C	13,7	13,8	13,5	13,4
Lab-metingen						
Na		mg/L	21	190	550	4.500
Cl		mg/L	10	310	940	8.600
Ca		mg/L	160	170	230	310
K		mg/L	2,6	14	25	150
Mg		mg/L	22	46	58	530
Fe		$\mu\text{g}/\text{L}$	4.400	11.000	3.200	11.000
Mn		$\mu\text{g}/\text{L}$	320	330	550	340
HCO ₃		mg/L	660	720	760	910
NH ₄		mg/L	0,52	0,92	1,6	6,3
NO ₃		mg/L	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
PO ₄		mg/L	<0,04	<0,04	0,06	<0,04
DOC		mg/L	5	3,8	5,4	11
SO ₄		mg/L	27	99	270	940
As		$\mu\text{g}/\text{L}$	1,8	1,8	0,76	0,85
F		mg/L	0,39	0,34	0,38	<0,2
Parameters						
BEX (Base Exchange Index; Stuyfzand, 2008)		meq/L	2,5	3,0	0,9	-16,8

Het grondwater ter hoogte van de eerste twee peilbuisfilters heeft een calcium-magnesium-bicarbonaat type, terwijl de twee diepere peilbuisfilters juist worden gekarakteriseerd met een natrium-chloride type, met name door de invloed van het zoute grondwater aldaar (Figuur 3-9).

De concentraties van calcium en bicarbonaat volgen de molaire evenwichtsratio van 1:2 voor oplossing van calciumcarbonaat erg goed. Dit is ook het geval als rekening wordt gehouden met magnesium en de oplossing van magnesium-carbonaten, behalve voor het vierde peilbuisfilter. De concentraties van fosfaat lijken te laag, mogelijk door adsorptie aan ijzer dat vlokken vormt en neerslaat uit de monsters.



Figuur 3-9: Piper-diagram met daarin de vier grondwatermonsters (rood = P1, groen = P2, blauw = P3, geel = P4).

4 Fase B: Kwaliteit drainwater

De kwaliteit van het bemonsterde drainwater (Tabel 4-1) is qua zoutconcentratie en hardheid vergelijkbaar met het freatische grondwater dat is bemonsterd in het eerste peilbuisfilter. In het drainwater is echter wel nitraat aangetroffen en de concentraties van ijzer en mangaan zijn vele malen lager. Daarnaast is er vrijwel geen ammonium aangetroffen in drainwater, wat wel het geval was in het freatische grondwater dat is bemonsterd in het eerste peilbuisfilter. Dit duidt op meer zuurstofrijke condities, kenmerkend voor ondieper grondwater. De verklaring hiervoor is dat de drains tijdens bemonstering alleen het bovenste grondwater aan het afkomen waren: drains liepen wel, maar slechts kort in deze winter. De relatief hoge verhouding natrium:chloride suggereert verzoeting tijdens de winter van zoutere condities in de zomer, wat logisch is in deze omgeving. Daarom moet men in acht nemen dat de kwaliteit van het drainwater niet per definitie volledig representatief is voor een heel jaar.

4.1 Infiltratiebesluit

Het bemonsterde drainwater voldoet grotendeels aan de eisen die zijn gesteld in het infiltratiebesluit bodembescherming (Tabel 4-1). Bij één bemonsteringsronde overschreed enkel zwevend stof de toegestane concentratie. Er zijn geen bestrijdingsmiddelen aangetroffen in het bemonsterde drainwater. Omdat Meulwaeter een biodynamisch landbouwbedrijf is, werd dit op voorhand ook niet verwacht.

4.2 Verstoppingspotentie

Hoewel de waterkwaliteit geen restrictie zal zijn voor vergunningen m.b.t. het infiltreren van drainwater, moet er wel rekening gehouden worden met de operationele eisen voor putverstopping (Tabel 4-1).

De MFI-metingen die zijn uitgevoerd in het veld zijn onbetrouwbaar door defecte apparatuur. De colloïdale verstoppingspotentie van het drainwater wordt daarom bepaald aan de hand van de troebelingsgraad en de concentratie zwevend stof. Beide parameters overschrijden bij de eerste bemonsteringsronde de operationele eis, maar voldoen hier bij de laatste analyseronde wel aan (Tabel 4-1). Dit kan komen doordat er naar verloop van tijd meer neerslag gevallen is, waardoor de drains langer lopen en 'schoonsoelen'.

De concentratie ijzer dient laag te zijn om chemische putverstopping door ijzerveerslagen zo veel mogelijk uit te sluiten. De gemeten concentratie opgelost ijzer overschrijdt de operationele norm bij de eerste bemonsteringsronde. Bij de twee latere bemonsteringsrondes voldoet deze wel aan de operationele eis. Voor twee bemonsteringsrondes geldt dat de totale concentratie ijzer lager is dan de concentratie opgelost ijzer. De oorzaak hiervoor is onbekend, maar vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door het feit dat de concentraties zeer laag zijn. Hierdoor vormt Fe op basis van deze metingen geen risico voor verstopping.

De concentratie opgelost organisch koolstof (DOC) dient als maat voor de microbiologische groei, m.a.w. voor de biologische verstoppingspotentie. Bij alle bemonsteringsrondes overschrijdt de concentratie DOC de operationele eis. Wel geldt dat ook de concentratie DOC naar verloop van tijd afneemt. Onbekend is welk deel van

de DOC werkelijk benut kan worden voor biologische groei (BDOC of AOC). Bij toekomstige analyses wordt aangeraden ook deze component te meten.

4.3 Voorzuivering

De kwaliteit van het drainwater kan worden verbeterd door het water te zuiveren voordat het naar de ondergrond wordt geïnfiltreerd. Op basis van deze waarnemingen kan worden gefocust op het voorkomen van hardnekkige verstopping door deeltjes en/of neerslag ontstaan tijdens het verzamelen van het water. Daarom dient voor infiltratie minimaal een fijn veiligheidsfilter geplaatst te worden, zodat het water vrij van deeltjes naar de infiltratiebronnen wordt getransporteerd.

Tabel 4-1: Kwaliteit van het bemonsterde drainwater tijdens de drie bemonsteringsrondes, en de eisen die aan infiltratiewater worden gesteld vanuit wetgeving en operationele richtlijnen.

Parameter	Eenheid	Analyseresultaat			Gemiddeld ¹	Wetgeving ²	Operationele richtlijn
		1	2	3			
Analyseronde	#	1	2	3	1, 2, en 3		
Datum	dd/m/jj	11/2/19	12/3/19	19/3/19			
Veldmetingen							
EC (bij 20°C)	µS/cm	775 ³	827	908	837		
pH	-	7,26 ³	6,33	7,25	6,9		
O ₂	mg/L	9,45	7,51	6,4	7,8		
Temperatuur	°C	18,4 ³	8,5	8,8	11,9		
Parameters die putverstopping kunnen veroorzaken							
Troebelingsgraad	NTU	20	3,3	0,45	7,9		1
Zwevend stof	mg/L	12	<2	<2	5,3	0,5 ⁴	0,1
Ijzer opgelost (Fe)	µg/L	15 ⁵	<5	7,4 ⁵	9,1		10
Ijzer totaal (Fe-tot)	µg/L	9,2 ⁵	36	<5 ⁵	16,7		
DOC	mg/L C	7,3	4,2	4,1	5,2		2
ATP	pg/mL	170	36	22	76		
Overige chemische waterkwaliteitsparameters							
NO ₃	mg/L N	3,6	1,1	1,2	2,0	5,6 ⁴	
NH ₄	mg/L N	<0,02	0,03	<0,02	0,02	2,5	
PO ₄	mg/L P	0,05	0,02	0,01	0,03	0,4	
Na	mg/L	19	17	20	19	120 ⁴	
Cl	mg/L	5,8	5,4	7,1	6,1	200 ⁴	
Ca	mg/L	130	140	150	140		
HCO ₃	mg/L	470	540	560	523		
Ni	µg/L	1,9	2,2	2,1	2,1	15	
Cu	µg/L	4	2	1,9	2,6	15	
Zn	µg/L	5	<5	<5	5	65	
Mn	µg/L	3,1	8,9	<0,4	4,1		
As	µg/L	1,5	1,1	0,88	1,2	10	
Bestrijdingsmiddelen							
Chloormequat chloride	µg/L		<0,015	<0,015	<0,015		
Chloormequat	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01		
Dithiocarbamaten (als CS ₂)	µg/L		<0,1	<0,1	<0,1		
AMPA	µg/L		<0,05	<0,05	<0,05		
Glufosinaat	µg/L		<0,05	<0,05	<0,05		
Glyfosaat	µg/L		<0,05	<0,05	<0,05		
Som	µg/L					0,5	

¹ Metingen beneden de detectielimiet zijn aangenomen als de detectielimiet voor de berekening van de gemiddelde drainwaterkwaliteit.

² Wet infiltratiebesluit bodembescherming: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0005957/2009-12-22>.

³ Geanalyseerd in het lab i.p.v. in het veld.

⁴ In het infiltratiewater mag 70 dagen per jaar een concentratie aanwezig zijn boven de hier genoemde, waarbij de volgende maxima niet overschreden mogen worden: zwevende stof 2 mg/l; Cl 300 mg/l; Na 180 mg/l en NO₃ 11,2 mg N/l.

⁵ Fe heeft een hogere concentratie dan Fe-tot. De verklaring hiervoor is onbekend.

5 Fase C: Herijking modellering grondwatertransport

5.1 Aanpak

Eén van de doelen van fase C is:

- *Bijwerken grondwatermodel op basis van de nieuw verkregen resultaten, valideren prestaties van meest kansrijke putconfiguratie(s) uit Activiteit A*

Het grondwatermodel dat in Fase A is gemaakt, is aan de hand van de hiervoor beschreven veldresultaten aangepast. In dit hoofdstuk zullen de belangrijkste verschillen met de eerdere grondwatermodellering worden toegelicht. Met het grondwatermodel zijn twee kansrijke putconfiguraties doorgerekend. In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven die zijn verkregen met dit aangepaste grondwatermodel.

5.2 Aanpassingen grondwatermodel

5.2.1 Modelcode en celgroottes

De celgrootte is evenals in de eerdere modellering in Fase A in principe 50x50 m, maar is nabij de putten verder verfijnd van 10x10 m naar 5x5 m. De celgrootte buiten het perceelgebied van ca. 25ha is niet gewijzigd. Aangenomen is dat dispersiviteit en diffusie respectievelijk 0,1 m en $8.64 \cdot 10^{-6}$ m²/dag (10^{-10} m²/s) bedragen.

5.2.2 Bodemopbouw

Binnen het perceelgebied van 25 ha is de bodemopbouw aangepast conform de interpretatie van de verkregen veldresultaten (Tabel 5-1). De weerstand van de deklaag nabij het perceel is zoals eerder aangenomen op ca. 500 dagen. De K-waarden van zandige intervallen zijn gebaseerd op de korrelgrootteverdeling via de methode van Kozeny-Carman. De bodemopbouw in de regio buiten het onderzoeksgebied is evenals in Fase A gebaseerd op REGIS II.2 en GEOTOP.

5.2.3 Randvoorwaarde: grondwaterstanden

Hier zijn geen wijzigingen in aangebracht. Als randvoorwaarde aan de zijkant en bodem zijn wederom de gemeten stijghoogten op peilbuislocatie B49C0038 (uit Grondwatertools) overgenomen en vertaald naar constante zoetwaterstijghoogten. Daarbij is aangenomen dat nabij de peilbuislocatie de concentratie gemiddeld maximaal 7,5 g chloride/L bedraagt tot de bovenkant van de hydrologische basis van het model (Rupel klei) op 104 m-mv.

In het model is niet meegenomen dat de grondwaterstand kunstmatig verhoogd zal worden door subirrigatie. Wanneer dit wel gebeurt (zoals gepland), dan heeft dit hooguit een positief effect op de groei van de zoetwaterlens en dus de ondergrondse opslag.

5.2.4 Grondwateraanvulling

Hier zijn geen wijzigingen in aangebracht. De grondwateraanvulling is wederom bepaald door gebruik te maken van neerslag- en verdampingsreeksen van het KNMI. Daarnaast is de mate van afstroming naar het oppervlaktewatersysteem van belang. Deze factor is ingeschat door kalibratie van het grondwatertransportmodel op basis van het al dan niet stabiel blijven van de aanwezige zoetwaterlens in de ondergrond met de tijd.

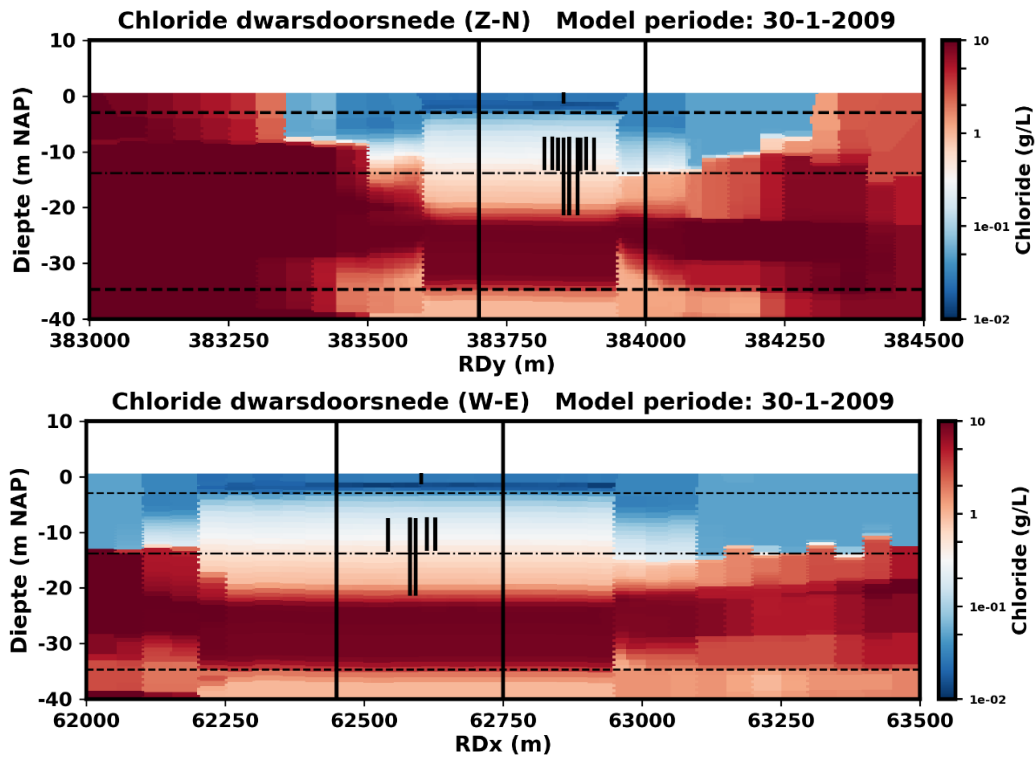
5.2.5 Initiële Cl-verdeling en concentratie in infiltratiewater

De Initiële Cl-verdeling in de regio is gestoeld op FRESHEM (zie Figuur 5-1). Voor het perceelgebied is ter hoogte van de vier peilbuisfilters (bemonsterd op 27-5-19) de chlorideconcentratie bepaald (Tabel 3-1). De gemodelleerde chlorideconcentraties in Tabel 5-1 zijn gebaseerd op de veldmetingen ter hoogte van de peilbuisfilters (Tabel 3-1). De chlorideconcentraties tussen twee peilbuisfilters in zijn geïnterpoleerd op basis van EC_{bulk} , korrelgrootte, en lithologie (o.a. Figuur 3-8). De chlorideconcentratie in infiltratiewater is uit metingen van drainwater bepaald op 6 mg chloride/L (Tabel 4-1).

De Cl-concentratie zijn aan de rand van het perceel zo goed mogelijk aangesloten op de regionale Cl-concentraties uit FRESHEM, maar sprongen in concentraties konden hierbij niet worden voorkomen.

Tabel 5-1: Modelkarakterisatie, gebaseerd op de interpretatie van de veldresultaten.

Modellaag	Top m+NAP	Bot m+NAP	Dikte (m)	Ss (-)	K_hor (m/d)	Verticale anisotropie	Cl (g/L)
1	0,59	-1,41	2,00	0,1	0,04	10	0,01
2	-1,41	-1,91	0,50	1,0E-05	2	5	0,01
3	-1,91	-2,41	0,50	1,0E-05	2	5	0,03
4	-2,41	-3,41	1,00	1,0E-06	3	5	0,05
5	-3,41	-4,41	1,00	1,0E-06	3	5	0,08
6	-4,41	-5,41	1,00	1,0E-06	3	5	0,12
7	-5,41	-6,41	1,00	1,0E-06	3	5	0,15
8	-6,41	-7,41	1,00	1,0E-06	3	5	0,18
9	-7,41	-8,41	1,00	1,0E-06	4	5	0,21
10	-8,41	-9,41	1,00	1,0E-06	7	3	0,25
11	-9,41	-10,41	1,00	1,0E-06	7	3	0,28
12	-10,41	-11,41	1,00	1,0E-06	7	3	0,31
13	-11,41	-12,41	1,00	1,0E-06	14	2	0,39
14	-12,41	-13,41	1,00	1,0E-06	9	3	0,47
15	-13,41	-14,41	1,00	1,0E-06	8	3	0,55
16	-14,41	-15,41	1,00	1,0E-06	8	3	0,63
17	-15,41	-16,41	1,00	1,0E-06	10	3	0,70
18	-16,41	-17,41	1,00	1,0E-06	12	2	0,78
19	-17,41	-18,41	1,00	1,0E-06	14	2	0,86
20	-18,41	-19,41	1,00	1,0E-06	16	2	0,94
21	-19,41	-20,41	1,00	1,0E-06	16	2	1,50
22	-20,41	-21,41	1,00	1,0E-06	16	2	2,50
23	-21,41	-21,91	0,50	1,0E-05	5	5	3,50
24	-21,91	-22,41	0,50	1,0E-06	9	3	4,50
25	-22,41	-23,41	1,00	1,0E-06	8	3	7,50
26	-23,41	-24,41	1,00	1,0E-06	9	3	9,00
27	-24,41	-25,41	1,00	1,0E-06	10	3	9,00
28	-25,41	-26,41	1,00	1,0E-06	10	3	9,00
29	-26,41	-27,41	1,00	1,0E-06	4	5	8,80
30	-27,41	-28,41	1,00	1,0E-06	4	5	8,80
31	-28,41	-29,41	1,00	1,0E-06	4	5	8,60
32	-29,41	-30,41	1,00	1,0E-06	3	5	8,60
33	-30,41	-31,41	1,00	1,0E-06	3	5	8,60
34	-31,41	-32,41	1,00	1,0E-06	3	5	8,60
35	-32,41	-33,41	1,00	1,0E-06	3	5	8,00
36	-33,41	-34,11	0,70	1,0E-06	3	5	6,00
37	-34,11	-35,11	1,00	1,0E-06	0,0225	10	4,00
38	-35,11	-36,11	1,00	1,0E-06	0,0225	10	2,00
39	-36,11	-37,01	0,90	1,0E-06	3	5	1,50
40	-37,01	-37,91	0,90	1,0E-06	3	5	1,00
41	-37,91	-38,91	1,00	1,0E-06	4	5	1,00
42	-38,91	-39,41	0,50	1,0E-06	4	5	1,00
43	-39,41	-41,41	2,00	1,0E-06	9	3	1,00
44	-41,41	-43,41	2,00	1,0E-06	9	3	1,00
45	-43,41	-45,41	2,00	1,0E-06	9	3	1,00
46	-45,41	-47,41	2,00	1,0E-06	9	3	1,00
47	-47,41	-49,41	2,00	1,0E-06	9	3	1,00
48	-49,41	-51,41	2,00	1,0E-06	9	3	1,00
49	-51,41	-64,41	13,00	1,0E-06	5	3	1,00
50	-64,41	-77,41	13,00	1,0E-06	5	3	1,00
51	-77,41	-102,41	25	1,0E-06	5	3	1,5
52	-102,41	-103,41	1	1,0E-06	5	3	2



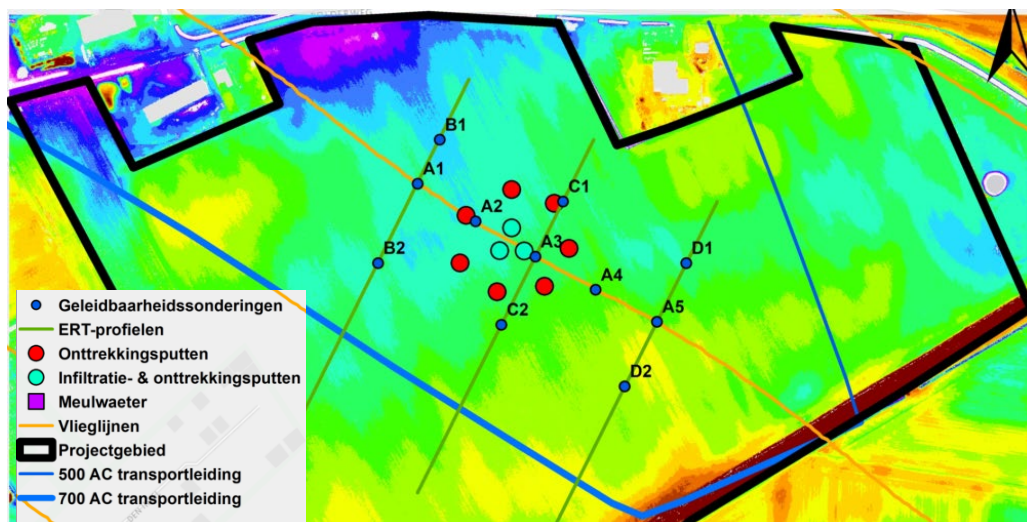
Figuur 5-1: Chlorideverdeling (zijaanzicht) in referentiescenario (geen onttrekking, geen infiltratie: concentraties blijven gelijk). Z-N dwarsdoorsnede (boven) en W-O dwarsdoorsnede (onder)

5.3 Verticale putconfiguratie (scenario 1): 3 MPPWs met 2 filterniveaus en 7 ondiepe onttrekkingsputten

In deze opzet zijn in de omgeving van het peilbuisnest A3 drie MPPWs ('multiple partially penetrating wells') geplaatst met twee filterniveaus: 8 - 21 m-mv om te infiltreren; en 8-14 m-mv om te onttrekken. Rondom deze MPPWs zijn op ca. 45 meter afstand 7 onttrekkingsputten geplaatst met eveneens een filterdiepte van 8-14 m-mv. De putten zijn geplaatst in een compact gebied van 100 x 100 m (Figuur 5-2). Voor de operationele (model)parameters tussen 1 oktober 2008 en 31 juli 2014, zie Tabel 5-2.

Tabel 5-2: Operationele debieten en volumes

Parameter	Waarde
Infiltratiecapaciteit	50 m ³ /uur (1200 m ³ /dag)
Onttrekkingscapaciteit	100 m ³ /uur (2400 m ³ /dag)
Cumulatief volume geïnfiltreerd	705.000 m ³
Cumulatief volume onttrokken	820.000 m ³
Volume onttrokken als stresstest aan einde tijdreeks	300.000 m ³
Oppervlak voor drainwateropslag	75 ha
Leveringsgebied drainwater	115 ha



Figuur 5-2: Ontwerp puttenveld scenario 1

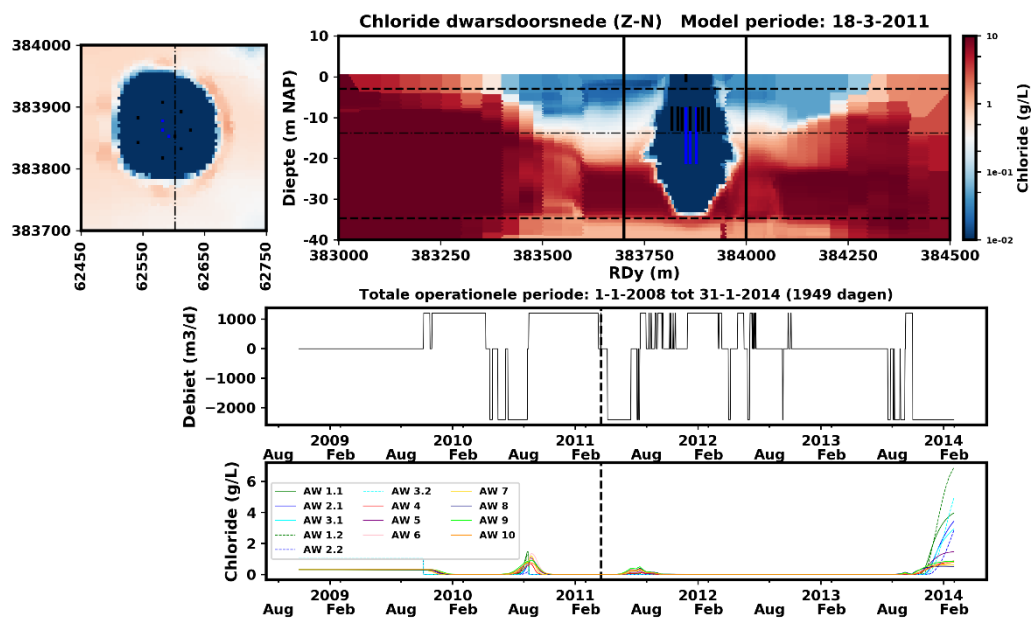
5.3.1 Resultaten

Na een lange periode van infiltratie vormt zich een lokale zoetwaterlens ('verdikking') over de gehele diepte tussen maaiveld en de scheidende kleilaag op -34 mNAP (Figuur 5-3; Figuur 5-4). De lens verdikt vooral zeer sterk in de omgeving van de putten. De omvang van de lens neemt sterk af tijdens opslagperioden en met name tijdens terugwinperioden. Opkegeling speelt een significante rol bij de verzilting in deze perioden, ondanks de spreiding van de onttrekkingsputten (Figuur 5-5; Figuur 5-6). Tot augustus 2010 is 213.600 m³ geïnfiltreerd en 177.600 m³ terug te winnen met een chlorideconcentratie lager dan 400 mg/l Cl (ca. 82 %), wat gewenst is voor irrigatie van de beoogde gewassoorten (zie rapportage van fase A). Bij langdurige onttrekking vanaf oktober 2013 verzilten de putten duidelijk binnen een maand (>400 mg/l Cl). Er is dan in totaal 585.600 m³ onder de grenswaarde onttrokken (Figuur 5-7). Over de totale periode bedraagt dit ca. 83% van het geïnfiltreerde water.

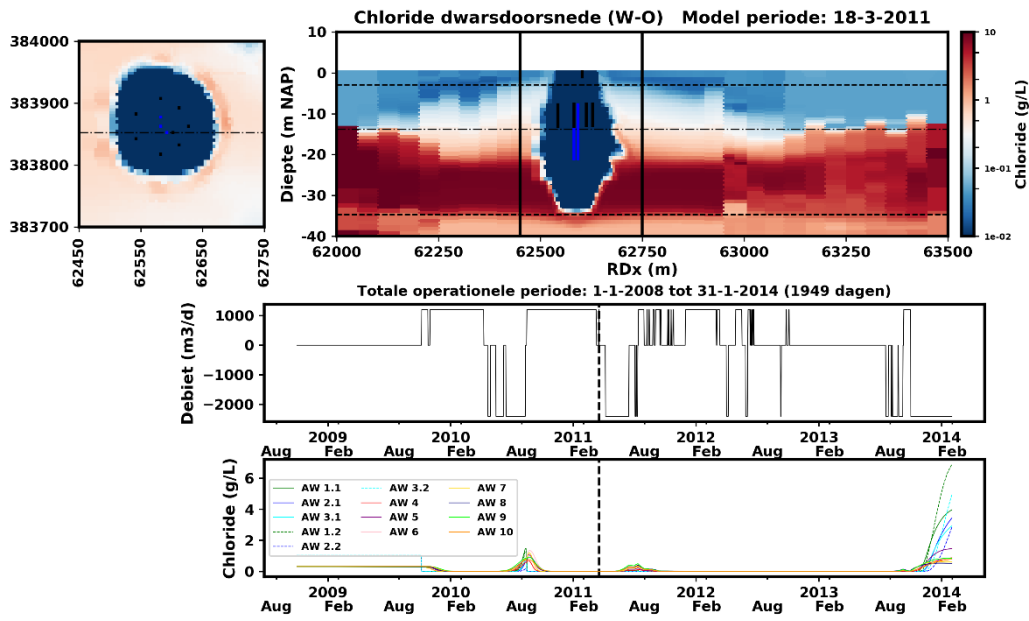
Na deze periode loopt de concentratie langzaam op tot gemiddeld 1600 mg/L na 4 maanden voluit onttrekken (Figuur 5-7). Deze verzilting is echter sterk verschillend per put(filter) en varieert van 500 mg/L tot 4000 mg/L. Door slim te onttrekken kan mogelijk tot 85% (hier: 600.000 m³) met <400 mg/l Cl worden teruggewonnen. Buiten deze marge neemt de kwaliteit steeds verder af.

De terugwinefficiëntie is berekend met behulp van een dispersiviteit van 0,1 m. Als deze parameter in werkelijkheid hoger uit blijkt te pakken, kan dit invloed hebben op de terugwinefficiëntie.

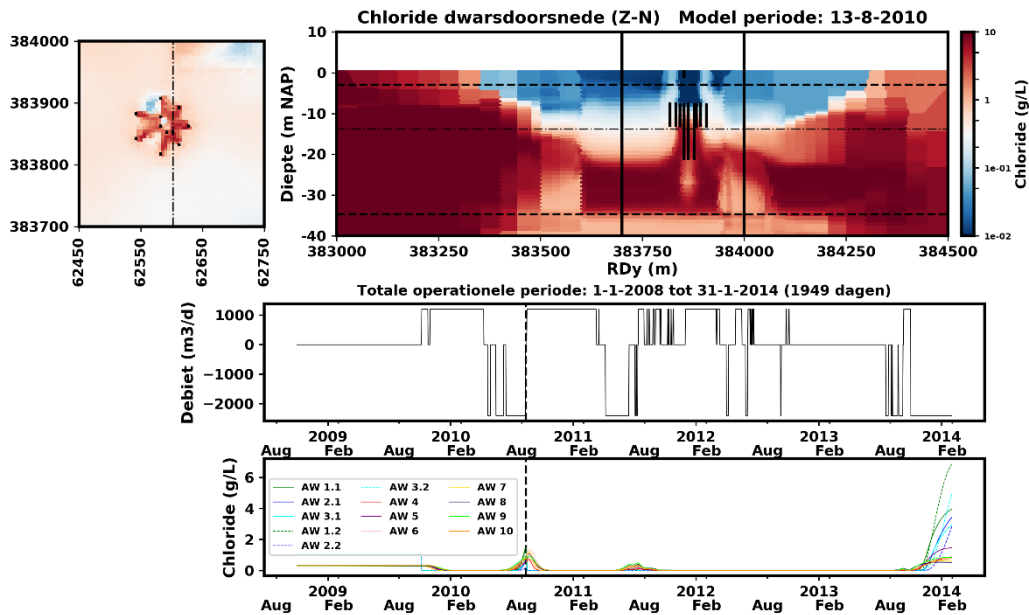
Een aandachtspunt i.v.m. mogelijk opbarsten is de invloed van het putsysteem op de stijghoogteverdeling. Deze fluctueert met de huidige opstelling van -5,5 m NAP tot +4,0 m NAP tijdens respectievelijk onttrekking en infiltratie. Dit is fors: een maximale bandbreedte van -3.5 tot +2.5 mNAP is vereist in verband met het risico op opbarsting van de deklaag (Olsthoorn, 1982) en de wens om gebruik te maken van een droog opgestelde pomp incl. zuigleiding.



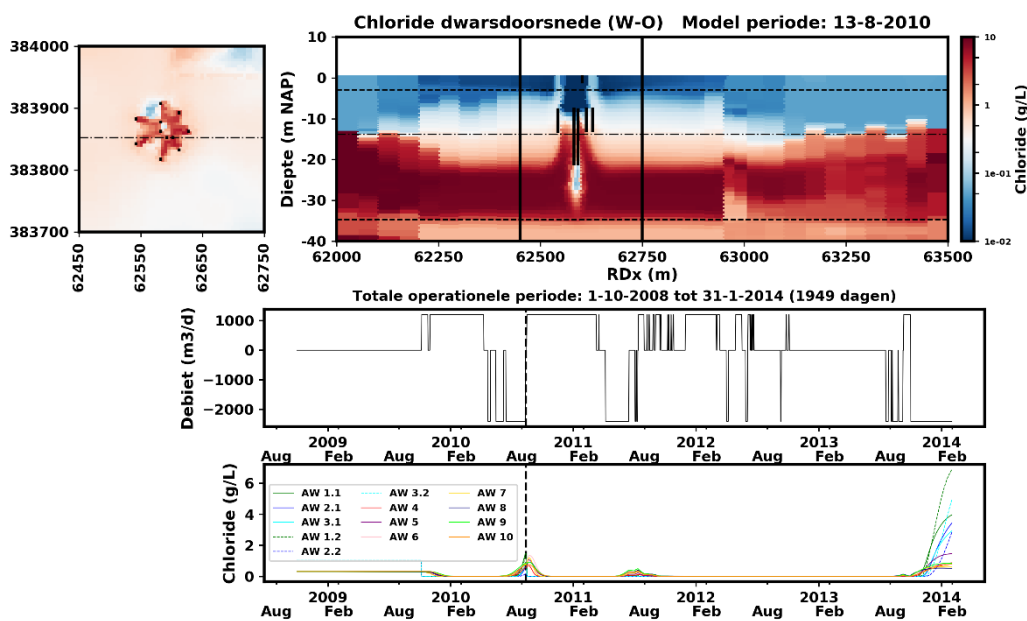
Figuur 5-3: Chlorideverdeling in Scenario 1 na infiltratie en verdikking van de zoetwaterlens (18-3-2011; linksboven = horizontaal (onderkant ondiepe filters), rechtsboven = verticaal (Z-N doorsnede), debieten per putfilter (midden), en onttrokken chlorideconcentratie (onder) met 3 MPPWs en 7 onttrekkingsfilters rondom.



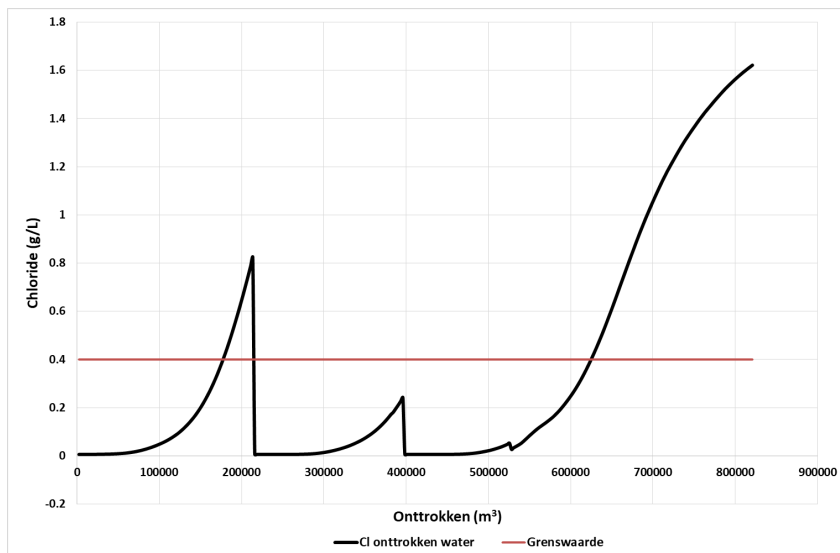
Figuur 5-4: Chlorideverdeling in Scenario 1 na infiltratie en verdikking van de zoetwaterlens (18-3-2011; linksboven = horizontaal (onderkant ondiepe filters), rechtsboven = verticaal (W-O doorsnede), debieten per putfilter (midden), en onttrokken chlorideconcentratie (onder) met 3 MPPWs en 7 onttrekkingsfilters rondom.



Figuur 5-5: Doorsnedes van de chlorideverdeling in Scenario 1 na onttrekking van zoetwater en opkegeling van het zoute grondwater (13-8-2010; linksboven = horizontaal (onderkant ondiepe filters), rechtsboven = verticaal (Z-N doorsnede), debieten per putfilter (midden), en onttrokken chlorideconcentratie (onder) met 3 MPPWs en 7 onttrekkingsfilters rondom.



Figuur 5-6: Doorsnedes van de chlorideverdeling in Scenario 1 na onttrekking van zoetwater en opkegeling van het zoute grondwater (13-8-2010; linksboven = horizontaal (onderkant ondiepe filters), rechtsboven = verticaal (W-O doorsnede)), debieten per putfilter (midden), en onttrokken chlorideconcentratie (onder) met 3 MPPWs en 7 onttrekkingsfilters rondom.



Figuur 5-7: Gemiddelde chlorideconcentratie in Scenario 1 van het onttrokken water t.o.v. de grenswaarde (400 mg/L chloride).

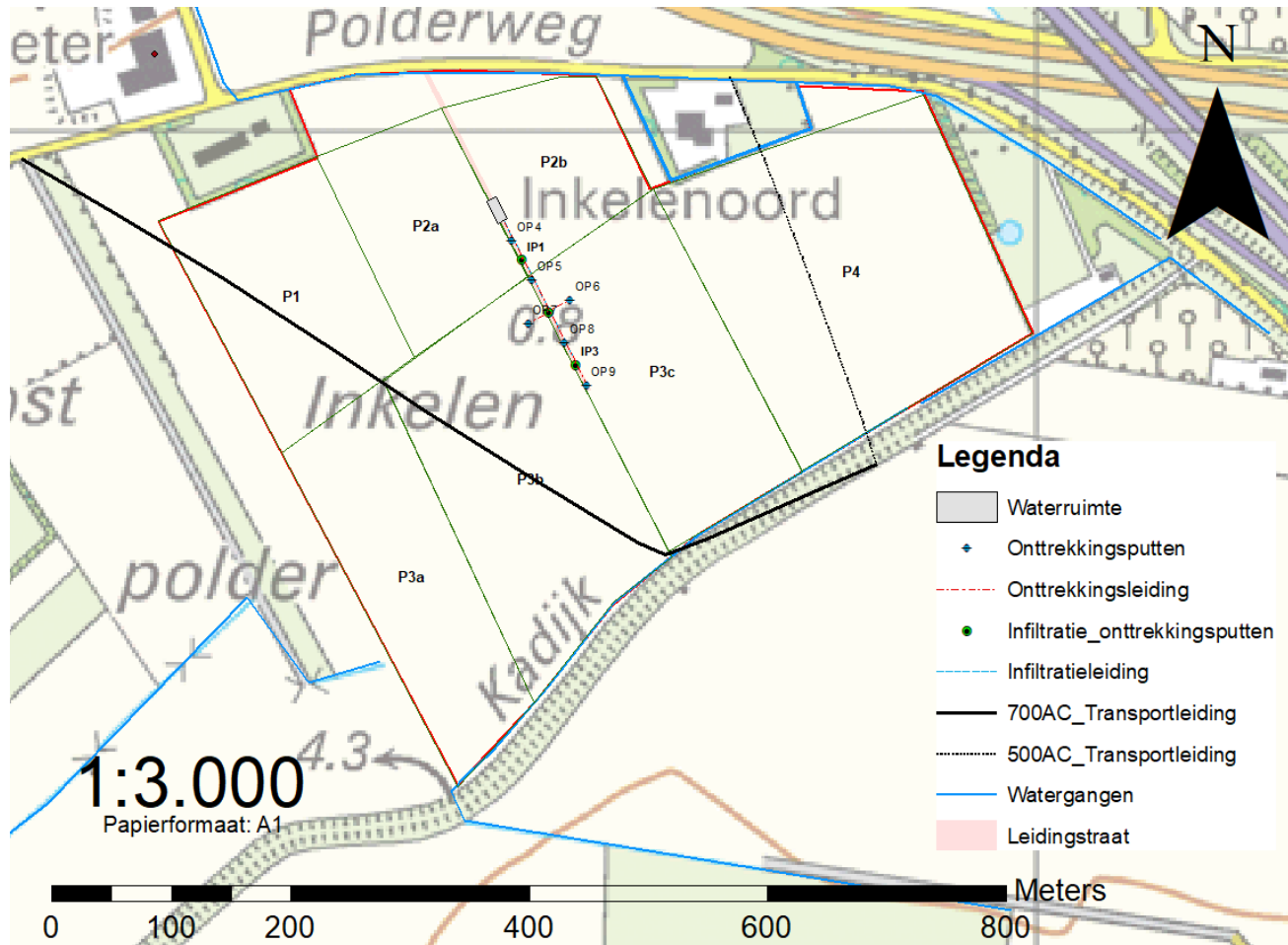
5.4 Verticale putconfiguratie (scenario 2): 3 MPPWs met 2 filterniveaus in een strook en 6 ondiepe onttrekkingsputten

Onder andere vanwege forse veranderingen van de stijghoogte is in het vervolg onderzocht of de infiltratie meer gespreid kan worden zonder kwaliteitsverlies van het onttrokken water te veroorzaken. In deze opzet zijn in de omgeving van het peilbuisnest in de richting "NNW/ZZO" (langs de geplande rijbaan) drie MPPWs geplaatst met twee filterniveaus: 8 - 21 m-mv om te infiltreren; en 8-14 m-mv om te onttrekken. De onderlinge afstand is 80 m, met de meest centrale MPPW op 10 m afstand van het peilbuisnest A3. Op (variërende) afstand van iedere MPPW zijn twee onttrekkingsputten geplaatst met eveneens een filterdiepte van 8-14 m-mv. De putten zijn geplaatst zoals aangegeven in (Figuur 5-8). In eerste instantie is uitgegaan van een gelijkblijvend leveringsgebied van 115 ha voor de voorziening van zoet water (Tabel 5-2). Resultaten hiervan zijn in het kort beschreven als Scenario 2a.

In een volgend scenario is het totale oppervlak voor opvang en levering van water verkleind om de effecten op de stijghoogte terug te brengen (Scenario 2b). Voor de operationele (model)parameters tussen 1 oktober 2008 en 31 juli 2014, zie Tabel 5-3.

Tabel 5-3: Operationele debieten en volumes Scenario 2b

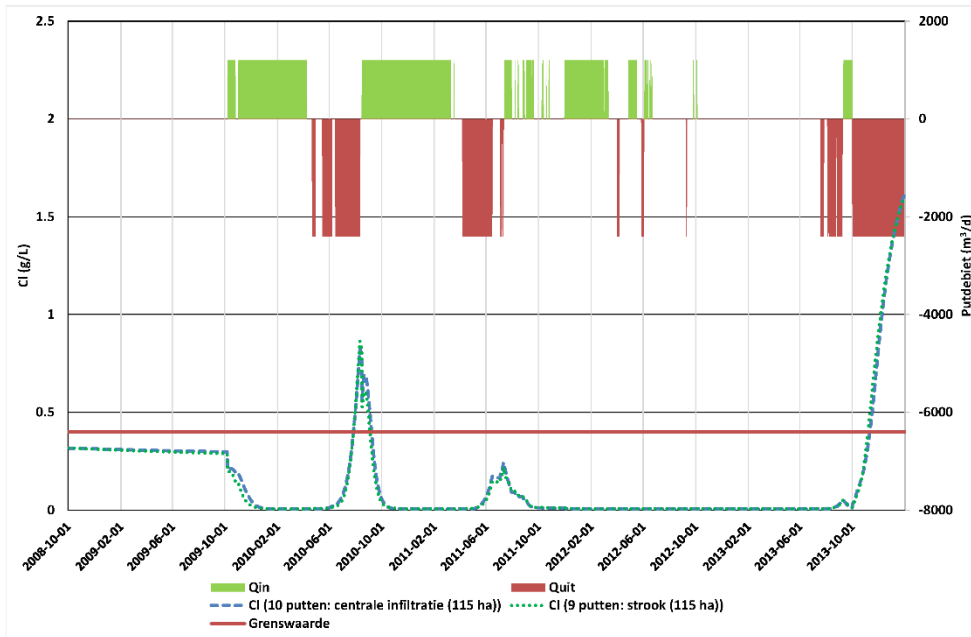
Parameter	Waarde
Infiltratiecapaciteit	40 m ³ /uur (960 m ³ /dag)
Onttrekkingscapaciteit	60 m ³ /uur (1440 m ³ /dag)
Cumulatief volume geïnfilteerd	299.520 m ³
Cumulatief volume onttrokken	434.880 m ³
Volume onttrokken als stresstest	177.200 m ³
Oppervlak voor drainwateropslag	75 ha
Leveringsgebied drainwater	90 ha



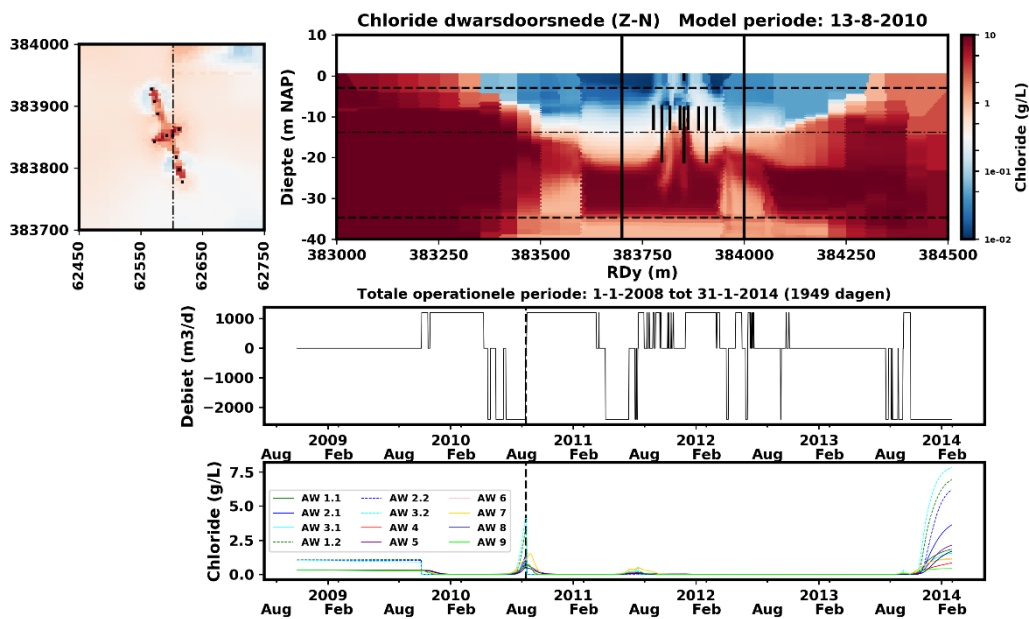
Figuur 5-8: Bovenaanzicht puttenveld in Scenario 2. De peilvakken, de leidingstraat, en de waterruimte zijn eveneens weergegeven (zie hoofdstuk 6 voor meer informatie).

5.4.1 Vergelijking: 115 ha leveringsgebied (Scenario 2a)

Om de scenario's één op één te kunnen vergelijken is het tweede scenario ook met de operationele uitgangspositie van Tabel 5-2 doorgerekend. Hieruit blijkt dat het plaatsen van de putten in een strook in plaats van in een cirkel nagenoeg geen verschil in mate van verzilting oplevert. De gemiddelde chlorideconcentraties van het onttrokken water en van het terugwinrendement zijn nagenoeg gelijk (Figuur 5-9), zie ook de ZN-doorsnede na de eerste periode van onttrekking (Figuur 5-10). Wel neemt de maximale stijghoogte en minimale stijghoogte ter plaatse van de putfilters af tot +2,7 m NAP en -5,2 m NAP, respectievelijk.



Figuur 5-9: Vergelijking van gemiddelde chlorideconcentratie t.o.v. de grenswaarde (400 mg/L chloride) in de tijd voor scenario 1 (blauw) en scenario 2a (groen), samen met infiltratiedebieten (Qin) en onttrekkingsdebieten (Quit).



Figuur 5-10: Doorsnedes van de chlorideverdeling in Scenario 2a na onttrekking van zoetwater en opkegeling van het zoute grondwater (13-8-2010; linksboven = horizontaal (onderkant ondiepe filters), rechtsboven = verticaal (Z-N doorsnede)), debieten per putfilter (midden), en onttrokken chlorideconcentratie (onder) met 3 MPPWs en 6 onttrekkingsfilters in een strook. Leveringsgebied: 115 ha

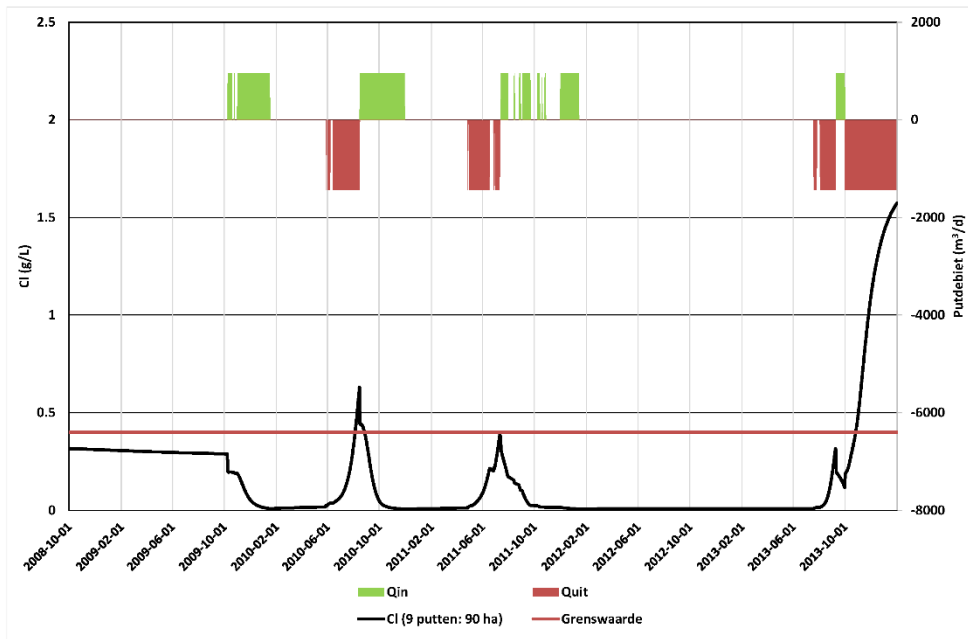
5.4.2 Resultaten verkleining leveringsgebied (90 ha) + plaatsen putten in strook

Zoals in de eerdere scenario's met een groter leveringsgebied (115 ha) kan niet al het water onder de 400 mg/L Cl teruggewonnen worden (Figuur 5-11). Dit is met name het geval na de eerste periode van onttrekking en logischerwijs in de periode aan het eind, met overmatige onttrekking ('stresstest'). Putten verzilten alsnog grotendeels van onderaf door opkegeling bij langdurige onttrekking.

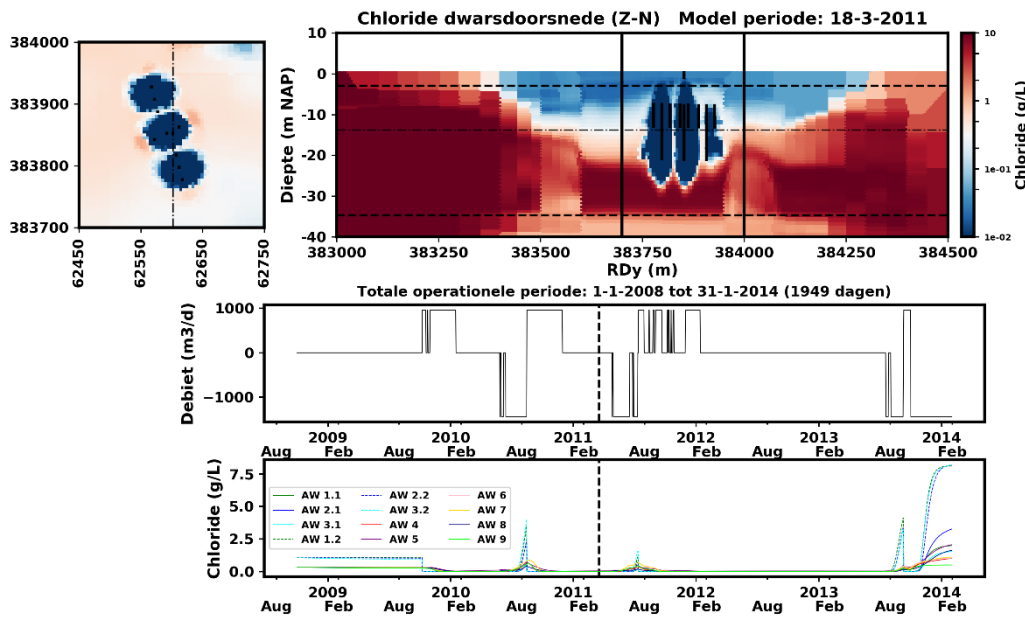
De chlorideverdeling in de bodem is getoond na een lange periode van infiltratie (Figuur 5-12; Figuur 5-13) en onttrekking (Figuur 5-14; Figuur 5-15). Na de eerste infiltratie is er 86.400 m³ geïnfiltrerd. Hetzelfde volume (100 %) is terugwinbaar onder de 400 mg/L Cl (augustus 2010). Echter, de erop volgende ca. 16.000 m³ teruggewonnen water heeft een gemiddelde concentratie > 400 mg/L Cl. Uiteindelijk kan 263.040 m³ geleverd worden onder de 400 mg/L Cl, nadat 299.520 m³ is geïnfiltrerd (terugwinrendement: ca. 88%). Tijdens de stressperiode aan het eind neemt de chlorideconcentratie toe tot gemiddeld 1600 mg/L, variërend van 900 g/L Cl (put 9) tot aan 3300 mg/L Cl (centrale MPPW).

Om upconing of laterale verzilting in de praktijk te verminderen, kan men pogen om met de drie centrale putten meer te onttrekken dan met de omringende onttrekkingsputten. Of dit daadwerkelijk efficiënt zal zijn, moet blijken in het veld.

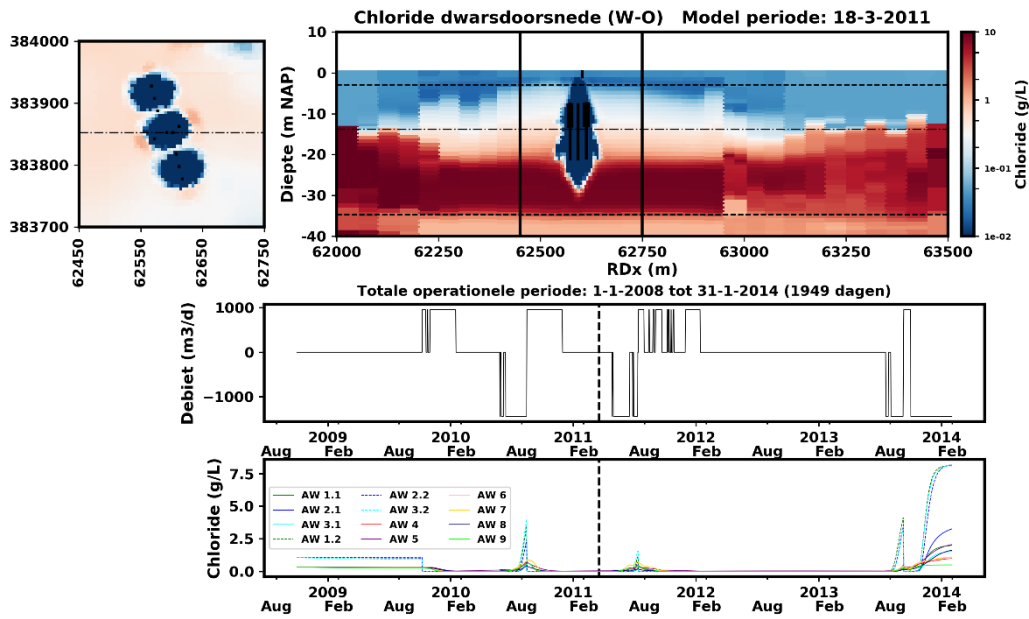
Het verlagen van het maximale infiltratie- en onttrekkingsdebiet naar 40 m³/h IN en 60 m³/h UIT heeft tot gevolg dat de maximale stijghoogte afneemt ten opzichte van scenario 2a tot een veilige +2,1 m NAP en de minimale stijghoogte toeneemt ten opzichte van scenario 2a tot een veilige -3,1 m NAP.



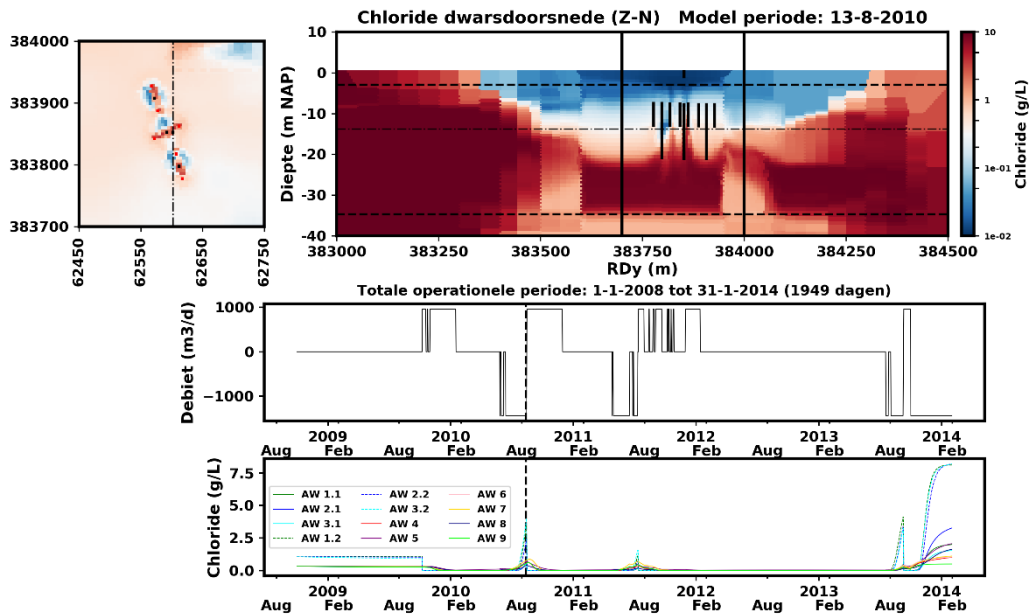
Figuur 5-11: Gemiddelde chlorideconcentratie in Scenario 2b ten opzichte van de grenswaarde (400 mg/L Cl) in de tijd.



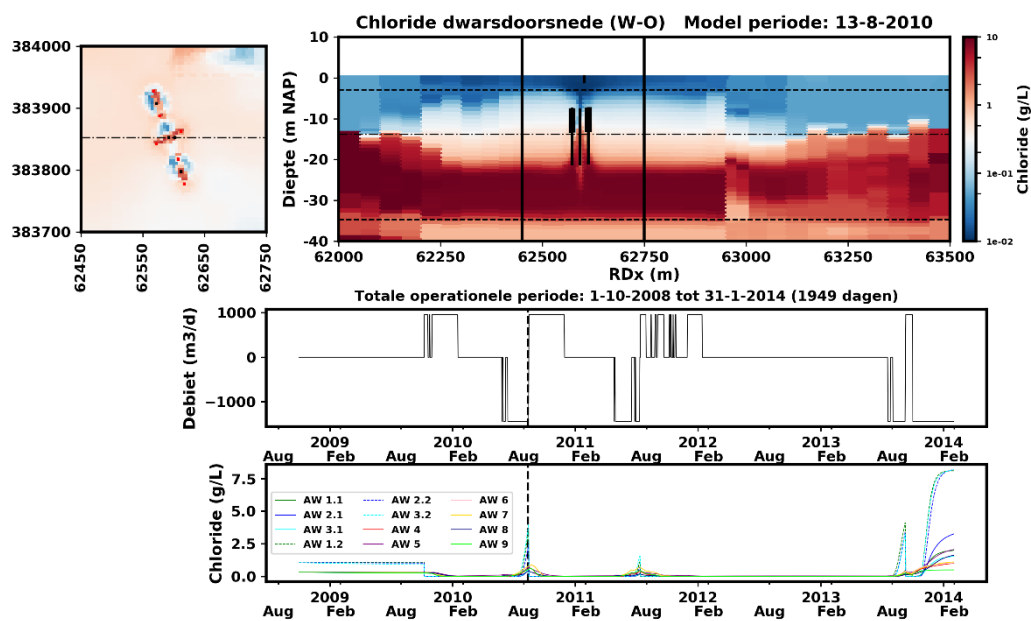
Figuur 5-12: Chlorideverdeling in Scenario 2b na infiltratie en verdikking van de zoetwaterlens (18-3-2011; linksboven = horizontaal (onderkant ondiepe filters), rechtsboven = verticaal (Z-N doorsnede), debieten per putfilter (midden), en onttrokken chlorideconcentratie (onder) met 3 MPPWs en 6 onttrekkingsfilters in een strook. Leveringsgebied: 90 ha.



Figuur 5-13: Chlorideverdeling in Scenario 2b na infiltratie en verdikking van de zoetwaterlens (18-3-2011; linksboven = horizontaal (onderkant ondiepe filters), rechtsboven = verticaal (W-O doorsnede), debieten per putfilter (midden), en onttrokken chlorideconcentratie (onder) met 3 MPPWs en 6 onttrekkingsfilters in een strook. Leveringsgebied: 90 ha



Figuur 5-14: Doorsneden van de chlorideverdeling in Scenario 2b na onttrekking van zoetwater en opkegeling van het zoute grondwater (13-8-2010; linksboven = horizontaal (onderkant ondiepe filters), rechtsboven = verticaal (Z-N doorsnede), debieten per putfilter (midden), en onttrokken chlorideconcentratie (onder) met 3 MPPWs en 6 onttrekkingsfilters in een strook. Leveringsgebied: 90 ha

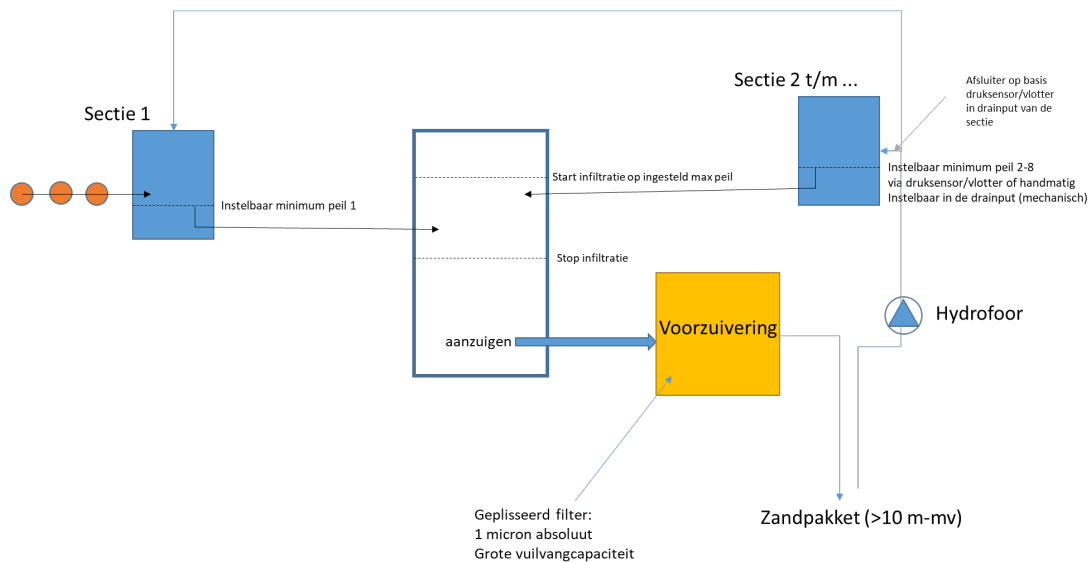


Figuur 5-15: Doorsnedes van de chlorideverdeling in Scenario 2b na onttrekking van zoetwater en opkegeling van het zoute grondwater (13-8-2010; linksboven = horizontaal (onderkant ondiepe filters), rechtsboven = verticaal (W-O doorsnede)), debieten per putfilter (midden), en onttrokken chlorideconcentratie (onder) met 3 MPPWs en 6 onttrekkingsfilters in een strook. Leveringsgebied: 90 ha

6 Optimaal procedé en functionele design specificatie

In dit hoofdstuk is een procedé opgenomen voor het functionele design dat op 20 augustus 2019 in conceptvorm is opgesteld. Na die datum hebben verschillende overleggen plaatsgevonden tussen de betrokken partijen waarbij het ontwerp nader is gespecificeerd. Deze wijzigingen zijn niet gerapporteerd in dit document, maar worden in aparte documenten toegelicht. Het uiteindelijke procedé wordt in de rapportage van fase D uitgebreid toegelicht.

6.1 Schematische weergave procedé



Onderdeel			
Zuivering		m^3/u	40
Infiltratiedebiet		m^3/u	>40
Onttrekkingsdebiet		m^3/u	>60

6.2 Drainage

6.2.1 Randvoorwaarden

Huidige draindiepte:

- 100 tot 140 cm (volgens opgave van Alex van Hootegem)

Huidige drainafstand:

- 10 – 12 m

Bodemopbouw (zie Figuur 6-1):

- Noordelijk deel: Mn15A – lichte zavel
Schatting k-waarde (naar Massop et al., 2005): 0,5 m/dag
- Zuidelijk deel: Mn25A – zware zavel
Schatting k-waarde (naar Massop et al., 2005): 0,25 m/dag

Diepte van de onderkant van de deklaag:

Varieert van 1 meter in het zuiden tot 7 meter in het noorden (zie ook **Tabel 6-2** voor gemiddelden binnen peilvakken o.b.v. geleidbaarheidsonderingen. Voor peilvakken zonder sondering is de dichtstbijzijnde sondering gebruikt voor de bepaling van de diepte van de deklaag).

Diepte van meest kleiige deel deklaag:

De diepte waarop de deklaag het hoogste kleigehalte heeft is ingeschat door in de sonderingen op te zoeken op welke diepte het wrijvingsgetal maximaal is (zie Figuur 6-1). Een hoog wrijvingsgetal duidt namelijk op slappe bodem (klei). De diepte van de meest kleiige laag loopt op van NAP -1.08 m in het noorden tot NAP +0.4 m in het zuiden van het middels sonderingen bemeten gebied. Onder deze laag treden vermoedelijke hogere ijzerconcentraties en lagere doorlatendheden op. Deze worden bij voorkeur vermeden bij de realisatie van de drains.

Maaveldhoogte (zie Figuur 6-1):

- Extremen: NAP -0.1 tot +1.4 m.
- Grotendeels tussen NAP +0.5 en +1.0 m

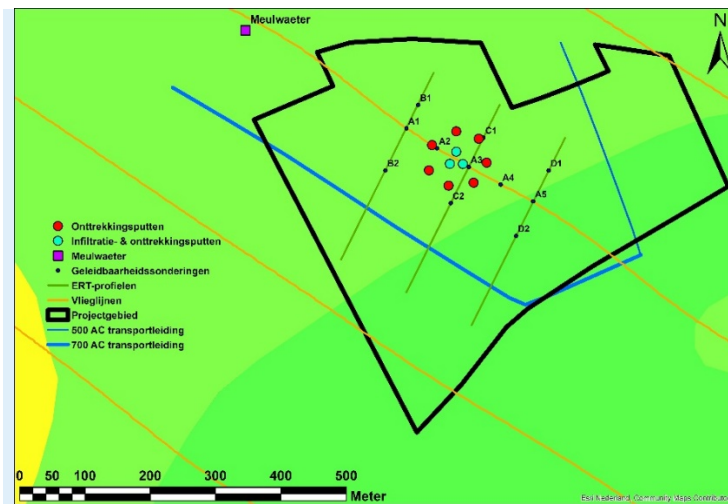
Diepte Evides leiding (zie Figuur 6-1)

- 700AC leiding: diepte varieert van 0.8 m-mv (zuiden) tot 1.34 m-mv (noordwesten)
- 500AC leiding: diepte varieert van 1.15 m-mv (zuidoosten) tot 1.55 m-mv (noordoosten)

Gewenste grondwateraanvulling:

Voor de gewenste grondwateraanvulling (q_i) zijn twee waarden genomen die aannemelijk zijn voor een normale verdampingsvraag in het groeiseizoen en voor een hogere verdampingsvraag in droge jaren:

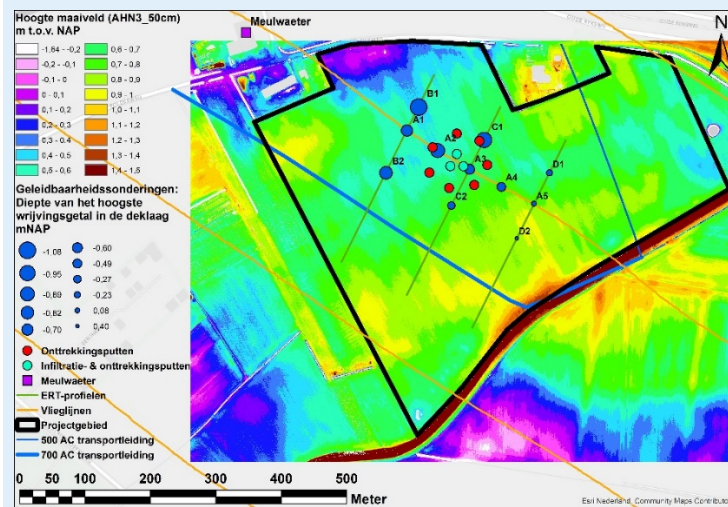
- normale verdampingsvraag in groeiseizoen: 3 mm/dag
- hogere verdampingsvraag in droge jaren: 5 mm/dag



Donkergroen = Mn25A:
Kalkrijke poldervaaggrond, zware zavel, profielverloop 5

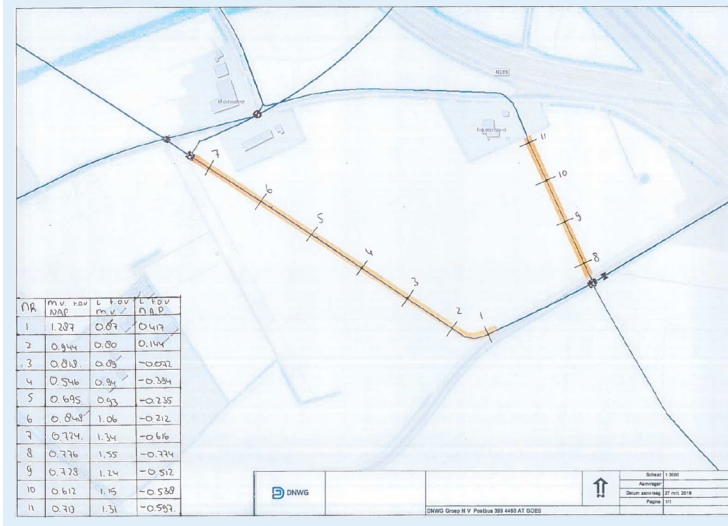
Lichtgroen = Mn15A:
Kalkrijke poldervaaggrond, lichte zavel, profielverloop 5

Profielverloop 5 = overige zavel of klei met homogene, aflopende en oplopende profielen (niet duidelijk of het lutumgehalte toeneemt/afneemt/gelijk blijft)



Rood = hoog
Paars = laag

Hoogste wrijvingsgetal ligt ondieper in hoger deel en juist dieper in lage deel.



Links = 700AC
Rechts = 500AC

Figuur 6-1: Bodemkaart (boven), Hoogtekaart en diepte van hoogste wrijvingsgetal in geleidbaarheidssonderingen (midden), en Leidingen van Evides ter plaatse van het perceel van Meulwaeter (onder). De putconfiguratie in de bovenste twee figuren betreft die van scenario 1.

6.2.2 Ontwerp

6.2.2.1 Bepaling drainafstand

De optimale drainafstand is berekend m.b.v. een drainageformule (zie werkwijze in Bijlage VI). De resultaten zijn dus indicatief. Hierbij is een bandbreedte aan parametercombinaties doorgerekend (zie Tabel 6-1). De resulterende drainafstand bedraagt 8,7 tot 17,8 m. Een veilige waarde voor de drainafstand zou daarom ca. 9 meter zijn. Dit komt dicht bij de huidige drainafstand van 10-12 m.

Kanttekening is dat de gehanteerde drainageformule uitgaat van ondoorlatende basis onderkant deklaag terwijl er zich in werkelijkheid een dik zandpakket bevindt.

Tabel 6-1: Parametercombinaties die zijn toegepast bij de bepaling van de drainafstand.

Parameter		Eenheid	Combinaties			
			1	2	3	4
k1	Doorlaatvermogen	m/dag	0,5	0,25	0,50	0,25
k2	Doorlaatvermogen	m/dag	0,5	0,25	0,50	0,25
D	Dikte deklaag	m	1,0	1,0	1,0	1,0
m _u	Uitbolling	m	0,2	0,2	0,2	0,2
h _p	Peilopzet	m	0,3	0,3	0,3	0,3
q _i	Grondwateraanvulling	m/dag	0,005	0,005	0,003	0,003
r	Radius drain	m	0,1	0,1	0,1	0,1
d	Dikte equivalentlaag	m	0,81	0,75	0,85	0,80
Resultaat						
L	Drainafstand	m	12,72	8,70	16,74	11,53

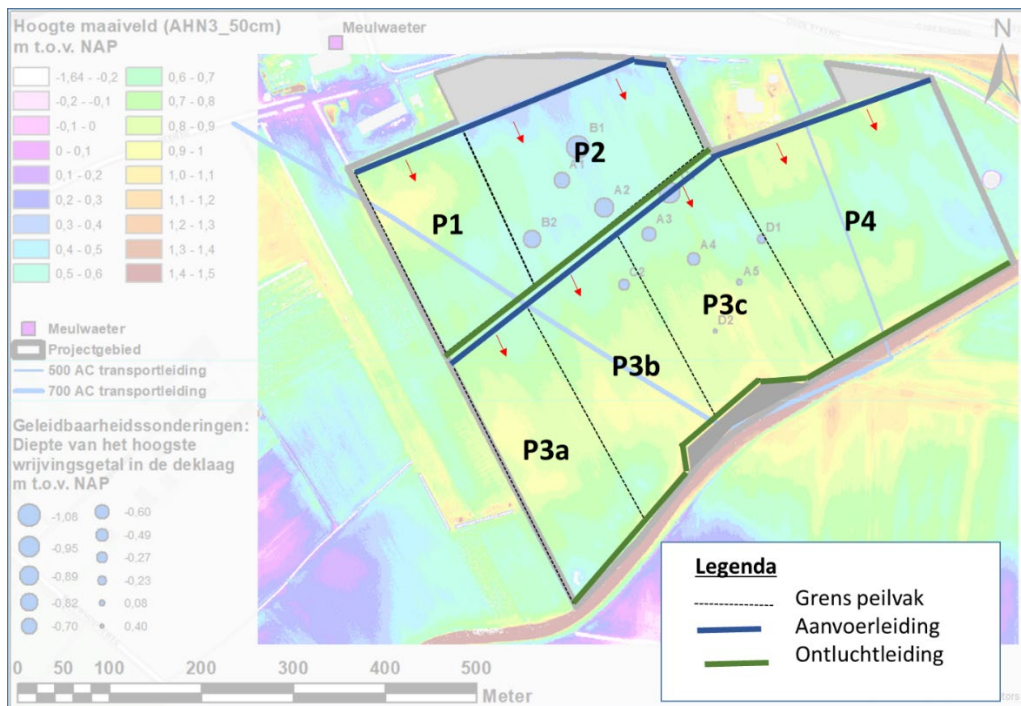
6.2.2.2 Indeling peilvakken en draindiepte (nieuwe drains)

Bij het ontwerp van de draindiepte speelt een aantal afwegingen. Gunstig aan een ondiepe drain is dat het water over het algemeen minder ijzer-rijk is (minder kans op verstopping). Tevens zijn de verliezen naar de omgeving lager omdat er meer weerstand (dikkere kleilaag) zit tussen de onderkant van de drain en het watervoerend pakket. Gunstig aan diepere drains is dat een lager peil kan worden aangehouden zonder dat de drain boven de grondwaterspiegel uitkomt, wat ervoor kan zorgen dat het systeem verstopt door luchttoetreding. Daarnaast is er meer afvoer mogelijk in de winter. Idealiter wordt het ontwerp geverifieerd met een hydrologische modelberekening, maar dat is niet mogelijk binnen het kader van dit project.

De voorgestelde peilvakken zijn gegeven in Figuur 6-2, waarin de drains van N(W) naar Z(O) zijn gericht, loodrecht op de verzamel- en ontluchtingsleidingen. De voorgestelde peilen en draindieptes zijn per peilvak gegeven in Tabel 6-2. Hierbij zijn uiteindelijk de volgende afwegingen gemaakt:

- Eerst zijn peilvakken opgesteld overeenkomstig de maaiveldhoogte (P1 t/m P4).
- Vervolgens is de draindiepte afgestemd op de hoogteligging van de meest kleiige laag in de deklaag.

- Ter plaatse van de 700AC leiding van Evides zijn aparte ondiepere draaindieptes aangehouden (P1) en is P3 opgesplitst in P3a en P3b zodat de leiding zich enkel in P3b bevindt. De drains, verzamelleidingen en ontluuchtingsleidingen dienen hier in de nabijheid van de Evides-leidingen met de hand te worden uitgegraven. Het noordelijke deel van perceel P3b ligt lager ten opzichte van de rest van het perceel. De leiding van Evides bevindt zich daardoor op ca. 0,55 m-mv. Dit resulteert mogelijk in te weinig dekking voor de drains, waardoor P3b mogelijk verder opgesplitst dient te worden.
- De ontluuchtingsleidingen komen hoger te liggen dan de verzamelleidingen
- De grijze vlakken in Figuur 6-2 worden niet aangesloten op het peilgestuurde drainagesysteem i.v.m. de lage ligging. Deze percelen zouden dan te nat worden (of te droog op hoge percelen).
- De bestaande drainage van de grijze vlakken kan mogelijk wel gebruikt worden voor drainage en mogelijk ook voor infiltratie in de bodem. De drains dienen dan wel ter plaatse van de ontluuchtingsleiding te worden geïsoleerd van de rest van het perceel.
- P2 kan evt. in twee teeltvakken worden ingedeeld om zo de twee teeltvakken aanwezig in P2 apart te kunnen sturen. In dat geval kan de grens tussen P2a en P2b in het verlengde van de grens tussen P3b en P3c komen. De infiltratieputten komen tevens op deze lijn en komen boven maaiveld uit, wat niet bevorderlijk is voor de bewerking van het perceel. De volledige grens tussen P2a en P2b en tussen P3b en P3c kan daarom worden opgegeven voor teelt en worden benut als straat voor leidingwerk en overige faciliteiten voor drainage, infiltratie, en onttrekking.



Figuur 6-2: Voorgestelde ontwerp drainagesysteem

6.2.2.3 Onderhoudsvoorzieningen

- Faciliteit om individuele drains door te spuiten
- Mogelijkheid om drains droog te laten lopen aan eind groeiseizoen (als extra voorziening tegen verstopping)

Tabel 6-2: Draindieptes en peilniveaus van de voorgestelde peilvakken.

Peilvak	Randvoorwaarden				Ontwerp			Opmerking
	Maaiveld mNAP	Kleiig *mNAP	Deklaag **mNAP	Leiding mNAP	Draindiepte mNAP	Peil mNAP	m-mv	
P1	0.8	-0.8	-3	-0.23	-0.2	0	~0.8	Maaiveld is relatief hoog Kan niet dieper i.v.m. leiding Evides op -0,2 mNAP
P2	0.5	-0.8	-4.5		-0.5	-0.3	~0.8	Maaiveld is laag Deklaag is relatief dik Zou dieper kunnen i.v.m. de dikke deklaag
P3a	0.8	-0.2	-1		0	0.2	~0.6	Deklaag is relatief dun Maaiveld is relatief hoog Zou dieper kunnen
P3b	0.9	-0.2	-1	0.14 ***	0.2	0.2	~0.5	Deklaag is relatief dun Maaiveld is relatief hoog Kan niet dieper ivm leiding Evides op +0,2 mNAP (en dunne deklaag)
P3c	0.8	-0.2	-1.33		0	0.2	~0.6	Maaiveld is relatief hoog Deklaag is relatief dun Kan niet dieper i.v.m. dunne deklaag
P4	0.6	-0.2	-1	-0.51	-0.2	0	~0.6	Deklaag is relatief dun Maaiveld is laag t.o.v. P3a-P3c. Kan nog ca. 30 cm dieper tot leiding Evides op -0,5 mNAP.

(*) Diepte van laag met vermoedelijk grootste kleifractione. Schatting o.b.v. gemiddelde waarde van sonderingen in centrum van perceel

(**) Diepte van onderkant deklaag, geschat o.b.v. 1) gemiddelde waarde van sonderingen binnen het peilvak of 2) van dichtstbijzijnde sondering buiten het peilvak.

(***) NAP+0.41 m bij slootrand

6.3 Voorzuivering

De voorzuivering is gericht op het verwijderen van deeltjes uit het drainwater. Het grootste risico dat op basis van de monsternames en inzichten rondom drains is onderkend, is namelijk dat vuildeeltjes (vooral in het begin van het natte seizoen) afgevoerd worden met het eerste afvoerende water. Ook zou opgelost ijzer kunnen oxideren en neerslaan.

6.3.1 Eerste filtratiestap: zakkenfilter

Zakkenfilterhuis

Artikelcode:	VB-RBFD12-2-2BSP
Materiaal:	RvS316
Geschikt voor:	1 x filterzak grootte 2
In-/uitlaat:	2" BSP
Max. druk:	10 bar
Max. temp.:	110C
Debiet:	40 m ³ /u max.

Filterzakken

Artikelcode:	F2PONG005P2PWE
Materiaal:	Polypropyleen
Micronage:	5 micron nominaal
Grootte:	2
Afwerking:	polyloc ring
Verpakking:	minimaal 10 stuks (50 stuks/ volle doos)

6.3.2 Tweede stap: geplisseerd kaarsfilter

1 stuks VB-H-W-HD huis

Materiaal:	RvS316
Geschikt voor:	1 x 40" VB-HD74 series filterkaars
In-/uitlaat:	DN50
Max. druk:	10 bar
Max temp.:	150C

De filterkaars kan 10kg en meer vuillast opvangen, het gewicht van de vuillast en natte filterkaars is dan ca. 16kg. Het filterhuis wordt dan ook horizontaal gebouwd zodat de filterkaars relatief makkelijk kan worden verwijderd na gebruik.

1-2 stuks High Dirt filterkaarsen

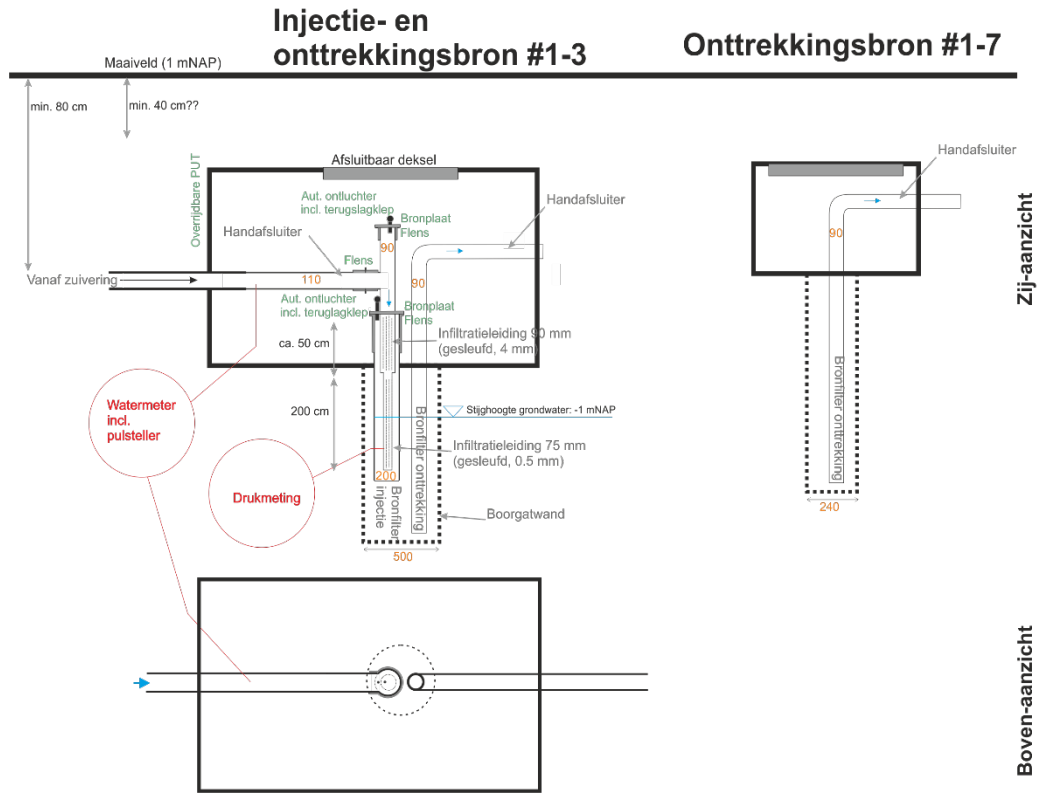
Artikelcode:	VB-HD742B
Materiaal:	polypropyleen
Micronage:	1 micron absoluut @ 99%
Lengte:	40"
Opvang capaciteit:	10kg en meer

De filterkaars dient vervangen te worden bij een verschuldruk van 2 tot 2.5 bar. Dus verschil tussen inlaat druk en uitlaat druk. Daarom een verschuldruk meter installeren op het filterhuis, om te voorkomen dat vuil door het filter wordt gedrukt.

1 stuks DP meter

Artikelcode:	VB-DP-0-10
Range:	0-10 bar
Materiaal:	RvS

6.4 Infiltratie- en onttrekkingsbronnen



6.5 Leidingtracées / bovenaanzichten

Zie Bijlage VII.

7 Conclusies

7.1 Kwaliteit drainwater voor infiltratie

De kwaliteit van het drainwater voldeed in de periode van bemonstering aan de eisen die zijn gesteld in het infiltratiebesluit, met uitzondering van zwevend stof gedurende 1 bemonsteringsronde. Het drainwater kan op den duur zorgen voor verstopping van de te realiseren putten, waardoor een voorzuivering van het drainwater sterk wordt aanbevolen. Op basis van de waterkwaliteit is een zeer fijne filtratie gewenst als voorzuiveringsstelsel, waarbij met name zwevend stof wordt afgevangen.

7.2 Geohydrologische karakterisatie

Een zoetwaterlens is aanwezig tot ca. 20 m-mv en heeft een scherpe overgang naar het diepere zoute grondwater met een chlorideconcentratie van 8.600 mg/L. Er is een kleiige toplaag van slechts 2 meter dik. Tot ca. 22 m-mv bestaat de ondergrond met name uit zeer fijn tot matig grof zand, waarin 'fining-up' sequenties te herkennen zijn. Lokale kleilagen zijn niet aanwezig tussen 2 en 22,1 m-mv. Wel zijn enkele grovere afzettingen waargenomen in de sonderingen die uiterst geschikt zijn om op te nemen in het filtertraject van een infiltratieput. Op ca. 22,1 m-mv bevindt zich mogelijk een slechtdoorlatende kleilaag van ca. 20 cm dik, waaronder met name zout grondwater en fijnzandige afzettingen voorkomen tot ca. 34,7 m-mv. Uit het onderzoek is gebleken dat de geohydrologische situatie rondom geleidbaarheidssondering A3 het meest kansrijk is voor de realisatie van een ondergronds waterbergingsstelsel met verticale putfilters. Gezien de laterale heterogeniteit en het feit dat de in 2017 aangelegde horizontale diepdraains weinig water geven, zijn horizontale putten naar verwachting niet kansrijk.

7.3 Nadere modellering van ASR-systeem

Drainwater kan met een verticaal putstelsel worden opgeslagen middels verticale putfilters tussen ca. 8 en 21 m-mv. Het opgeslagen water kan later worden teruggewonnen voor irrigatie met meerdere verticale onttrekkingsfilters tussen ca. 8 en 14 m-mv.

Er zijn 2 scenario's onderzocht voor de opslag van drainwater en latere terugwinning. In eerste instantie is gemodelleerd of een leveringsgebied van 115 ha kan worden voorzien van voldoende zoetwater. Uiteindelijk is vanwege de stijghoogte (+4,0 m NAP bij injectiedebiet van 50 m³/u) de voorziening van een kleiner leveringsgebied van 90 ha en met lagere putdebieten (40 m³/h IN) verkend, in combinatie met grotere afstand tussen de bronnen. Hierbij nam de maximale stijghoogte af tot +2,1 m NAP bij infiltratie in een strook met onderlinge afstand van 80 m. Putverstopping kan in de praktijk bij een constant infiltratiedebiet zorgen voor een oplopende infiltratiedruk. Door een voordrukbuiscap toe te passen, kan een constant infiltratiedruk worden gehanteerd. Daardoor zal de infiltratiedruk niet verder kunnen oplopen door putverstopping, maar kan de infiltratiecapaciteit, en dus het infiltratiedebiet, naar verloop van tijd wel afnemen.

Op basis van de modellering wordt in alle scenario's verwacht dat meer dan 80 % (tot 88 %) van het geïnfiltreerde water op termijn kan worden teruggewonnen onder de grenswaarde van 400 mg/L Cl. Om dit ook daadwerkelijk te kunnen behalen wordt

aanbevolen om in het veld tijdens de eerste cycli voldoende zoetwater ook ondiep te infiltreren om het zout op afstand te houden van de ondiepe onttrekkingsputten. De daadwerkelijke terugwinefficiëntie moet daarnaast blijken uit de veldproef en kan lager uitvallen door bijvoorbeeld de heterogeniteit van de bodem en door aannames die zijn gedaan bij de modellering. De heterogeniteit van de bodem is in het model reeds zo goed mogelijk meegenomen op basis van de modellen REGIS en GeoTOP. De aangenomen waarden voor dispersiviteit en diffusie zijn niet erg hoog, wat in de modellering resulteert in een relatief scherp grensvlak tussen infiltratiewater en omgevingswater en tussen zoet- en zout grondwater. Dit zoet-zout grensvlak blijkt uit veldmetingen ook relatief scherp en stabiel aanwezig te zijn. De betrouwbaarheid van het model lijkt daarom binnen het perceel voldoende, en neemt naar verwachting af aan de rand van het perceel en daarbuiten.

7.4 Functionele design specificatie (FDS)

Een FDS is opgesteld om te beschrijven hoe het water moet worden verzameld, gezuiverd, opgeslagen en teruggewonnen. Hierbij is een systematiek omschreven om overtollig water vanuit de drains over te laten storten richting een verzamelput. Van hieruit wordt het water ingenomen en richting de zuivering geleid. Vanuit de zuivering wordt het water naar een puttenveld geleid in het meest gunstige gebied voor ondergrondse opslag.

Het functionele design dat in deze rapportage is opgenomen verschilt in essentie niet veel van het uiteindelijke systeem dat zal worden gerealiseerd. Enkele wijzigingen en nadere specificaties worden in latere stadia toegelicht middels aparte rapportages en correspondenties. Het uiteindelijke procedé zal uitvoerig worden beschreven in de rapportage van fase D. Daarin worden ook specificaties inzake de monitoring opgenomen, om de prestatie van het systeem te beoordelen en te evalueren.

8 Referenties

Martin, R. (2013). Clogging issues associated with managed aquifer recharge methods. *IAH Commission on Managing Aquifer Recharge*. Geraadpleegd van: recharge.iah.org/files/2015/03/Clogging_Monograph.pdf. Geraadpleegd op: 3-6-2018.

Pauw, P., Karaoulis, M., Pefkos, M. (2019). A geophysical study for developing an Aquifer Storage and Recovery (ASR) pilot in the area of Kruiningen, the Netherlands. Deltares. Toegevoegd aan deze rapportage als Bijlage II.

Stuyfzand, P. J. (2008, June). Base exchange indices as indicators of salinization or freshening of (coastal) aquifers. In 20th Salt Water Intrusion Meeting, Naples, Florida, USA.

Van Bakel, J. (2013). Betekenis van Hooghoudt nog lang niet 'uitgehold'! Geraadpleegd van: http://www.debakelsestroom.nl/wp-content/uploads/2013-2-5_betekenis-hooghoudt.pdf. Geraadpleegd op: 12-7-2019.

Olsthoorn TN. Verstopping van persputten. Mededeling no. 71. KIWA 1982.

Bijlage I Rapportage geleidbaarheidsonderingen

Geotechnisch onderzoek
Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruiningen

Document Nr.: 9019-0185-000

Versie: 2.0

Datum: 28 mei 2019



Opdrachtgever KWR Watercycle Research Institute
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Opdrachtnemer Fugro NL Land B.V.
Ringoven 37
6826 TP Arnhem
T 026 36 98444

Projectleider ir. E. Vlasblom

Versiebeheer

1.0	Initiële versie	UGU	AT	EV	16-04-2019
2.0	HB1 en B1	UGU	AT	EV	28-05-2019
Rev	Omschrijving	Opgesteld	Gecontroleerd	Goedgekeurd	Datum

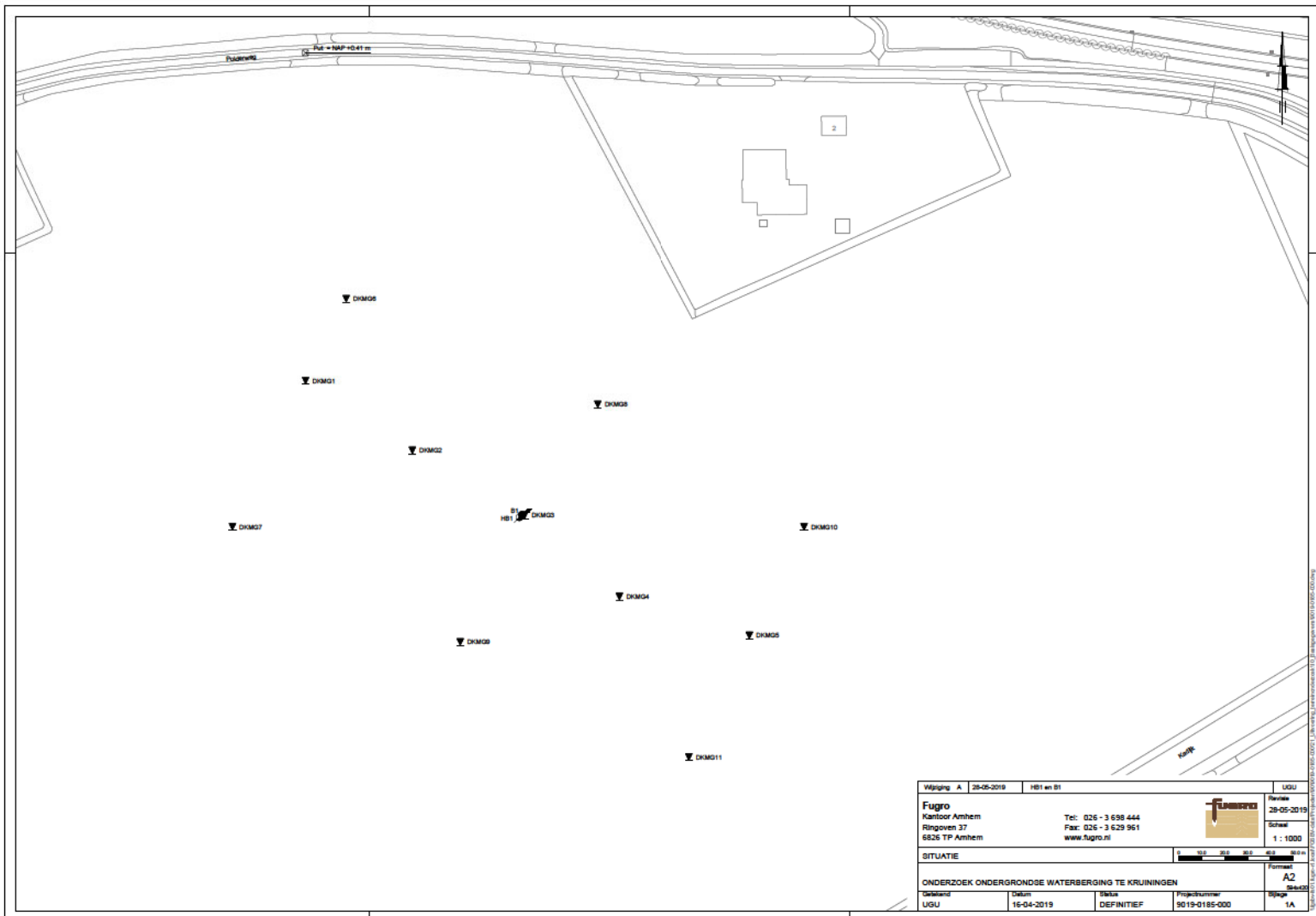
INHOUDSOPGAVE

1. **RAPPORTAGE OVERZICHT**
2. **SITUATIETEKENING**
3. **ONDERZOEKSDATA**
4. **TOELICHTING GEOTECHNISCH ONDERZOEK**
5. **CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN**
6. **LEGENDA TERREINPROEVEN EN GRONDSOORTEN**

RAPPORTAGE OVERZICHT

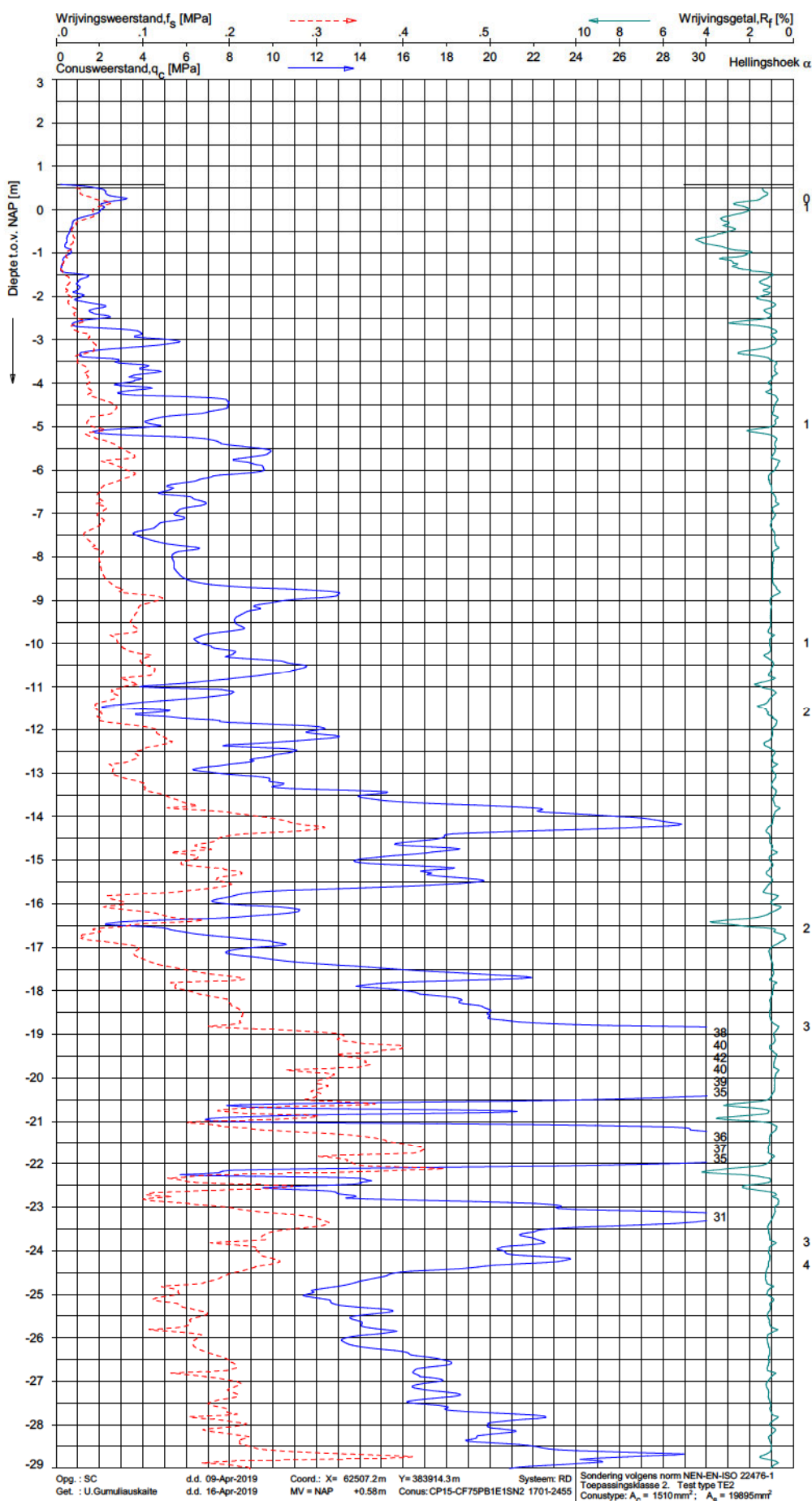
Projectomschrijving: Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruijningen
 Projectnummer: 9019-0185-000

Naam	RD Coördinaten (m)		Hoogte (m)	Grondwater- stand (m)	Opmerking
	X	Y	t.o.v. NAP	t.o.v. NAP	
DKMG1	62507.2	383914.3	+0.58		
DKMG2	62553.8	383883.9	+0.47		
DKMG3	62602.8	383855.2	+0.62		
DKMG4	62644.2	383819.7	+0.73		
DKMG5	62701.2	383802.8	+0.80		
DKMG6	62524.9	383950.0	+0.42		
DKMG7	62475.3	383850.1	+0.60		
DKMG8	62634.7	383904.0	+0.61		Gestaakt, max. totaaldruk
DKMG9	62574.7	383800.0	+0.73		
DKMG10	62725.0	383850.0	+0.61		Gestaakt, max. totaaldruk
DKMG11	62674.8	383749.9	+0.84		
HB1	62600.5	383854.1	+0.60	-1.27	
HB1_BKPB1	62600.8	383854.5	+1.17	-1.20	
B1	62601.6	383855.1	+0.59	-1.28	
B1_BKPB1	62601.7	383855.0	+1.21	-1.21	
B1_BKPB2	62601.6	383855.0	+1.24	-1.29	
B1_BKPB3	62601.6	383855.1	+1.28	-1.22	
Put	62507.1	384057.0	+0.41		

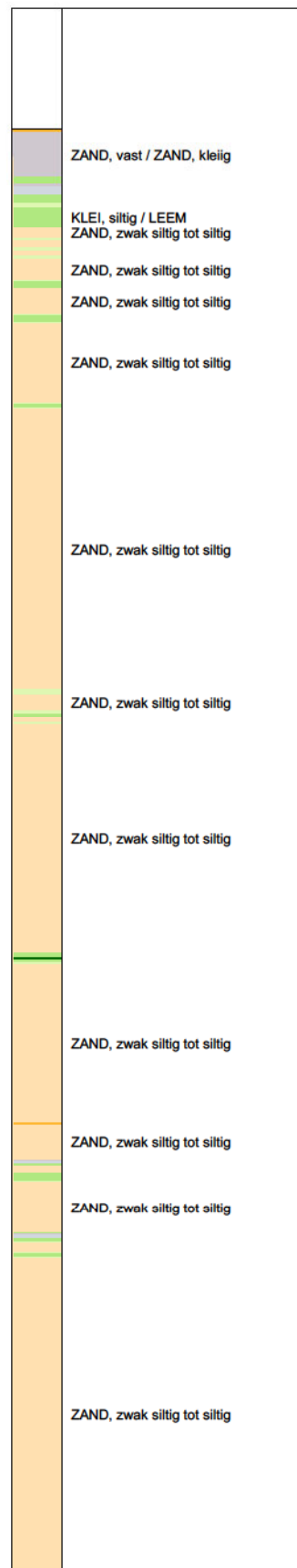


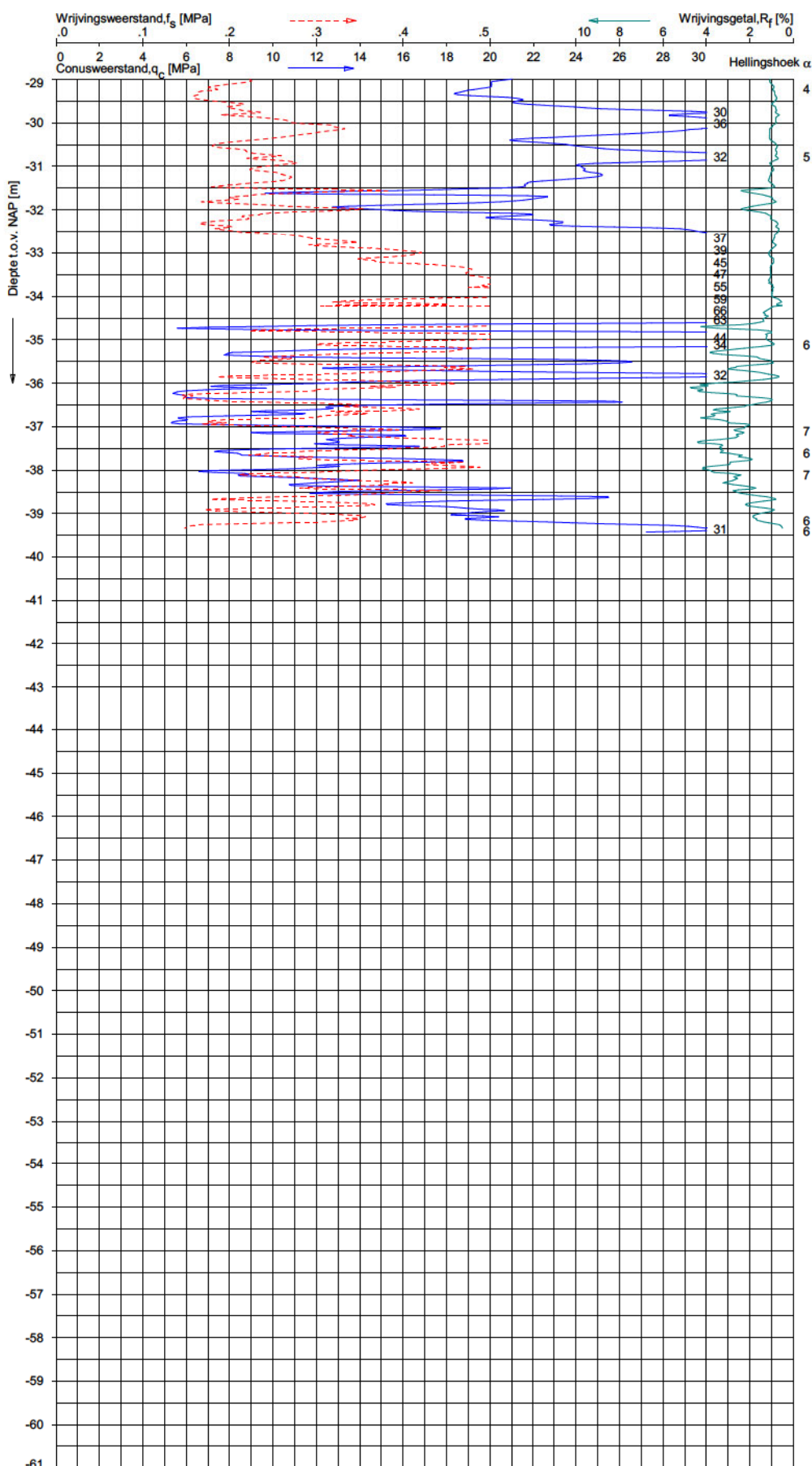
Wijziging	A	28-05-2019	H81 en B1	UGU	Revisie	28-05-2019	
Fugro			Tel: 026 - 3 698 444		Schaal		
Kantoor Amhem			Fax: 026 - 3 629 961		1 : 1000		
Ringoven 37			www.fugro.nl		Format		
5825 TP Amhem					A2		
SITUATIE				0 100 200 300 400		Stapel	
ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUIJNINGEN						1A	
Gepland	Datum	Status	Projectnummer				
UGU	15-04-2019	DEFINITIEF	3019-0185-000				

\s\project\3019-0185-000\3019-0185-000_01_01_19_000_01.dwg (15-04-2019 10:00:00)

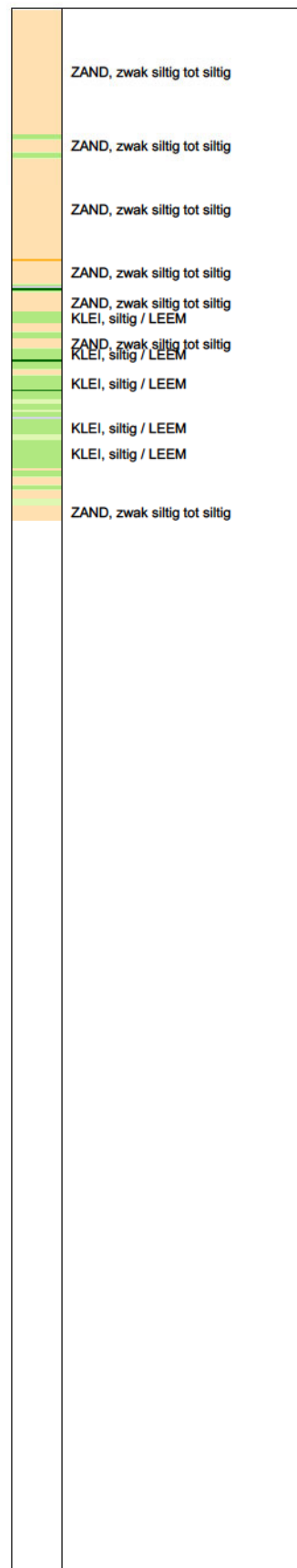


Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)





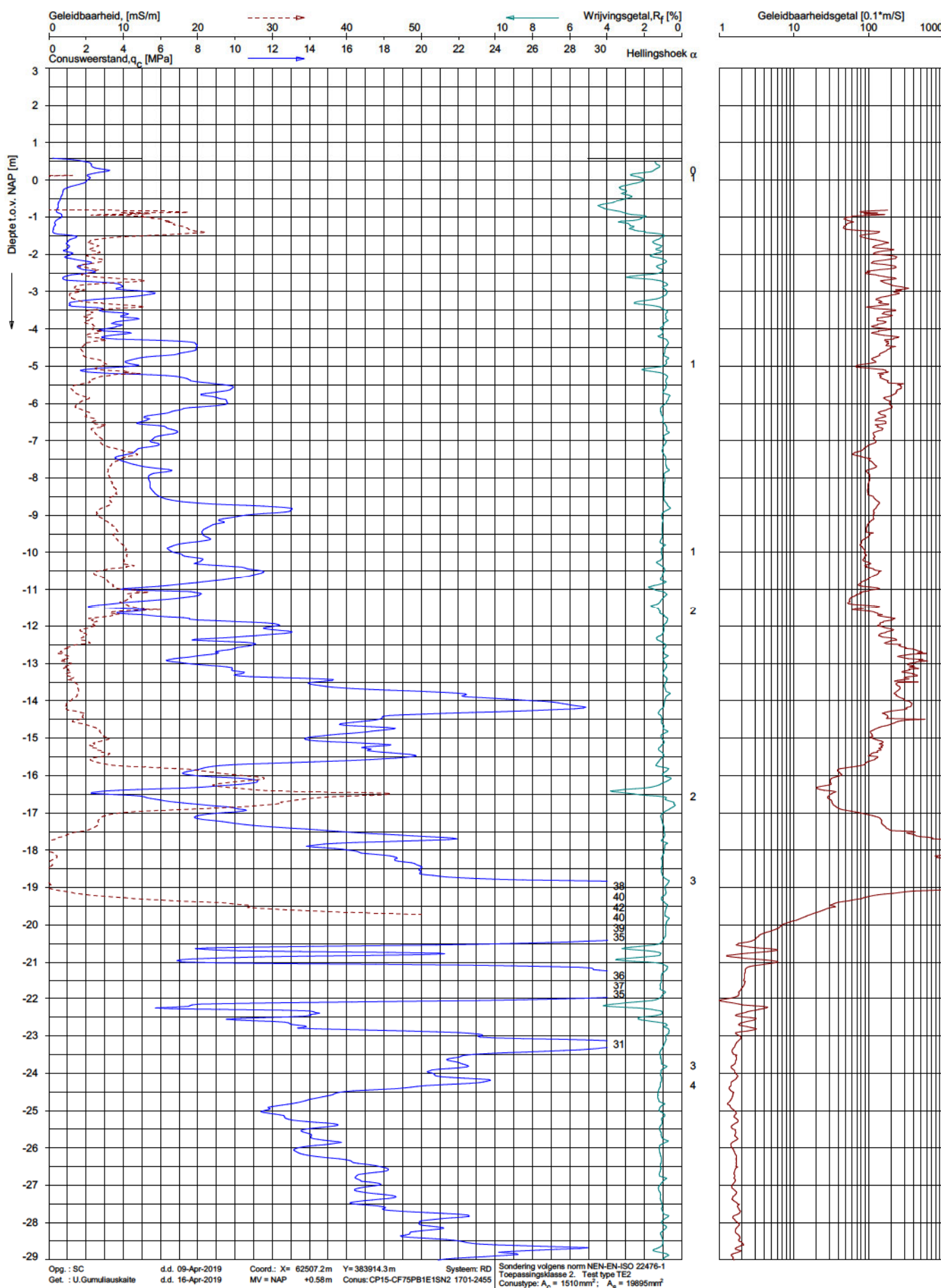
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)

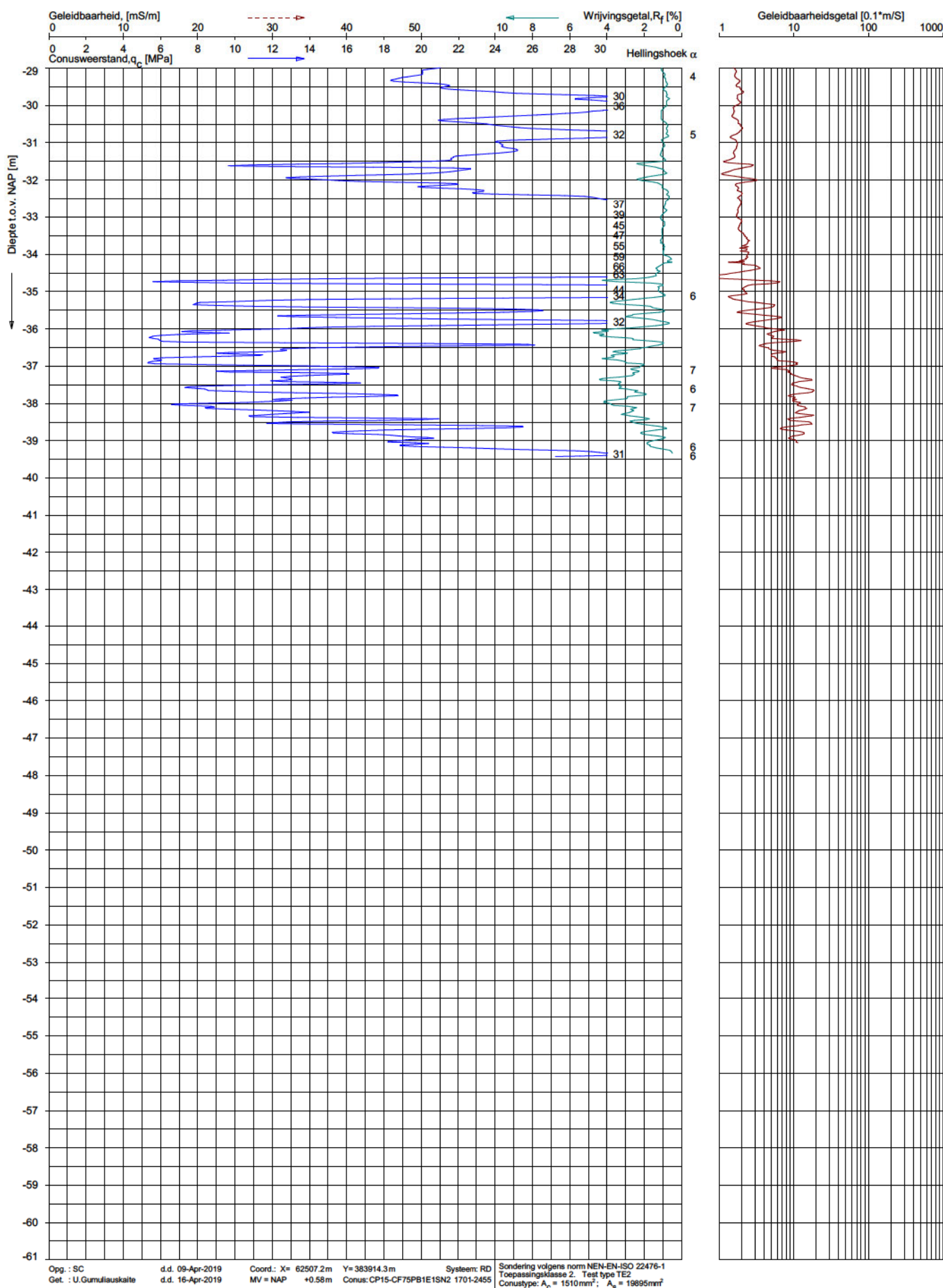


Opg. : SC d.d. 09-Apr-2019 Coord.: X= 62507.2m Y= 383914.3m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get. : U.Gumiliauskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.58m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conus type: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

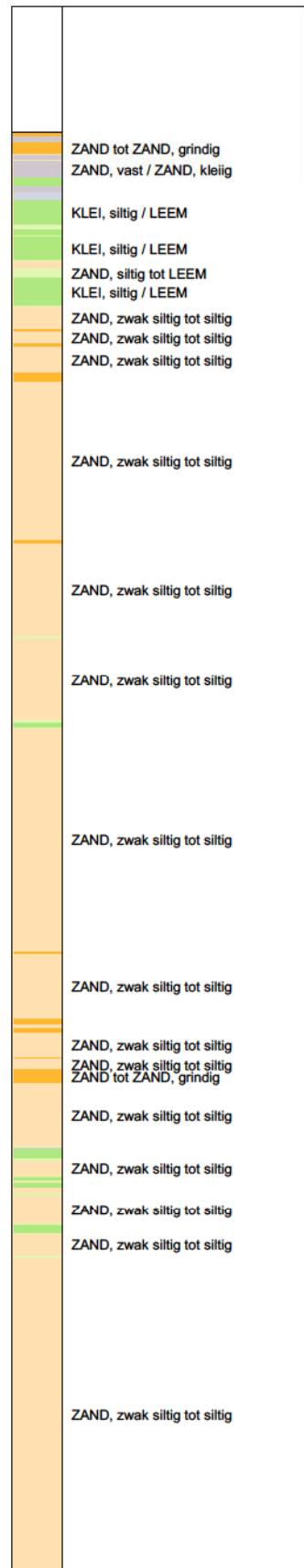
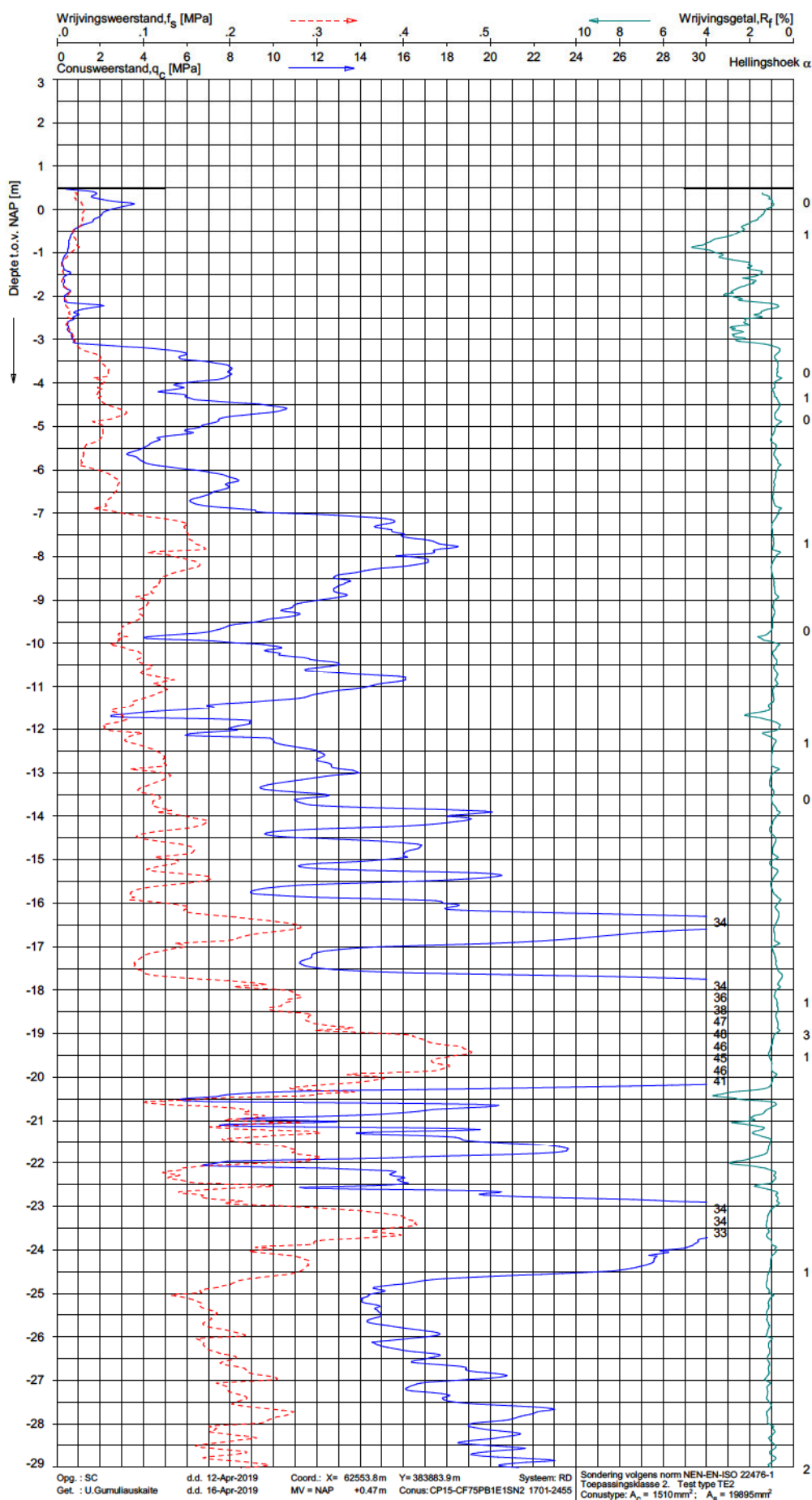
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG1





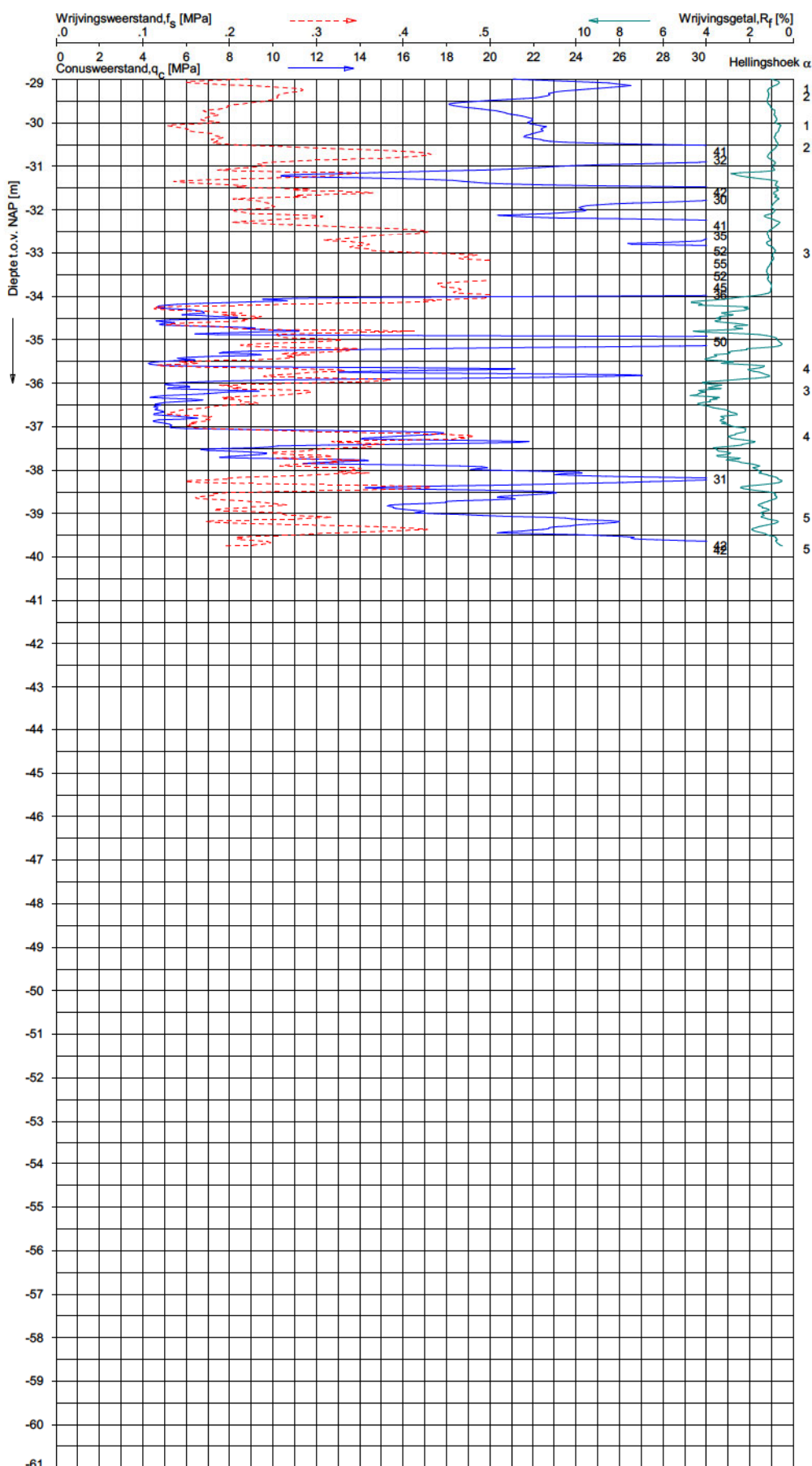
Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



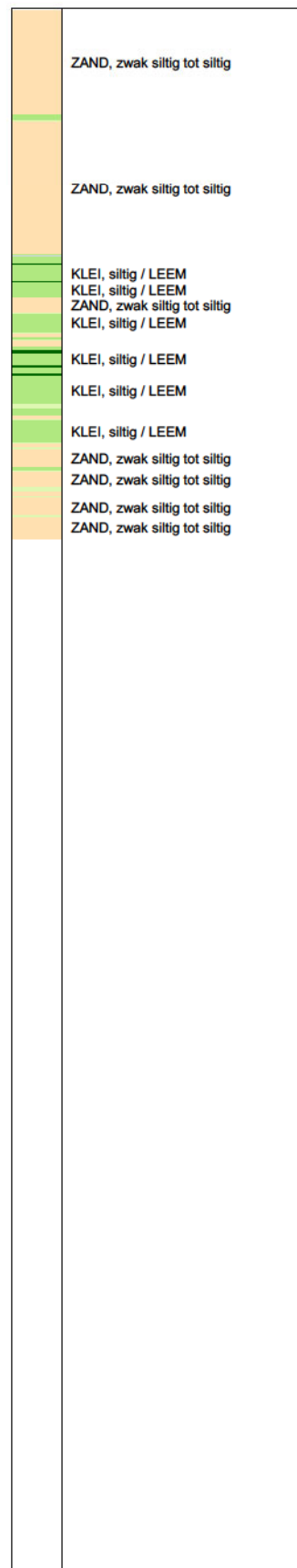
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUIJINGEN

Opdr. 9019-0185-000
Sond. DKMG2



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

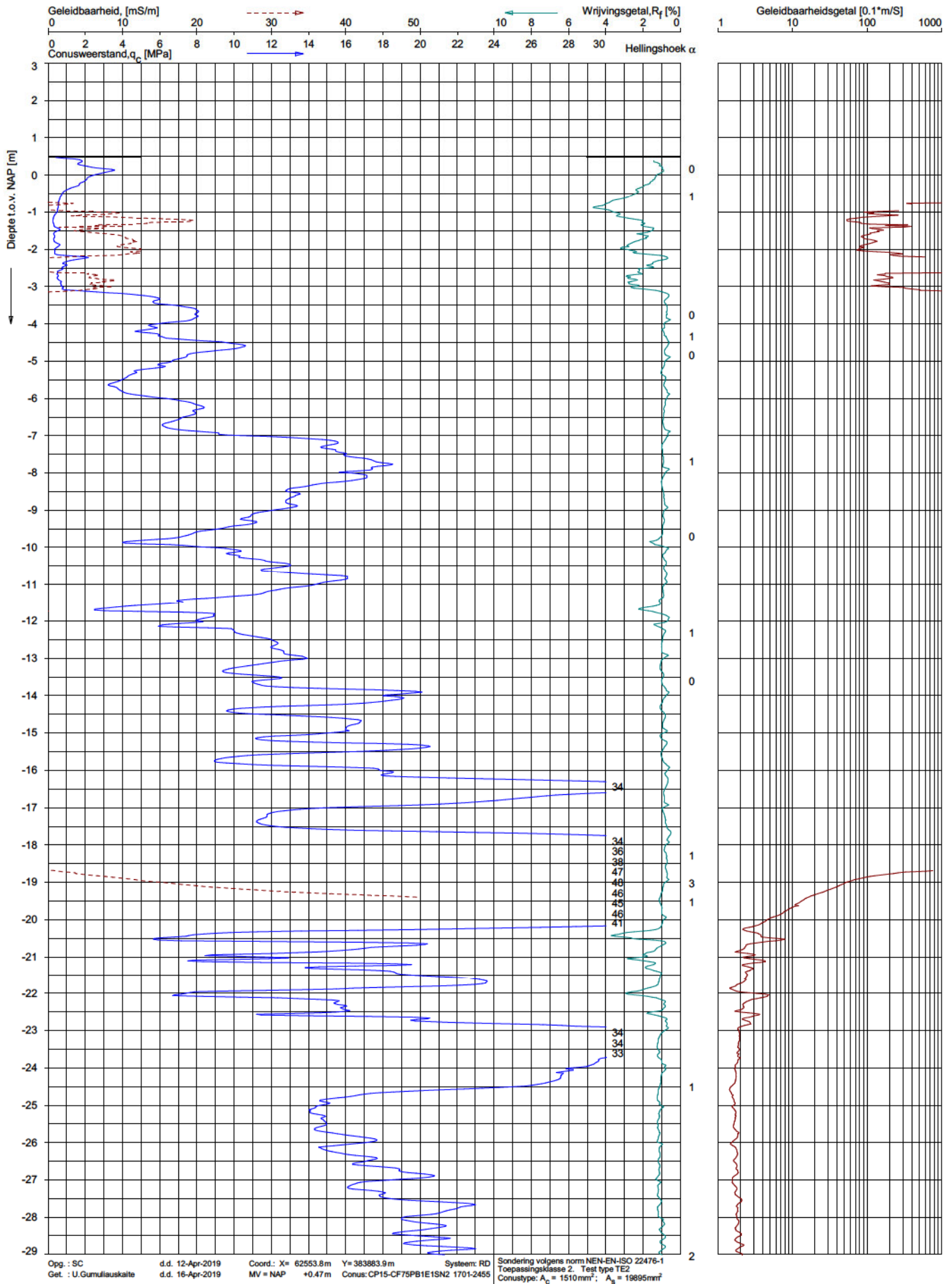


Opg.: SC d.d. 12-Apr-2019 Coord.: X= 62553.8m Y= 383883.9m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumiljuskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.47m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conustype: $A_c = 1510\text{mm}^2$; $A_s = 19895\text{mm}^2$

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

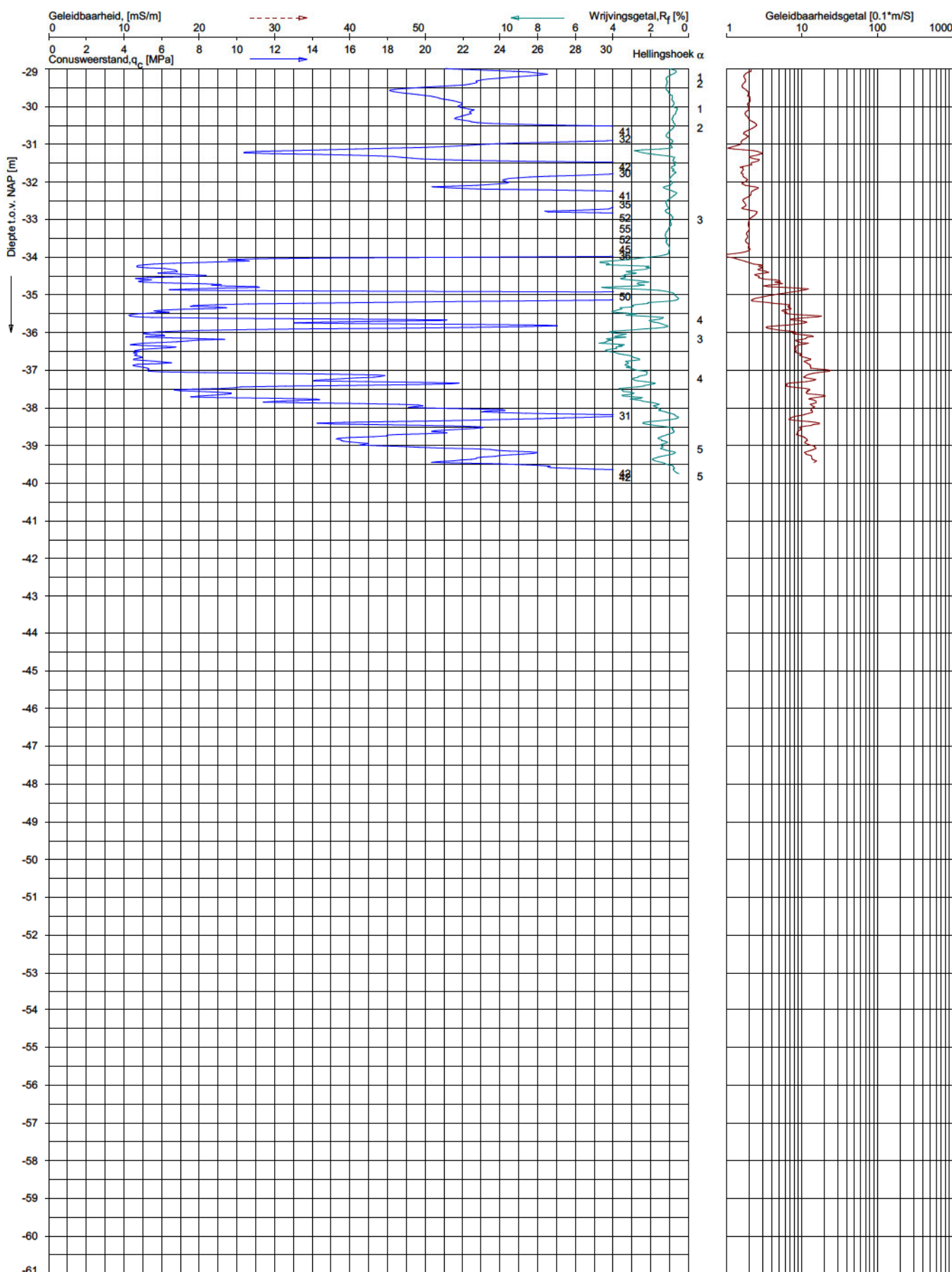
Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG2



SONDERING MET GELEIDBAARHEID

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
Sond. DKMG2



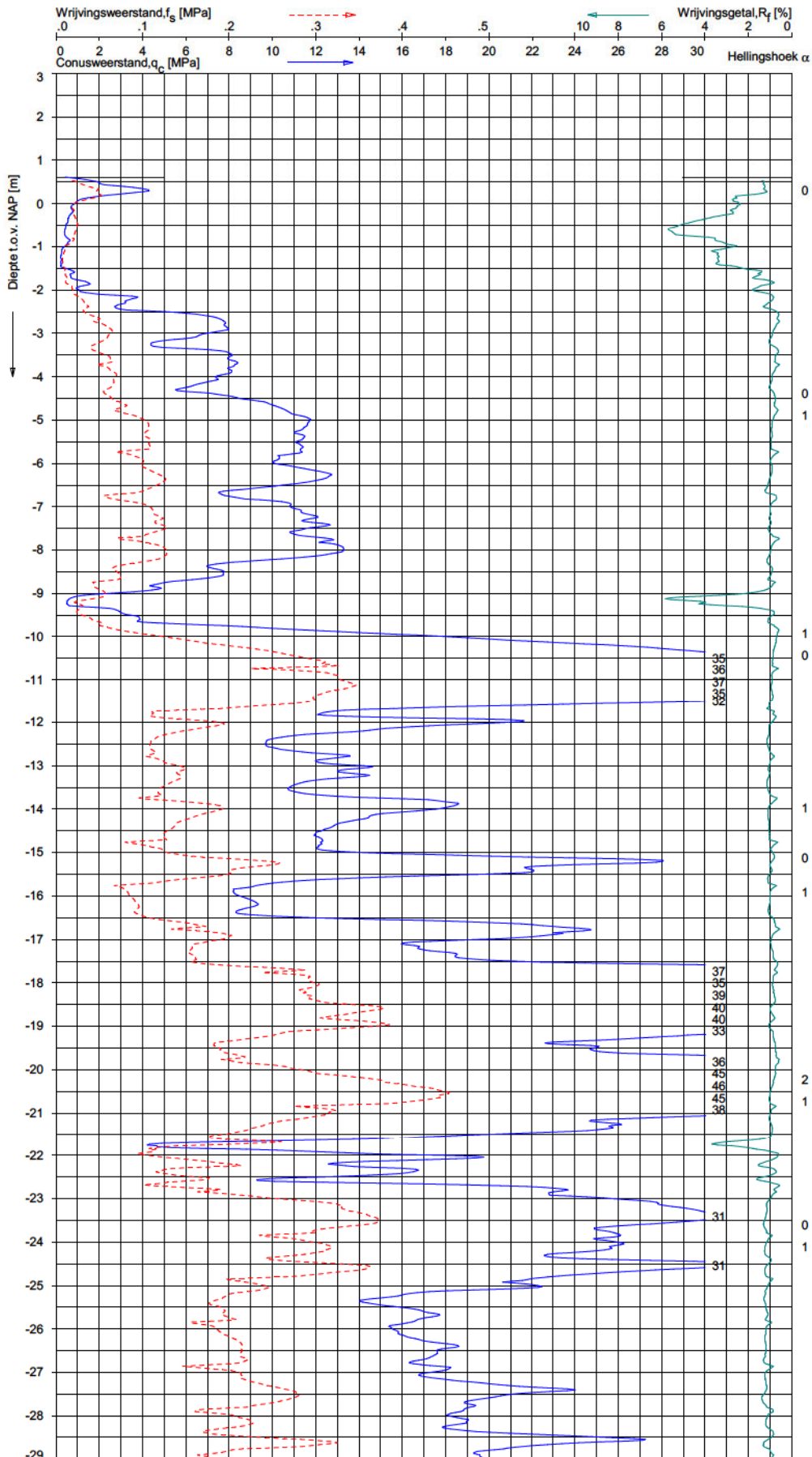
Opg.: SC d.d. 12-Apr-2019 Coord.: X= 62553.8m Y= 383883.9m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumilouskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.47m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conus type: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

SONDERING MET GELEIDBAARHEID

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG2

UNIPLOT 05.36.nl / QsfClassR3auf / 2019-04-16 10:49:30



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



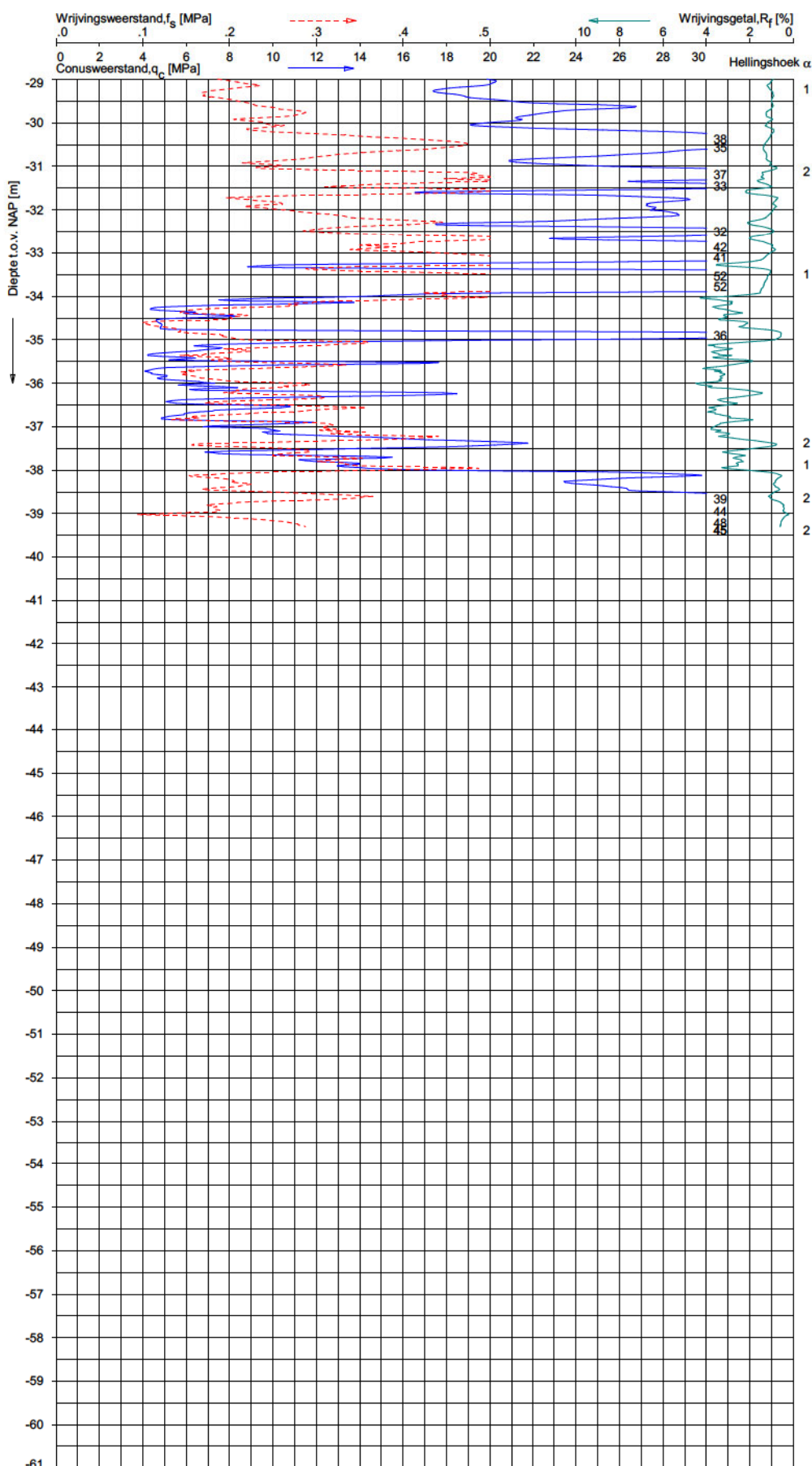
9019-0185-000

DKMG3 - 1

Opg.: SC d.d. 12-Apr-2019 Coord.: X= 62602.8m Y= 383855.2m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumulauskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.62m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conustype: $A_c = 1510\text{mm}^2$; $A_s = 19895\text{mm}^2$

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG3



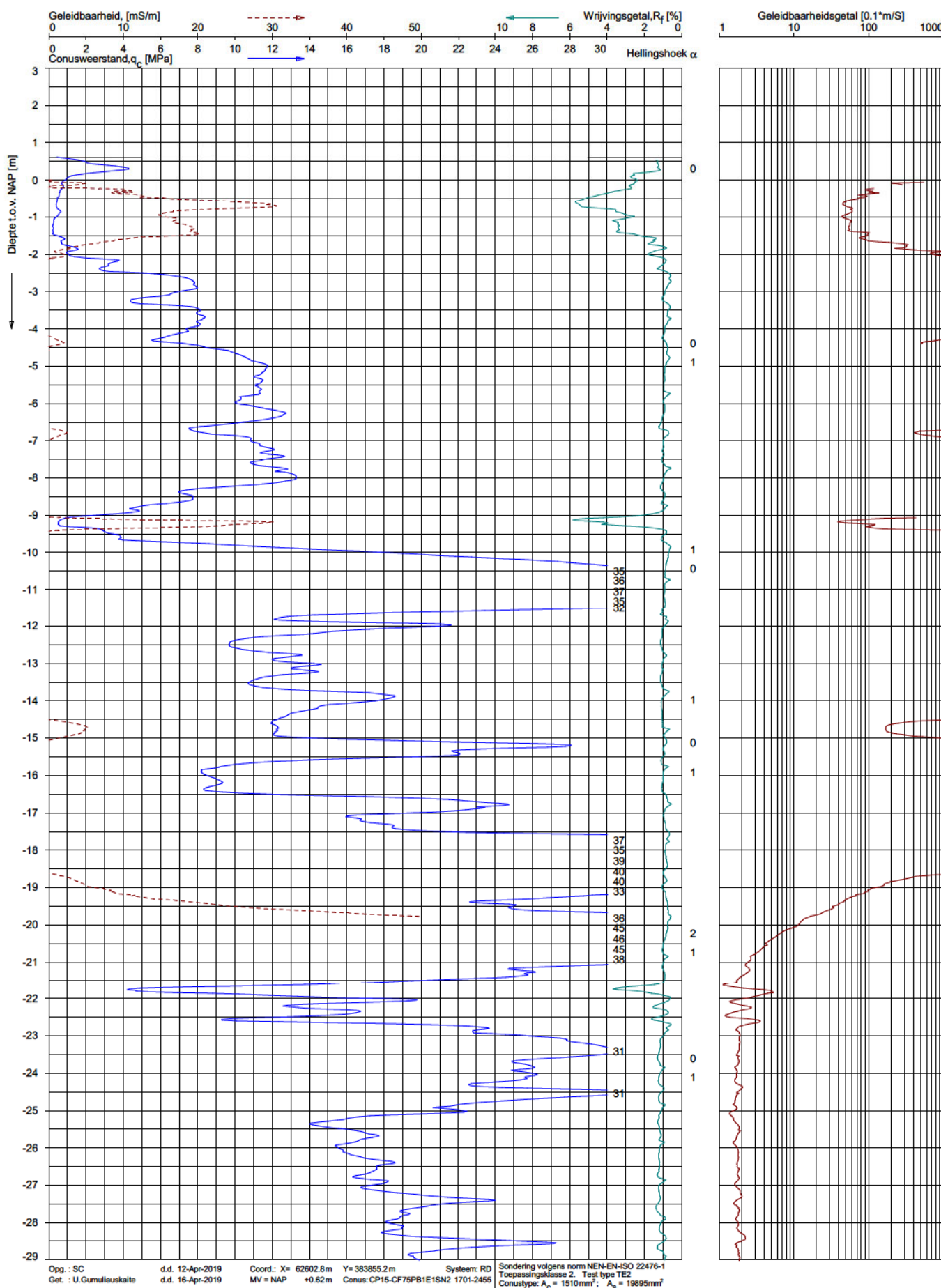
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)

	ZAND, zwak siltig tot siltig
	ZAND, zwak siltig tot siltig
	ZAND, zwak siltig tot siltig
	ZAND, zwak siltig tot siltig
	ZAND, zwak siltig tot siltig
	KLEI, siltig / LEEM
	ZAND, zwak siltig tot siltig
	KLEI, siltig / LEEM
	KLEI, siltig / LEEM
	KLEI, siltig / LEEM
	KLEI, siltig / LEEM
	KLEI, siltig / LEEM
	KLEI, siltig / LEEM
	KLEI, siltig / LEEM
	ZAND, zwak siltig tot siltig
	ZAND, zwak siltig tot siltig

Opg.: SC d.d. 12-Apr-2019 Coord.: X= 62602.8m Y= 383855.2m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumiljuskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.62m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

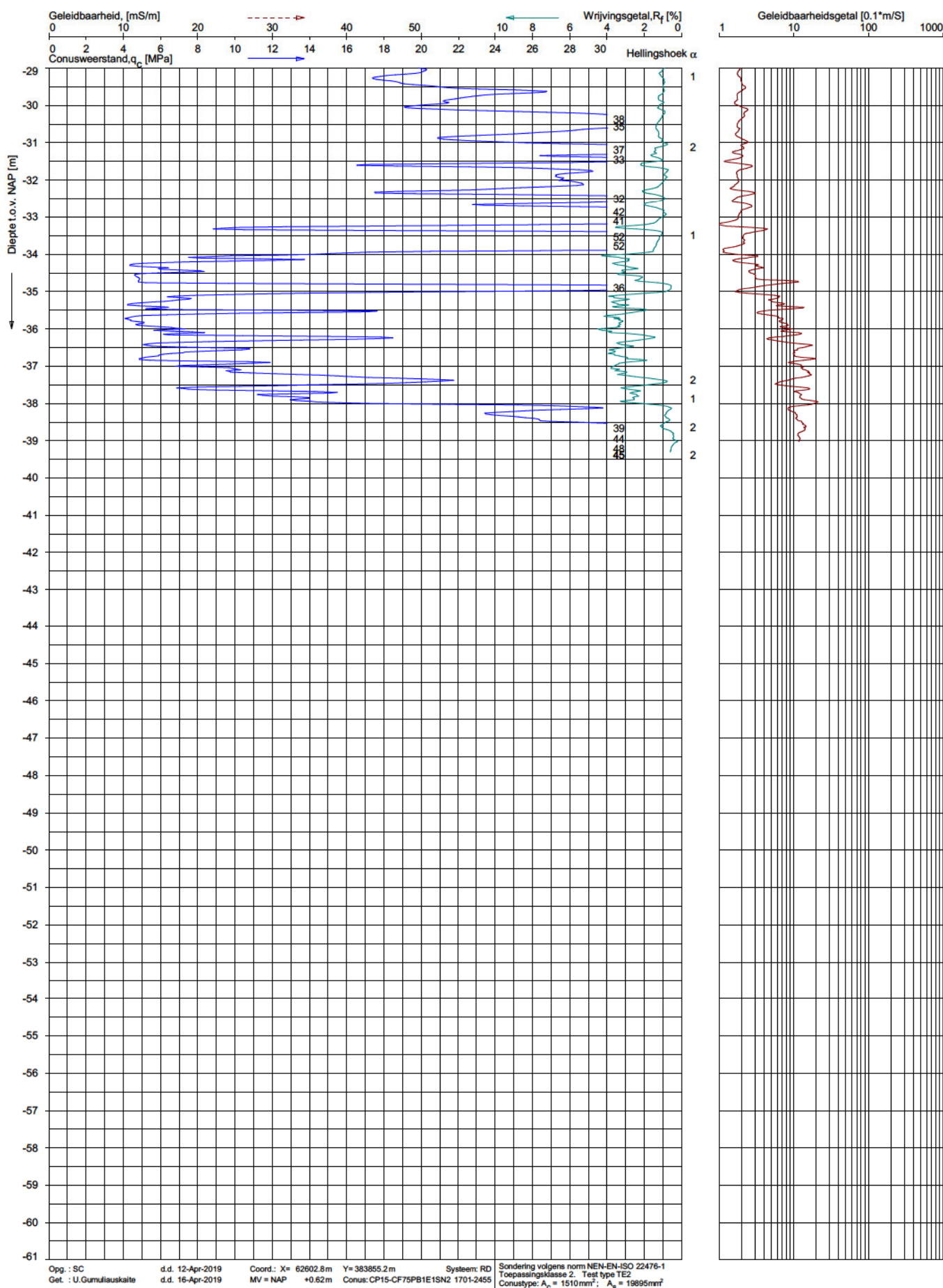
Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG3

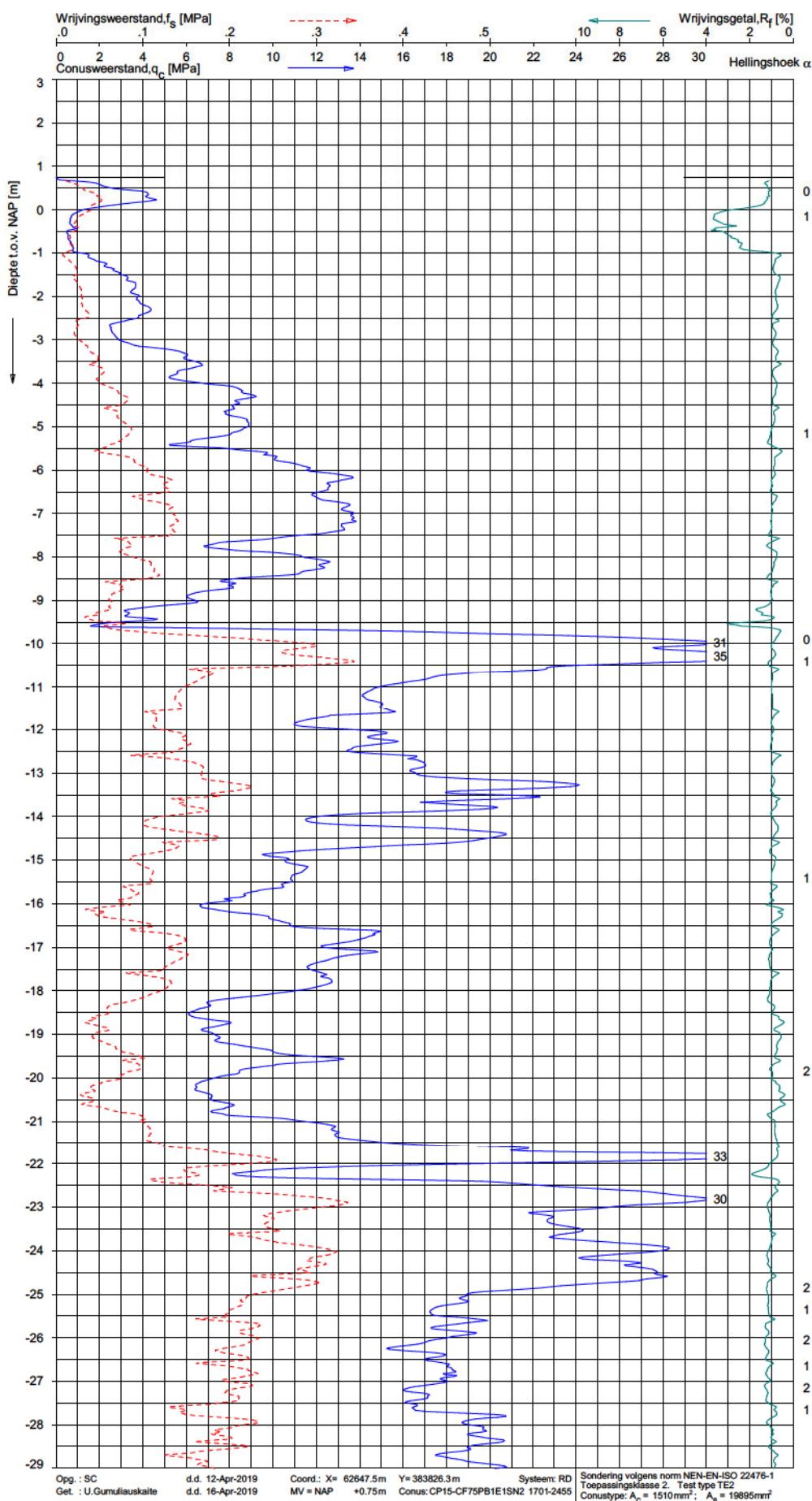


SONDERING MET GELEIDBAARHEID

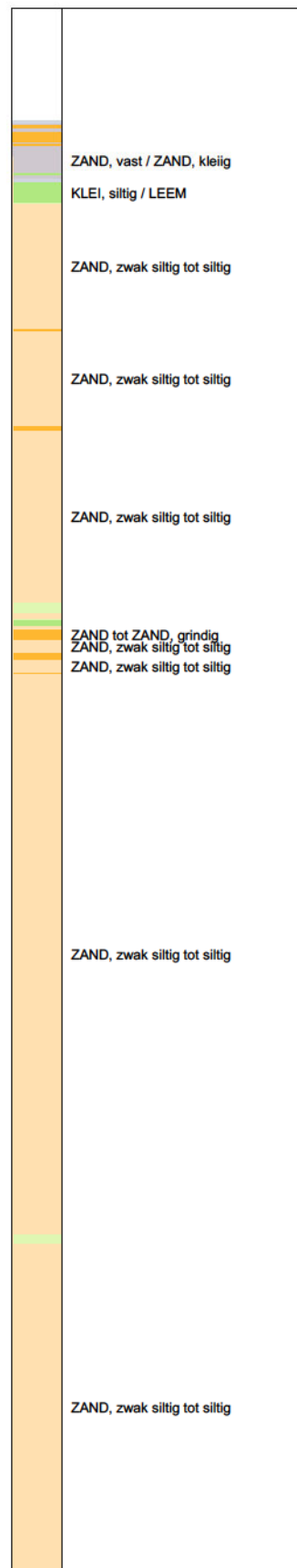
ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

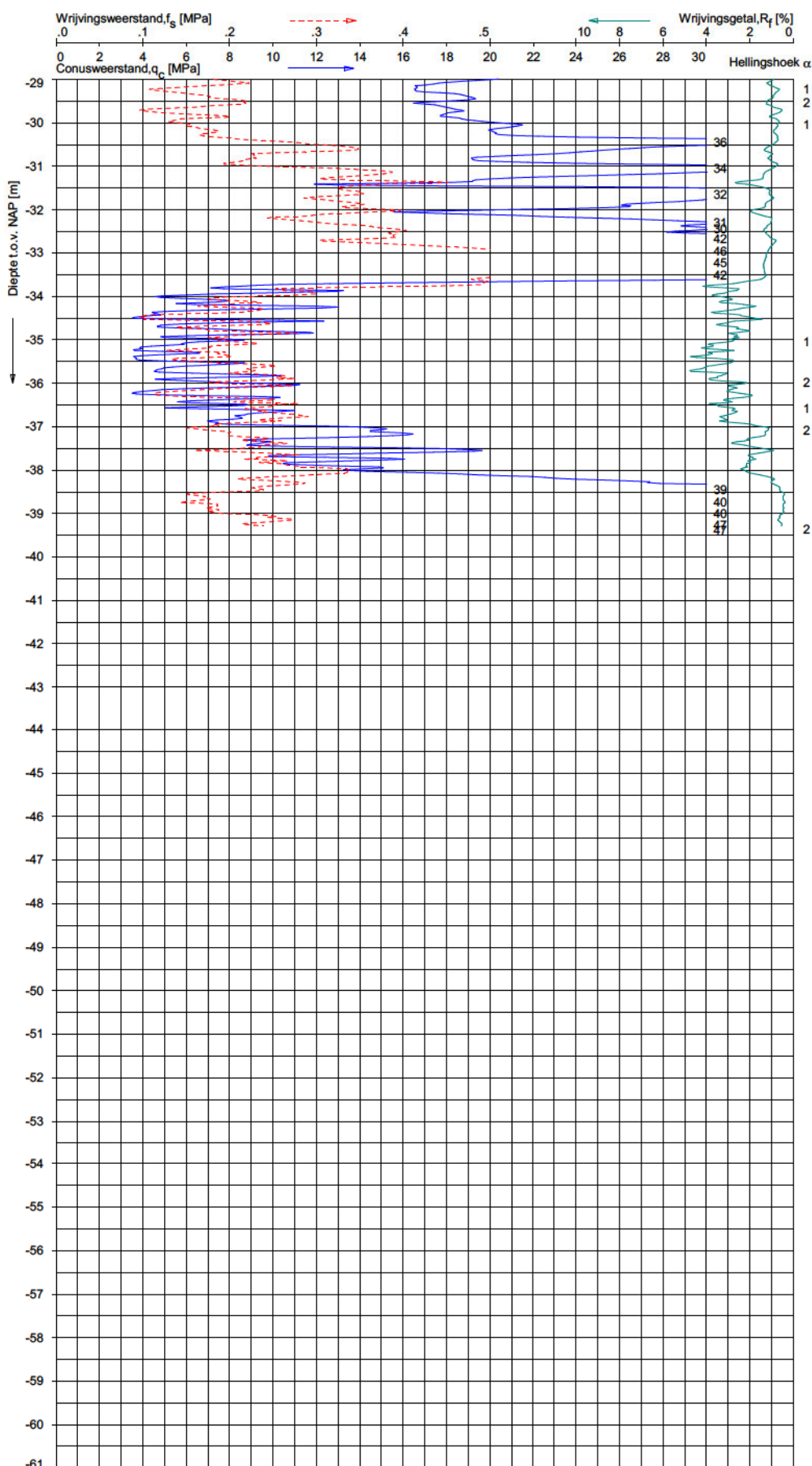
Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG3



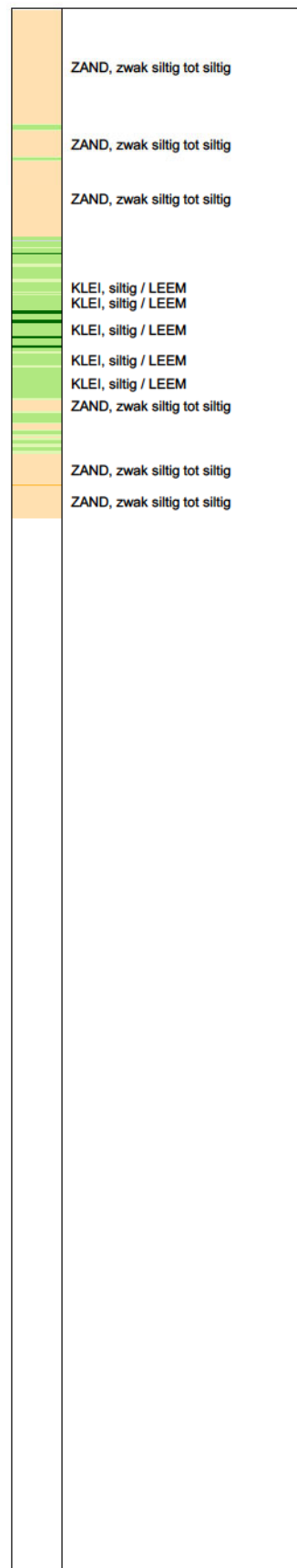


Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)





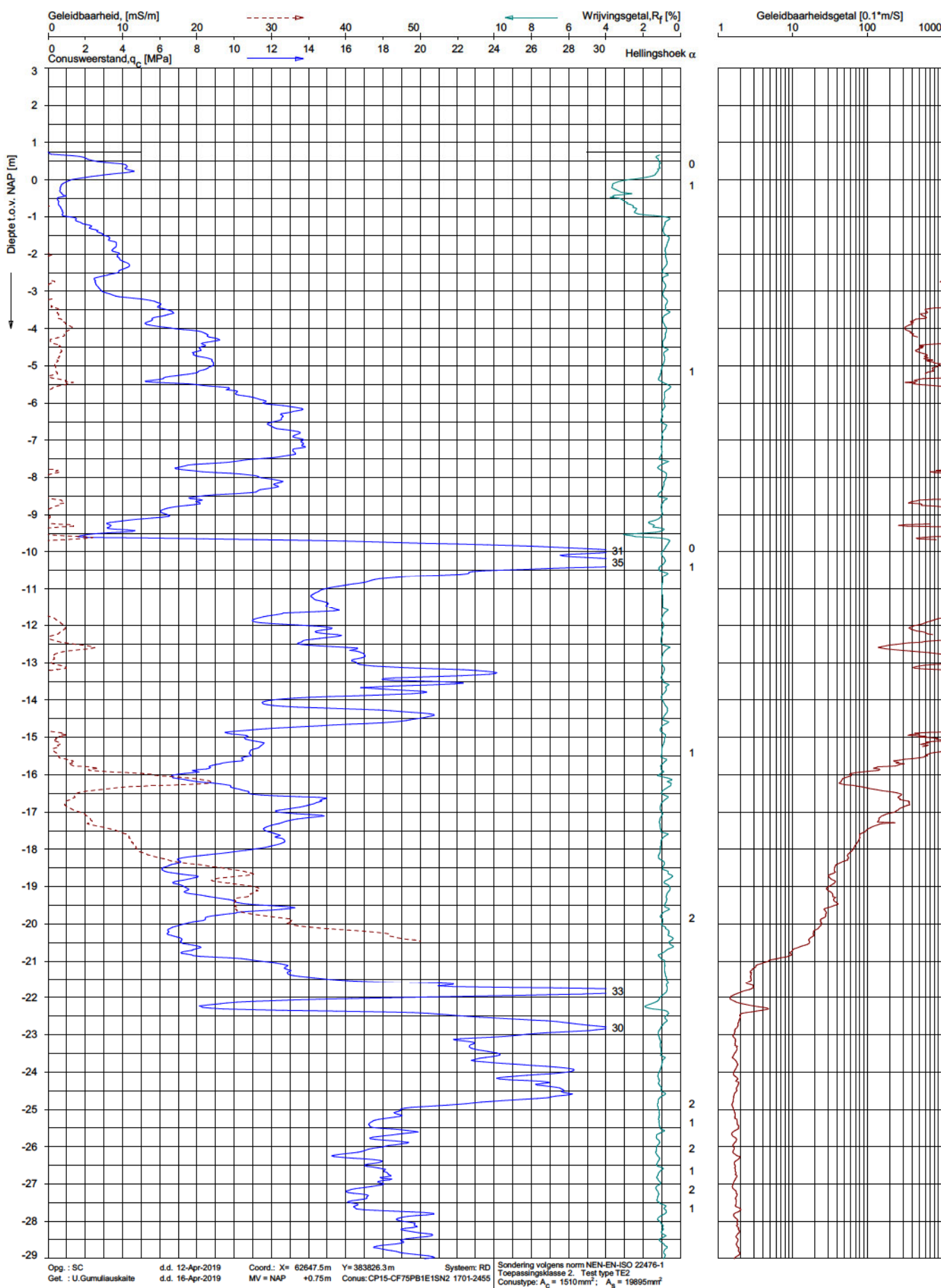
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Opg. : SC d.d. 12-Apr-2019 Coord.: X= 62647.5m Y= 383826.3m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get. : U.Gumiliauskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.75m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conus type: A₀ = 1510mm²; A₁ = 19895mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG4

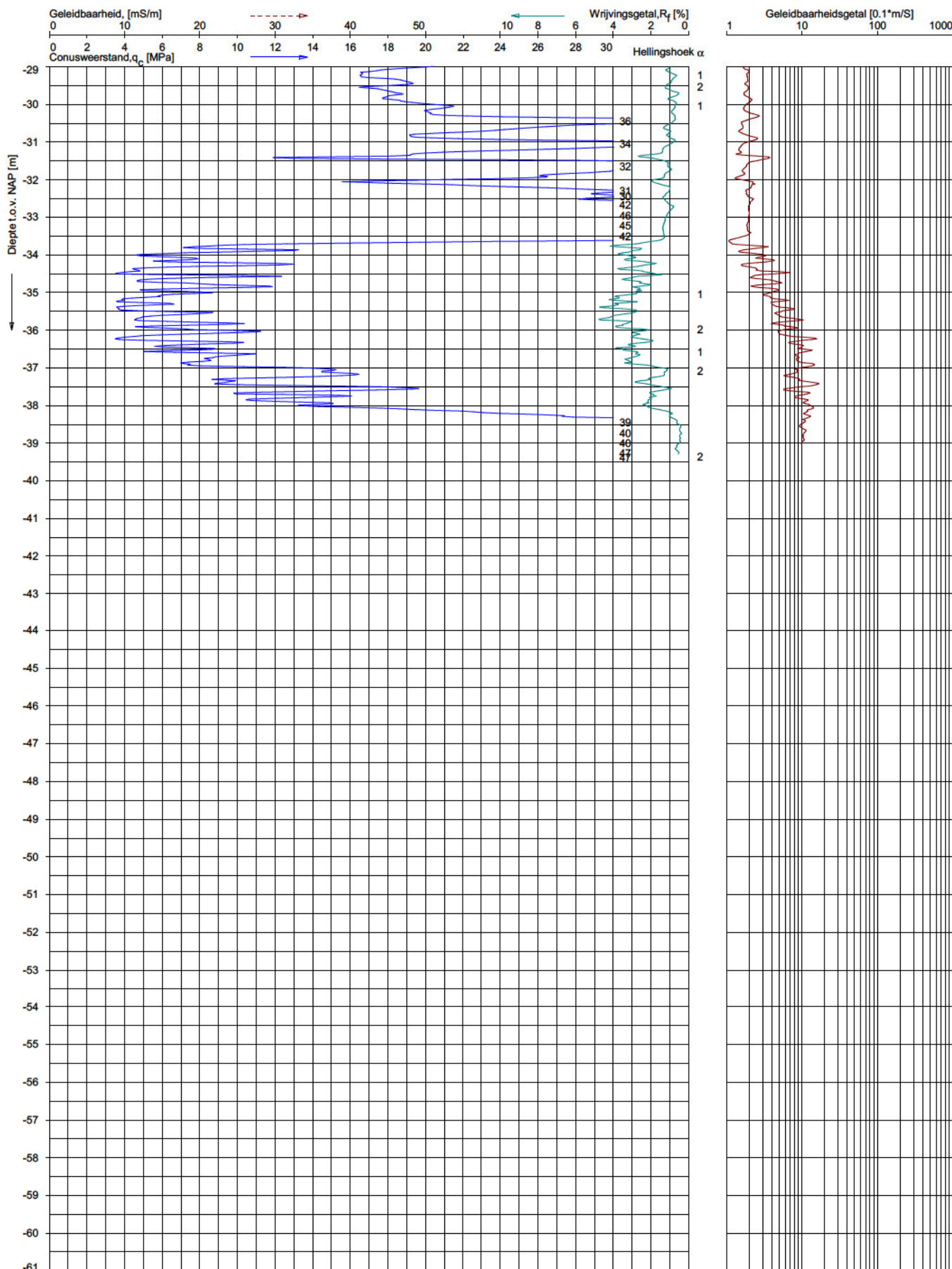


Opg.: SC d.d. 12-Apr-2019 Coord.: X= 62647.5m Y= 383826.3m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumilouskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.75m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conustype: $A_n = 1510\text{mm}^2$; $A_s = 19895\text{mm}^2$

SONDERING MET GELEIDBAARHEID

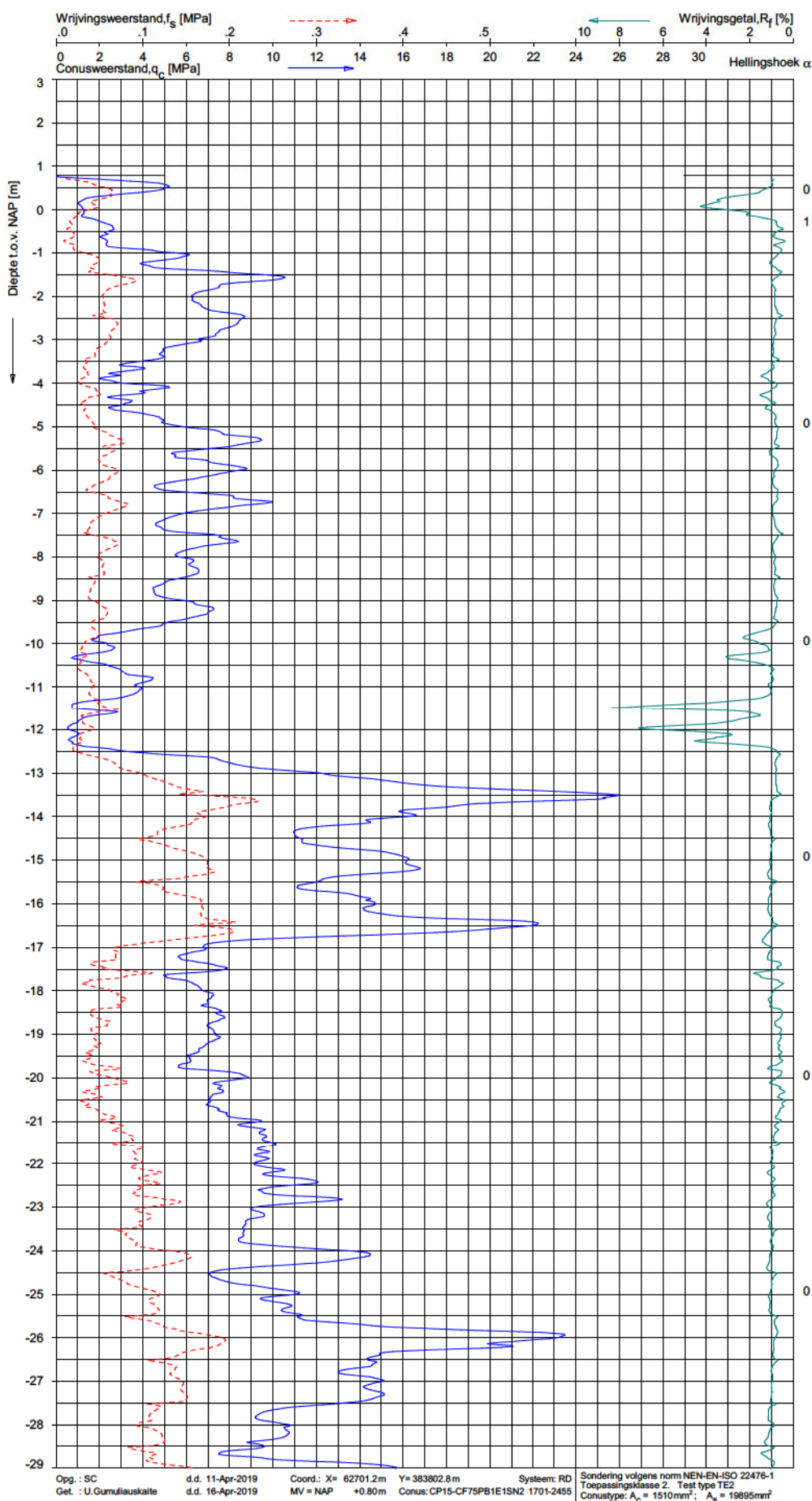
ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG4

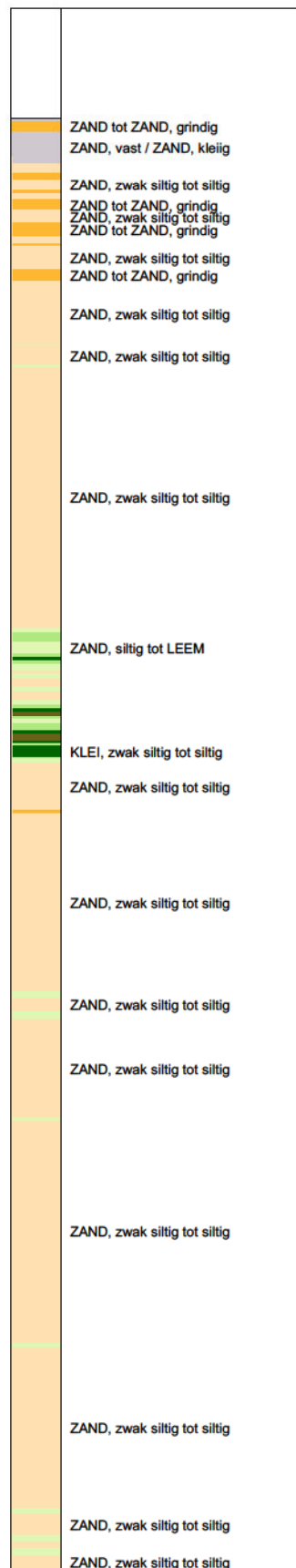


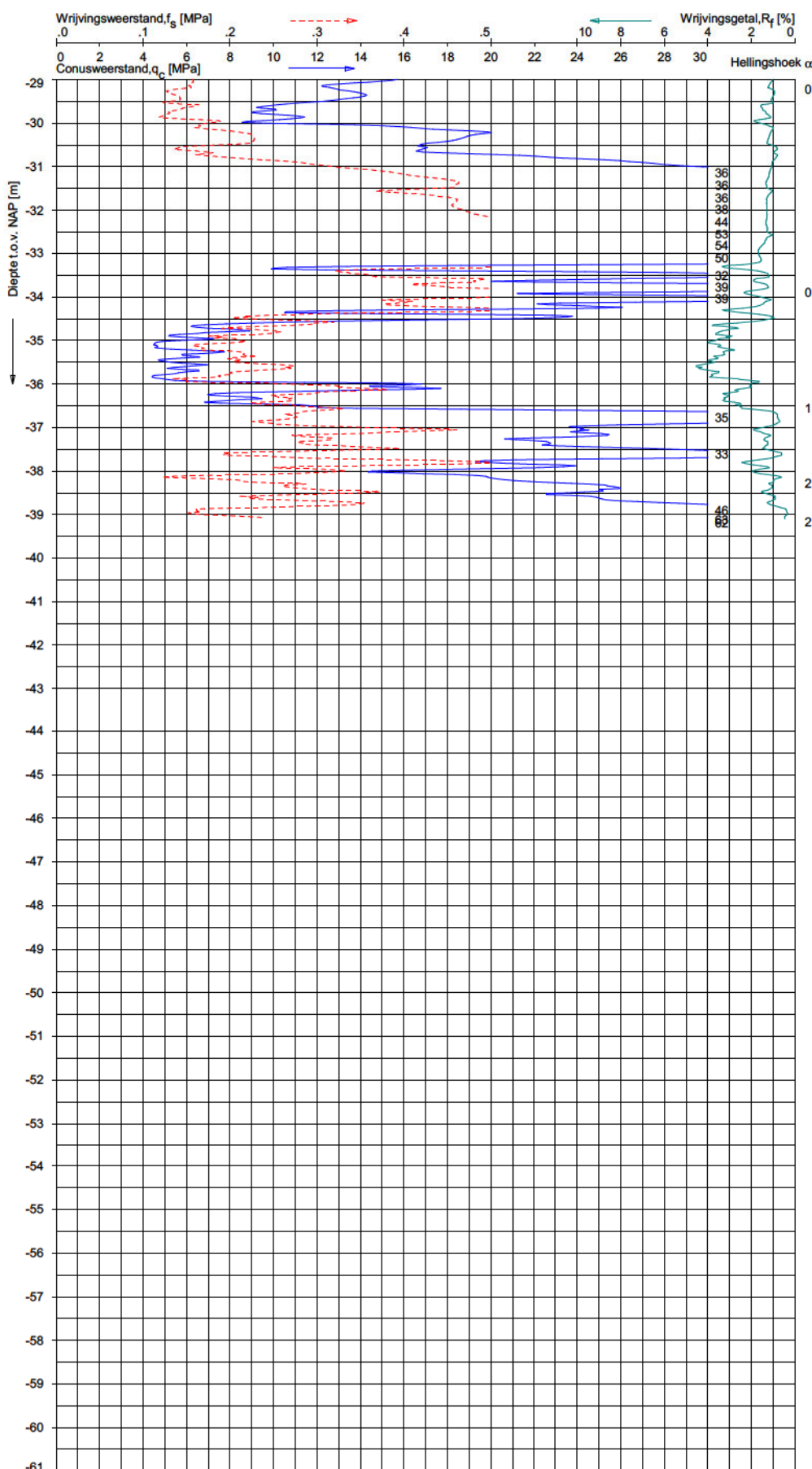
Opg. : SC d.d. 12-Apr-2019 Coord.: X= 62647.5m Y= 383826.3m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get. : U.Gumiliauskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.75m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conustype: $A_c = 1510\text{mm}^2$; $A_s = 19895\text{mm}^2$

SONDERING MET GELEIDBAARHEID



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





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

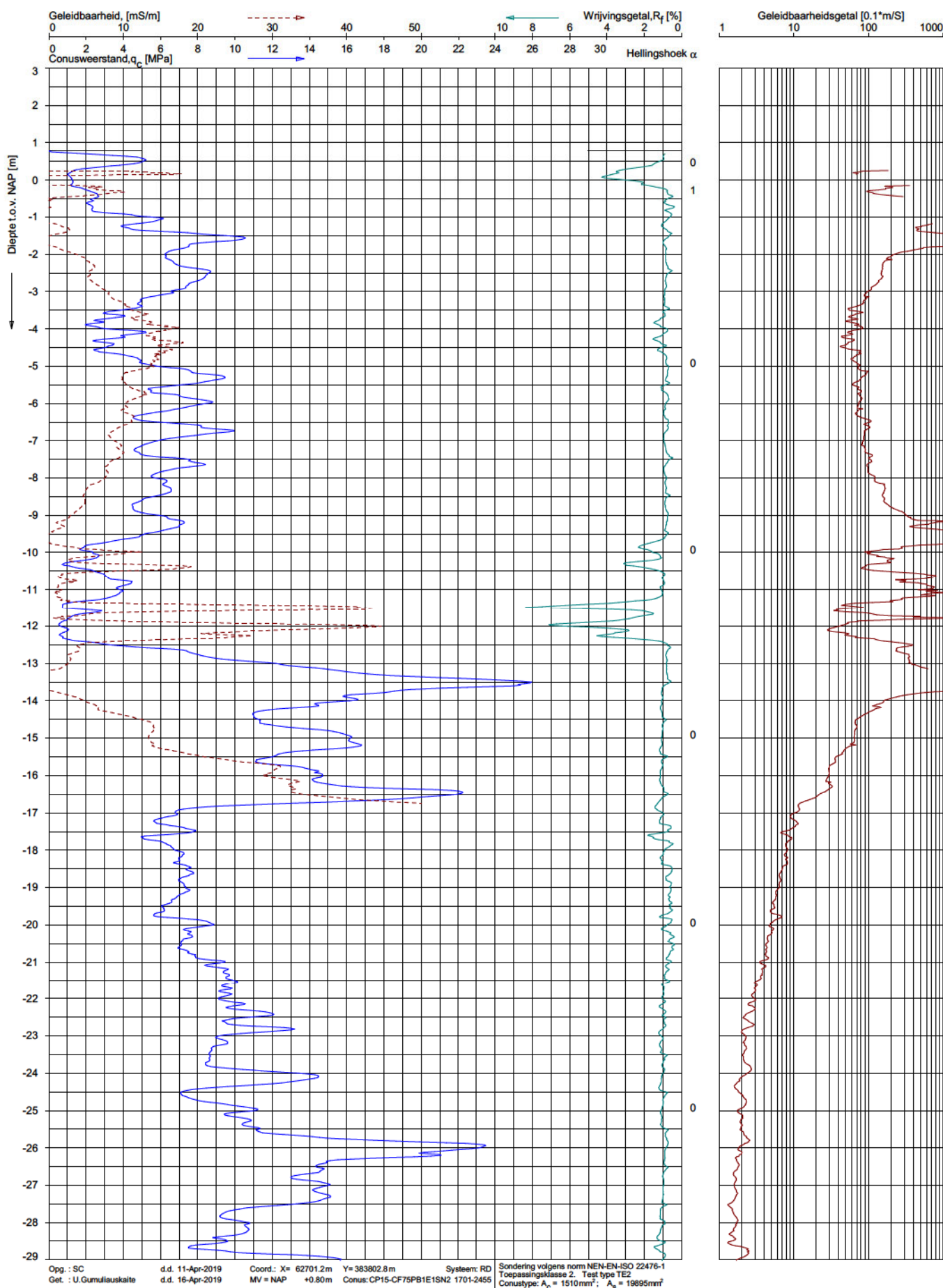


Opg.: SC d.d. 11-Apr-2019 Coord.: X= 62701.2m Y= 383802.8m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumiliuskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.80m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conustype: A₁ = 1510mm²; A₂ = 19895mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

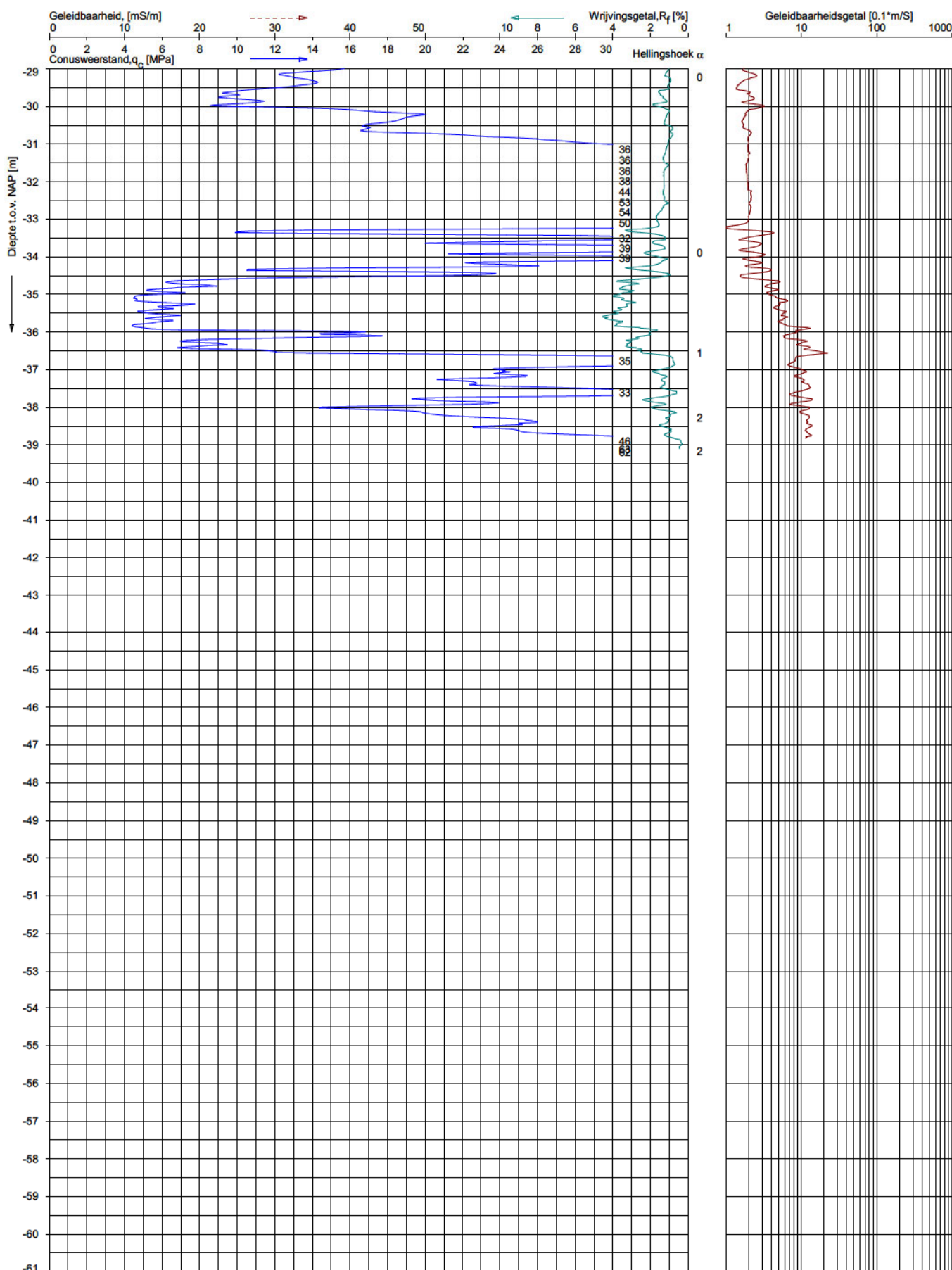
Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG5



SONDERING MET GELEIDBAARHEID

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG5

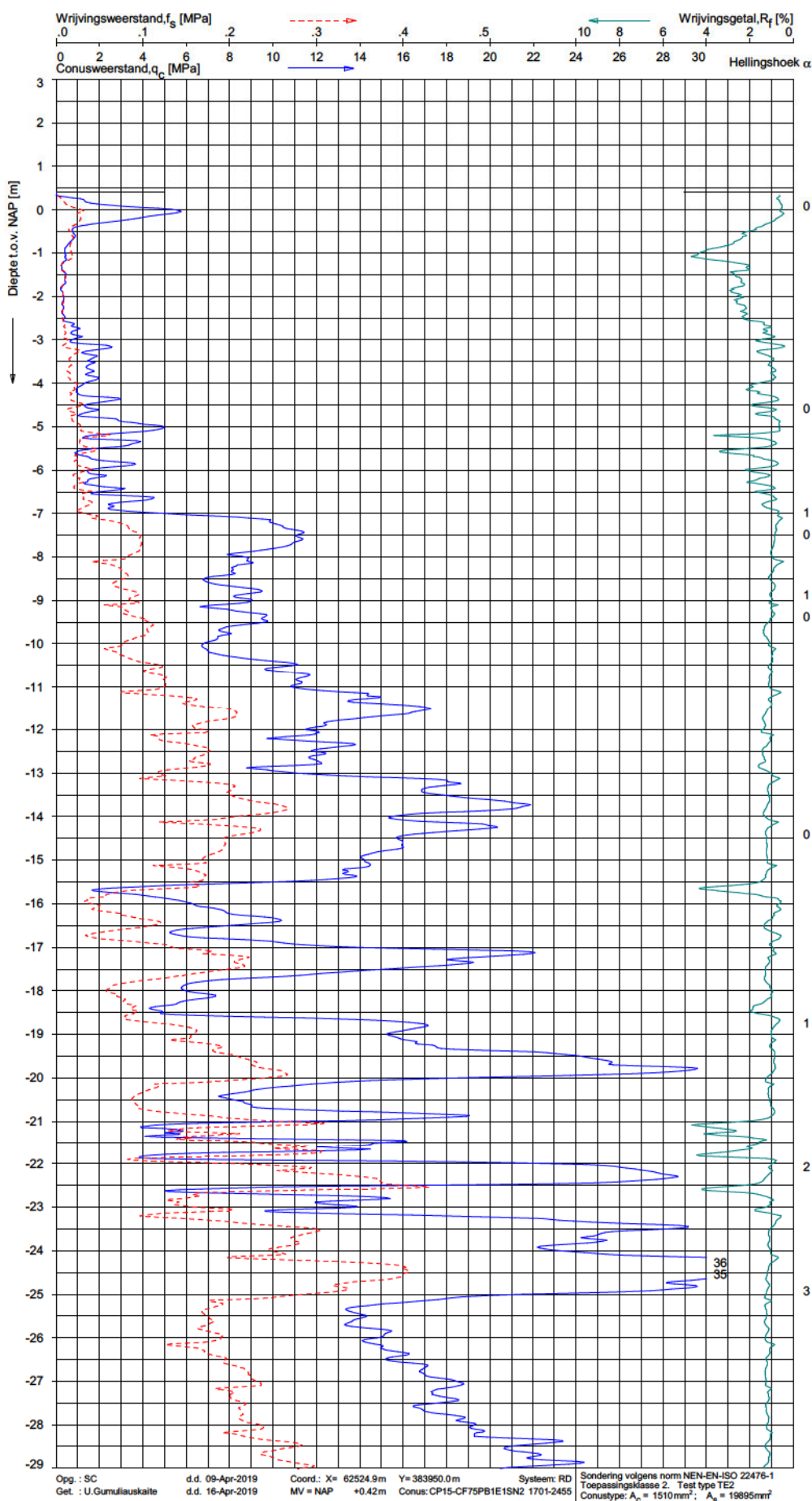


Opg.: SC d.d. 11-Apr-2019 Coord.: X= 62701.2m Y= 383802.8m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumilouskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.80m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conustype: $A_c = 1510\text{mm}^2$; $A_s = 19895\text{mm}^2$

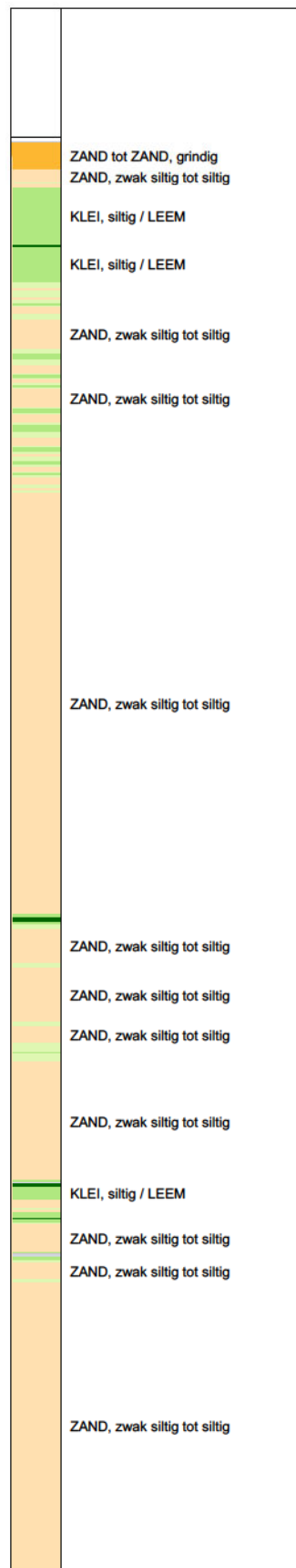
SONDERING MET GELEIDBAARHEID

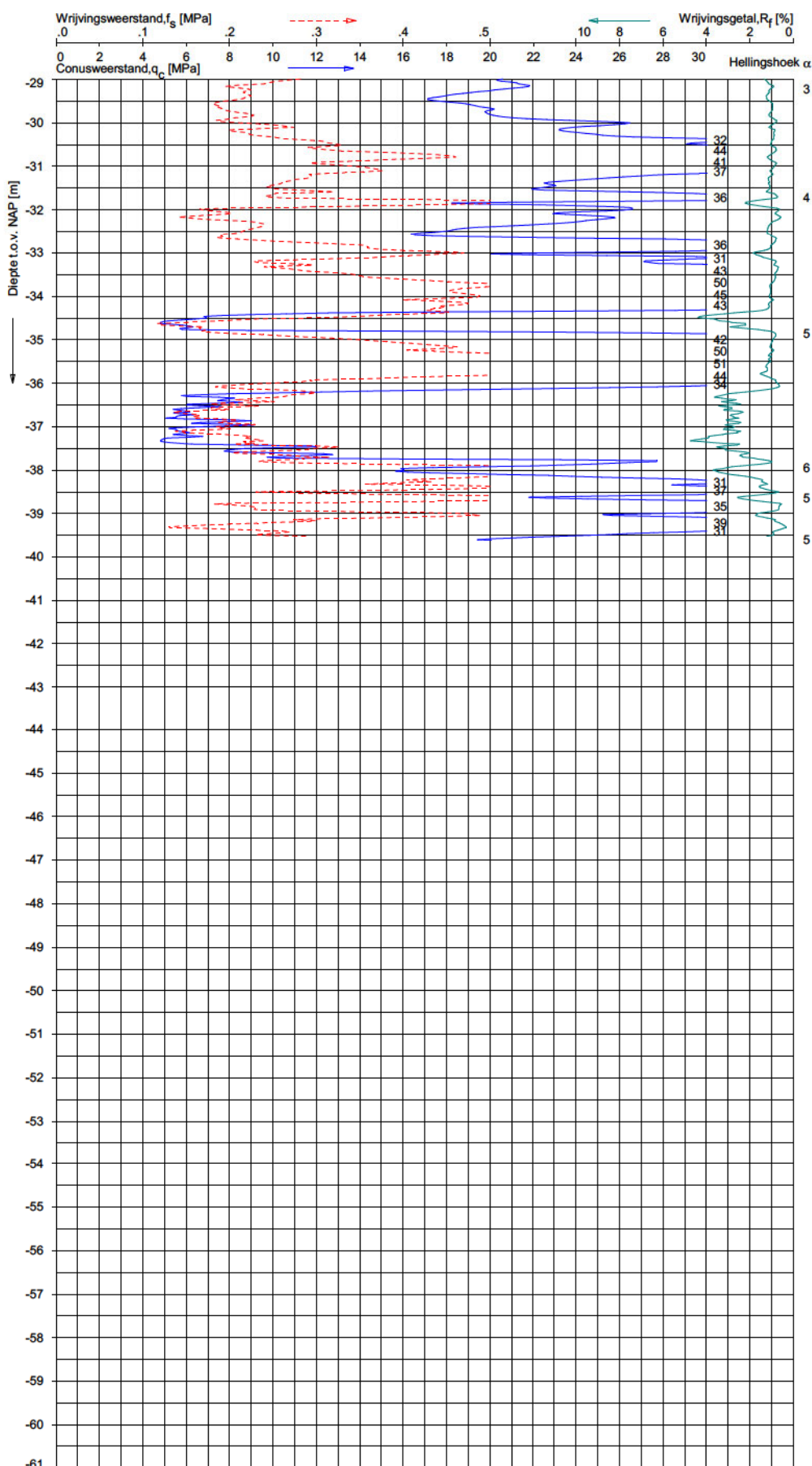
ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG5

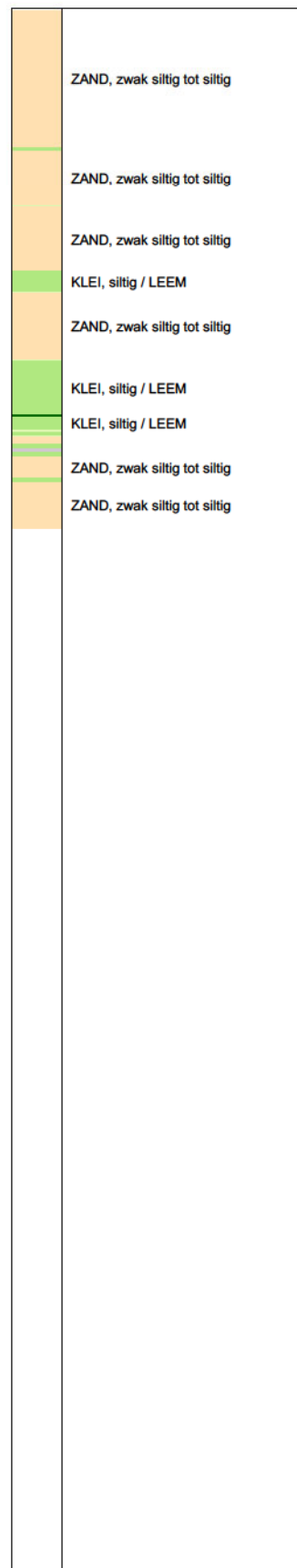


Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)





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

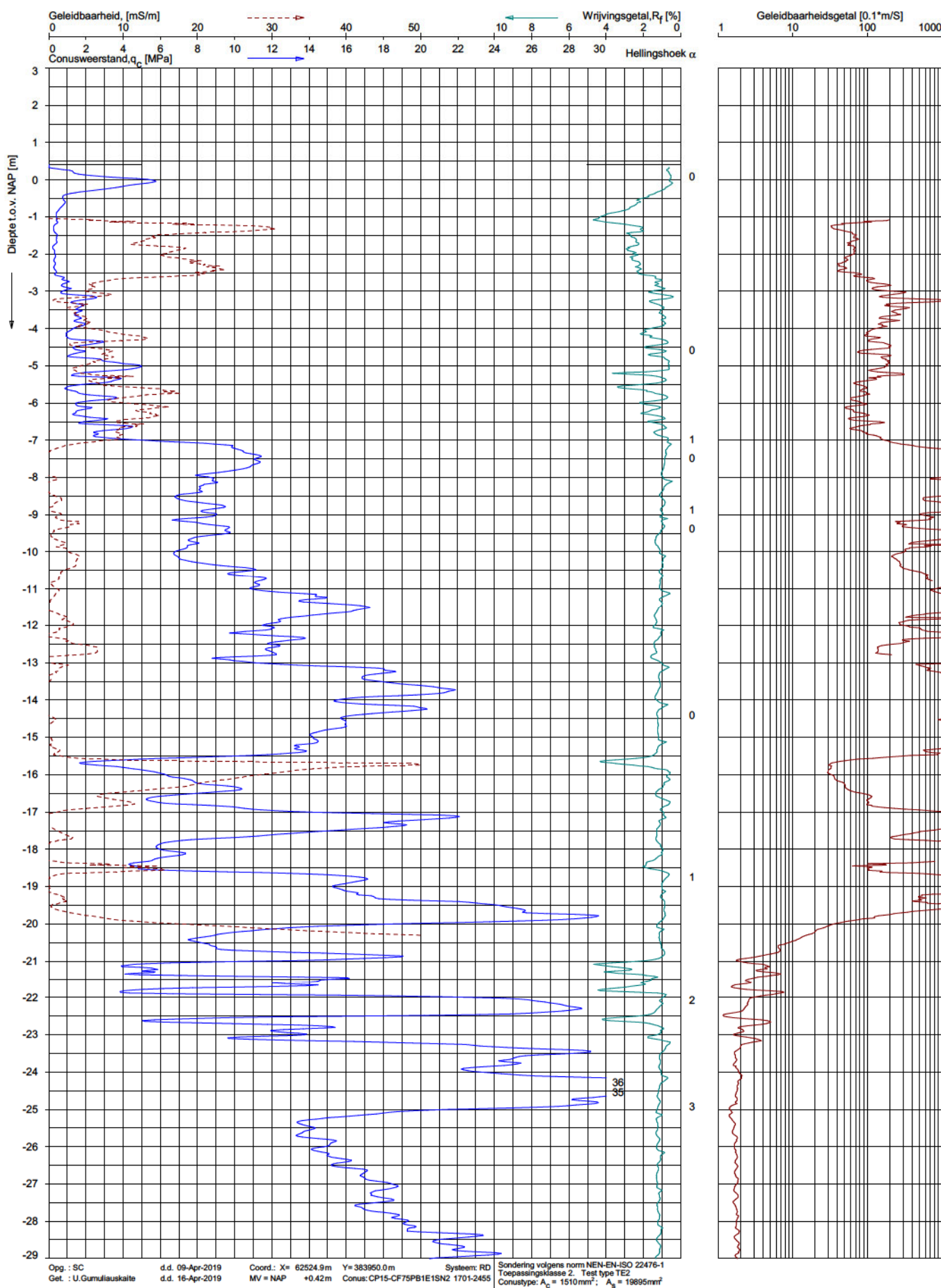


Opg.: SC d.d. 09-Apr-2019 Coord.: X= 62524.9m Y= 383950.0m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumiljuskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.42m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conus type: $A_n = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

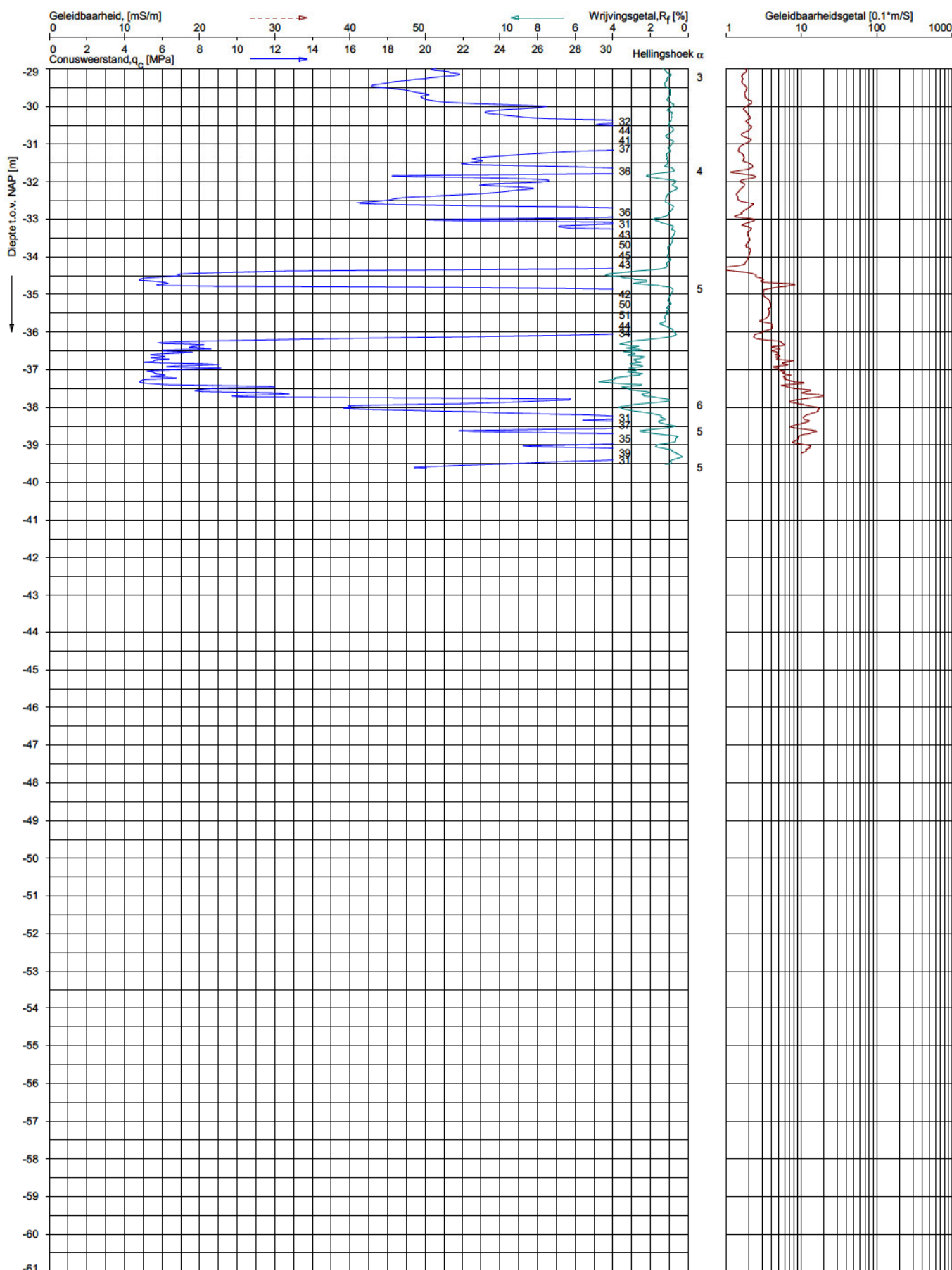
Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG6



SONDERING MET GELEIDBAARHEID

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
Sond. DKMG6

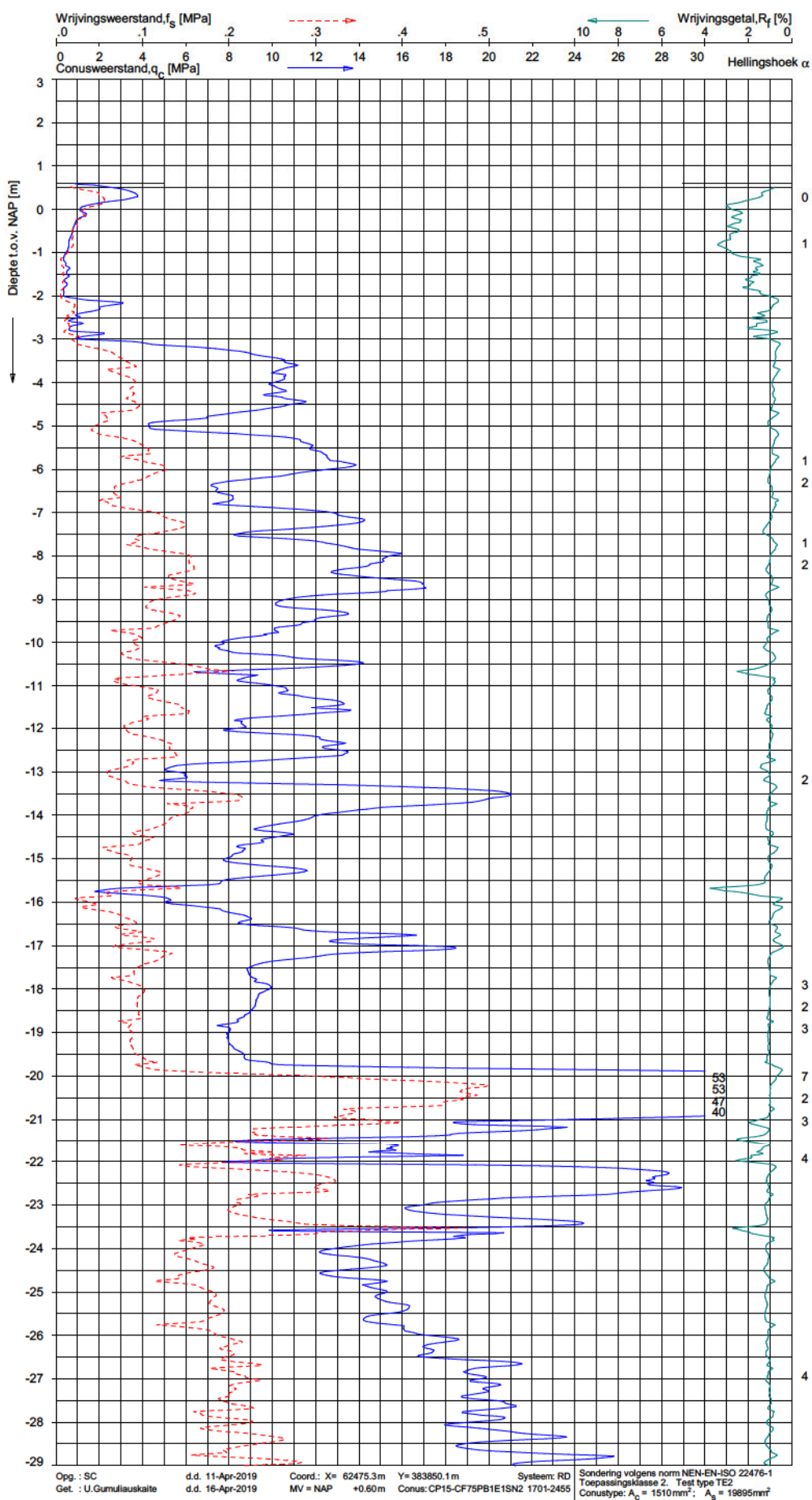


Opg. : SC d.d. 09-Apr-2019 Coord.: X= 62524.9m Y= 383950.0m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get. : U.Gumulauskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.42m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conustype: $A_n = 1510\text{mm}^2$; $A_s = 19895\text{mm}^2$

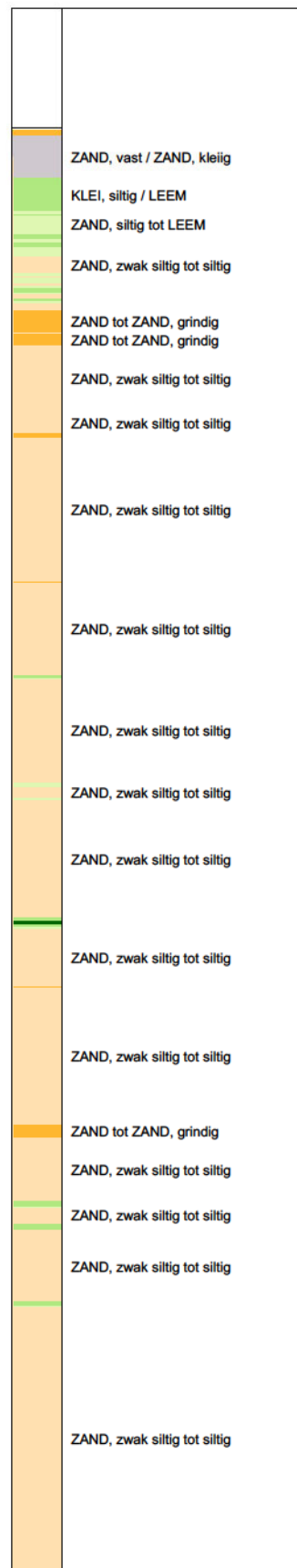
SONDERING MET GELEIDBAARHEID

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG6



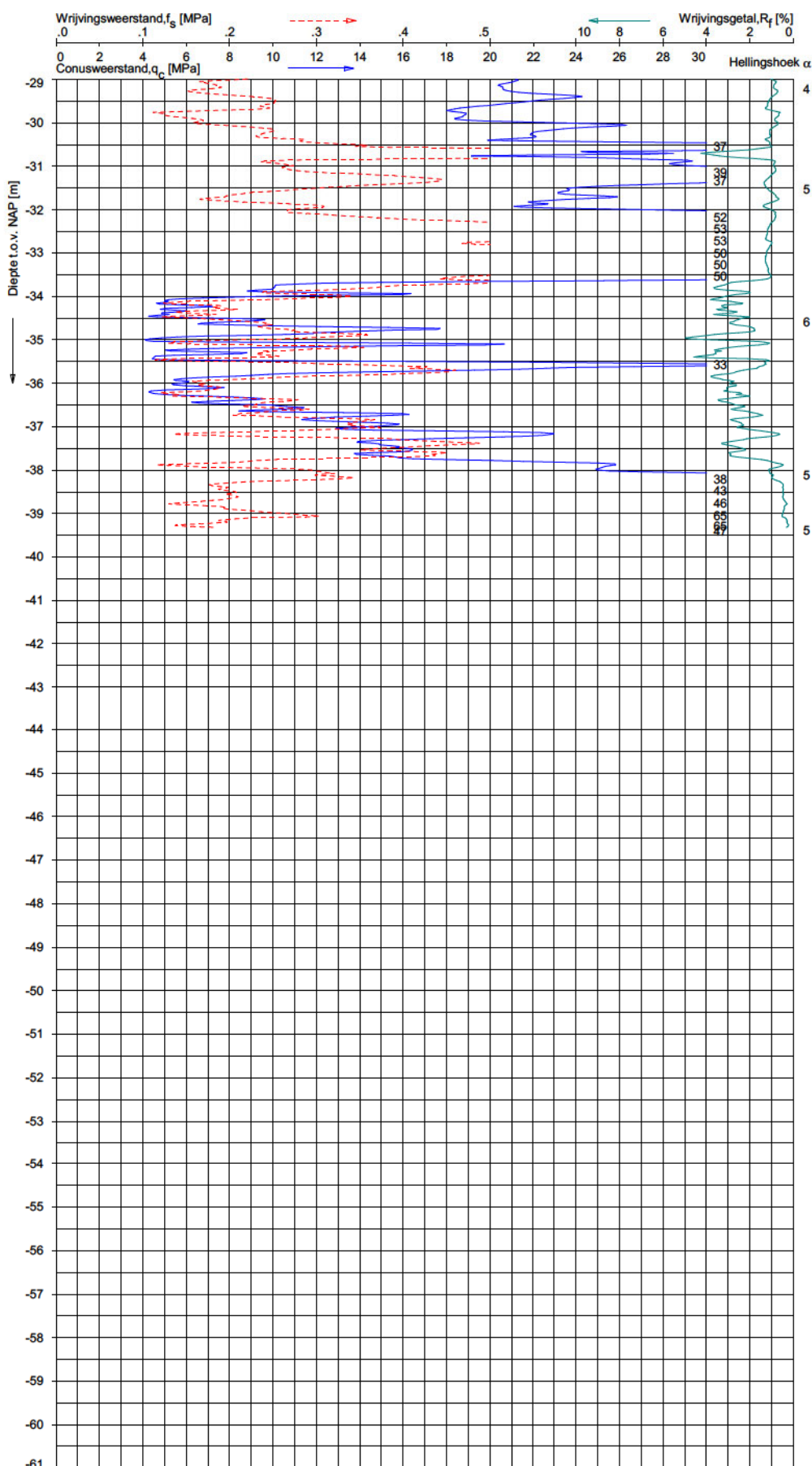
Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



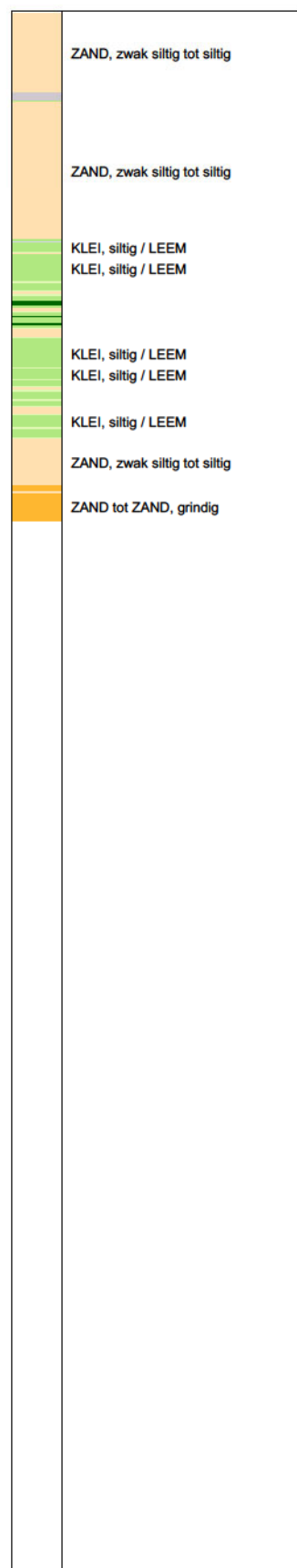
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUIJNINGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG7



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

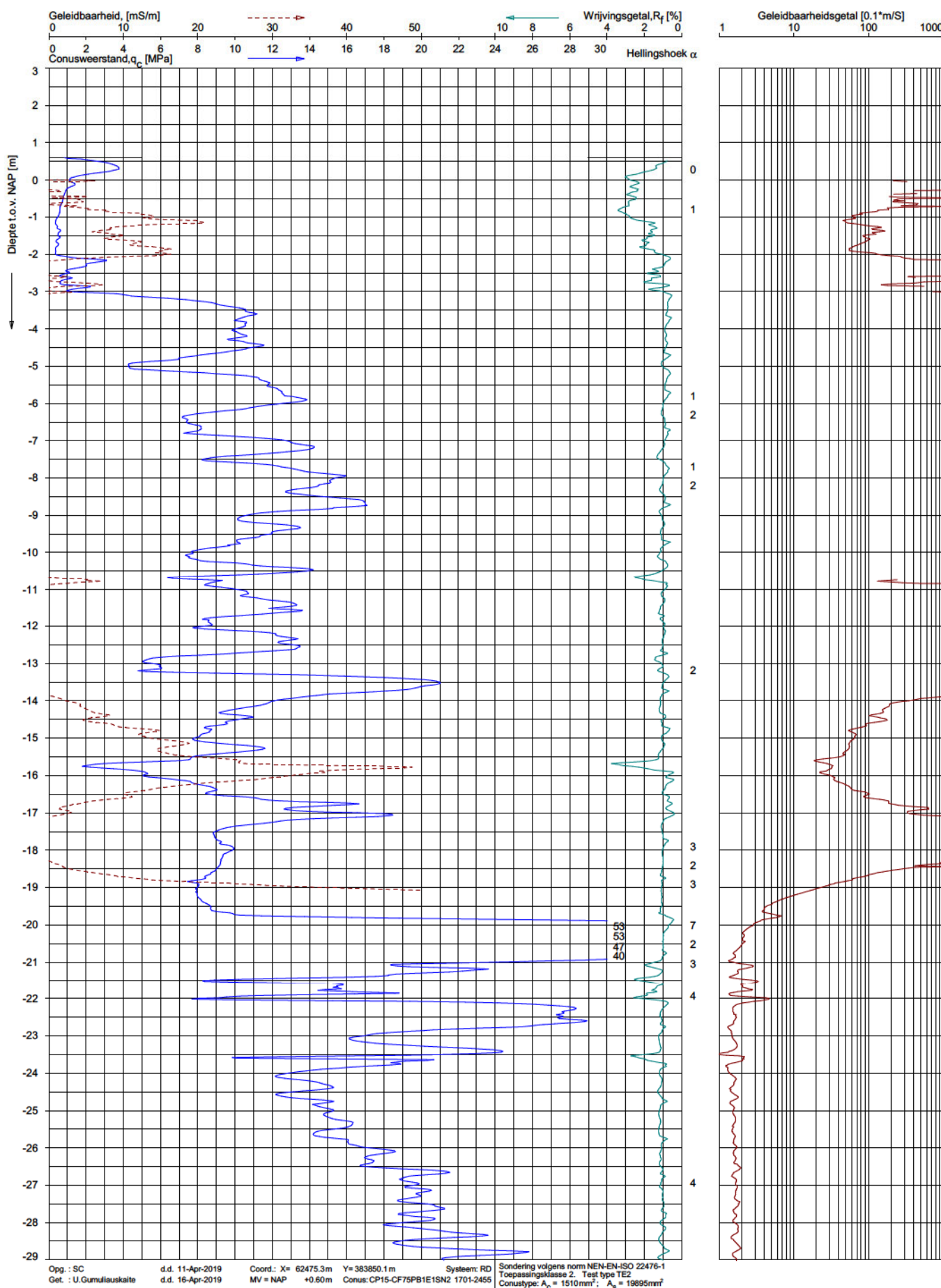


Opg.: SC d.d. 11-Apr-2019 Coord.: X= 62475.3m Y= 383850.1m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumiljuskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.60m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conus type: A₁ = 1510mm²; A₂ = 19895mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

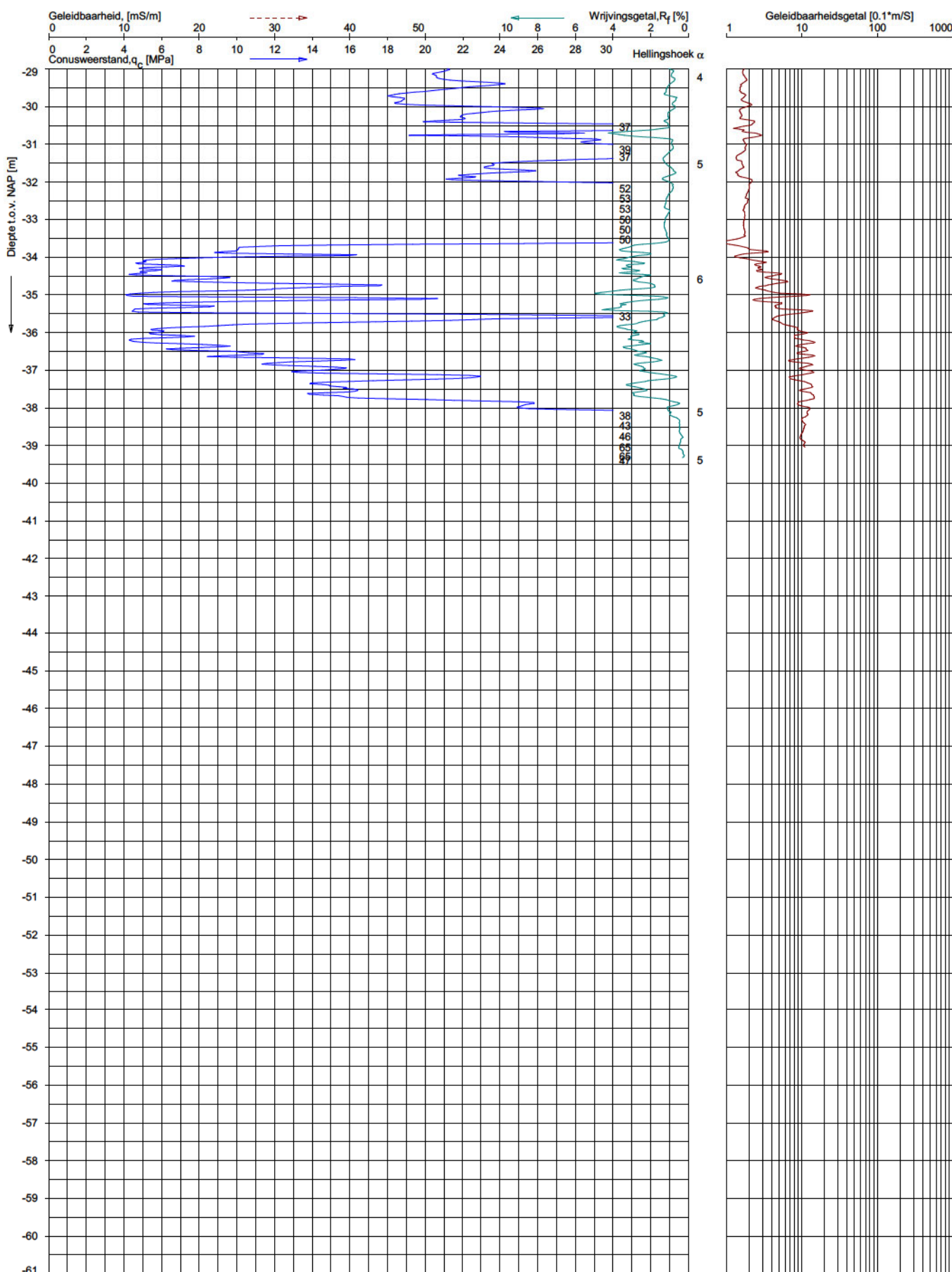
Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG7



SONDERING MET GELEIDBAARHEID

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG7

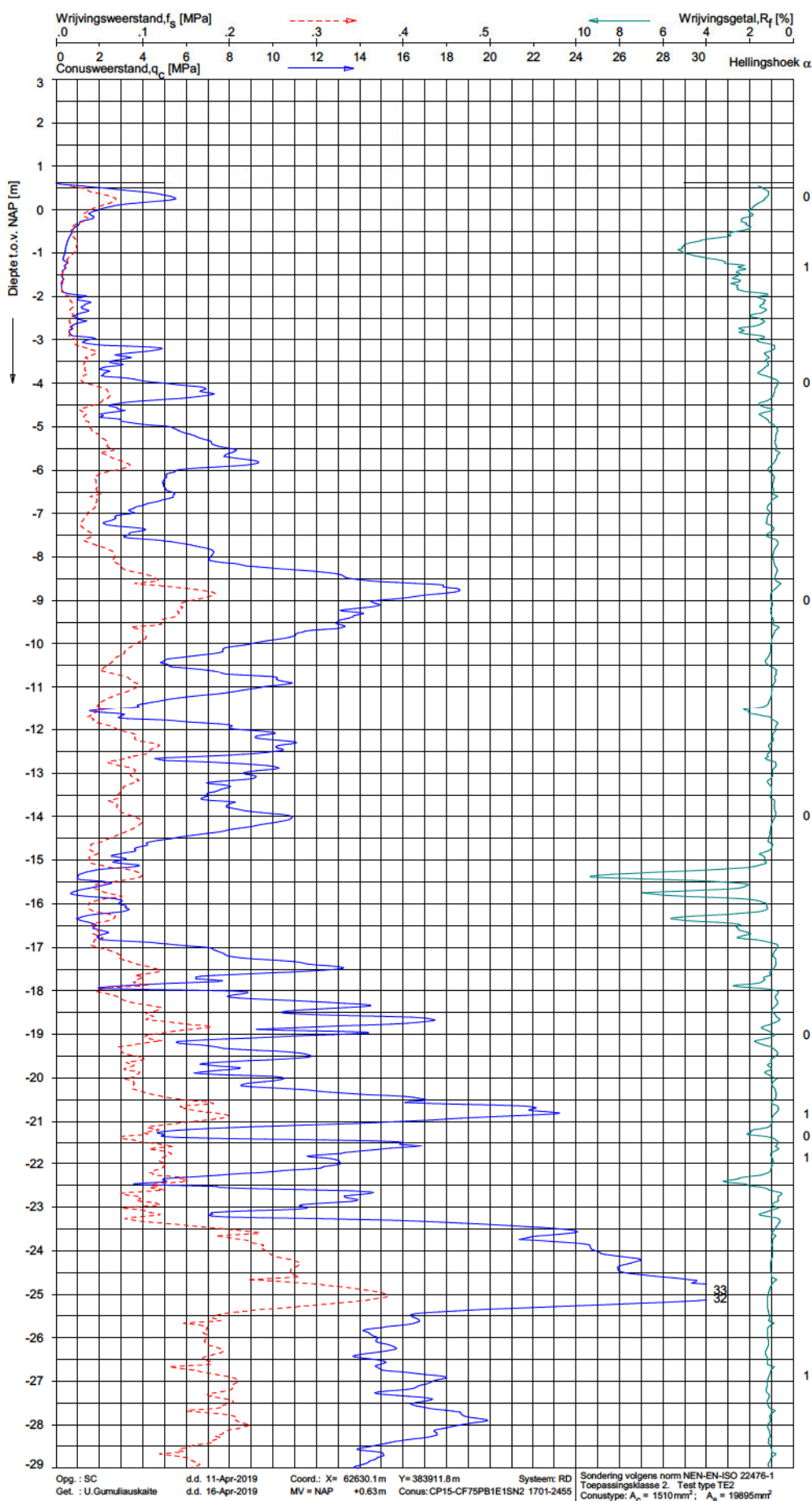


Opg.: SC d.d. 11-Apr-2019 Coord.: X= 62475.3m Y= 383850.1m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumiljuskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.60m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conus type: A_{10} = 1510mm²; A_{50} = 19895mm²

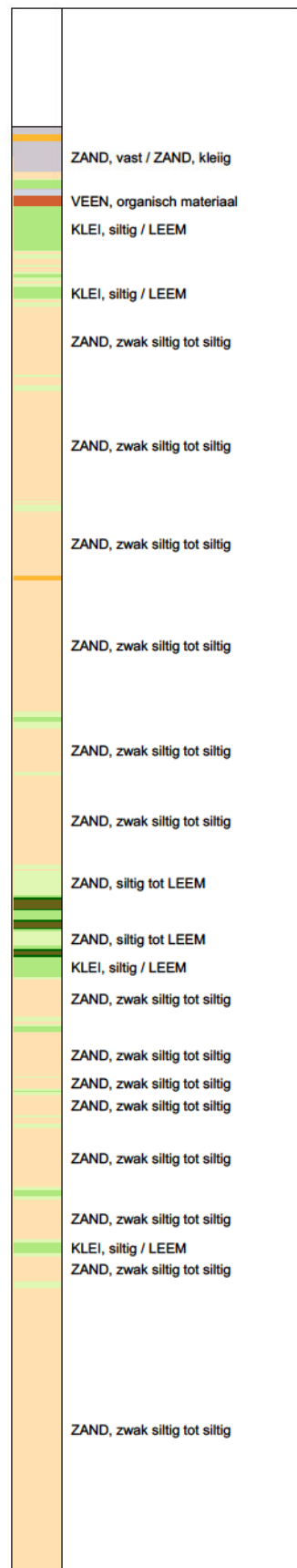
SONDERING MET GELEIDBAARHEID

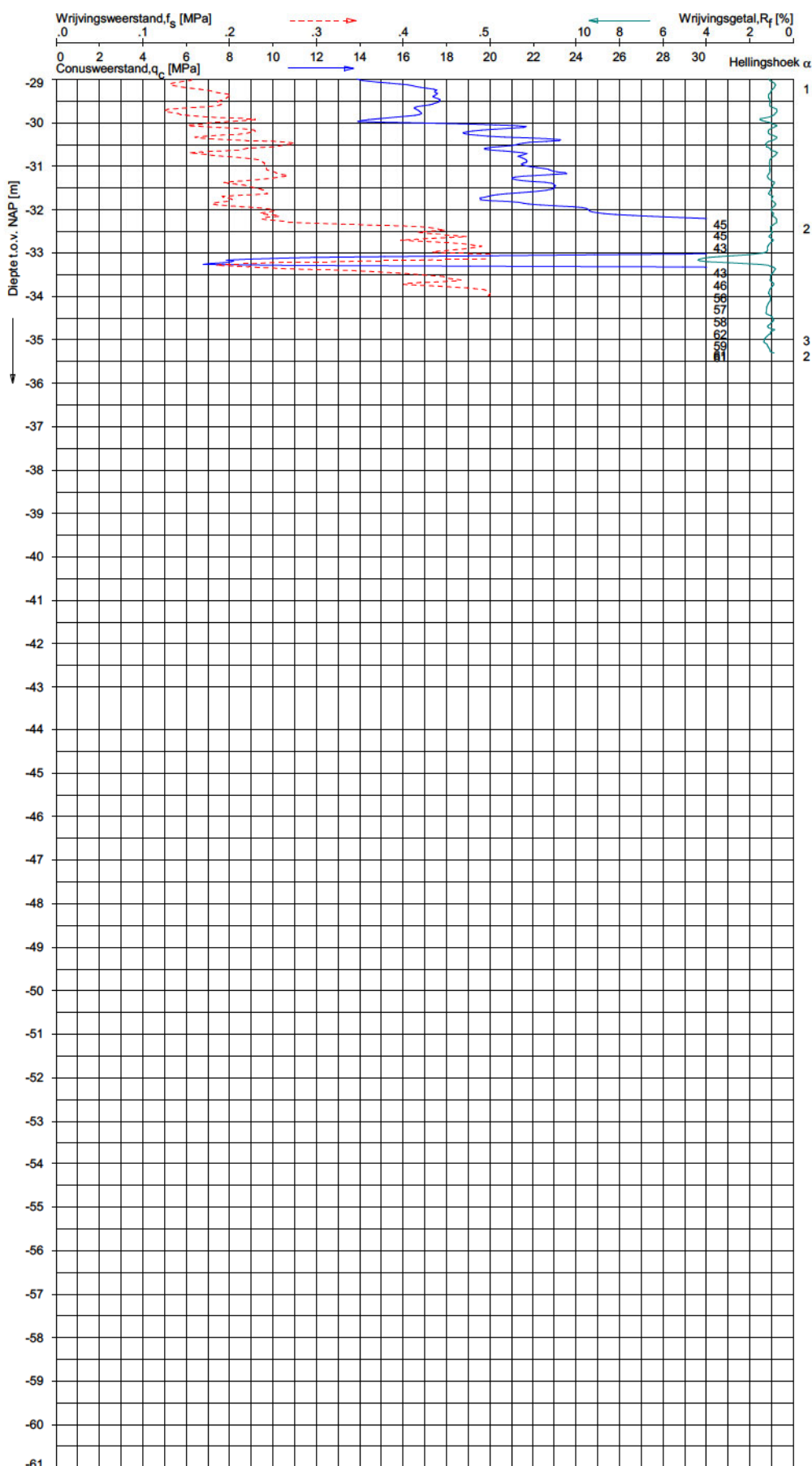
ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG7

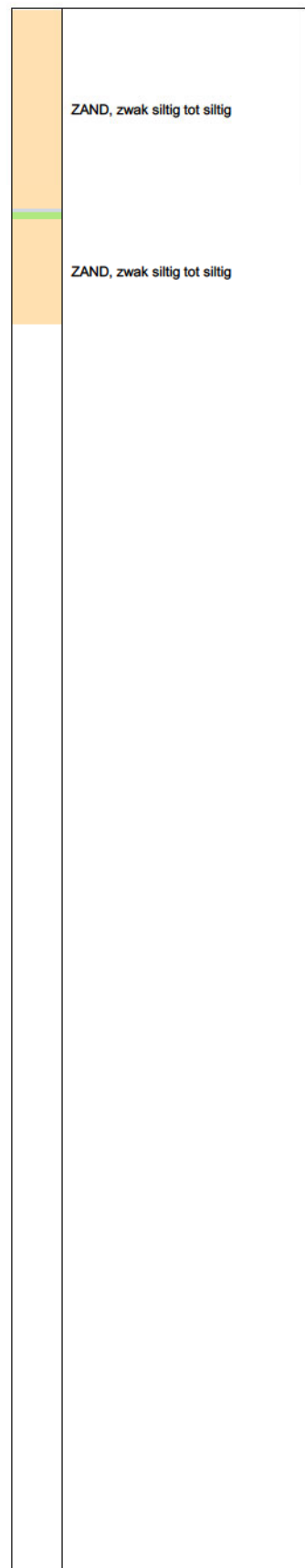


Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)





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

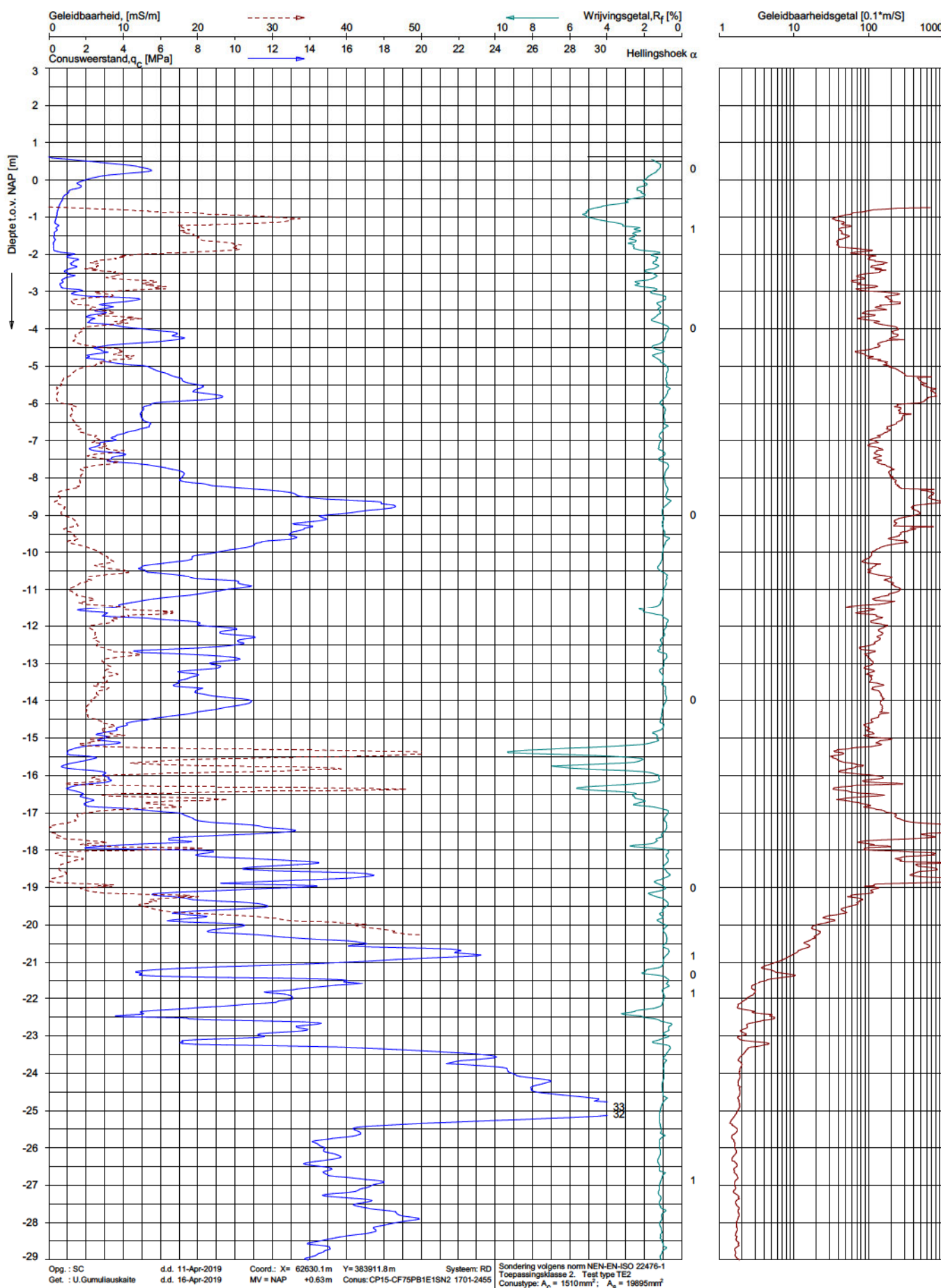


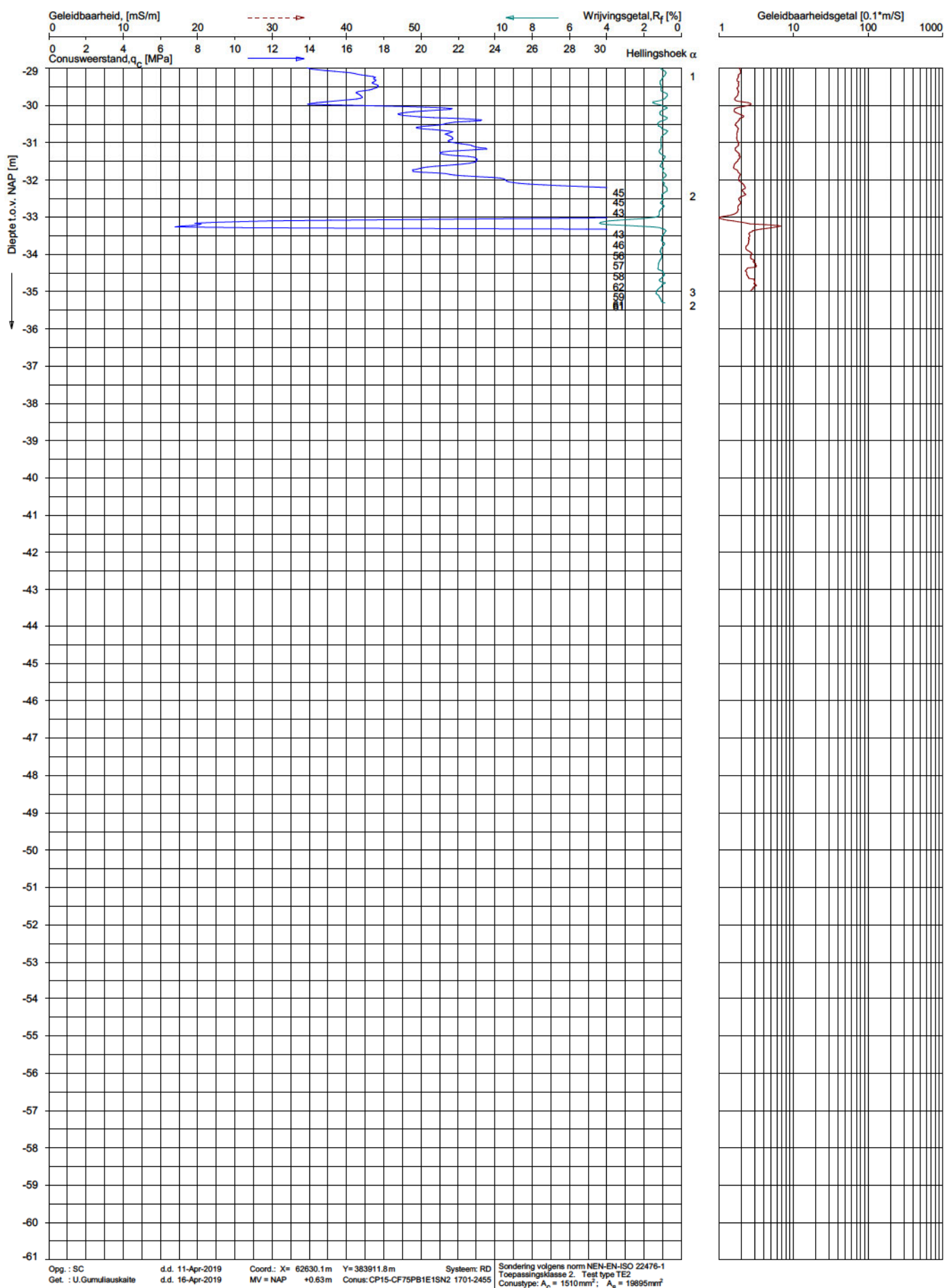
Opg.: SC d.d. 11-Apr-2019 Coord.: X= 62630.1m Y= 383911.8m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumilauskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.63m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conustype: A₁ = 1510mm²; A₂ = 19895mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG8



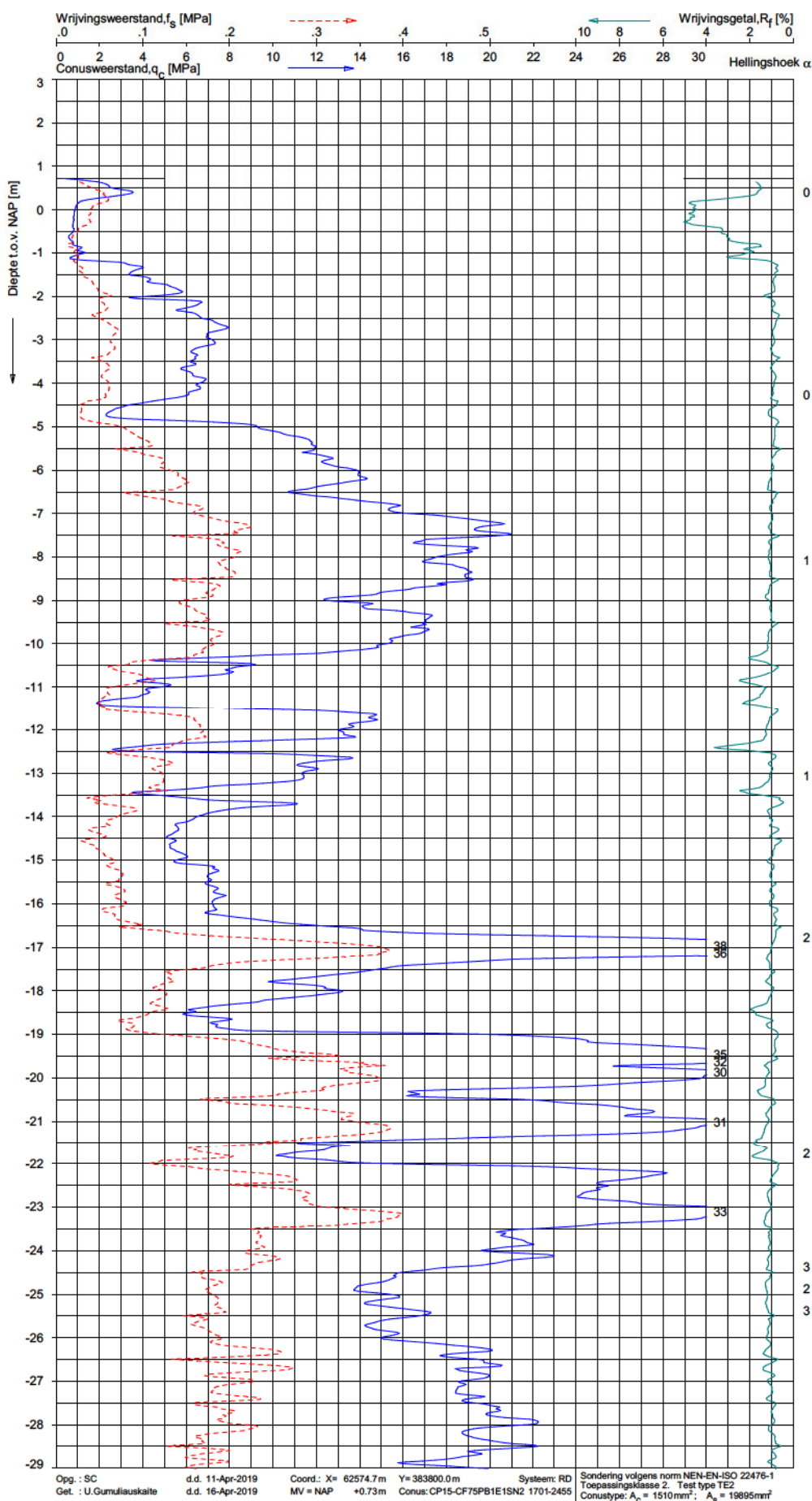


SONDERING MET GELEIDBAARHEID

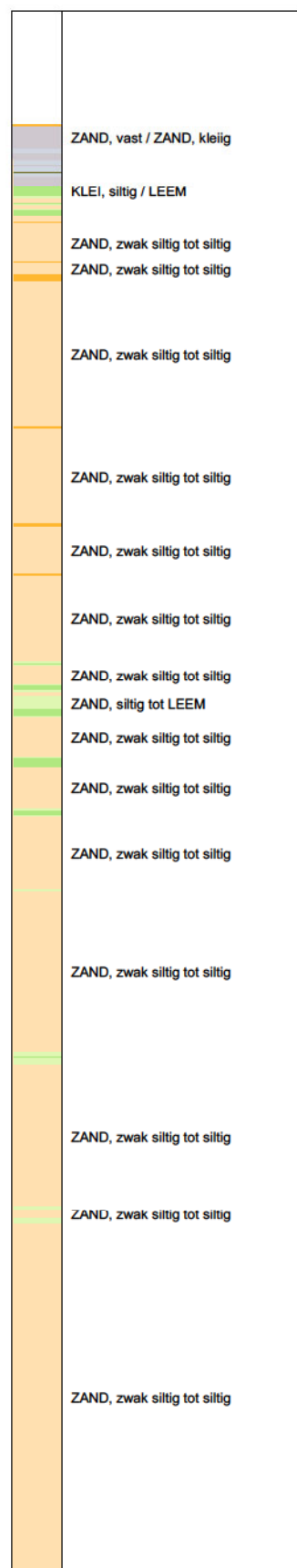
ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

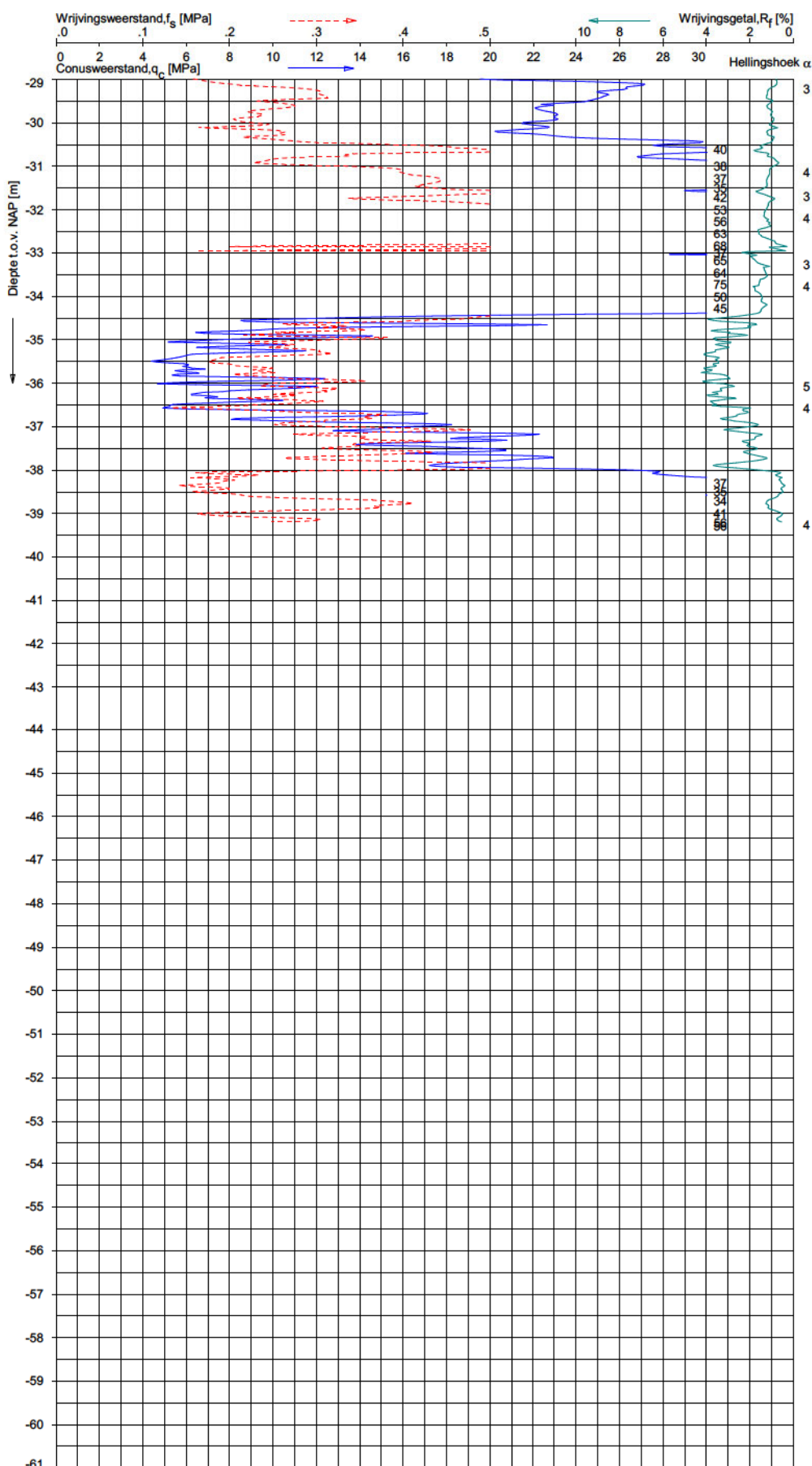
Opdr. 9019-0185-000
Sond. DKMG8

Opg.: SC d.d. 11-Apr-2019 Coord.: X= 62630.1m Y= 383911.8m Systeem: RD
 Get.: U.Gumiljuskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.63m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455
 Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conustype: $A_n = 1510\text{mm}^2$; $A_s = 19895\text{mm}^2$

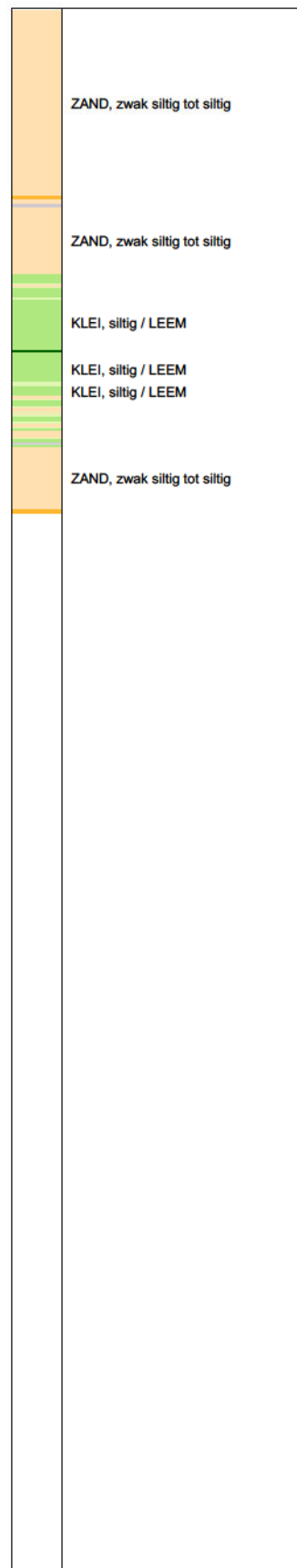


Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)





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

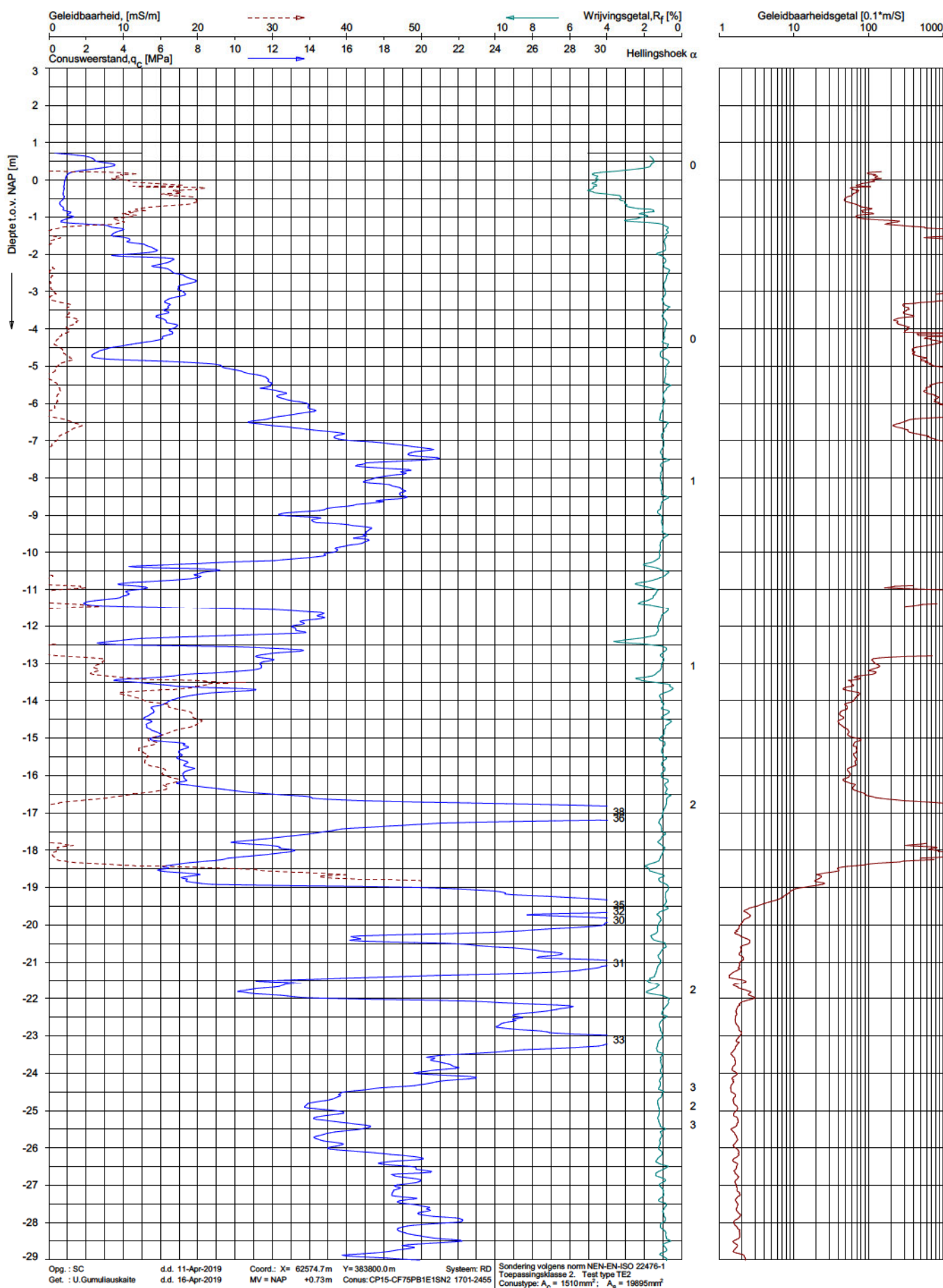


Opg.: SC d.d. 11-Apr-2019 Coord.: X= 62574.7m Y= 383800.0m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumiljuskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.73m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conus type: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

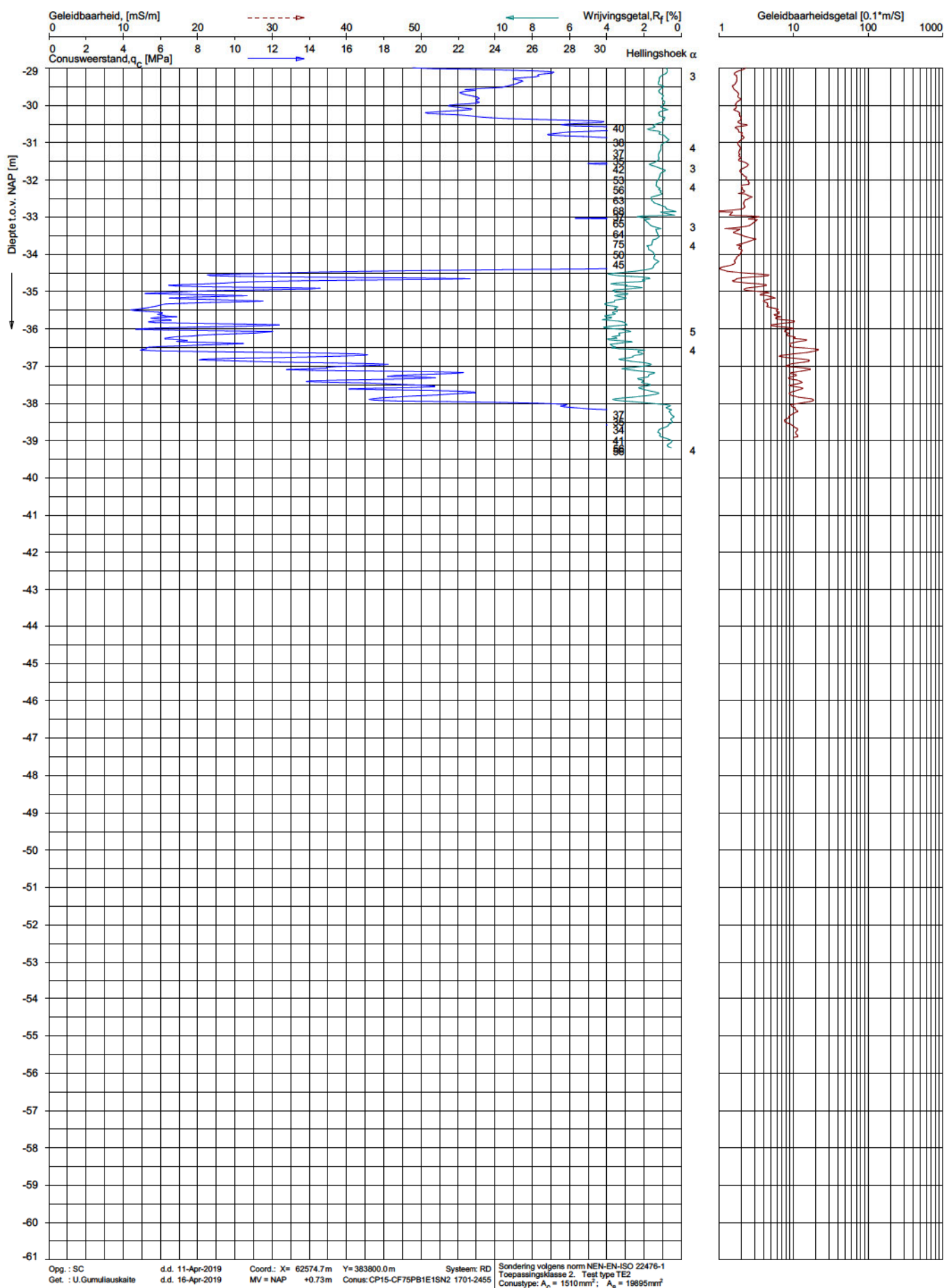
Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG9



SONDERING MET GELEIDBAARHEID

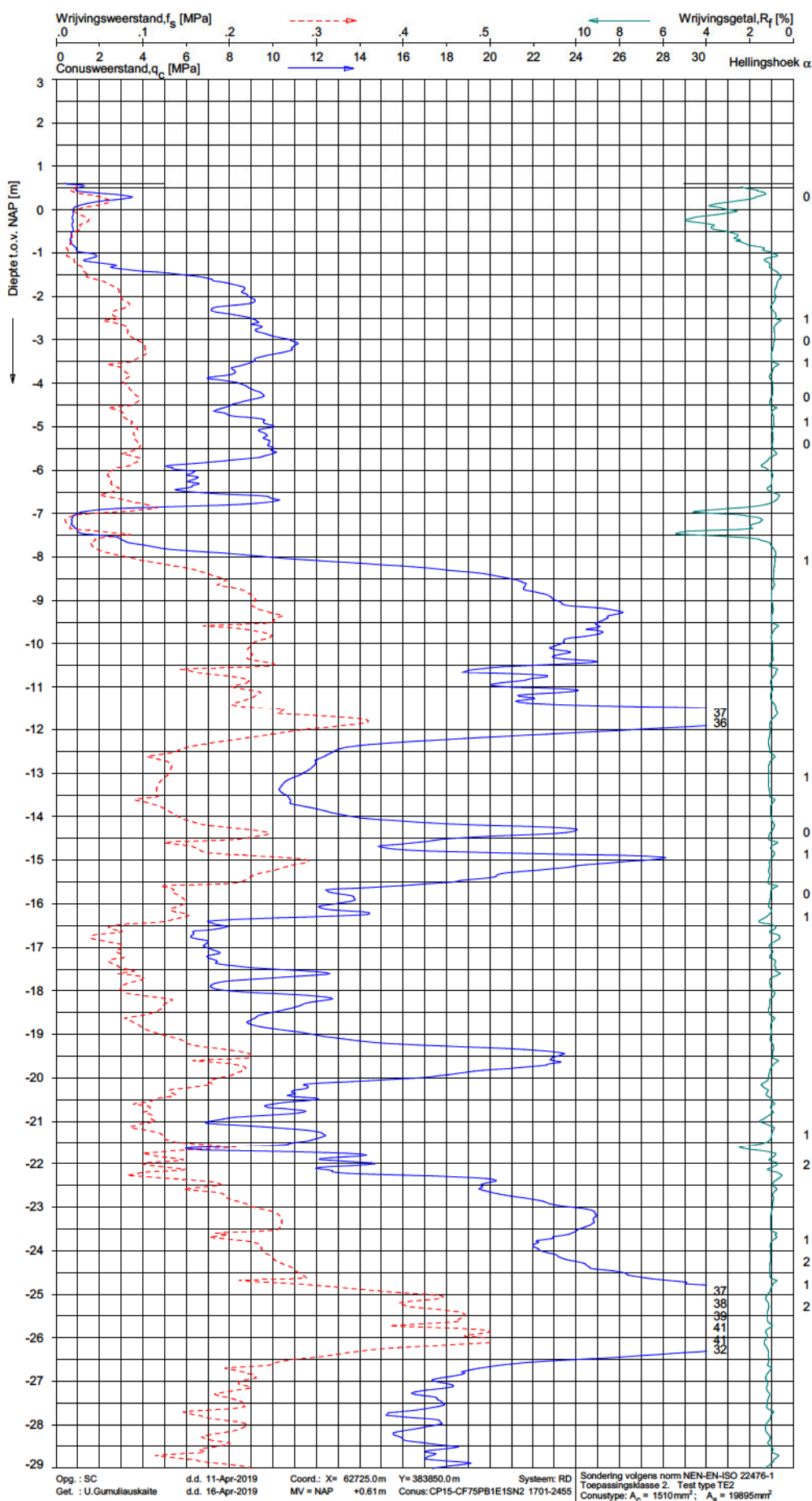
ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG9

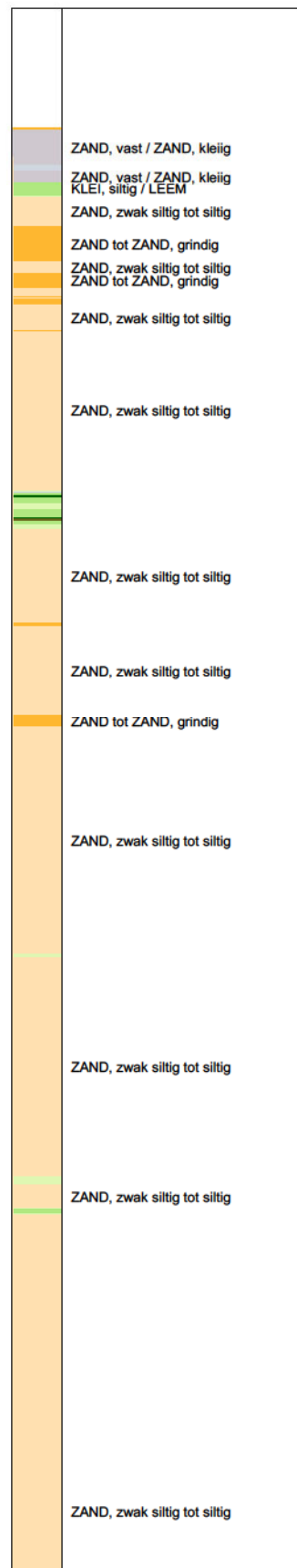


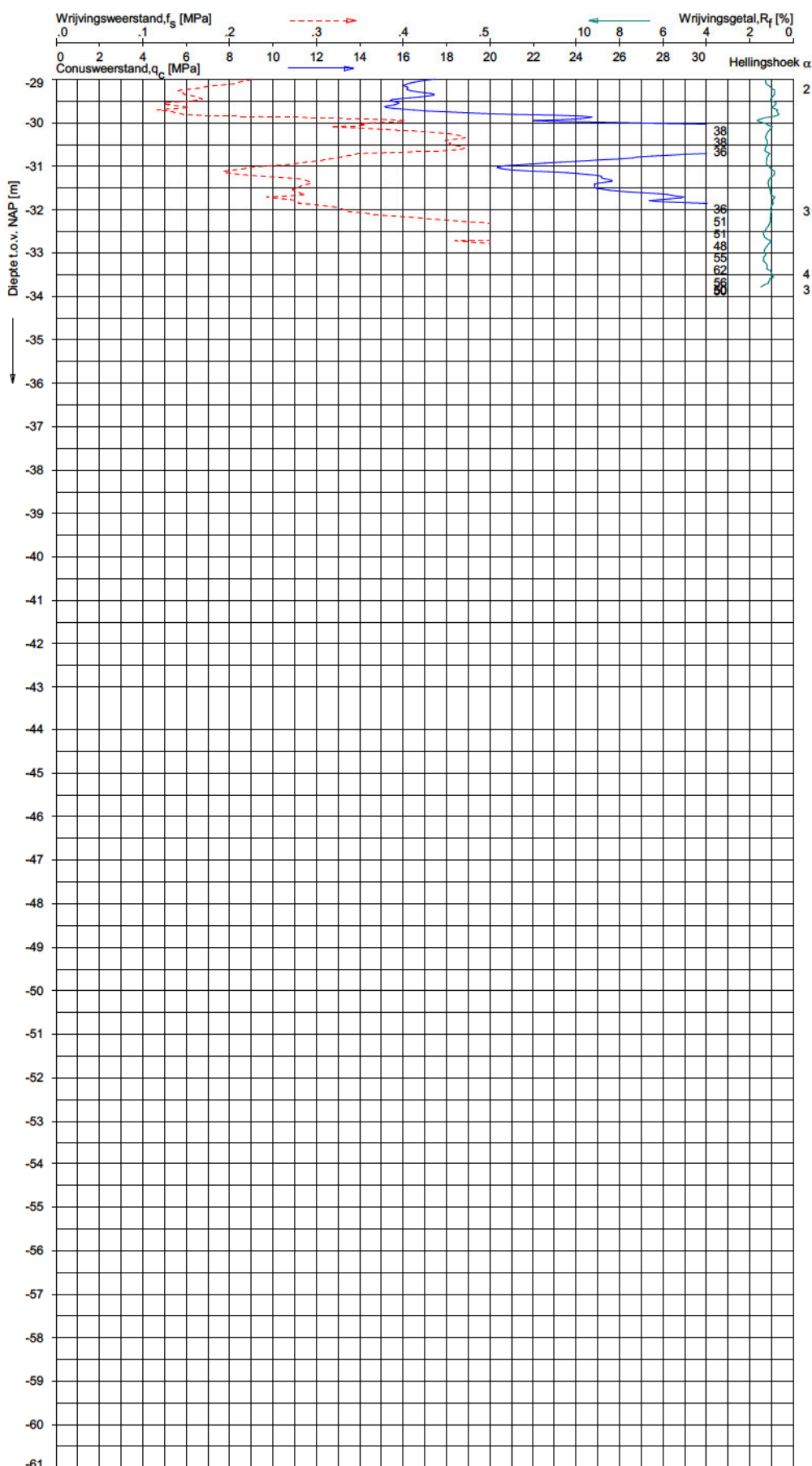
Opg.: SC d.d. 11-Apr-2019 Coord.: X= 62574.7m Y= 383800.0m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumilouskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.73m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conus type: $A_n = 1510\text{mm}^2$; $A_s = 19895\text{mm}^2$

SONDERING MET GELEIDBAARHEID

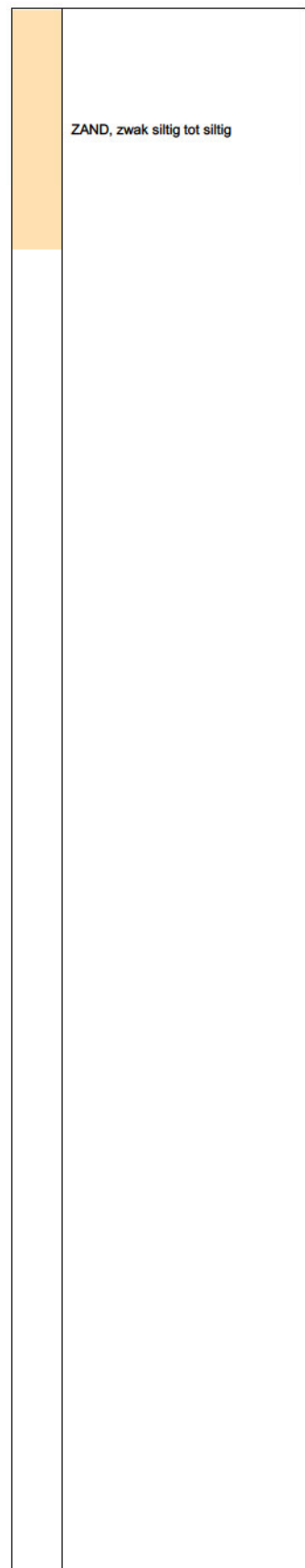


Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)





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

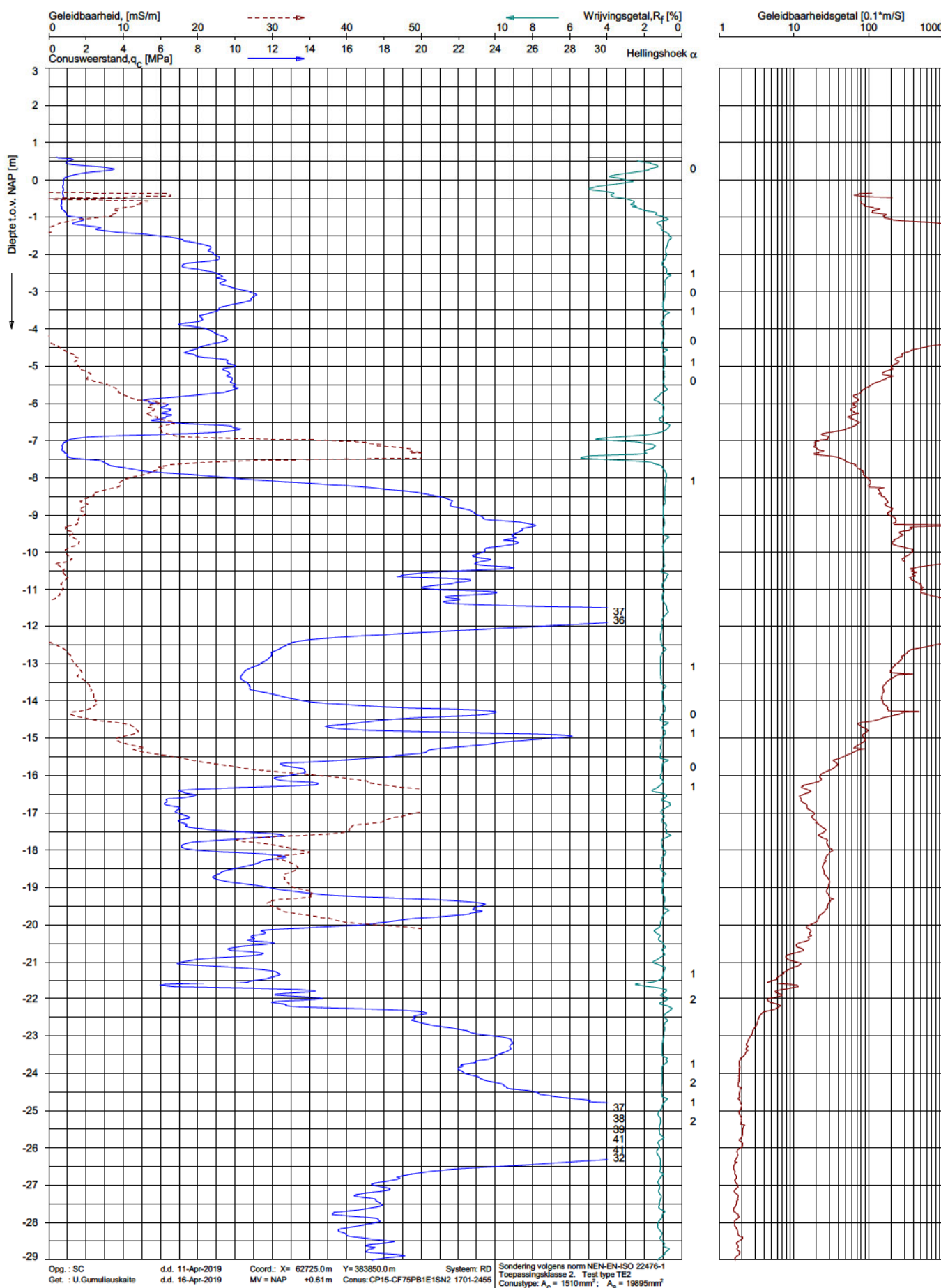


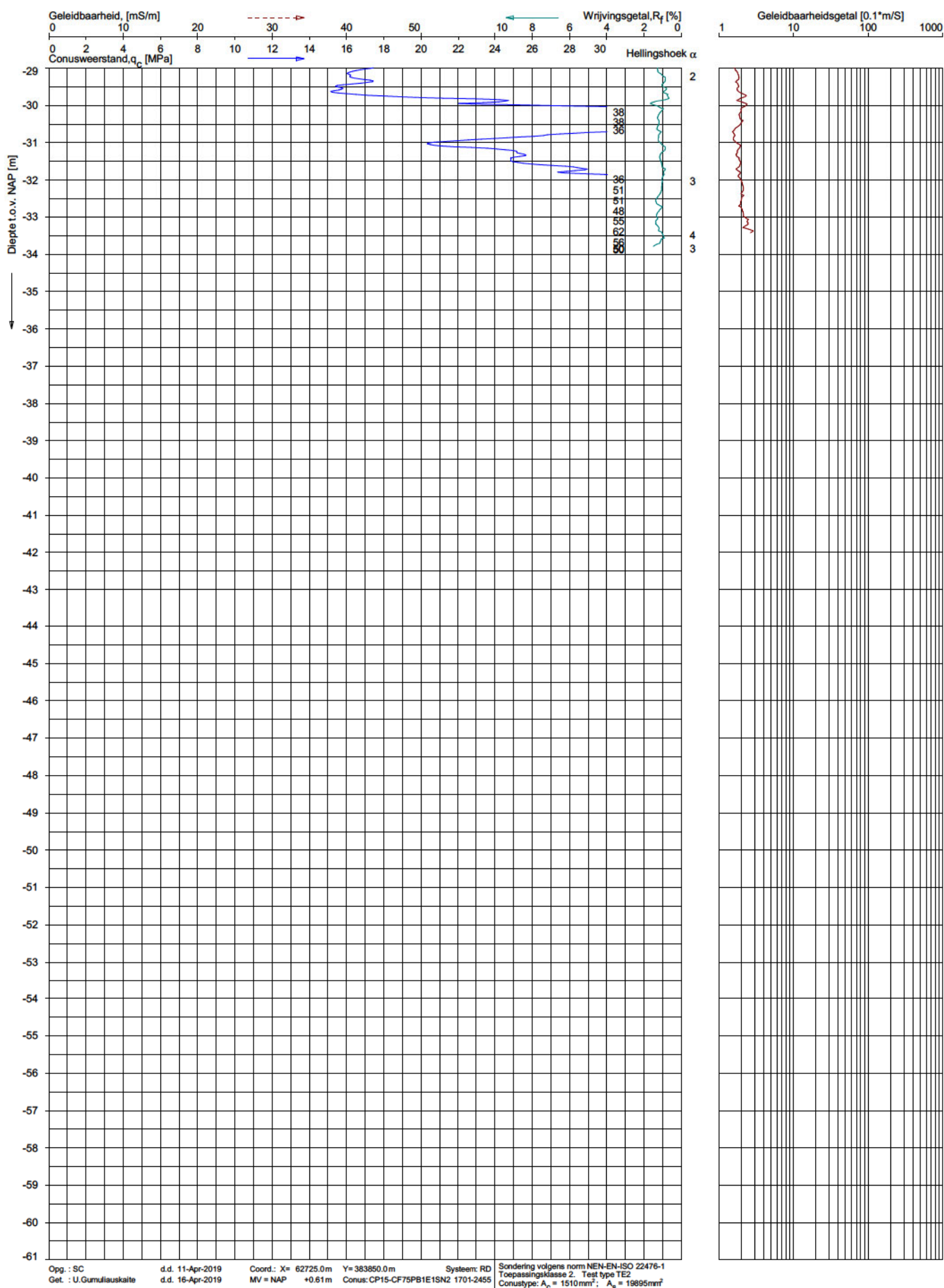
Opg.: SC d.d. 11-Apr-2019 Coord.: X= 62725.0m Y= 383850.0m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumiljuskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.61m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conustype: A₀ = 1510mm²; A₉₀ = 19895mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG10

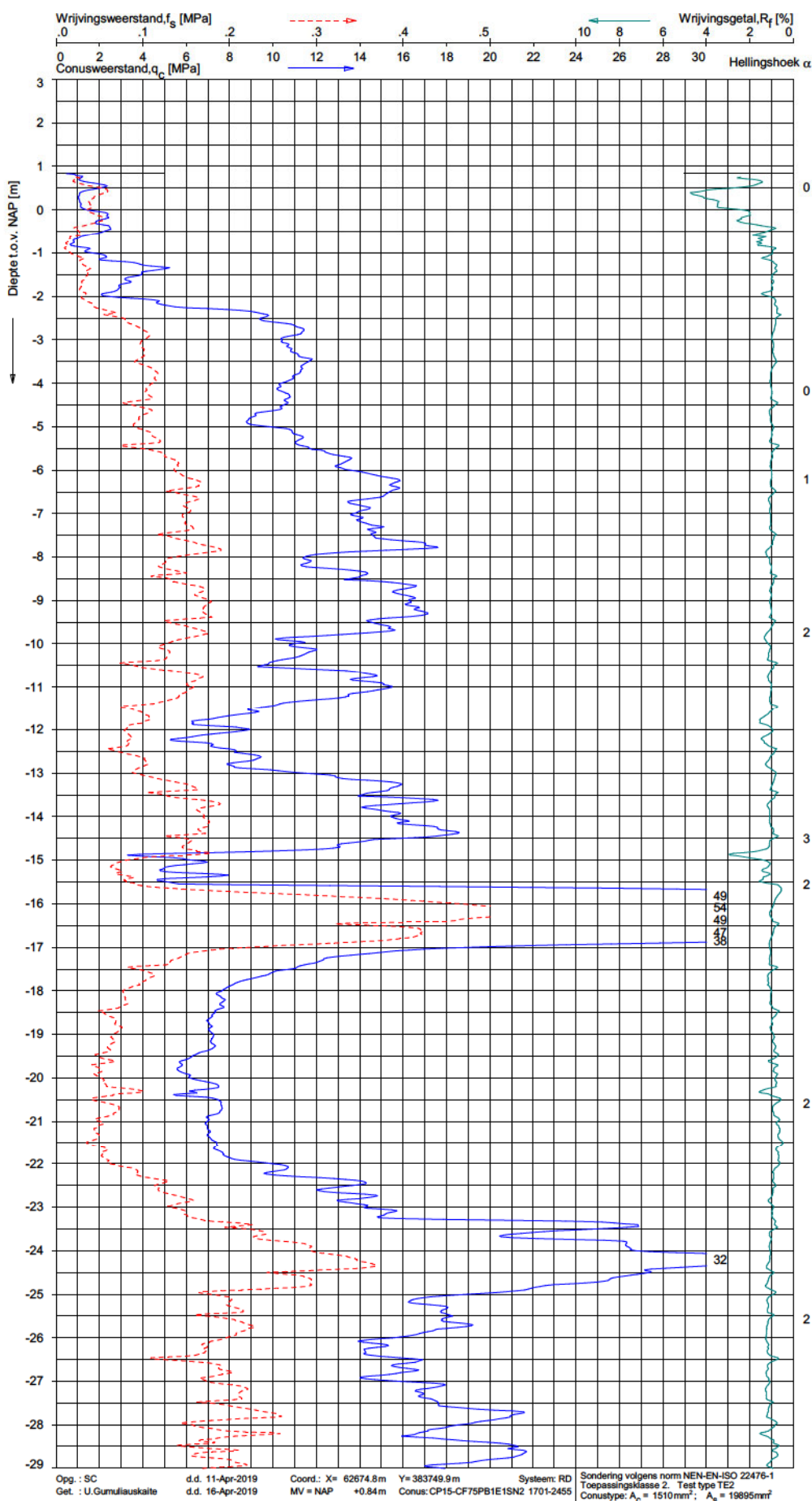




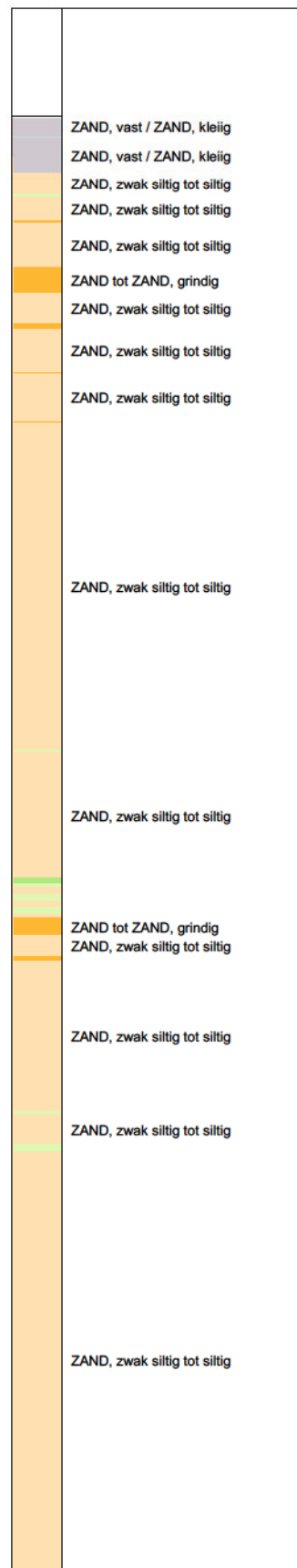
SONDERING MET GELEIDBAARHEID

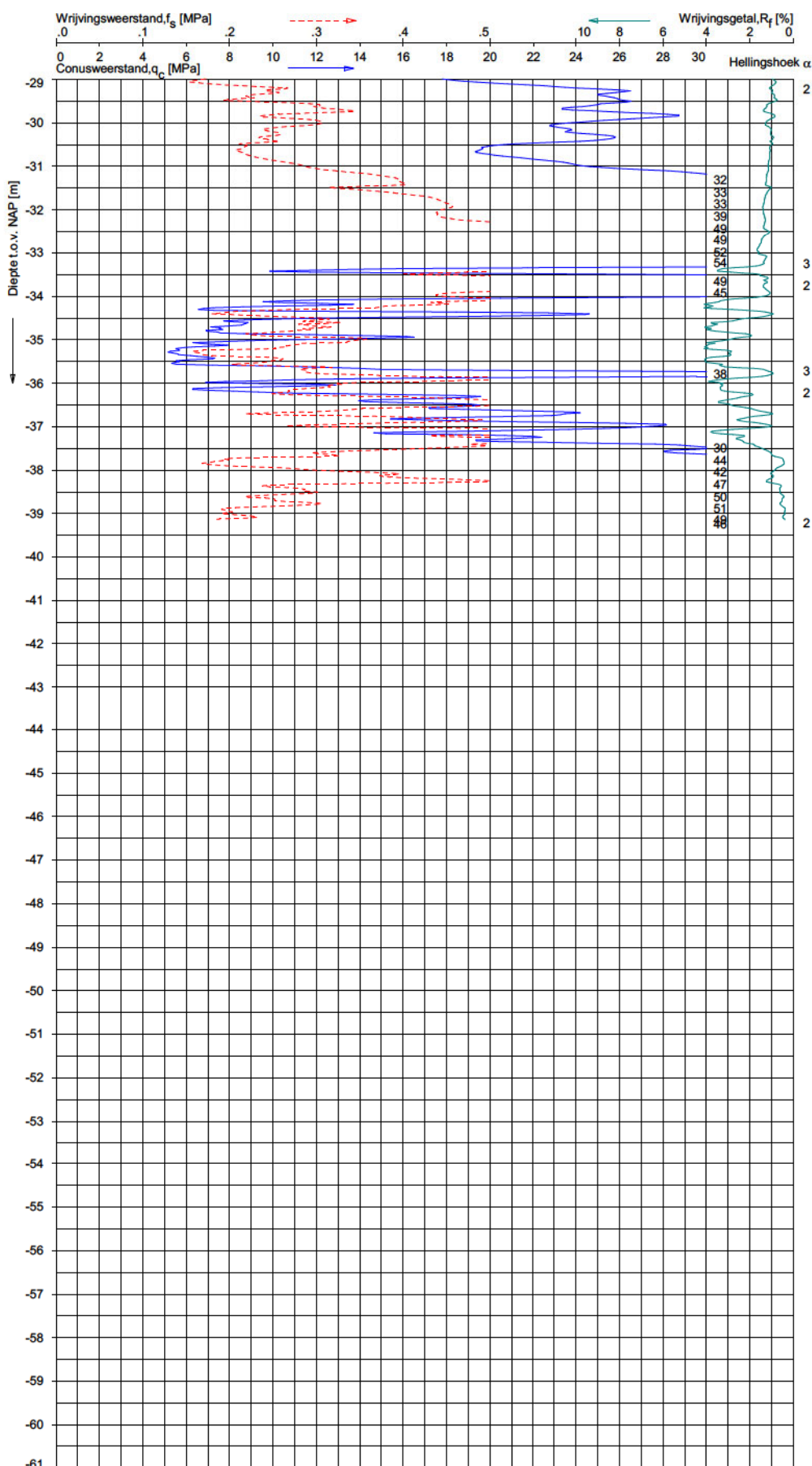
ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG10

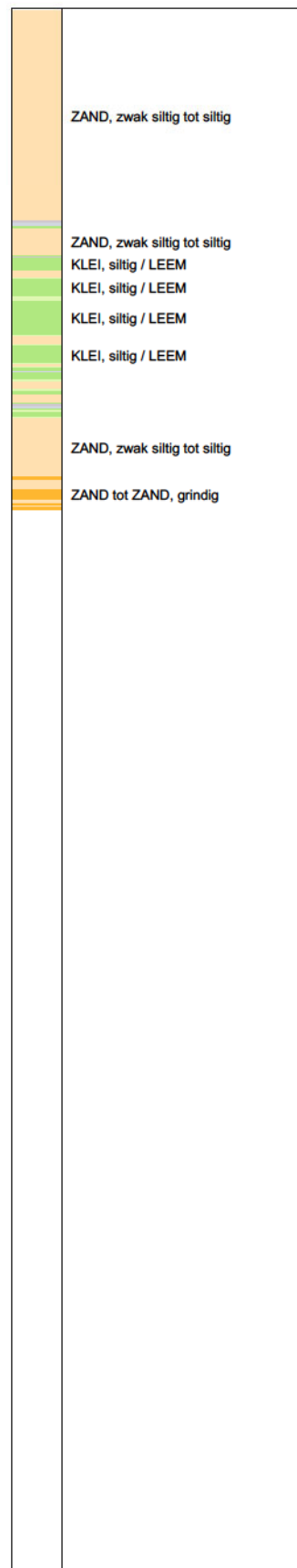


Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data van de sondering, geldig onder grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)





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

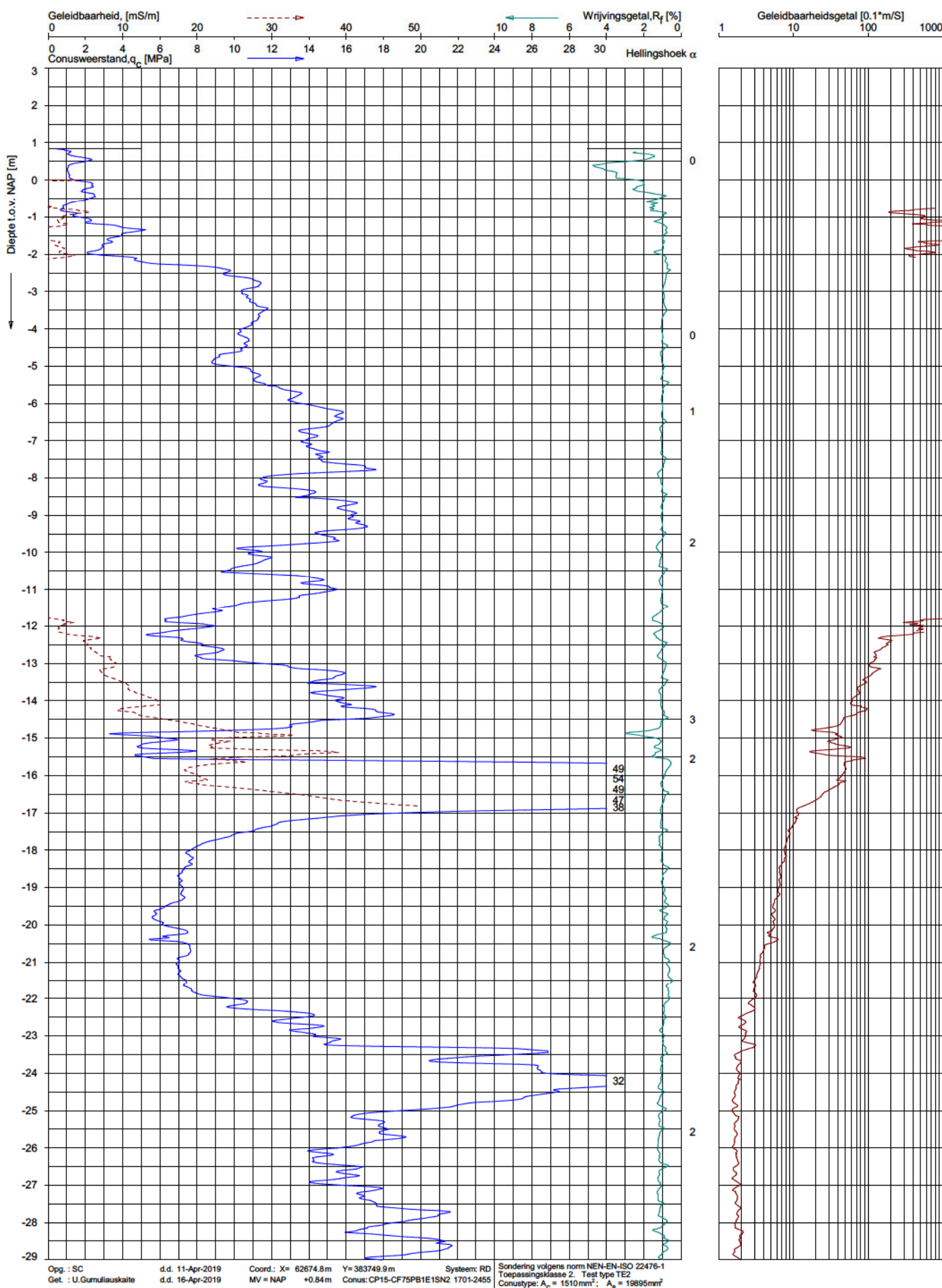


Opg.: SC d.d. 11-Apr-2019 Coord.: X= 62674.8m Y= 383749.9m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: U.Gumiljuskalte d.d. 16-Apr-2019 MV = NAP +0.84m Conus: CP15-CF75PB1E1SN2 1701-2455 Toepassingsklasse 2. Test type TE2
 Conus type: A₀ = 1510mm²; A₁ = 19895mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

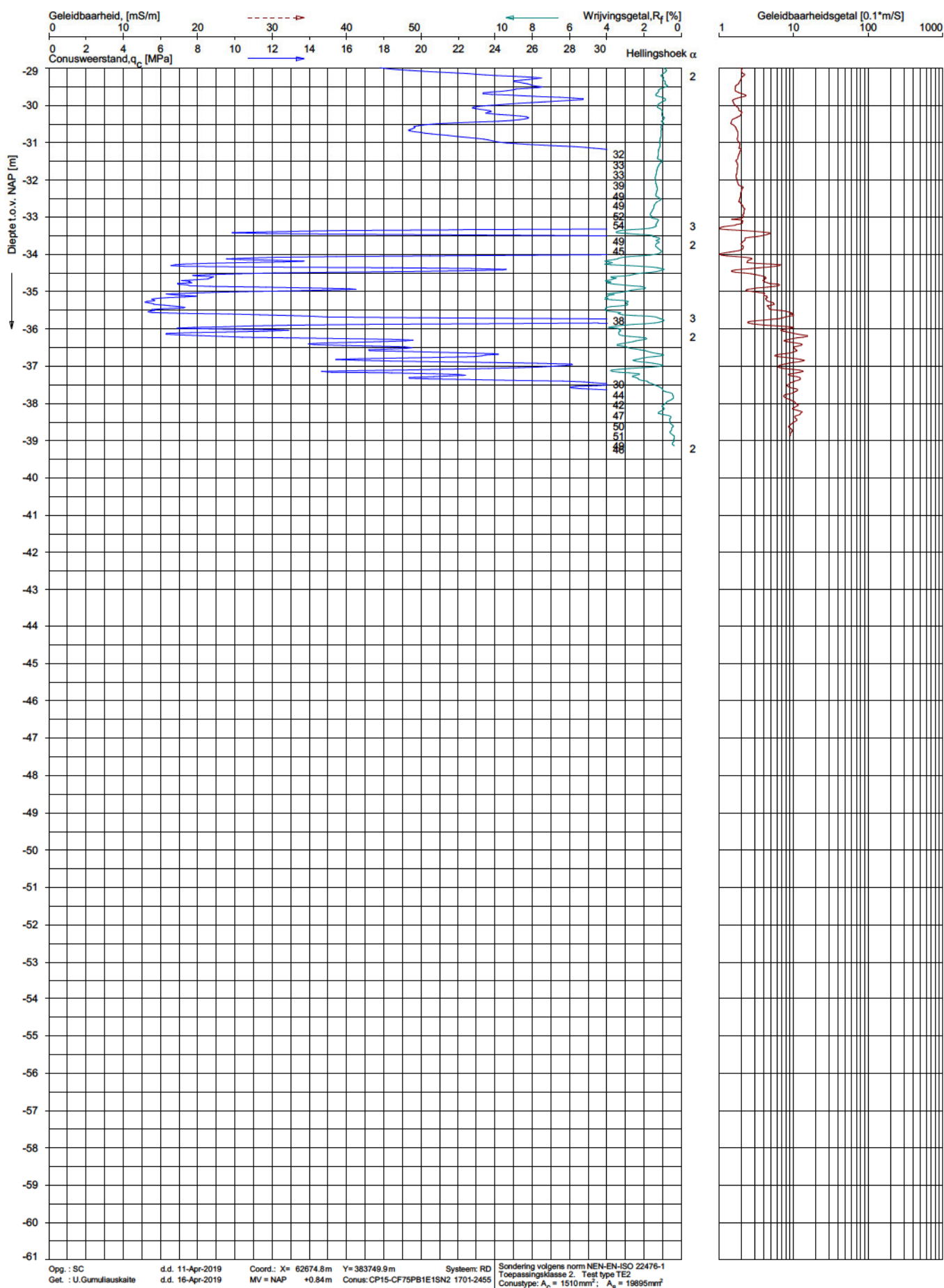
Opdr. 9019-0185-000
 Sond. DKMG11



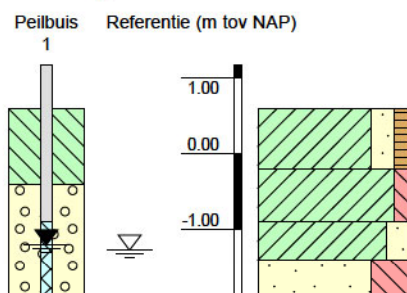
SONDERING MET GELEIDBAARHEID

ONDERZOEK ONDERGRONDSE WATERBERGING TE KRUININGEN

Opdr. 9019-0185-000
Sond. DKMG11



Boring: HB1



Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104

0.60 tot -0.20 Klei, matig zandig, zwak humeus, matig stevig bruin

-0.20 tot -0.90 Klei, zwak siltig, stevig bruin

-0.90 tot -1.40 Klei, matig zandig, matig stevig grijs

-1.40 tot -1.90 Zand, uiterst fijn, uiterst siltig grijs

Algemene opmerking:

X: 62600.5

Y: 383854.0

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): -1.27

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 0.60

bk PB1 (m tov NAP): 1.17

bk PB2 (m tov NAP):

bk PB3 (m tov NAP):

bk PB4 (m tov NAP):

Boorvloeistof:

WS PB1 (m tov NAP): -1.20

WS PB2 (m tov NAP):

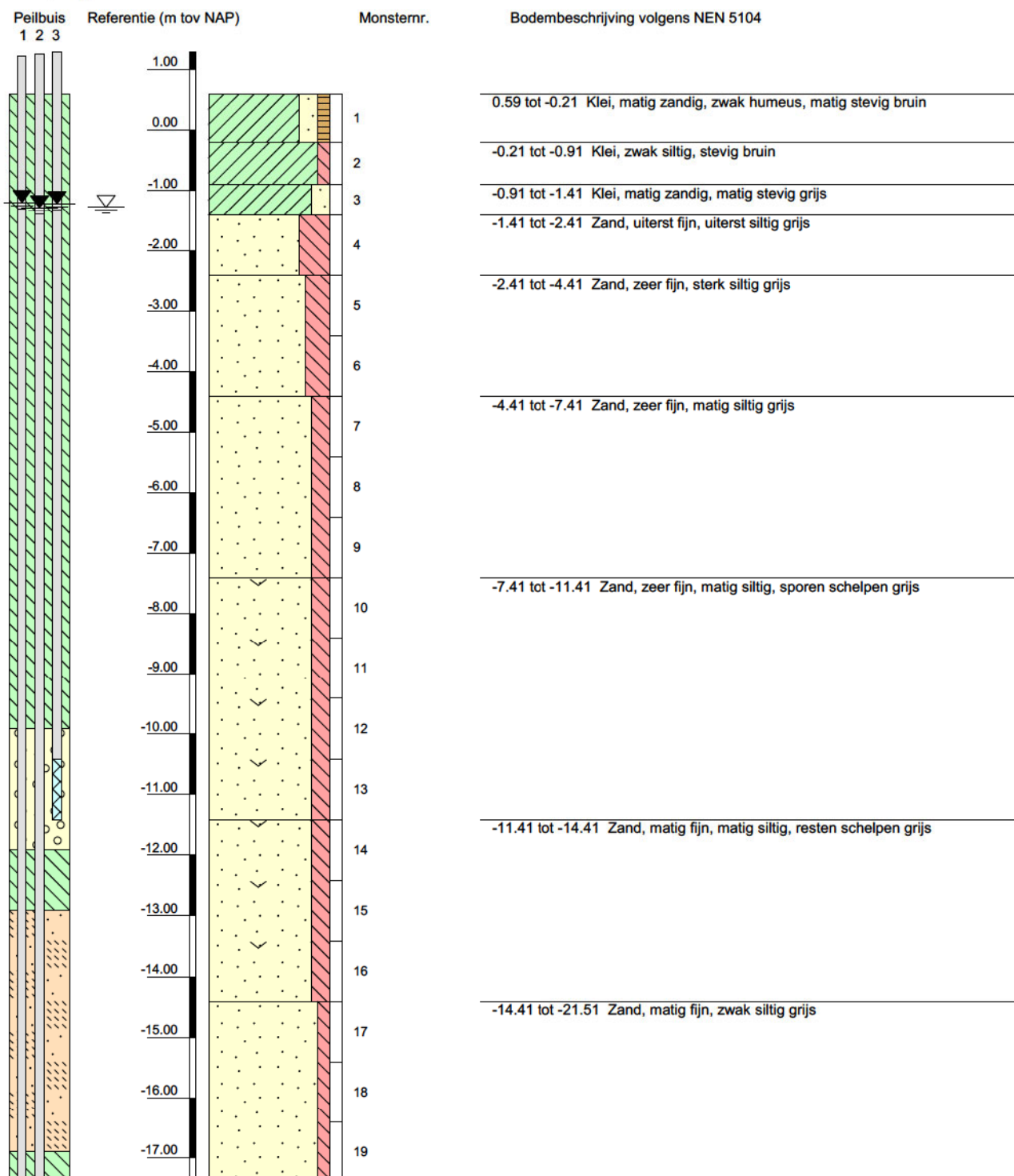
WS PB3 (m tov NAP):

WS PB4 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 14-05-2019

Boormeester: rh

Geclassificeerd door: rh

Boring: B1
Veldclassificatie

Algemene opmerking:

X: 62601.6

GWS (m tov NAP): -1.28

MV (m tov NAP): 0.59

bk PB1 (m tov NAP): 1.21

Boorvloestof:

WS PB1 (m tov NAP): -1.21

Datum uitvoering: 14-05-2019

Y: 383855.1

GHG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP): 1.24

WS PB2 (m tov NAP): -1.29

Boormeester: rh

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

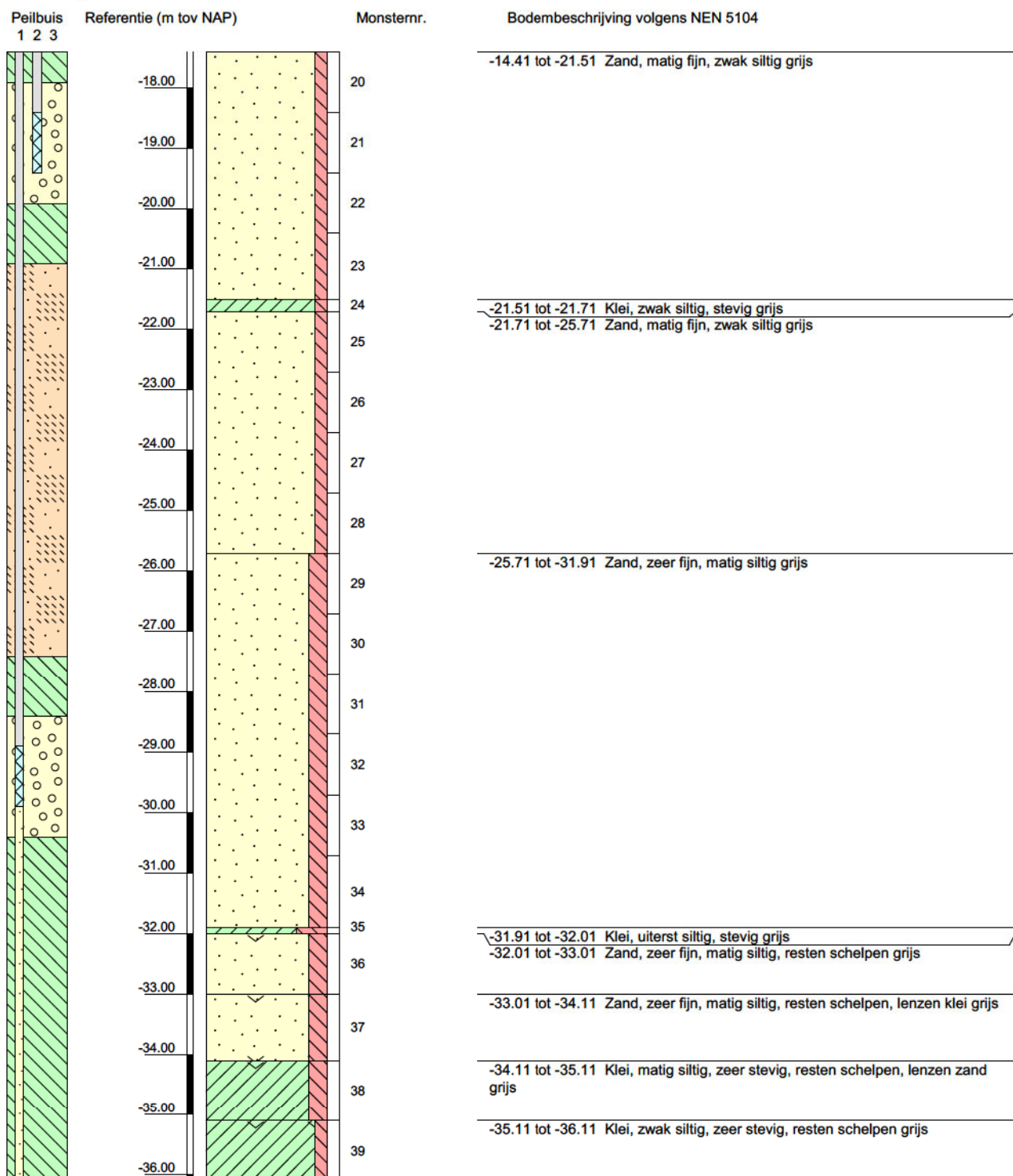
bk PB3 (m tov NAP): 1.28

WS PB3 (m tov NAP): -1.22

Geclassificeerd door: rh

bk PB4 (m tov NAP):

WS PB4 (m tov NAP):

Boring: B1
Veldclassificatie

Algemene opmerking:

X: 62601.6

GWS (m tov NAP): -1.28

MV (m tov NAP): 0.59

bk PB1 (m tov NAP): 1.21

Boorvloestof:

WS PB1 (m tov NAP): -1.21

Datum uitvoering: 14-05-2019

Y: 383855.1

GHG (m tov NAP):

bk PB2 (m tov NAP): 1.24

WS PB2 (m tov NAP): -1.29

Boormeester: rh

Coördinatenstelsel: RD

GLG (m tov NAP):

bk PB3 (m tov NAP): 1.28

WS PB3 (m tov NAP): -1.22

Geclassificeerd door: rh

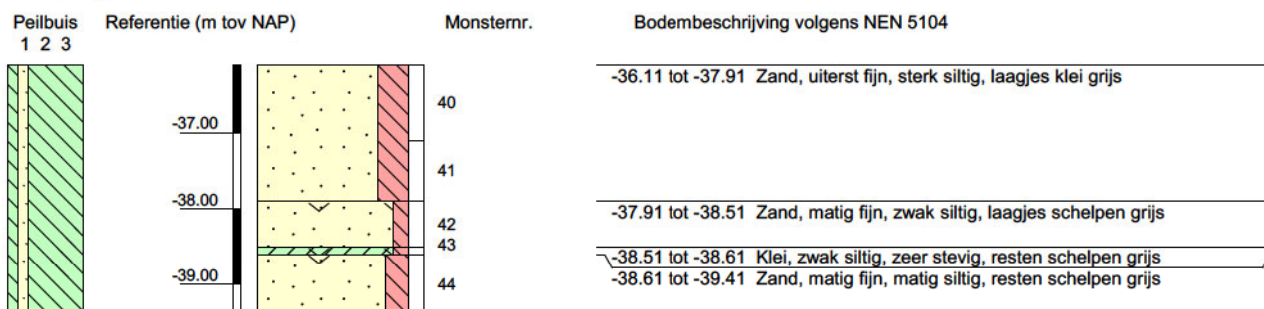
bk PB4 (m tov NAP):

WS PB4 (m tov NAP):

Boring: B1

Veldclassificatie

Pagina 3 van 3



Algemene opmerking:

X: 62601.6

Y: 383855.1

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): -1.28

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 0.59

bk PB1 (m tov NAP): 1.21

bk PB2 (m tov NAP): 1.24

bk PB3 (m tov NAP): 1.28

bk PB4 (m tov NAP):

Boorvloestof:

WS PB1 (m tov NAP): -1.21

WS PB2 (m tov NAP): -1.29

WS PB3 (m tov NAP): -1.22

WS PB4 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 14-05-2019

Boormeester: rh

Geclassificeerd door: rh

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 doormiddel 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 Van der Horst steekapparaat.

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

Op de classificatie van grond is de NEN 5104 van toepassing.

(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. B.V. dat voldoet aan de NEN-ISO 9001:2015 en VCA ** 2008/05.

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 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. 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. 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.

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

Het wrijvingsgetal R_f geeft samen met de conusweerstand q_c een goed beeld van de bodemopbouw *benen* 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.

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:

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

Vergelijking 1

Genormaliseerd wrijvingsgetal:

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

Vergelijking 2

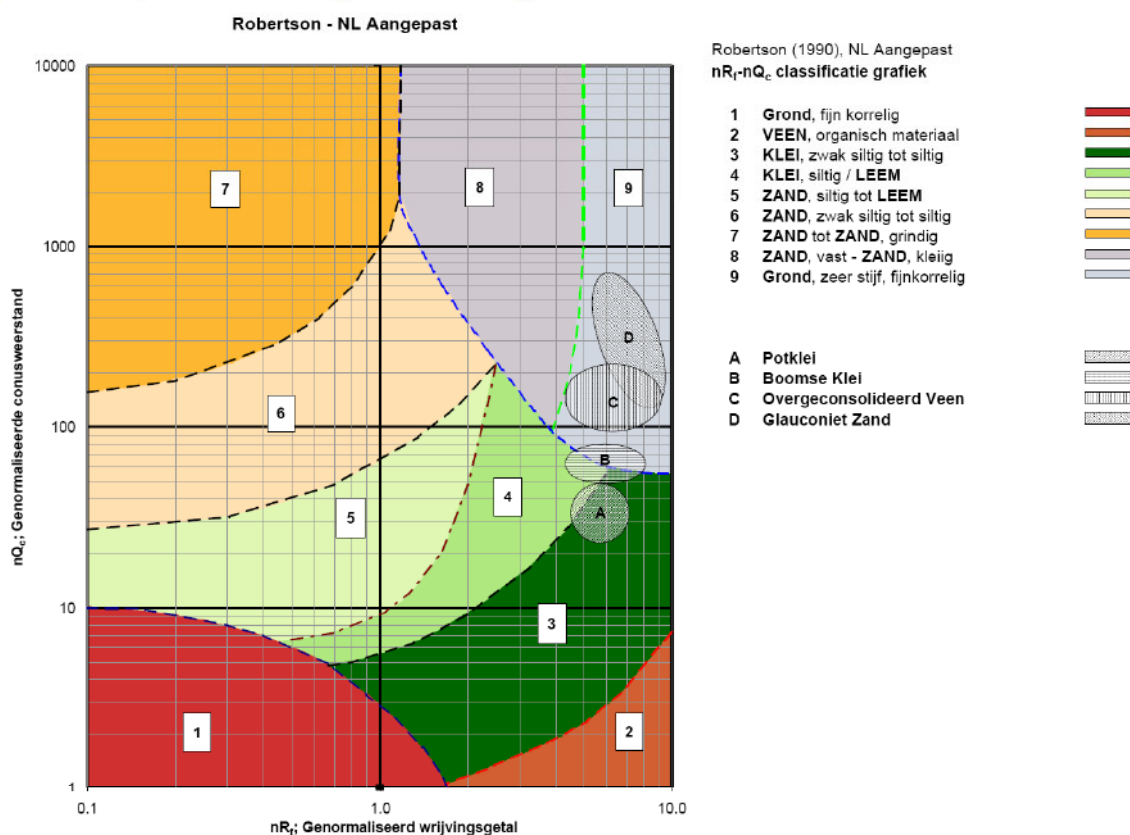
In geval er geen waterspanning is gemeten, wordt voor q_t de waarde van q_c gebruikt.

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;

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

- 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 geïdentificeerd.



Figuur 1

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

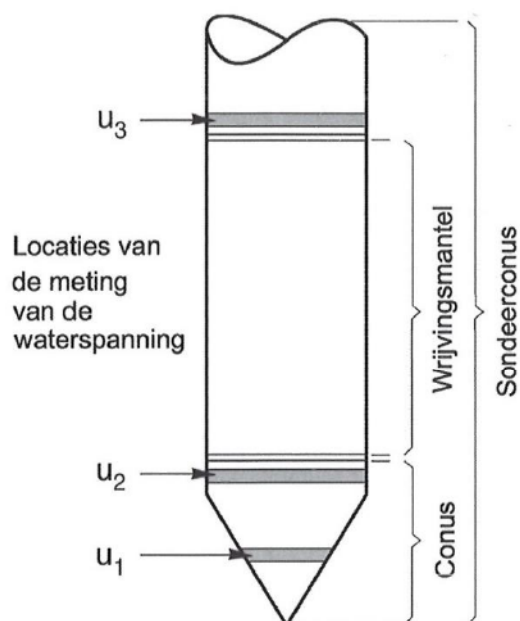
De identificatie is indicatief en alleen geldig voor lagen onder de grondwaterstand. De resultaten dienen te worden geverifieerd met boringen of geologische informatie. Uitgedroogde cohesieve toplagen geven een te hoge waarde worden voor het wrijvingsgetal, waardoor bijvoorbeeld uitgedroogde kleilagen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

ANDERE CONUSTYPEN

Naast de meting van conusweerstand en plaatselijke wrijving is het mogelijk extra (combinaties van) 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	<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"> ■ blindganger onderzoek; ■ onderzoek ligging obstakels (stalen leidingen, grondankers); ■ onderzoek paalpunt niveau / 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"> ■ heitrillingen; ■ 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 Screening Tool)	Verticale verspreiding van (aromatische) koolwaterstoffen	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 2). 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 2

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 membraam 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.

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:

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

Vergelijking 3

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

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 = $q_c + (1-a) \{ \beta (u_1 - u_0) + u_0 \}$ voor een filter in de conuspunt;
 = $q_c + (1-a) u_2$ 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_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 over geconsolideerde klei	0,5 – 0,7
Sterk over geconsolideerde klei	0,0 ¹ – 0,3
Leem samendrukbaar	0,5 – 0,6
Leem, vast en dilatant gedrag	0,0 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 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 volgende tabel.

Toepassing Klasse	Test type	Gemeten parameter	Toegestane minimum nauwkeurigheid ^a	Maximum lengte tussen metingen	Gebruik	
					Grondsoort ^b	Interpretatie ^c
1	TE2	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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:	
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 $5 \text{ MPa} \leq q_c < 10 \text{ MPa}$); C gemengde bodemprofielen met stijve kleien (conusweerstand $1,5 \text{ MPa} \leq q_c < 3 \text{ MPa}$) en zeer dichte zanden ($q_c > 20 \text{ MPa}$); D zeer stijve tot harde kleien ($q_c \geq 3 \text{ MPa}$) en zeer vaste grove gronden ($q_c \geq 20 \text{ MPa}$).
^c	G Vaststelling bodemprofiel en bepaling van grondsoort met een laag niveau van onzekerheid. G* Indicatieve vaststelling bodemprofiel en bepaling van grondsoort met een hoog niveau van onzekerheid. H Interpretatie met betrekking tot ontwerp met een laag niveau van onzekerheid. H* Interpretatie met betrekking tot ontwerp met een hoog niveau van onzekerheid.
^d	Waterspanning kan alleen worden gemeten als TE2 wordt toegepast.

Voor projecten, waarbij parameters op basis van Tabel 2.b NEN 9997-1 worden afgeleid, is een hoge nauwkeurigheidsklasse gewenst. Het is echter in een bodemgesteldheid met zowel zeer slappe grondlagen als zeer vaste zandlagen met hoge conusweerstand 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 calibraties. 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) behoeft te worden vastgelegd. Deze sonderingen voldoen derhalve op dit punt niet aan EN-ISO 22476-1.

LEGENDA TERREINPROEVEN EN GRONDSOORTEN

Boringen / Peilbuzen

- 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

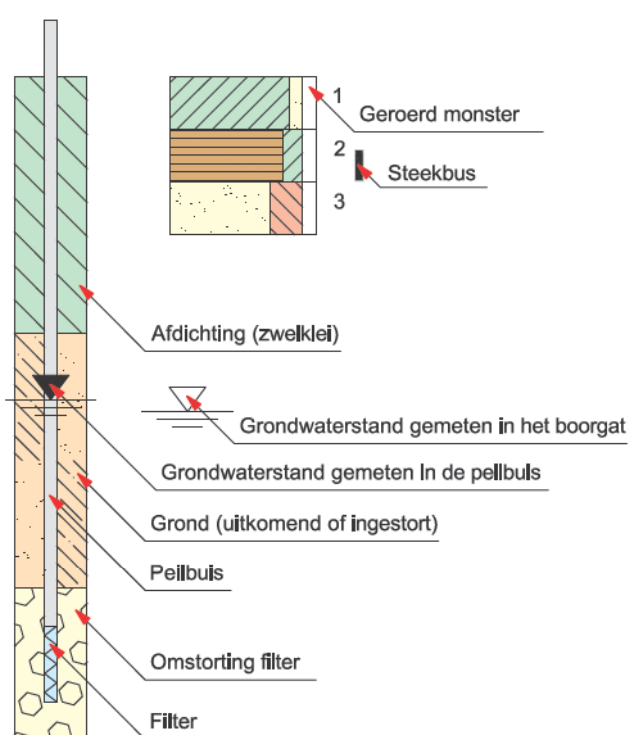
Sonderingen

- 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



Bijlage II Rapportage ERT-metingen

**A geophysical study for developing
an Aquifer Storage and Recovery
(ASR) pilot in the area of Kruiningen,
the Netherlands**



**A geophysical study for developing
an Aquifer Storage and Recovery
(ASR) pilot in the area of Kruiningen,
the Netherlands**

Pieter Pauw
Marios Karaoulis
Manos Pefkos

Title

A geophysical study for developing an Aquifer Storage and Recovery (ASR) pilot in the area of Kruiningen, the Netherlands

Client	Project	Attribute	Pages
KWR Watercycle Research Institute, NIEUWEGEIN	11204060-002	11204060-002-BGS-0003	17

Keywords

Geophysics, Aquifer Storage and Recovery (ASR), salinity, groundwater

Summary

With current developments like sea level rise and climate change jeopardizing fresh groundwater reserves, Aquifer Storage and Recovery (ASR) is becoming increasingly important to safeguard freshwater supply in the Netherlands and other coastal areas over the world. Within the project 'Drainstore', KWR is currently investigating the potential for ASR at one of the fields of the agricultural company Meulwaeter, near Kruiningen (Zeeland). For site characterization, Deltares has carried out an Electrical Resistivity Tomography (ERT) survey at this site and analyzed these and other geophysical and geological data. The different types of measurements generally point out the presence of a freshwater lens with a thickness of about 20 m. At the top of the aquifer a clayey layer exists, which generally thins out towards the south of the channel. In the sandy aquifer below, the increase in resistivity towards the southwest as revealed by the ERT data indicates an increase in grain size and a lower clay content. At various locations within the sandy aquifer, thin clay/peat layers can be recognized from the cone penetration tests.

Version	Date	Author	Initials	Review	Initials	Approval	Initials
	June 2019	Pieter Pauw Marios Karaoulis Manos Pefkos	PA MK	Ane Wiersma	AW	Maaïke Blauw	MB

Status

final

Contents

1 Introduction	1
2 Methodology	2
2.1 ERT data	2
2.2 HEM data	4
3 Results	5
3.1 High bulk resistivity values from the CPTs in the freshwater lens	5
3.2 HEM profile A-A'	5
3.3 ERT data	8
3.3.1 ERT Profile B-B'	8
3.3.2 ERT profile C-C'	10
3.3.3 ERT profile D-D'	12
4 Discussion and conclusions	15
4.1 General salinity patterns	15
4.2 General lithology patterns and considerations for implementing the ASR system	16
5 Bibliography	17

1 Introduction

Zeeland is the largest agricultural province of the Netherlands¹. The main source for irrigation is fresh groundwater, even though most of the groundwater in Zeeland is brackish to saline. Fresh groundwater locally available for irrigation is mainly limited to freshwater lenses situated within sandy Holocene and Pleistocene deposits. During droughts, the irrigation demand often exceeds the regulated groundwater abstraction, which can lead to yield losses. A potential solution for this problem is Aquifer Storage and Recovery (ASR). Recently, different types of ASR techniques have been extensively studied in Zeeland using field pilots within the GO-FRESH project (Oude Essink et al., 2018).

Within the project 'Drainstore', KWR is currently investigating the potential for ASR at one of the fields of the agricultural company Meulwaeter, near Kruiningen (Figure 1.1). The phreatic aquifer primarily consists of tidal channel deposits and accommodates a freshwater lens with a maximum thickness of about 20 m. Determining an appropriate location and design of the ASR system amongst others requires understanding of the heterogeneity in the aquifer and the groundwater salinity distribution. To this end, KWR has requested Deltares to carry out Electrical Resistivity Tomography (ERT) measurements and collect nearby Helicopter Airborne EM (HEM) data from the FRESH-EM Zeeland project (Delsman et al., 2018; van Baaren et al., 2017). The focus hereby is on the upper 20 m of the subsurface. KWR will use these data for the design of an ASR pilot.

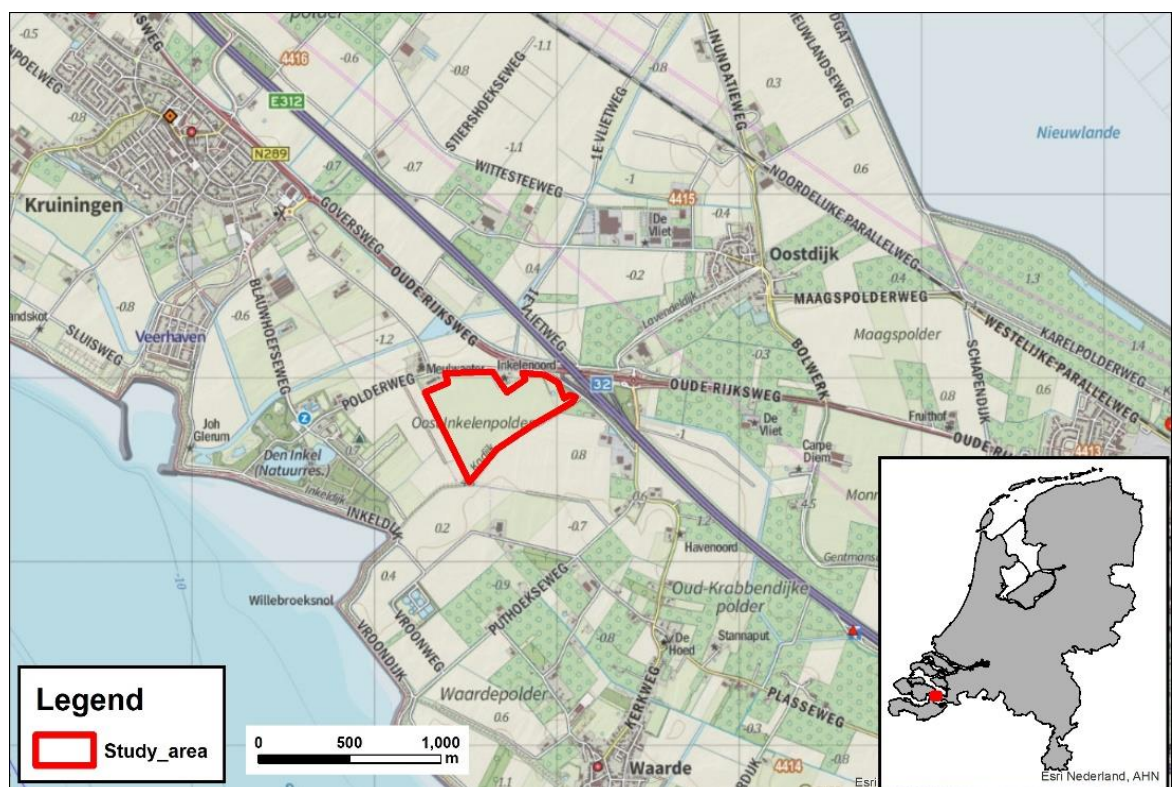


Figure 1.1: Overview of the study area; a field belonging to the agricultural company Meulwaeter.

¹ By area. Source: <https://www.zeeland.nl/economie/landbouw-en-visserij>

2 Methodology

The geological and hydrological characteristics of the study site, based on previous data and models like GeoTOP, are not discussed further in this report, as this analysis has been done already by KWR. In the discussion of the results these characteristics are introduced without further elaboration.

2.1 ERT data

Three ERT profiles with a length of 320 m each were collected in the field on the 27th and 28th of March 2019. For brevity, the theory behind ERT is not discussed here, but comprehensive documentation can for example be found in Reynolds (1997). Prior to the ERT measurements, the X and Y coordinates and elevations² at 40 m intervals along the three profiles were measured with a DGPS and marked in the field. The 9 elevations collected per ERT line were used for the inversion of the apparent resistivities. The ERT lines are here referred to as B-B', C-C', and D-D'. The corresponding coordinates and elevations are shown in Table 1. The begin and end points of the profiles are displayed on a map in Figure 2.1. Due to logistical problems, the coordinates B, B2, B3, B4, and B5 can deviate up to 1.5 m from the requested locations. This does, however, not significantly influence the results of this study.

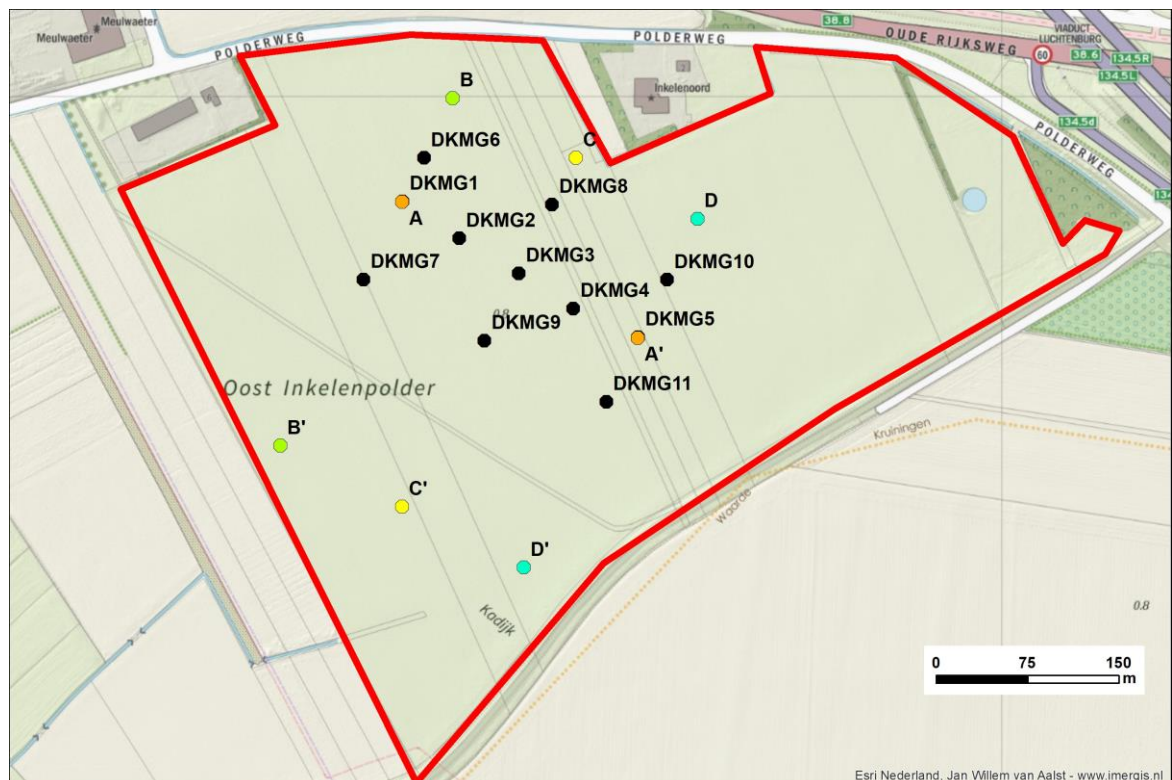


Figure 2.1: Overview of the locations of the begin and end points of ERT profiles B-B', C-C', and D-D', FRESHEM profile A-A', as well as locations of the CPTs. The study area is indicated in red. DKMG 1 corresponds with A, DKMG 5 corresponds with A'.

Table 1: X and Y coordinates (Rijksdriehoekstelsel) and elevations (NAP) of the ERT lines.

² X and Y coordinates using Rijksdriehoekstelsel (Dutch grid) and elevation using NAP (Dutch ordnance datum).

name	X (m)	Y (m)	Z (m NAP)
B	62548.6	383999.0	0.49
B2	62530.6	383962.7	0.36
B3	62513.0	383927.0	0.52
B4	62495.5	383891.6	0.52
B5	62477.9	383855.7	0.56
B6	62460.6	383821.1	0.57
B7	62442.8	383785.3	0.61
B8	62424.8	383749.5	0.65
B'	62406.9	383713.8	0.71
C	62649.9	383950.0	0.63
C2	62632.0	383914.1	0.61
C3	62614.1	383878.4	0.56
C4	62596.2	383842.7	0.70
C5	62578.3	383806.9	0.66
C6	62560.6	383771.1	0.71
C7	62542.7	383735.4	0.81
C8	62524.8	383699.6	0.78
C'	62506.9	383663.7	0.85
D	62750.0	383900.0	0.73
D2	62732.1	383864.2	0.58
D3	62714.2	383828.3	0.70
D4	62696.3	383792.7	0.82
D5	62678.4	383756.9	0.83
D6	62660.6	383721.1	0.80
D7	62642.7	383685.2	0.89
D8	62624.8	383649.6	0.91
D'	62606.9	383613.8	0.72

The data acquisition consisted of a combined gradient and dipole-dipole electrode configuration with a 2 m electrode distance. Outliers in the data were filtered where needed based on unrealistically high or low apparent resistivities. The inversion of the apparent resistivities was carried out with the RES2DINV (Loke, 2006) code, using interpolated DGPS measurements (Figure 2.2) for modeling the topography. The numerical finite difference grid consisted of 40 layers with 1 m thickness and 160 columns with a width of 2 m.

Numerous attempts were made to constrain the inversion using Cone Penetration Tests (CPTs, including electrical conductivity measurements) carried out by Fugro in April 2019 at 11 locations in the study area (Figure 2.1). As will be explained further in this report, the resistivity of the CPTs within the depth range of the freshwater lens (~ upper 15-20 m of the subsurface) is unrealistically high, so the CPTs could not be used here to constrain the inversion. In the lower resistivity range the CPTs showed more realistic values.

In the draft version of this report, some preliminary results were presented where a layer with a fixed resistivity based on the CPTs was implemented in the zone below the base of the freshwater lens. In this case, it was implicitly assumed that the resistivity of this layer along the total length of the profile would be constant. However, as information beyond (i.e., southwest of) CPTs DKMG7, DKMG9, and DKMG11 was not available and because the sensitivity of the model in the lower part of the aquifer (below ~ -25 m NAP) is relatively low, it was decided to

not constrain the CPTs using a layer of known resistivity to avoid influencing the inversion erroneously.

Further attempts with models using fixed layers with sharp contrasts in resistivity (i.e., around the base of the freshwater lens) at specified depths showed similar problems related to the uncertainty in the region beyond the CPTs. Therefore, an inversion without any constraints was applied in the end, using the 'robust inversion' option as an attempt to invert the expected sharp decrease in resistivity around the transition zone of the fresh-saline groundwater (i.e., the base of the freshwater lens). The advantage of this is that the inversion is not influenced by any (subjective) interpretation of the modeler. The disadvantage is that, as will be shown later, the sharp transition zone at the base of the freshwater lens cannot be reproduced by the inversion model.

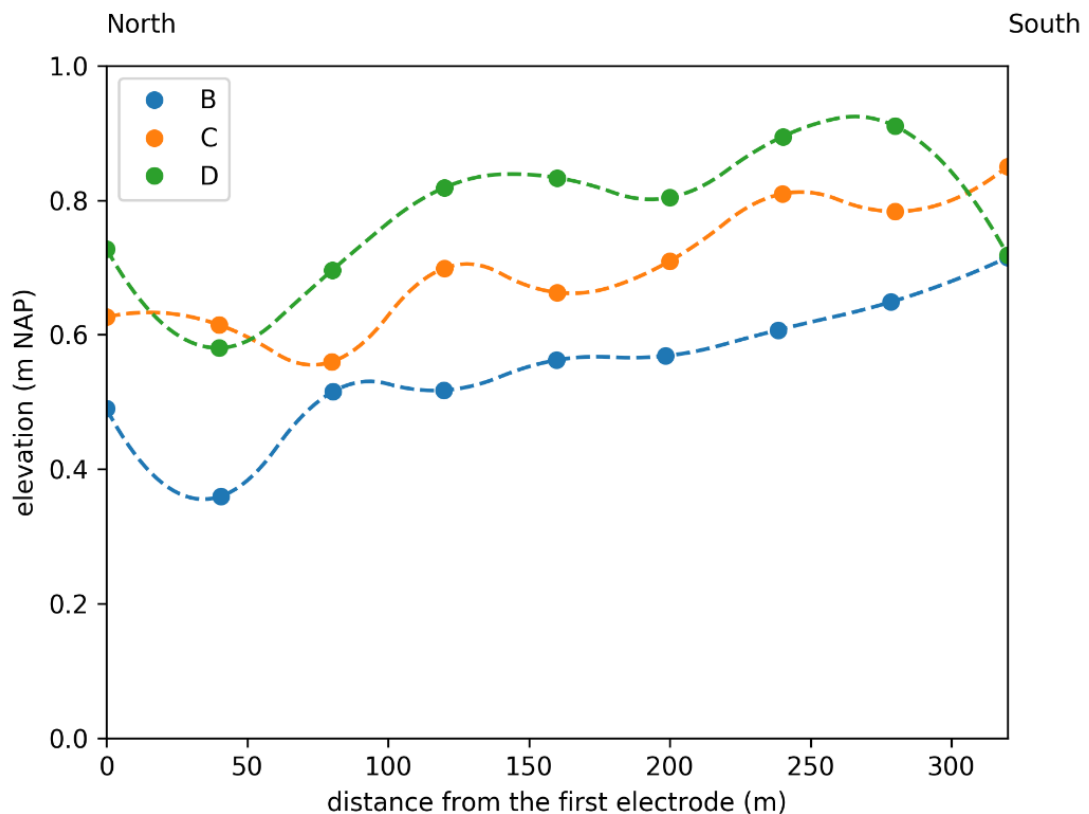


Figure 2.2: Interpolated topography profile for the three ERT profiles. North indicates B, C and D, South indicates B', C', and D'.

2.2 HEM data

For the HEM data, the inverted resistivities including topography were extracted along a line A-A'. The resulting two-dimensional profile of the resistivities were used together with the ERT and CPT data to analyze the salinity distribution and heterogeneity of the subsurface.

3 Results

3.1 High bulk resistivity values from the CPTs in the freshwater lens

In many CPTs the bulk resistivity ρ_{bulk} in the freshwater lens is unrealistically high. Along the HEM profile A-A' for example (Figure 3.1), the bulk resistivity of CPTs DKMG2-4 in the upper 15 m of the subsurface is in general well beyond 1000 Ωm . In fact, the recorded conductivity (reciprocal of the resistivity) shows negative values here, which suggests measurement errors. For this reason, the bulk resistivity values from the CPTs in the freshwater lens have been neglected or treated only qualitatively. Around and below the base of the freshwater lens, the bulk resistivities show more realistic values and are therefore used more quantitatively.

Figure 3.1 furthermore shows the friction ratio Rf of the CPTs and the center of the mixing zone between fresh and saline groundwater (D_{mix} , after De Louw (2013), here determined at 4 Ωm^3).

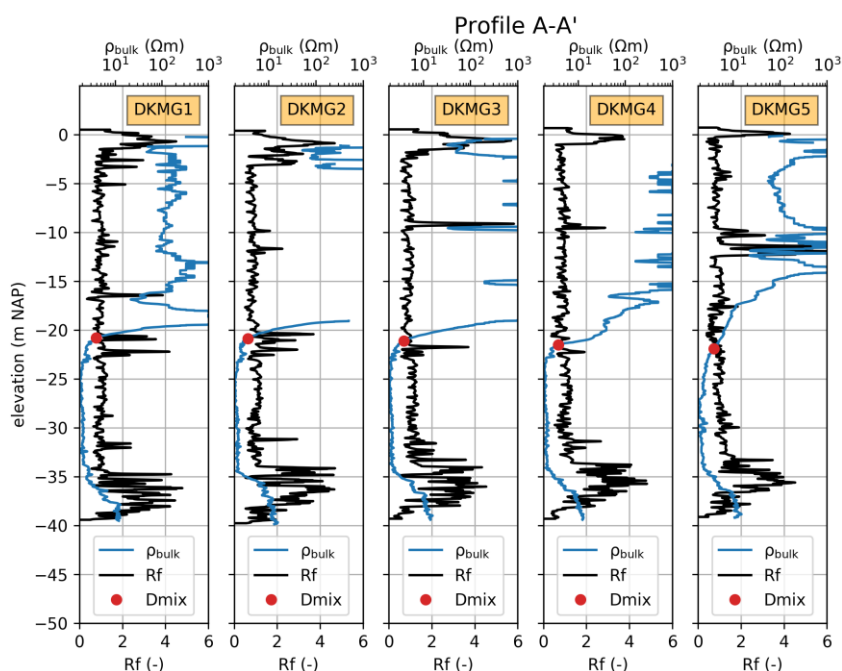


Figure 3.1: ρ_{bulk} and Rf as measured by the CPTs DKMG1-5, as well as the computed D_{mix} .

3.2 HEM profile A-A'

Figure 3.4 shows the bulk resistivity distribution along the HEM profile A-A' together with the (scaled) friction ratio of CPTs DKMG1-5. In the upper few meters of the subsurface the bulk resistivity is relatively low and the Rf values high. This zone is interpreted here as a clayey top layer of the aquifer. The groundwater table and the unsaturated zone are probably present, but not clearly visible. The thickness of this clay top layer decreases from A towards A'. Below this layer the bulk resistivity is higher, indicating a decreasing clay concentration of the aquifer.

³ The D_{mix} value has been determined at 2.5 mS/cm; half of the value of the maximum bulk conductivity (reciprocal of bulk resistivity). The bulk conductivity values are shown in Figure 3.4

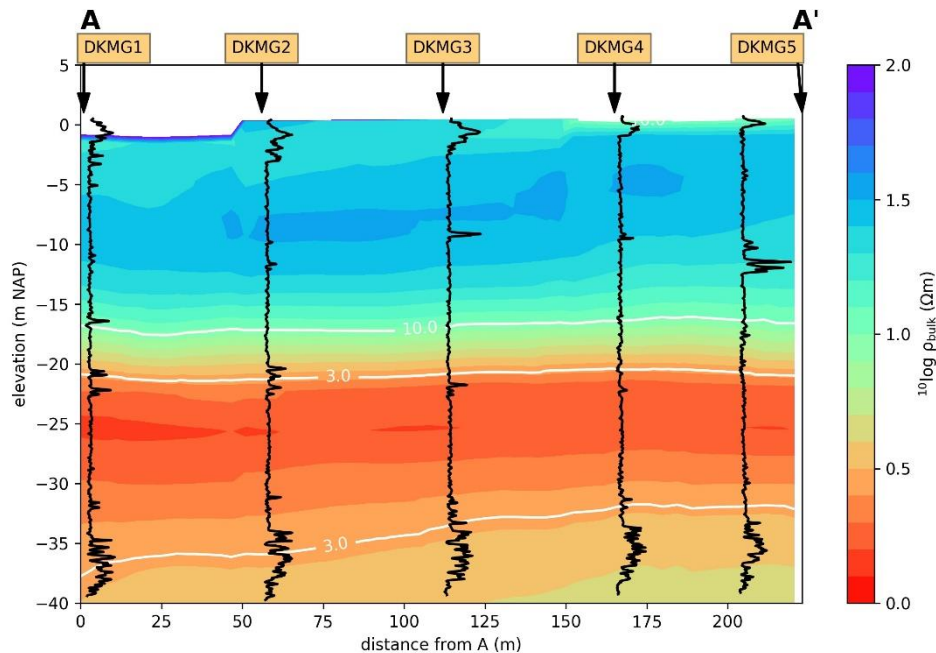


Figure 3.2: HEM and CPT results. Colors: ρ_{bulk} values (log transformed) as extracted from the HEM data. The white contours show the 3 and 10 Ωm isolines. The black lines indicate the scaled R_f values as measured by the CPTs. Note that in the upper few meters from 0 – 50 m from A the resistivity is that high that it falls beyond the plotting scale.

From about -12 m NAP near A and -8 m NAP near A', the bulk resistivity decreases again. Near A', this could be related to the presence of a clayey unit, indicated by the elevated R_f values. Towards A this clay unit seems to be absent. Below the clayey unit near A', the bulk resistivity decreases more smoothly compared to A. As the R_f values below the clayey unit remain relatively low, this increase in bulk resistivity suggests an increase in the groundwater salinity. The difference in the smoothness of the transition zone of the bulk resistivity is also visible in Figure 3.3, which shows a comparison between the resistivity of the CPTs along A-A' and corresponding closest HEM sounding.

Near A, another clayey unit is present between -20 and -23 m NAP. This unit is barely visible in DKMG4 and absent in the direction of A' (CPTs DKMG4 and 5). The top of the clayey unit seems to coincide with D_{mix} . Below the unit the bulk resistivity quickly reaches its minimum value of about 2.5 Ωm . Only in DKMG5 (near A'), where the unit is not present, the transition zone to the minimum bulk resistivity is smoother.

From about -25 m NAP the bulk resistivity in both the CPTs and the HEM profile slowly increases again. In the HEM data this transition is smoother than in the CPTs. Around -35 m NAP the bulk resistivity increases significantly in the CPTs. Around this depth, the R_f values in all CPTs are elevated. The higher R_f values indicate a clay unit from the marine Oosterhout Formation. Due to the increase of the bulk conductivity, this clay unit probably has a lower pore water salinity than the saline groundwater below the base of the freshwater lens.

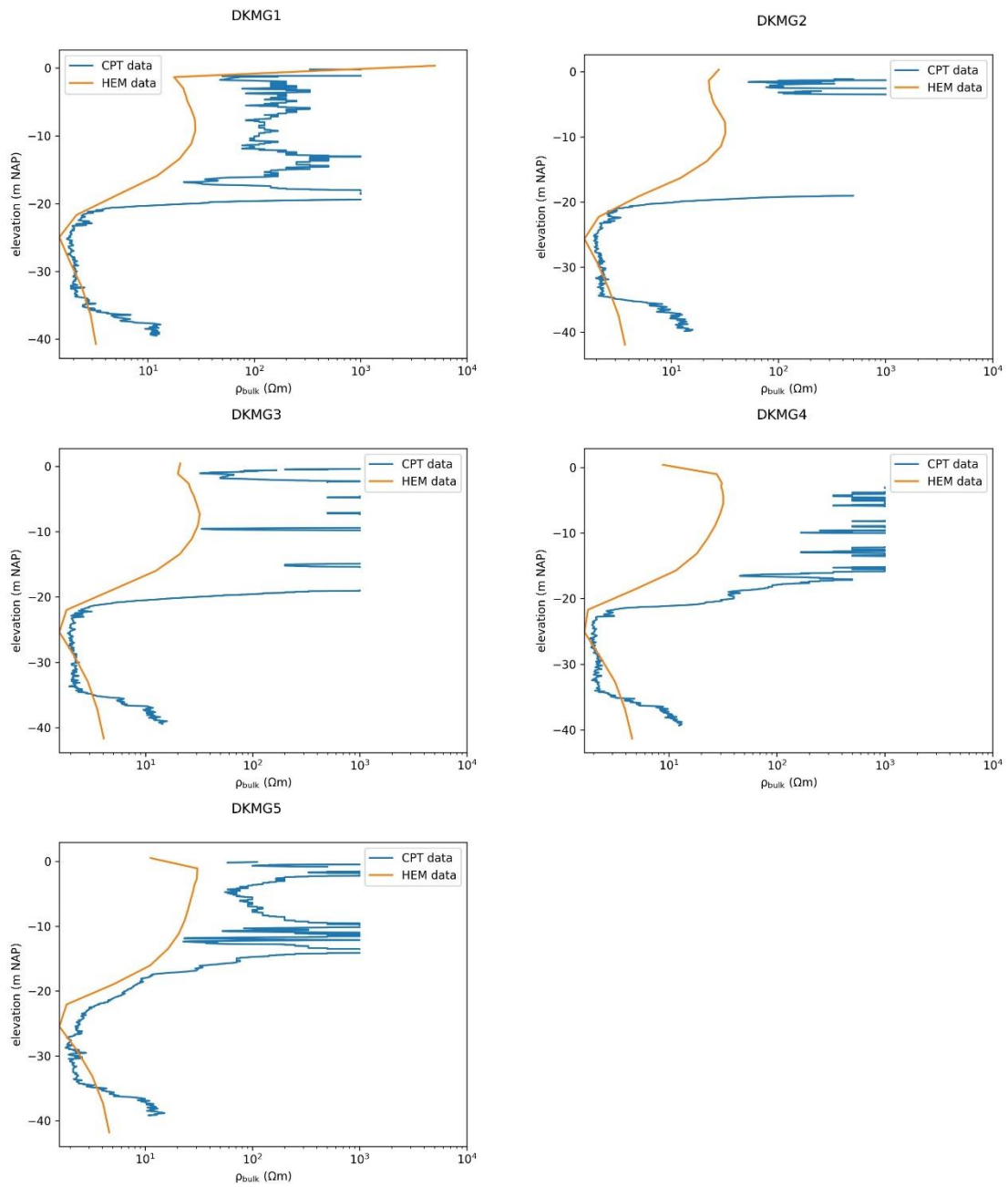


Figure 3.3: Comparison between the resistivities from the CPTs and corresponding HEM data (closest sounding).

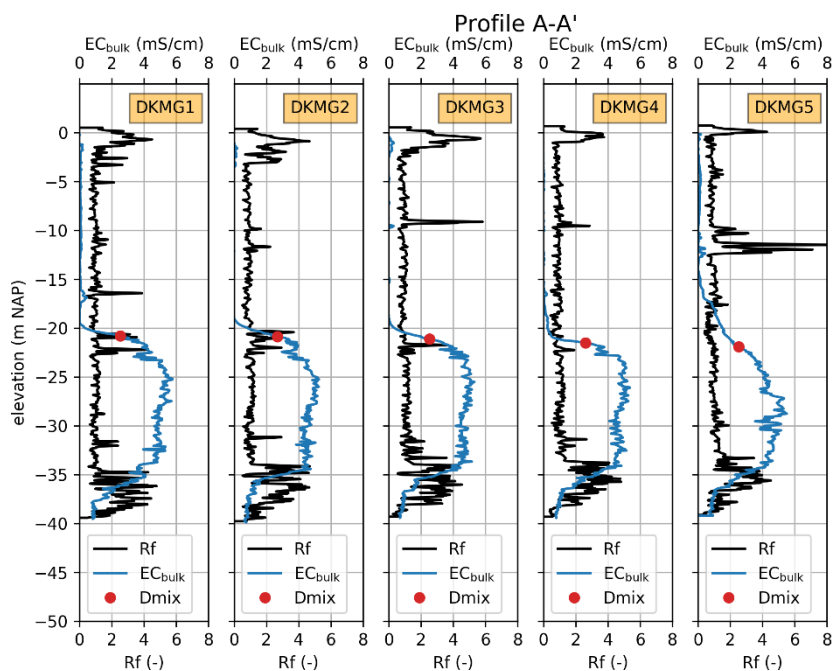


Figure 3.4: EC_{bulk} and Rf as measured by the CPTs DKMG1-5, as well as the computed $Dmix$.

3.3 ERT data

3.3.1 ERT Profile B-B'

In Figure 3.5 the results of the ERT inversion along B-B' are shown together with the scaled Rf values of CPTs 6, 1, and 7. From the surface to about -5 m NAP the bulk resistivity distribution is patchy, which is partly the result of the robust inversion method. In general, the resistivity in this zone is lower than directly beneath, similar as was observed in the HEM profile A-A'. The Rf values are also higher. This upper 5-6 m of the subsurface is interpreted as a clayey top layer in which the unsaturated zone is present. The bulk resistivity is relatively low close to B and increases towards B'. Hence, near B a higher clay concentration is expected. The upper clay layer seems to decrease in thickness towards B'. The upper clay layer can also be seen in Figure 3.7, which shows a comparison between the resistivity distribution from the ERT and the CPTs.

In Figure 3.5 at about 120 m from B a high resistivity zone influences the underlying resistivity distribution. This is, despite the filtering of the data, attributed to noise and should be disregarded.

Below the clayey layer a zone of higher resistivities is present up to about -15 m NAP. This zone is interpreted as a more sandy and less clayey part of the aquifer compared to the upper clayey layer. The resistivity increases towards B', indicating a lower clay content in this direction. Below -15 m NAP the bulk resistivity decreases again in the ERT data. This decrease can also be seen in the CPTs DKMG6, 1, and 7, as well as a concurrent increase of the Rf values. This is interpreted here as a thin clay layer with a lower bulk resistivity than the sandy layer above. In the CPTs, a subsequent increase in the resistivity can be observed (Figure 3.6 and Figure 3.7). In the ERT data this increase is not resolved. Rather, the resistivity decreases

towards the base of the freshwater lens. D_{mix} in the CPTs is located at about -22 (A) to -20 m NAP (A'), which coincides with an increase of the R_f values, indicating a clayey layer here similar as near A in the HEM transect A-A'. Like was observed in the HEM profile A-A', the resistivity change in the ERT inversion is smoother than in the ERT data.

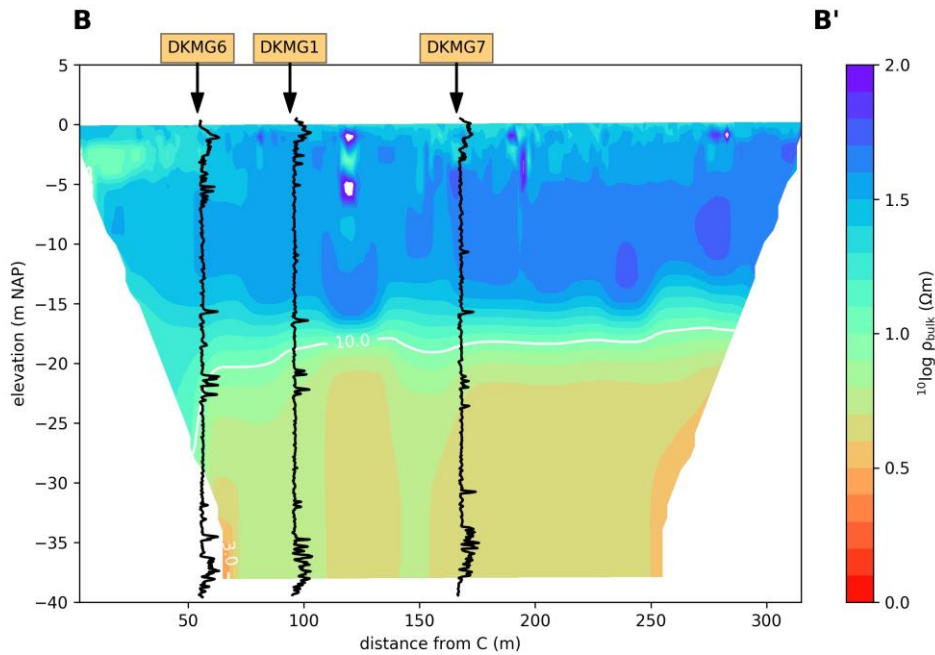


Figure 3.5: ERT Inversion results along B-B', together with the R_f values of the CPTs situated along the profile.

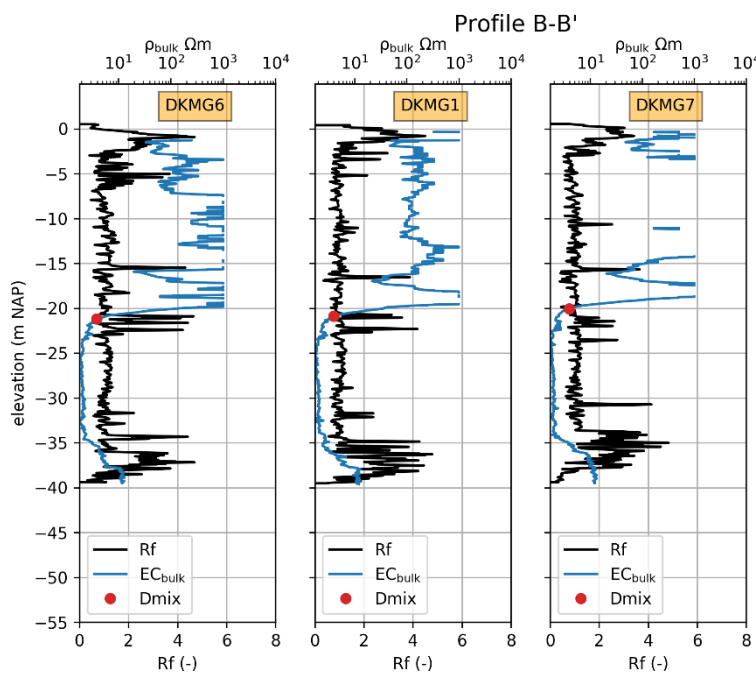


Figure 3.6 : ρ_{bulk} and R_f as measured by the CPTs DKMG6, 1, and 7, as well as the computed D_{mix}

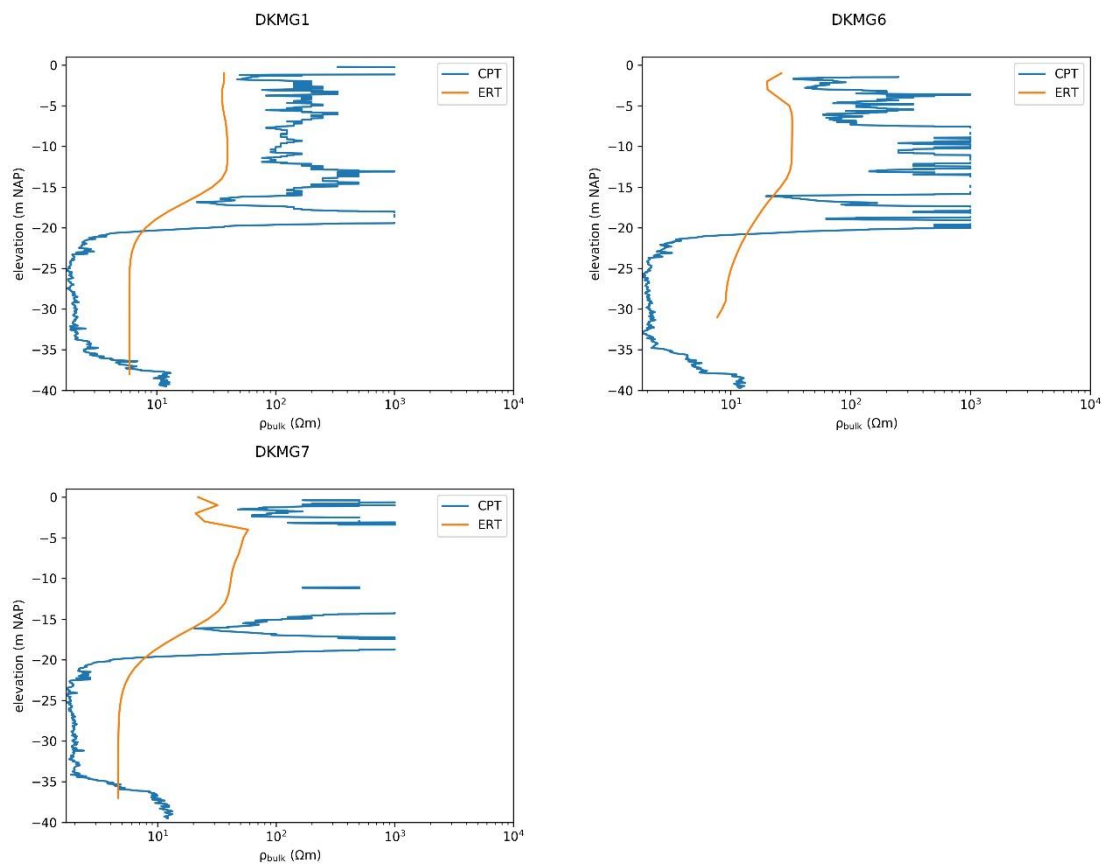


Figure 3.7: Comparison between the resistivities from the CPTs and corresponding results of the ERT inversion along B-B'.

Below the base of the freshwater lens the ERT inversion results don't show a subsequent increase in resistivity, unlike the CPTs. This is due to the low sensitivity of the inversion model here. The CPTs DKMG6, 1, and 7 show again the clay layer of the Oosterhout formation, in which the resistivity increases with depth, indicating a lower groundwater salinity.

The root mean square error of the inversion model is 2.8 %, meaning a low noise level of the data and a good mathematical performance of the inversion.

3.3.2 ERT profile C-C'

The interpretation of ERT profile C-C' regarding the groundwater salinity distribution is somewhat similar to ERT profile B-B'; a freshwater lens with a D_{mix} around -22 (D) to -20 m NAP (D'), and a decreasing salinity within the clay layer of the Oosterhout formation. Regarding the lithological interpretation, also some similarities can be recognized. The upper clayey unit decreases in thickness towards C-C'. In the sandy unit below, the bulk resistivity increases towards C'. Around -14 m NAP the bulk resistivity decreases in both the ERT inversion results and the CPTs (Figure 3.8, - Figure 3.10). An exception is DKMG3, where this is not observed. Similar as for B-B', the CPTs show a subsequent increase in resistivity, whereas the ERT inversion is not able to reproduce this. Between -20 and -23 m NAP the clay unit is less

pronounced compared to B-B'. The layer at -15 m NAP is only clearly present in DKMG 8 (near C), but absent in DKMG3 and located somewhat higher in DKMG9. The total root mean square error between the calculated and measured apparent resistivities is 0.9%; meaning an even less noisy dataset and better mathematical performance of the inversion model.

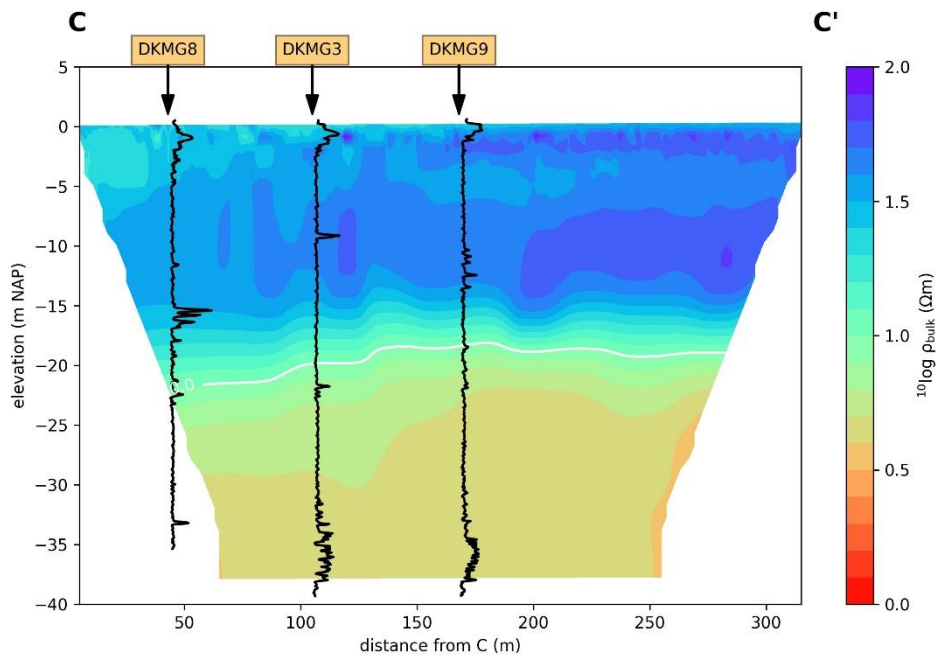


Figure 3.8: ERT Inversion results along C-C', together with the Rf values of the CPTs situated along the profile.

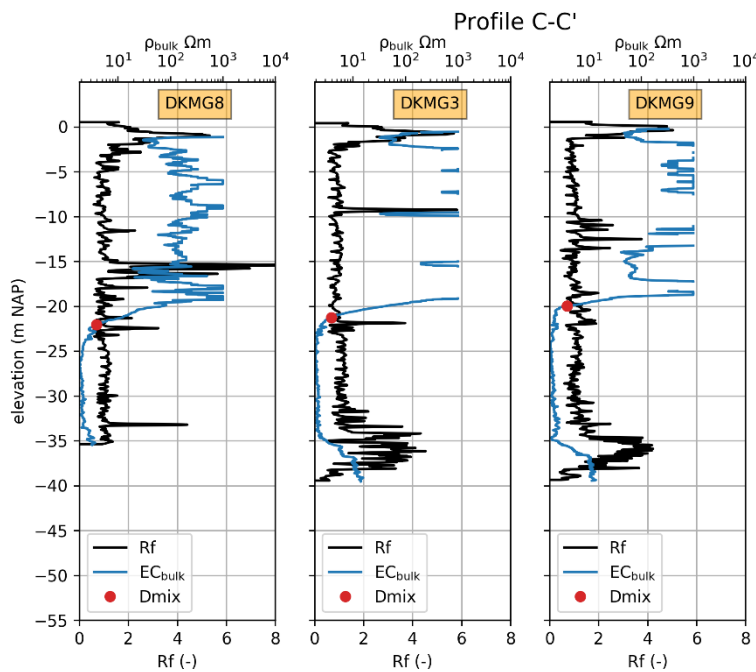


Figure 3.9: ECbulk and Rf as measured by the CPTs DKMG8, 3, and 9, as well as the computed Dmix.

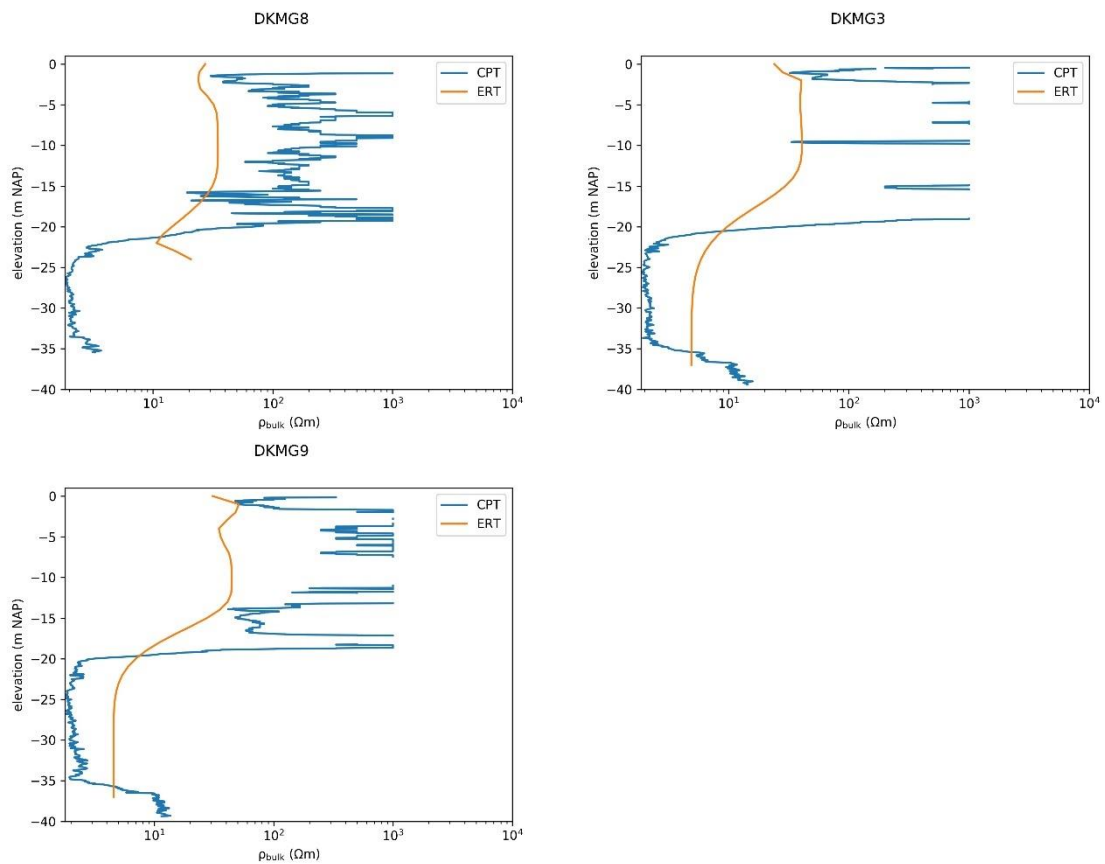


Figure 3.10: Comparison between the resistivities from the CPTs and corresponding results of the ERT inversion along C-C'.

3.3.3 ERT profile D-D'

For ERT profile D-D', similar observations can be made as for C-C', with some differences. The top clay layer seems to be more clayey and thicker near D, but the difference towards D' is less pronounced compared to the other two ERT profiles. The bulk resistivities in this zone in the direction of D' are higher than in the corresponding zones in C-C' and B-B', which is probably related to differences in soil water content. Furthermore, based on the CPTs the transition zone of the bulk resistivity is smoother compared to B-B' and C-C'. This is in line with what was found in A-A', and is probably related to groundwater salinity (i.e., a thicker mixing zone between fresh and saline groundwater). In the ERT profile this is less visible. In contrast to A-A', not a clear relationship can be seen with the presence of clayey layers (see for example DKMG10).

The root mean square error is small; 0.9%, which is comparable to profile C-C'.

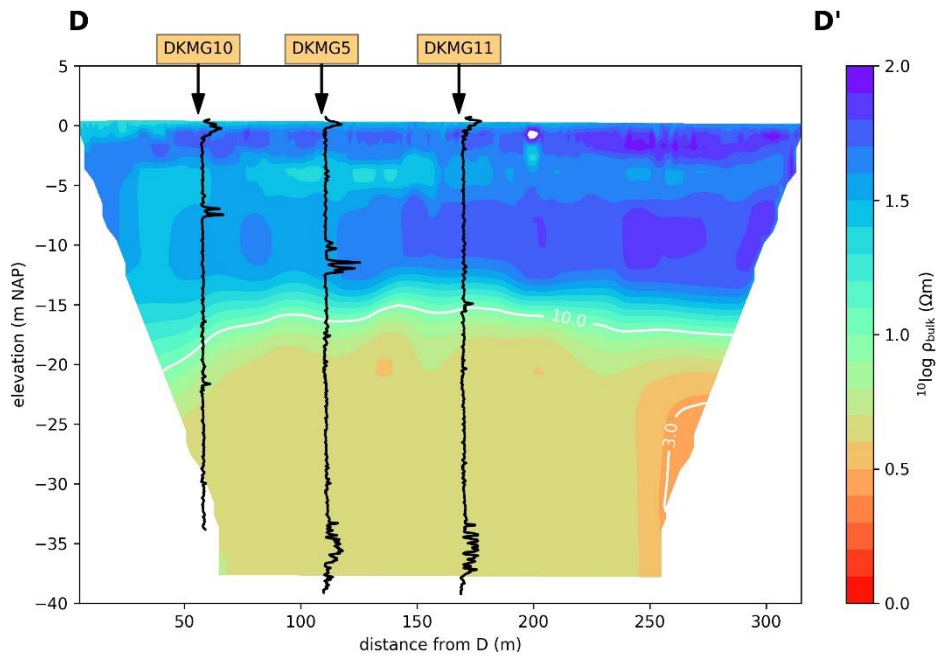


Figure 3.11: ERT Inversion results along D-D', together with the Rf values of the CPTs situated along the profile.

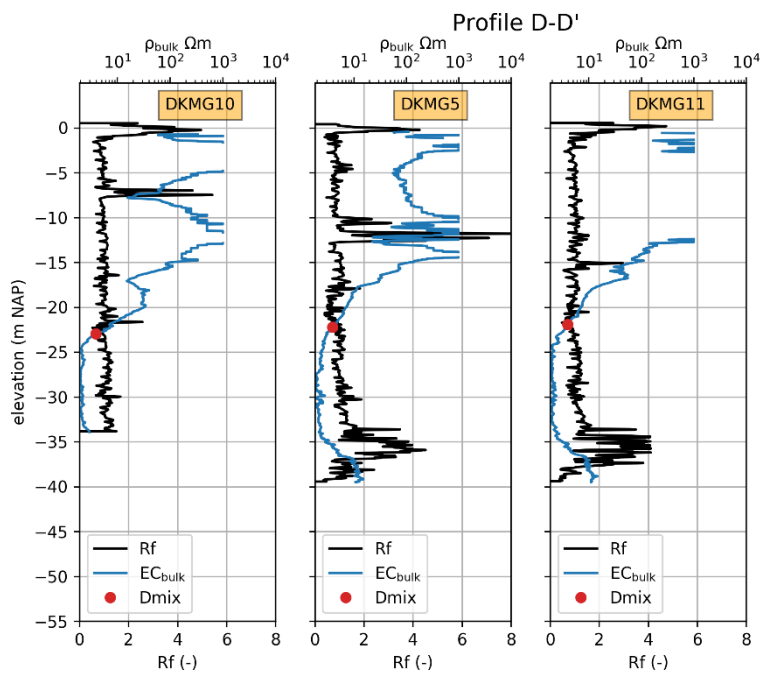


Figure 3.12: ECbulk and Rf as measured by the CPTs DKMG10, 5, and 11, as well as the computed Dmix

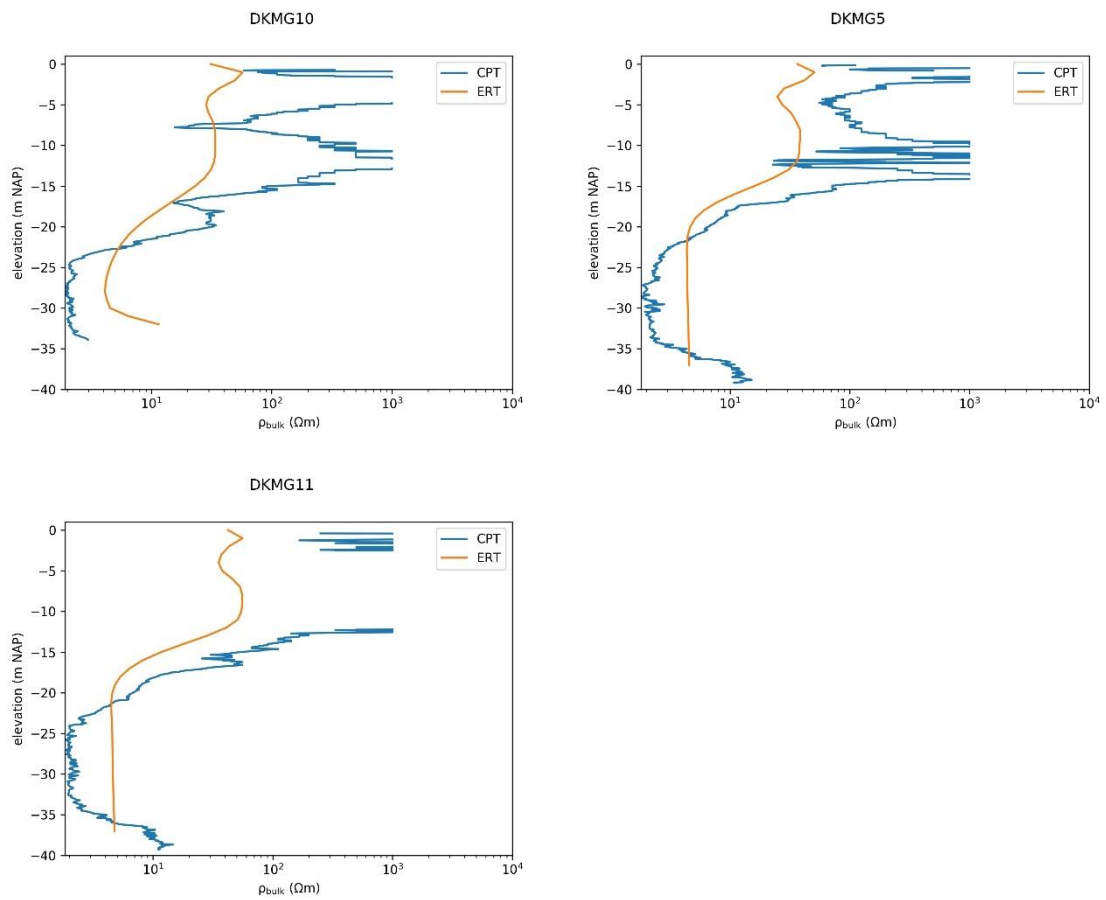


Figure 3.13 Comparison between the resistivities from the CPTs and corresponding results of the ERT inversion along D-D'

4 Discussion and conclusions

4.1 General salinity patterns

The HEM, ERT and CPT data all indicate the presence of a freshwater lens with a thickness of about 20 m. Towards the southeast (in the direction of A') the center of the mixing zone between fresh and saline groundwater D_{mix} is located at slightly larger depth. However, the transition zone between fresh and saline groundwater also increases in this direction, such that brackish water is located at more shallow depth in the direction of A' (Figure 4.1). This has not been investigated further.

The freshwater lens is located below a former tidal channel that forms an elevation in the landscape⁴. The mapped location of the tidal creek deposits by TNO Geological Survey of the Netherlands is shown in Figure 4.1. Close to D', around the boundary of the channel, the freshwater lens still has a considerable thickness. It is remarkable that around D' a horizontal extraction well is present at 5-6 m below the surface which gives, according to the farmer, a relatively good yield compared to the other extraction well in the north of the plot.

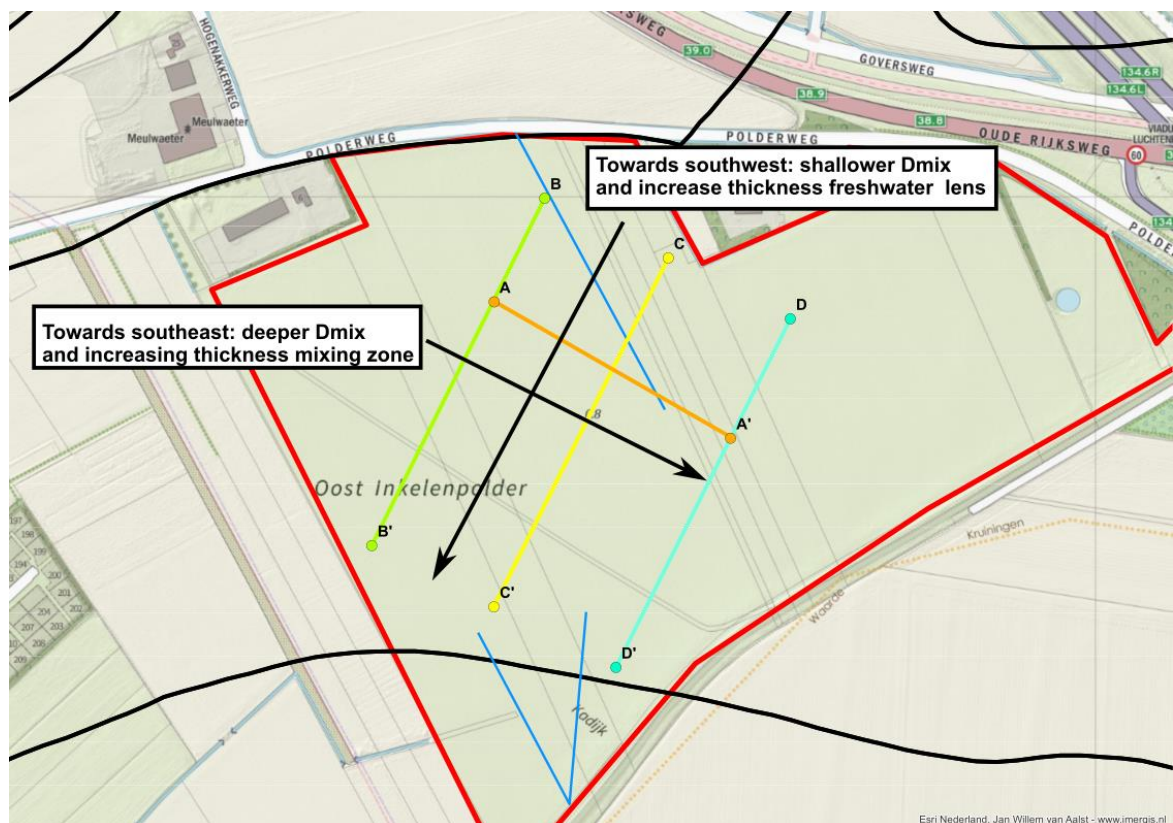


Figure 4.1: Overview of the study area, similar as Figure 2.1. Added are the boundaries of the tidal creek deposits (black lines), the location of the profiles, and the location of two horizontal extraction wells situated around 5 m below ground level (in blue).

⁴ In Dutch: kreekrug.

Below the freshwater lens saline groundwater is present up to the clay unit of the Oosterhout formation, where the salinity appears to decrease again.

4.2 General lithology patterns and considerations for implementing the ASR system

The ERT, HEM and CPT data show, in general, a clayey top layer of a few meters thick, overlying a sandy but heterogeneous aquifer to about 35 m bgl which is underlain by a clay unit of the Oosterhout formation. The thickness of the clayey top layer appears to decrease from the northeast (from B, C and D) towards the southwest (in the direction of B', C', and D'), as well as from the northwest towards the southeast. The elevation also increases in these directions, which is related to the presence of the clay.

Between the top clay layer and the clay layer of the Oosterhout formation some important clay layers can also be recognized in the CPTs. In the northwest a thin layer seems to be present along B-B' at -15 m NAP, and a thicker one between -20 and -23 m NAP. Both layers, with the exception of the northeast part of C-C', are less pronounced present. In C-C' and D-D' some other clay layers are present, but show a more complex spatial distribution (less coherent).

The biggest added value of the ERT measurements is the trend in resistivity between 5 and 15 m bgl, which seems to increase from the northeast towards the southwest (in the direction of B', C', and D', reflecting a lower clay content and/or increase in grainsize. This is an important pattern for considering the location of the ASR system.

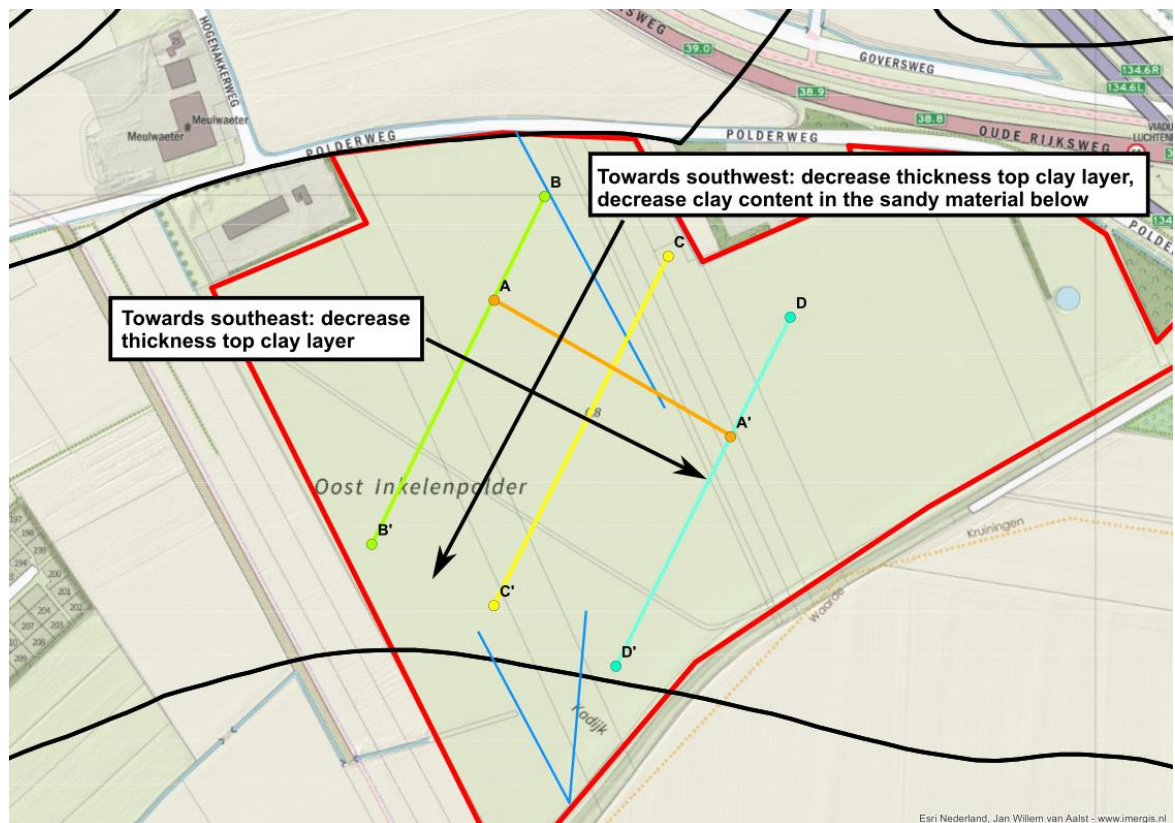


Figure 4.2: As Figure 4.1 but with supporting text for the lithological patterns.

5 Bibliography

- De Louw, P.G.B., 2013. Saline seepage in deltaic areas. VU University Amsterdam.
- Delsman, J.R., Van Baaren, E.S., Siemon, B., Dabekaussen, W., Karaoulis, M.C., Pauw, P.S., Vermaas, T., Bootsma, H., De Louw, P.G.B., Gunnink, J.L., Wim Dubelaar, C., Menkovic, A., Steuer, A., Meyer, U., Revil, A., Oude Essink, G.H.P., 2018. Large-scale, probabilistic salinity mapping using airborne electromagnetics for groundwater management in Zeeland, the Netherlands. *Environ. Res. Lett.* 13. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad19e>
- Loke, M.H., 2006. RES2DINV ver. 3.55, Rapid 2-D resistivity & IP inversion using the least-squares method. Penang, Malaysia.
- Oude Essink, G.H.P., Pauw, P.S., Van Baaren, E.S., Zuurbier, K.G., De Louw, P.G.B., Veraart, J., McAteer, E., van der Schoot, M., Groot, N., Cappon, H., Waterloo, M.J., Hu-a-ng, K.R.M., Groen, M.M.A., 2018. GO-FRESH: Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening; Rendabel en duurzaam watergebruik in een zilte omgeving.
- Reynolds, J.M., 1997. Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley.
- van Baaren, E.S., Delsman, J.R., Karaoulis, M., Pauw, P.S., Vermaas, T., Bootsma, H., de Louw, P.G.B., Oude Essink, G.H.P., Dabekaussen, W., Gunnink, J.L., Dubelaar, W., Menkovic, A., Siemon, B., Steuer, A., Meyer, U., 2017. FRESHEM Zeeland - FRESH Salt groundwater distribution by Helicopter ElectroMagnetic survey in the Province of Zeeland. Deltares Rep. 1209220 141.

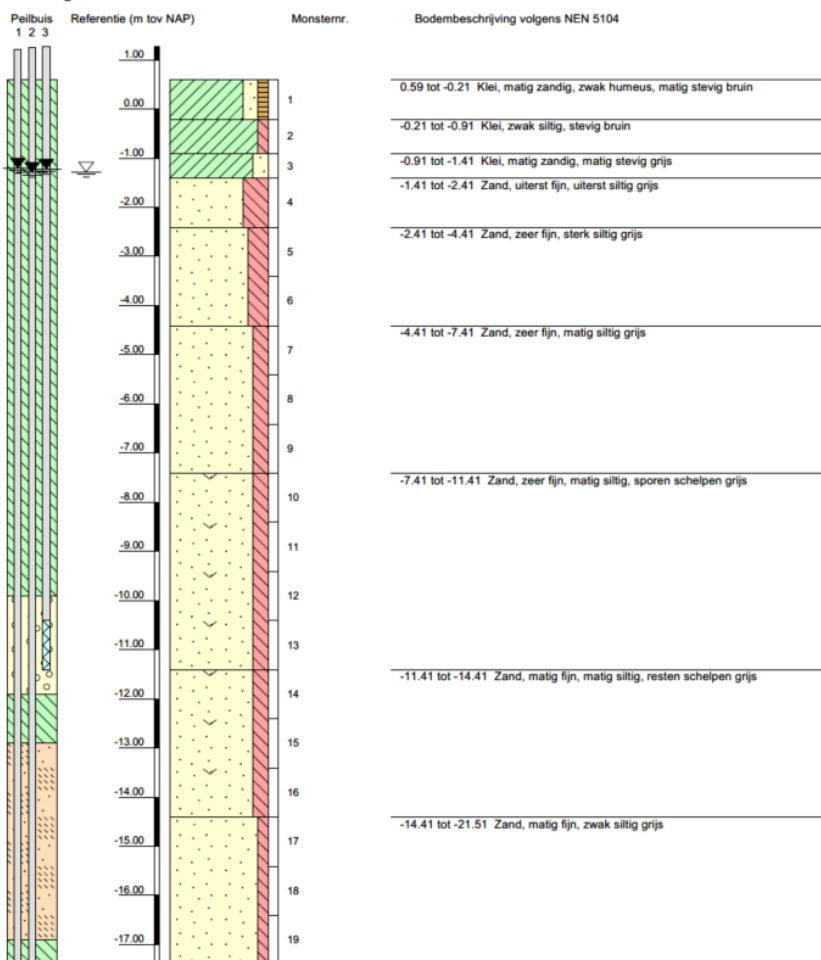
Bijlage III Boorstaten pulsboring (B1) en handboring (HB1)



Boring: B1

Veldclassificatie

Pagina 1 van 3



Algemene opmerking:

X: 62601.6	GWS (m tov NAP): -1.28	MV (m tov NAP): 0.59	Boorvoelstof:	
Y: 383855.1	GHG (m tov NAP):	bk PB1 (m tov NAP): 1.21	WS PB1 (m tov NAP): -1.21	Datum uitvoering: 14-05-2019
Coördinatenstelsel: RD	GLG (m tov NAP):	bk PB2 (m tov NAP): 1.24	WS PB2 (m tov NAP): -1.29	Boormeester: rh
		bk PB3 (m tov NAP): 1.28	WS PB3 (m tov NAP): -1.22	Geclassificeerd door: rh
		bk PB4 (m tov NAP):	WS PB4 (m tov NAP):	

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruijningen

9019-0185-000

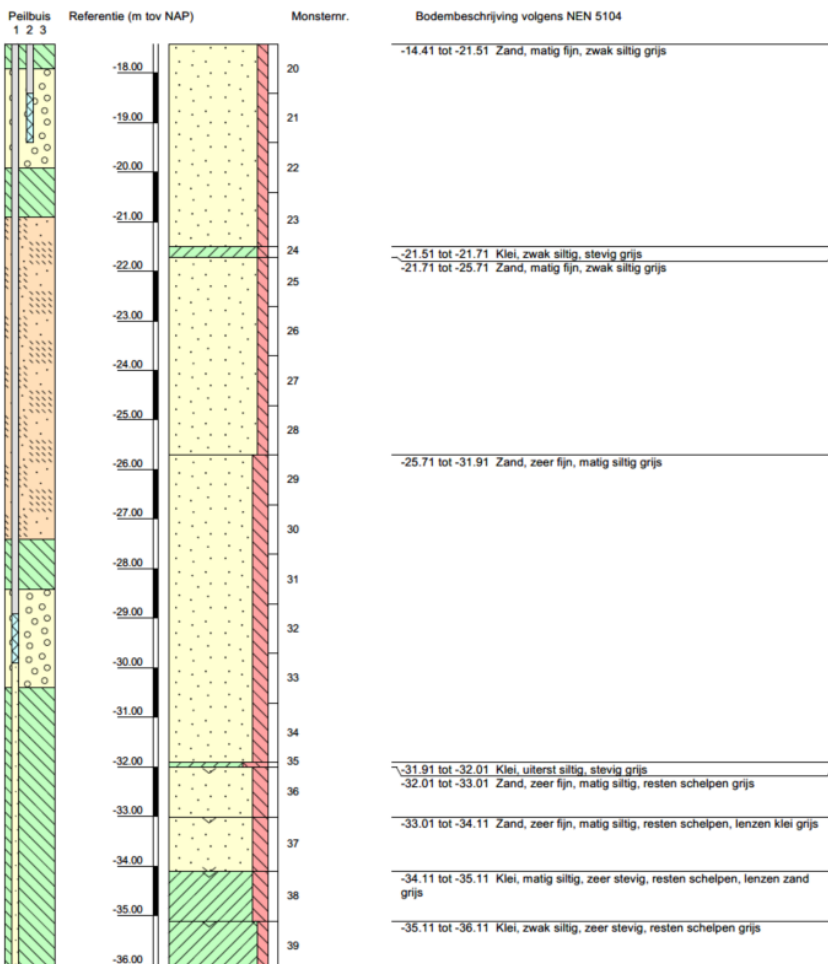
Versie 2017-07-01



Boring: B1

Veldclassificatie

Pagina 2 van 3



Algemene opmerking:

X: 62601.6	GWS (m tov NAP): -1.28	MV (m tov NAP): 0.59	Boorvloeistof:	
Y: 383855.1	GHG (m tov NAP):	bk PB1 (m tov NAP): 1.21	WS PB1 (m tov NAP): -1.21	Datum uitvoering: 14-05-2019
Coördinatenstelsel: RD	GLG (m tov NAP):	bk PB2 (m tov NAP): 1.24	WS PB2 (m tov NAP): -1.29	Boormeester: rh
		bk PB3 (m tov NAP): 1.28	WS PB3 (m tov NAP): -1.22	Geclassificeerd door: rh
		bk PB4 (m tov NAP):	WS PB4 (m tov NAP):	

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruijningen

9019-0185-000

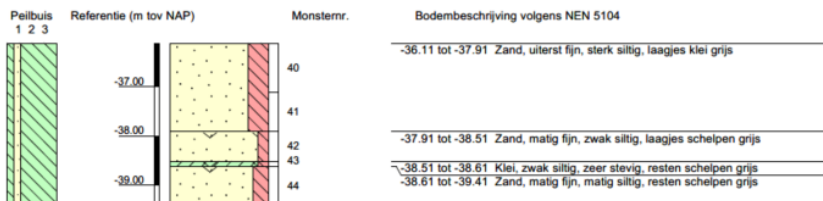
Versie 2017-07-01



Boring: B1

Veldclassificatie

Pagina 3 van 3



Algemene opmerking:

X: 62601.6
Y: 383855.1
Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): -1.28
GHG (m tov NAP):
GLG (m tov NAP):

MV (m tov NAP): 0.59
bk PB1 (m tov NAP): 1.21
bk PB2 (m tov NAP): 1.24
bk PB3 (m tov NAP): 1.28
bk PB4 (m tov NAP):

Boorvloeistof:
WS PB1 (m tov NAP): -1.21
WS PB2 (m tov NAP): -1.29
WS PB3 (m tov NAP): -1.22
WS PB4 (m tov NAP):

Datum uitvoering: 14-05-2019
Boormeester: rh
Geclassificeerd door: rh

Versie 2017-07-01

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruijningen

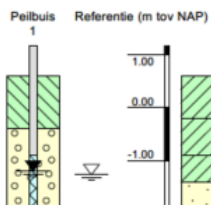
9019-0185-000



Boring: HB1

Veldclassificatie

Pagina 1 van 1



Monsternr. Bodembeschrijving volgens NEN 5104

0.60 tot -0.20	Klei, matig zandig, zwak humeus, matig stevig bruin
-0.20 tot -0.90	Klei, zwak siltig, stevig bruin
-0.90 tot -1.40	Klei, matig zandig, matig stevig grijs
-1.40 tot -1.90	Zand, uiterst fijn, uiterst siltig grijs

Algemene opmerking:

X: 62600.5	GWS (m tov NAP): -1.27	MV (m tov NAP): 0.60	Boorvoelstof:	Datum uitvoering: 14-05-2019
Y: 383854.0	GHG (m tov NAP):	bk PB1 (m tov NAP): 1.17	WS PB1 (m tov NAP): -1.20	Boormeester: rh
Coördinatenstelsel: RD	GLG (m tov NAP):	bk PB2 (m tov NAP):	WS PB2 (m tov NAP):	Geclassificeerd door: rh
		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

Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruijningen

9019-0185-000

Versie 2017-07-01

Bijlage IV Korrelverdelingen van geroerde steekmonsters 2 – 35 m-mv

FUGRO NL LAND B.V.

Veurse Achterweg 10
Postbus 63
2260 AB Leidschendam
T 070 3111333

RAPPORTAGE LABORATORIUMONDERZOEK

Project	Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruijningen	Opdrachtnummer	9019-0185-000
Opdrachtgever	KWR Watercycle Research Institute	Datum rapport	21-06-2019
Contactpersoon	de heer MSc T. van Dooren	Ontvangst monsters	20-05-2019
Monstername	Uitgevoerd door Fugro NL Land B.V. Afdeling Grondonderzoek; d.d. 14-05-2019		
Dit rapport bevat de resultaten van het in-situ- en/of laboratoriumonderzoek dat ten behoeve van bovengenoemd project is uitgevoerd. Het onderzoek is uitgevoerd door het laboratorium van Fugro NL Land B.V. Leidschendam. Eventueel uitbesteed onderzoek is duidelijk als zodanig gekenmerkt.			

Inhoudsopgave	Pagina		
Voorblad onderzoeksrapport	1		
Boorstaat	2	t/m	3
Korrelverdelingsdiagram	4	t/m	10
Monsterverzicht	11		

OPMERKINGEN:

Tenzij anders aangegeven hebben verwijzingen naar RAW proefnummers betrekking op de Standaard RAW Bepalingen 2015.

De met "Q" gemerkte verrichtingen zijn geaccrediteerd door RvA (L034).

De reproduceerbaarheid van de metingen en / of proeven voldoet aan de gestelde waarde in de desbetreffende norm of in het proefvoorschrift. Gegevens over de meetonzekerheid zijn op aanvraag verkrijgbaar.

De resultaten in dit rapport hebben alleen betrekking op de geteste en/of bemonsterde monsters/objecten zoals ontvangen.

Het rapport mag niet anders dan in zijn totaliteit worden gereproduceerd.

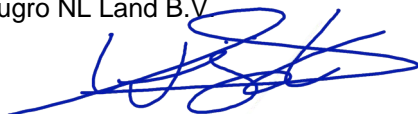
9019-0185-000.B01.doc

Wanneer u naar aanleiding van de resultaten van dit rapport nog vragen heeft verzoeken wij u contact op te nemen met ondergetekende.

Wij vertrouwen erop u hiermee van dienst te zijn geweest en uw opdracht naar wens te hebben uitgevoerd.

Met vriendelijke groet,

Fugro NL Land B.V.



ing. W.M.L. van der Weijst

Team Manager Geotechnical Lab Testing Netherlands

Boring: B1

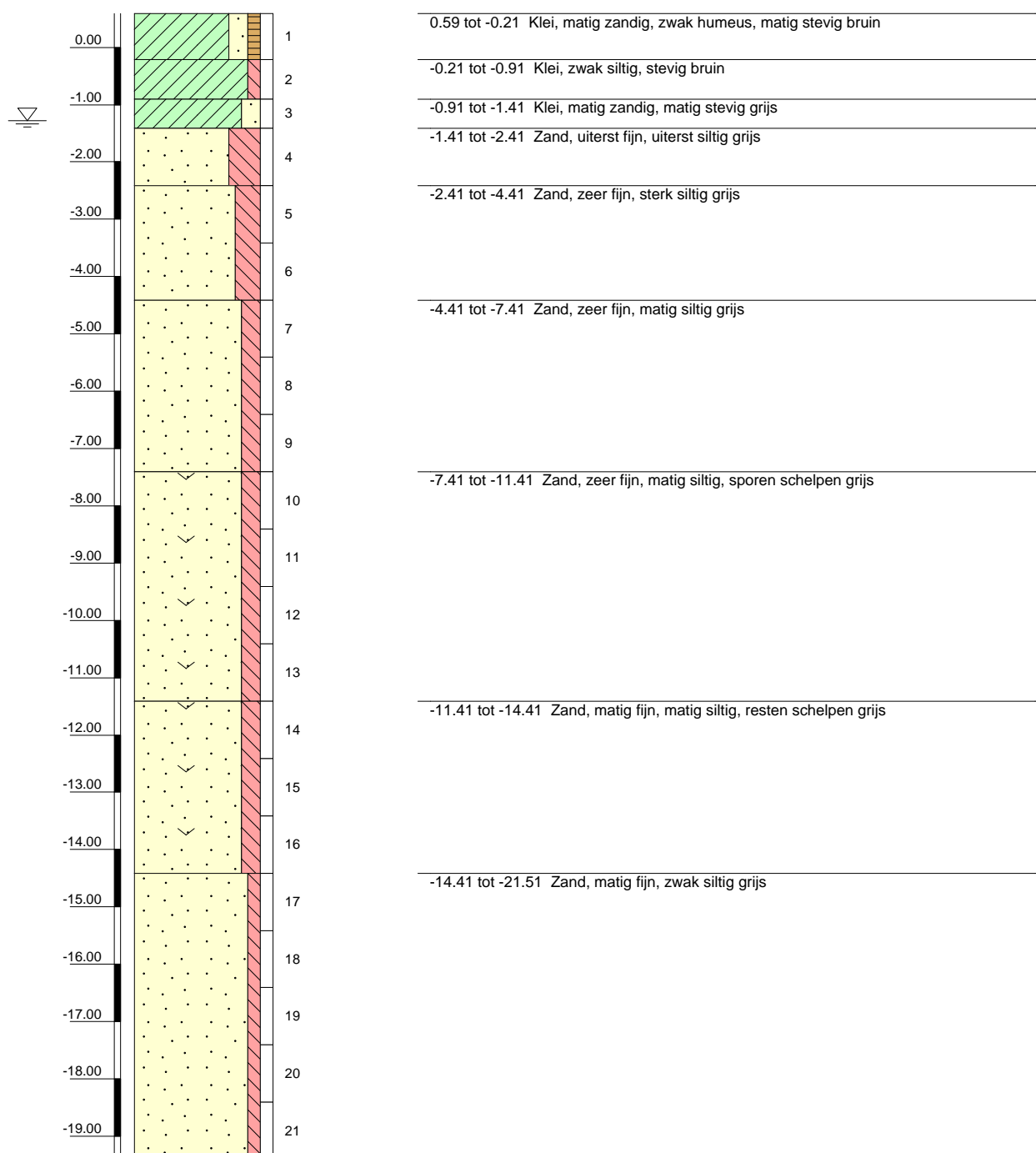
Veldclassificatie

Pagina 1 van 2

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



Algemene opmerking:

X: 62601.6

Y: 383855.1

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): -1.28

MV (m tov NAP): 0.59

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof: 500 l.

Datum uitvoering: 14-05-2019

Boormeester: rh

Geclassificeerd door: rh

Boring: B1

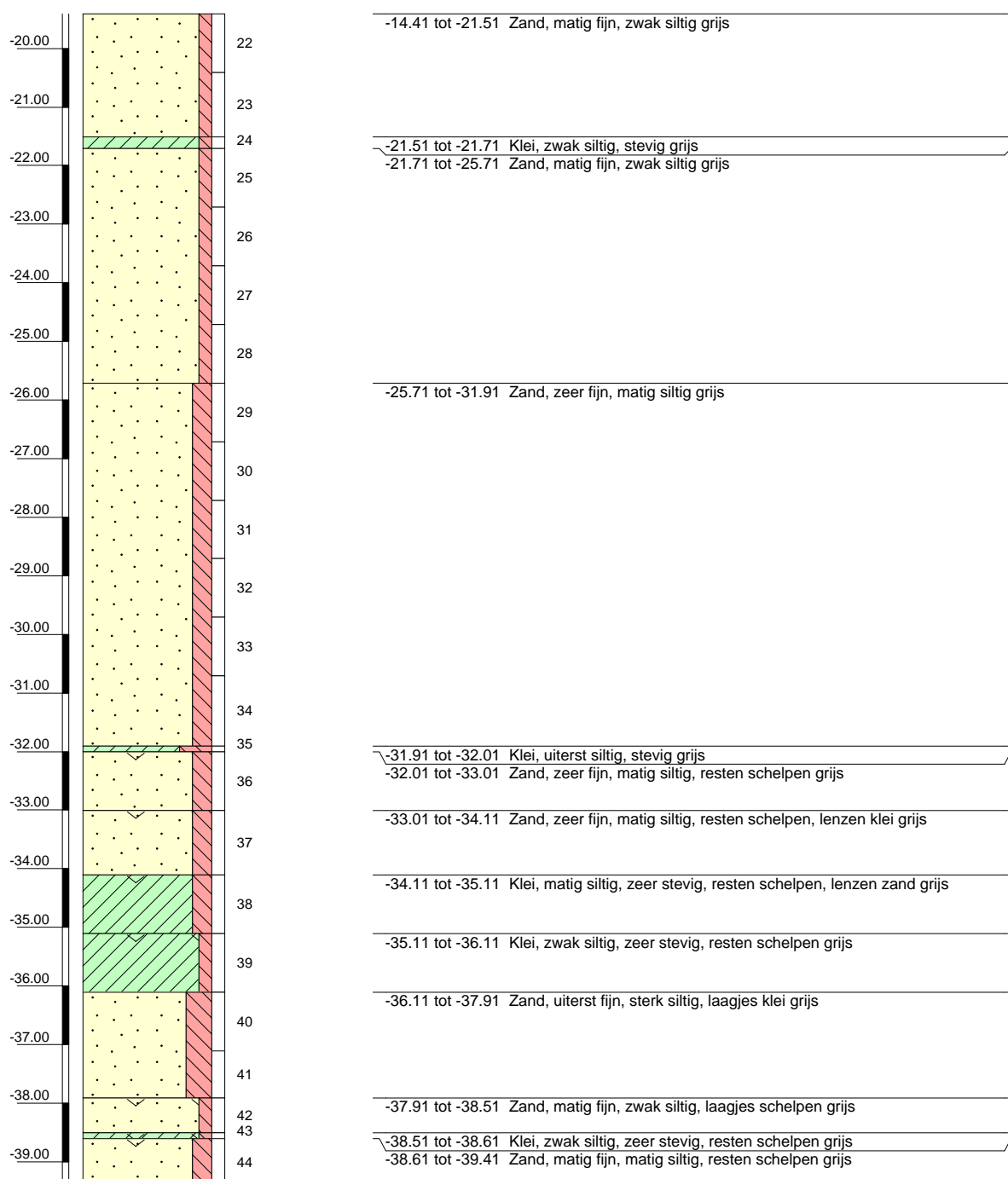
Veldclassificatie

Pagina 2 van 2

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



Algemene opmerking:

X: 62601.6

Y: 383855.1

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): -1.28

MV (m tov NAP): 0.59

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof: 500 l.

Datum uitvoering: 14-05-2019

Boormeester: rh

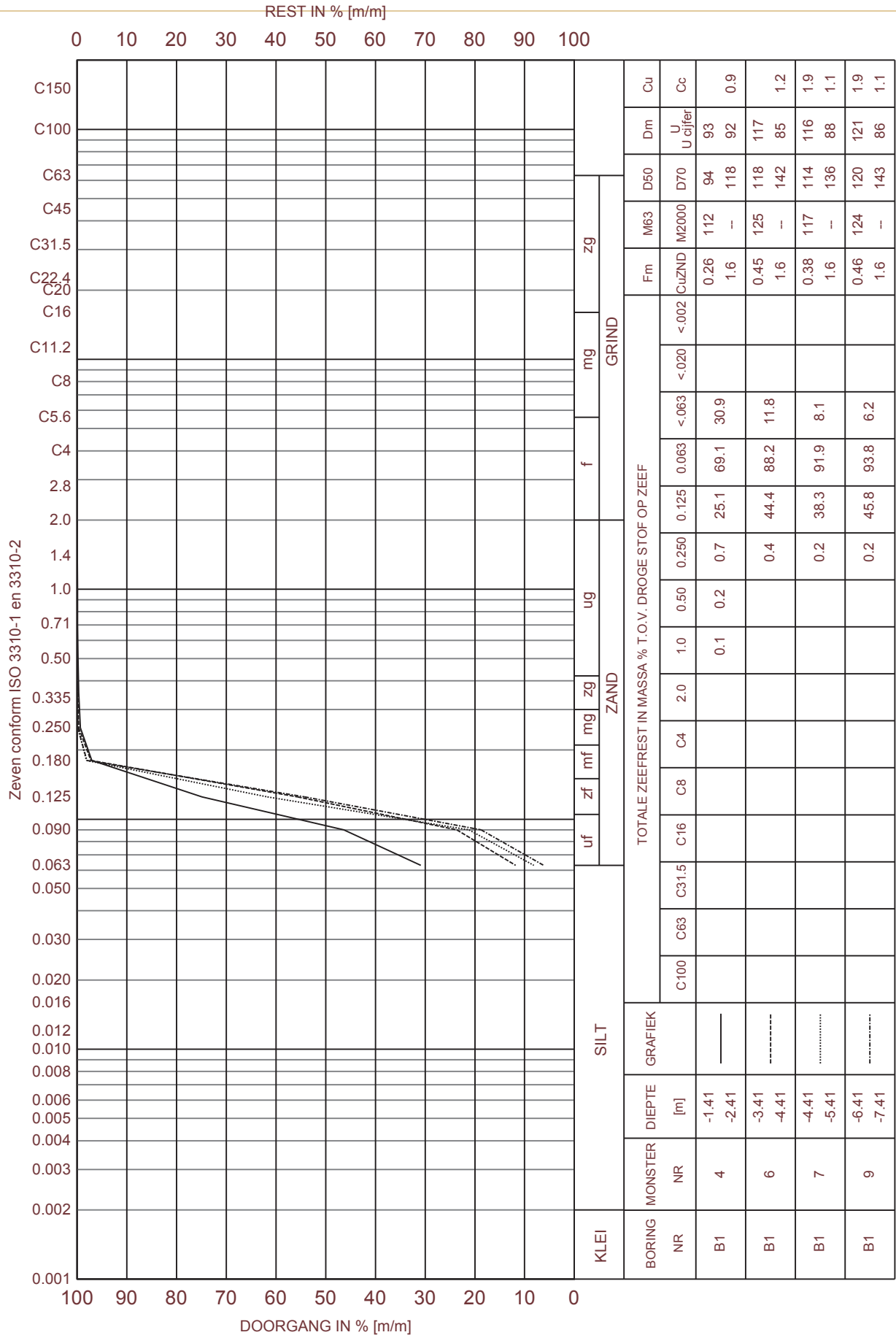
Geclassificeerd door: rh

Versie 2017-07-01

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruijningen

9019-0185-000

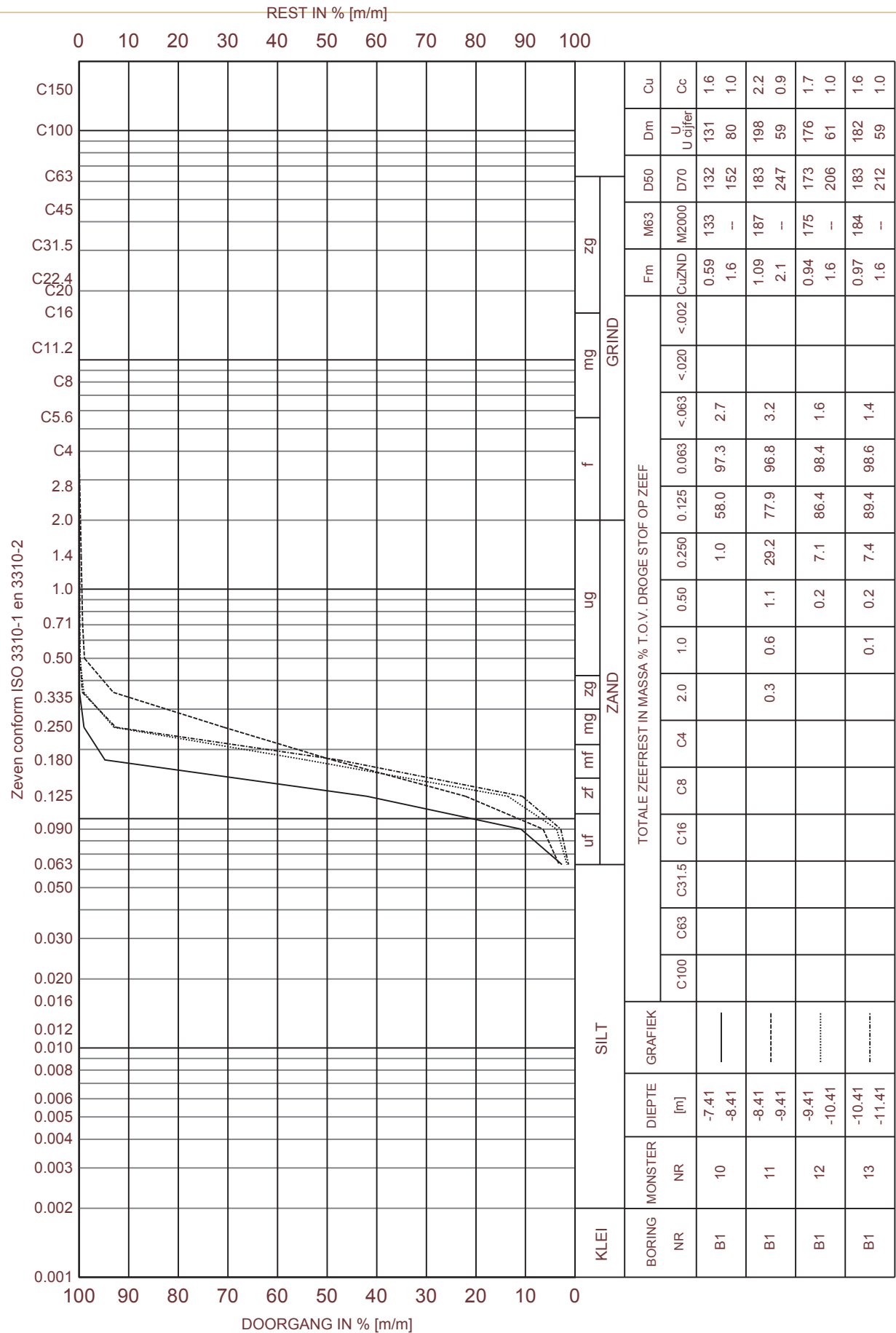


Opm.: Diepte is in meters tov. N.A.P.

KORRELVERDELINGSDIAGRAM

Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruiningen

Opdr. 9019-0185-000

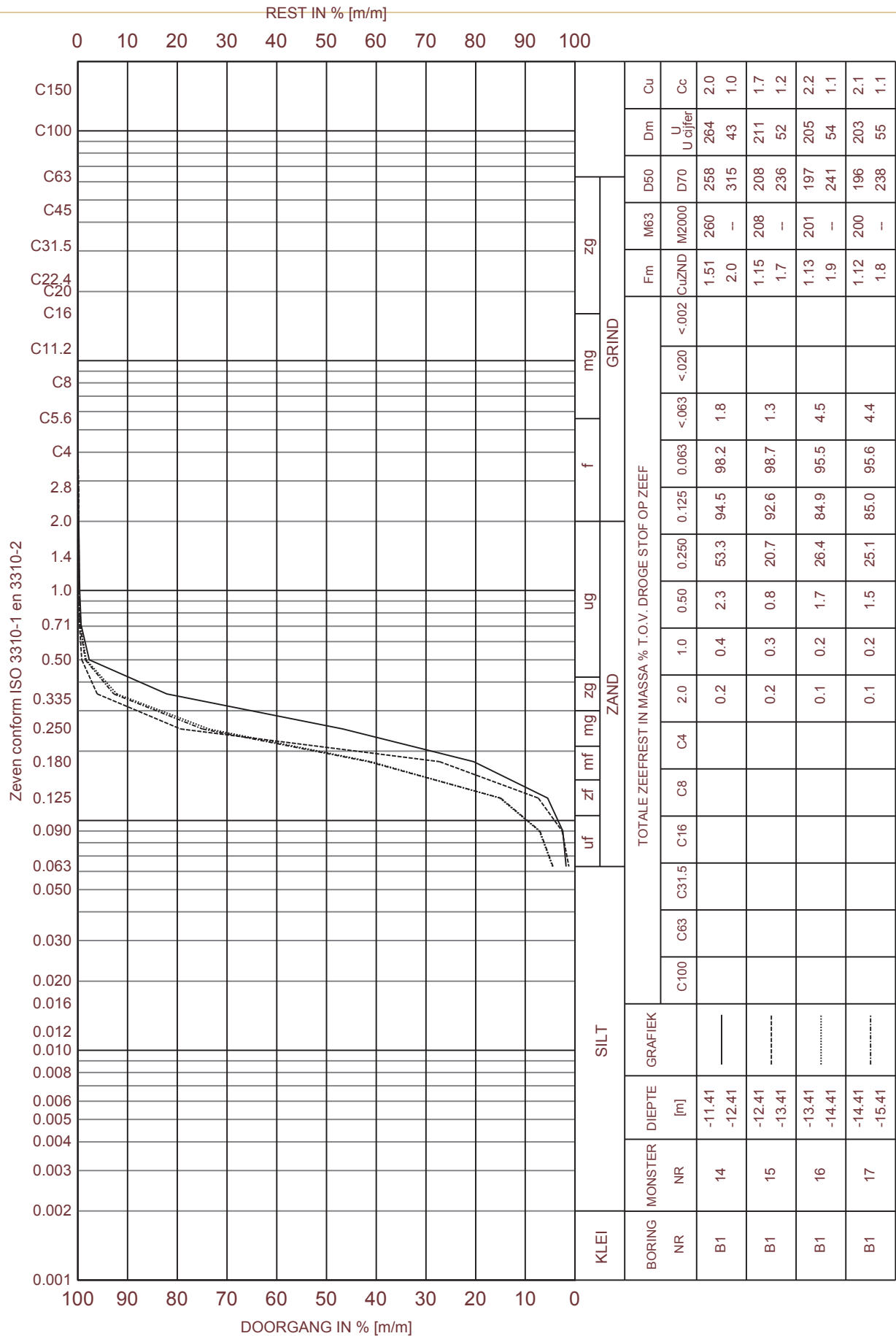


Opm.: Diepte is in meters tov. N.A.P.

KORRELVERDELINGSDIAGRAM

Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruiningen

Opdr. 9019-0185-000



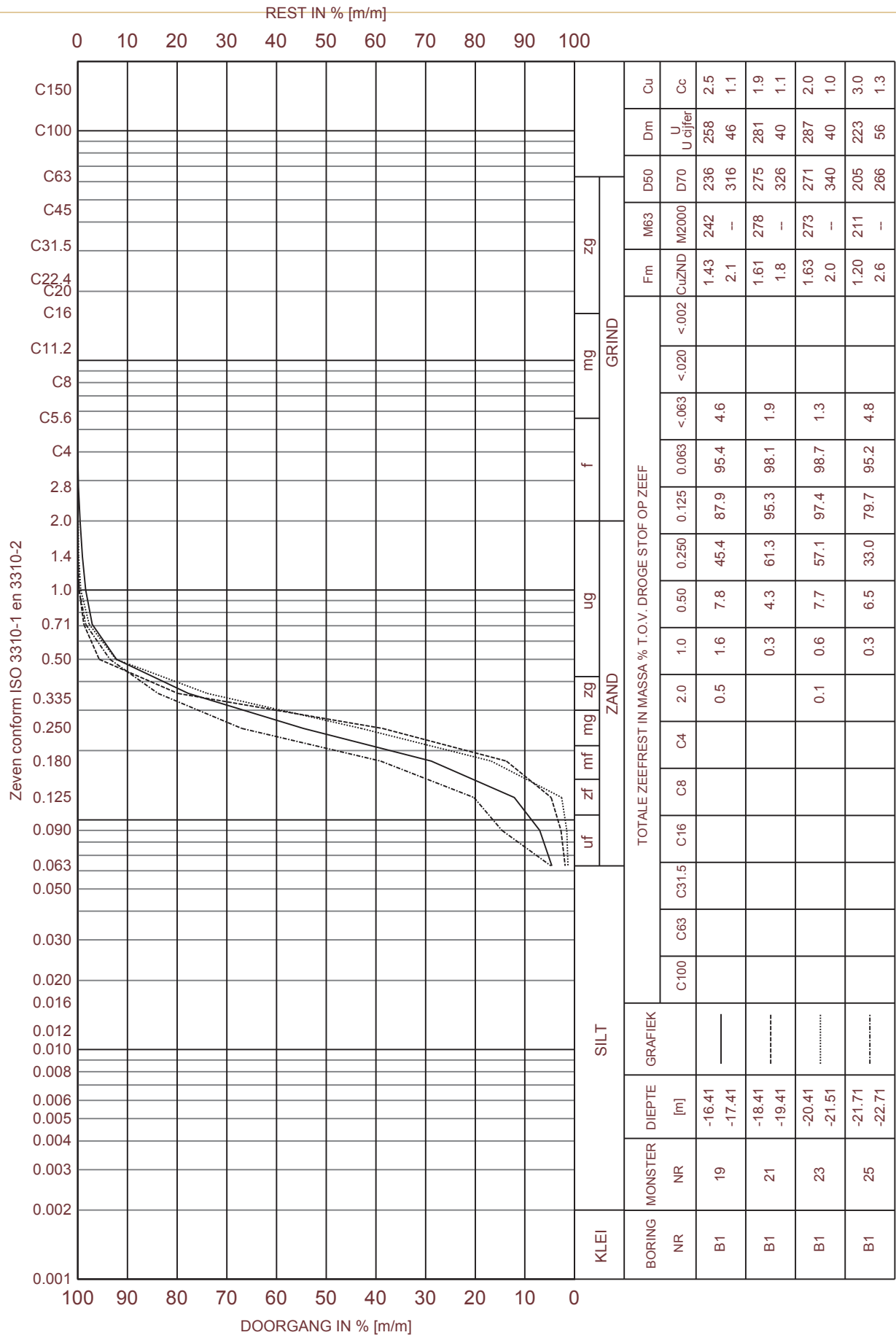
Opm.: Diepte is in meters tov. N.A.P.

LAB-Suite - Particle Size Distribution 1.2.2.103 Gemaakt door: Laborant Leidschendam ddr: 2019-06-21 09:57:36

KORRELVERDELINGSDIAGRAM

Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruiningen

Opdr. 9019-0185-000

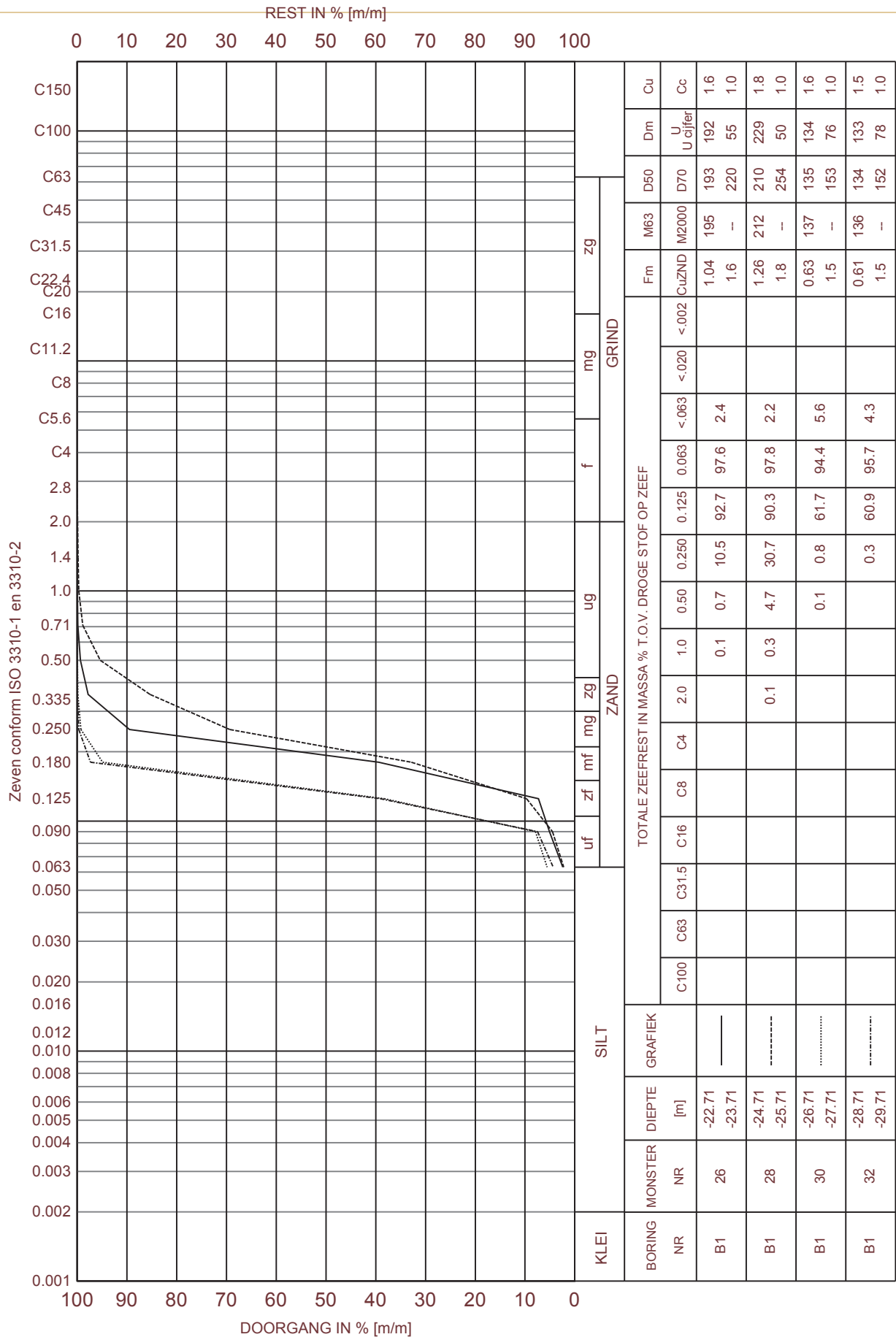


Opm.: Diepte is in meters tov. N.A.P.

KORRELVERDELINGSDIAGRAM

Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruiningen

Opdr. 9019-0185-000



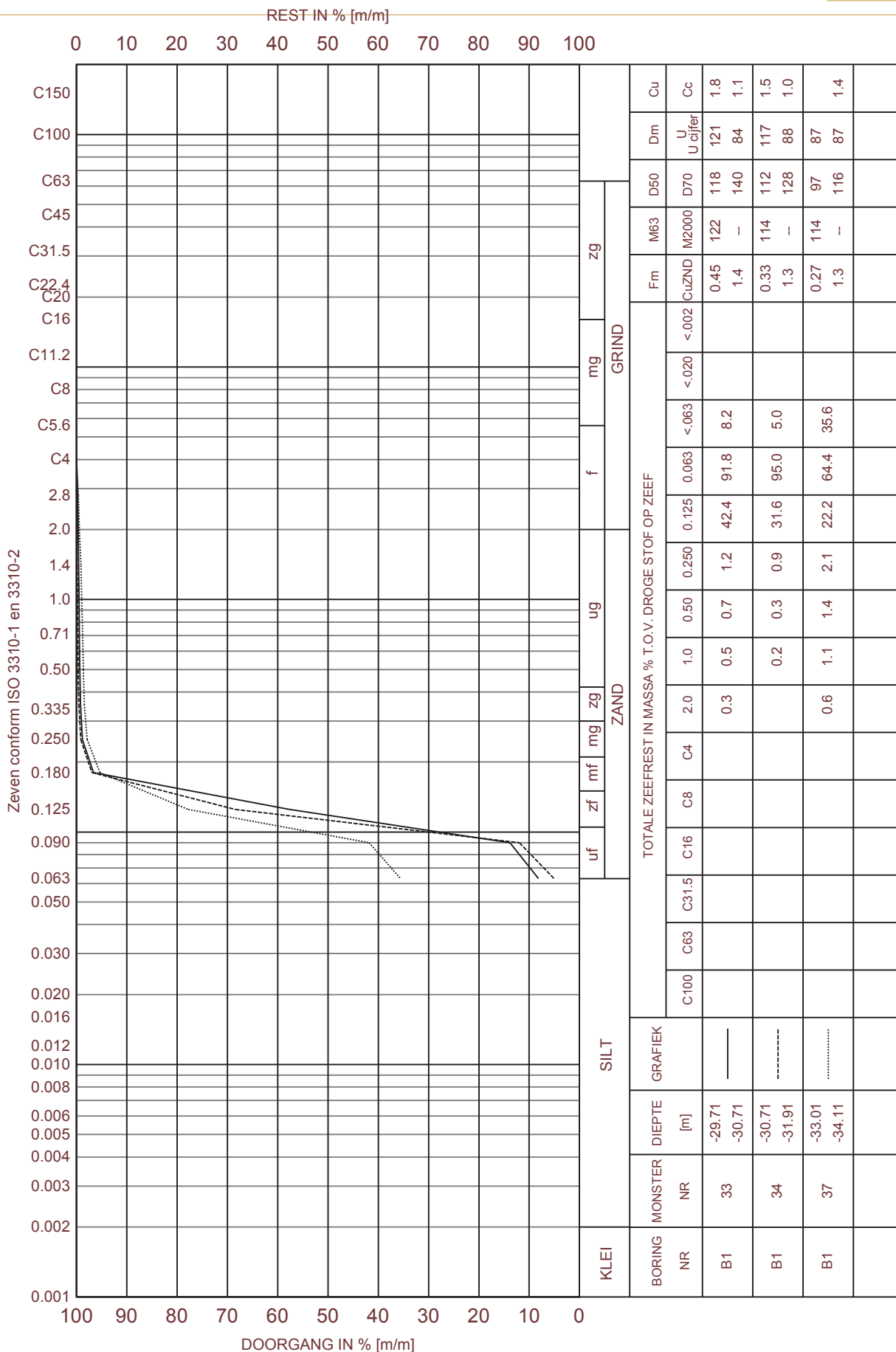
Opm.: Diepte is in meters tov. N.A.P.

LAB-Stuie - Particle Size Distribution 1.22.103 Gemaakt door: Laborant Leidschendam d.d: 2019-06-21 09:57:36

KORRELVERDELINGSDIAGRAM

Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruiningen

Opdr. 9019-0185-000



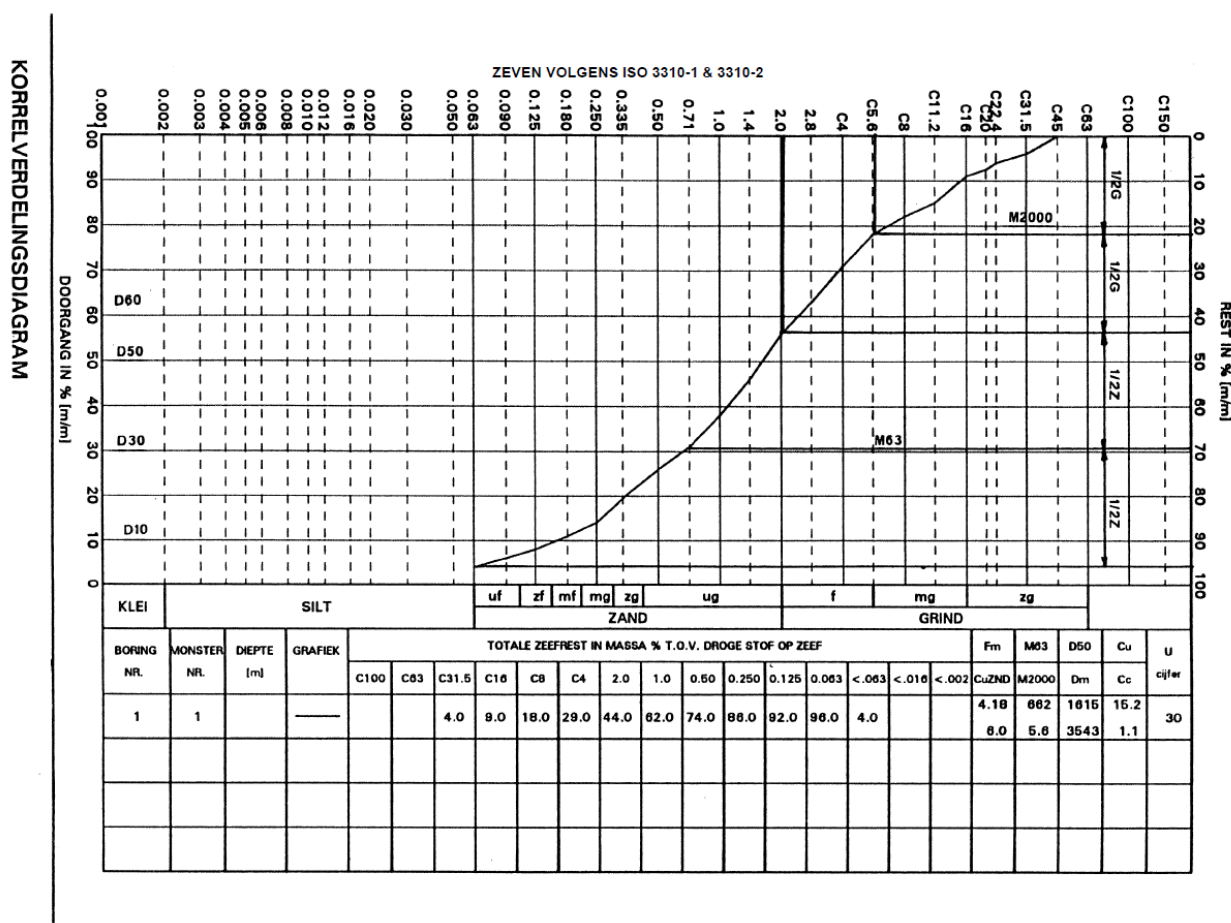
Opm.: Diepte is in meters tov. N.A.P.

KORRELVERDELINGSDIAGRAM

Opdr. 9019-0185-000

Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruiningen

VERKLARING PARAMETERS UIT KORRELVERDELING



- Fm (fijnheidsgetal) : som van de massapercentages op de zeven: C63, C31.5, C16, C8, C4, 2 mm, 1 mm, 500 µm, 250 µm en 125 µm gedeeld door 100
- M63 (zandmediaan) : gemiddelde korrelgrootte van de zandfractie in µm, waarbij 63 µm staat voor de ondergrens en 2 mm voor de bovengrens
- M2000 (grindmediaan) : gemiddelde korrelgrootte van de grindfractie in mm, waarbij 2 mm staat voor de ondergrens en 63 mm voor de bovengrens
- D50 : de gemiddelde korrelgrootte van al het materiaal in µm
- Dm : de som van de zeefdoorgang in µm, per massapercentage in stappen van 10 (10 t/m 90%), gedeeld door 9
- Cu (gelijkmatigheids coëfficiënt) : D60/D10 is het quotiënt van de afmetingen van de denkbeeldige zeefopeningen, waardoor 60% en 10% van al het materiaal doorgaat
- CuZND (gelijkmatigheids coëfficiënt van materiaal 63 µm / < 2 mm) : D60/D10 is het quotiënt van de afmetingen van de denkbeeldige zeefopeningen, waardoor 60% en 10% van het materiaal tussen 63 µm en 2 mm doorgaat
- Cc (krommings coëfficiënt) : $[D_{30}^2 / (D_{60} \times D_{10})]$ is het quotiënt van het kwadraat van de denkbeeldige zeefopeningen, waardoor 30% van al het materiaal doorgaat en het product van de denkbeeldige zeefopeningen, waardoor 60% en 10% van al het materiaal doorgaat
- U-cijfer : specifieke oppervlak zandfractie, berekend als:

$$\frac{\sum_n (m_1 \times u_1) + (m_2 \times u_2) \dots (m_n \times u_n)}{\text{massa zandfractie}}$$

waarin:

- $m^1, m^2, \text{ etc.} =$ massa subfractie
- $u^1, u^2, \text{ etc.} =$ specifiek oppervlak subfractie

MONSTEROVERZICHT

ALGEMEEN			S:
Project	Onderzoek ondergrondse waterberging te Kruiningen	Opdrachtnummer	9019-0185-000
Opdrachtgever	KWR Watercycle Research Institute	Datum rapport	21-06-2019
te	Nieuwegein	Vervaldatum	12-08-2019
Contactpersoon	de heer MSc T. van Dooren	Datum ontvangst monsters	20-05-2019
MONSTEROVERZICHT			
Volgnummer	Type materiaal/omschrijving	Aantal/ Hoeveelheid	Monsternummer(s)
B1	Zakjes	44	1 – 44

Bovenstaand is een overzicht gegeven van de monsters, die in het kader van onderhavig onderzoek zijn onderzocht en zich thans nog bevinden in het Laboratorium voor Infra- en Geotechniek. Met "vervaldatum" is de datum aangegeven waarna de monsters, bij geen tegenbericht uwerzijds, uit de monsteropslag zullen worden verwijderd en vernietigd. Wanneer u (een deel van) bovengenoemde monsters na de vervaldatum (eventueel onder geconditioneerde omstandigheden) tegen betaling wenst te laten bewaren, verzoeken wij u dit formulier uiterlijk 1 week vóór de vervaldatum aan ons te retourneren.

Ondergetekende verzoekt de monsters te bewaren tot:		
Datum	Naam	Handtekening
Opgesteld door: JKK		Gecontroleerd: WMW

Bijlage V Boorgatmeting

KWR Watercycle Research Institute
Teun van Dooren
Postbus 1072
3430 BB NIEUWEGEIN

Datum	Ons kenmerk	Aantal pagina's
6 juni 2019	11203637-014-BGS-0001	3
Contactpersoon	Doorkiesnummer	E-mail
Pieter Pauw	+31(0)88 335 7868	Pieter.Pauw@deltares.nl

Onderwerp

Resultaten EM-inductie meting Polderweg, Kruiningen (402613/001/003 DRAINSTORE)

Geachte heer van Dooren,

Op 20 mei 2019 heeft Deltares op uw verzoek (uw referentie '402613/001/003 DRAINSTORE') een geofysische boorgatmeting uitgevoerd aan de Polderweg in Kruiningen (Zeeland). De boorgatmeting vond plaats in een peilbuis met een diepte van 40 m beneden maaiveld (mv). Het boorgat is gemaakt met de pulsboor methode. De Rijksdriehoekcoördinaten van de peilbuis zijn X: 62601.1 m, Y: 383855.1 m. Het maaiveld heeft een hoogte van 0.59 m NAP. De resultaten van de boorgatmeting geven inzicht in de opbouw van de ondergrond en de kwaliteit van het grondwater en zullen worden gebruikt in het kader van een onderzoek naar de mogelijkheden voor kunstmatige infiltratie en winning van zoet grondwater op deze locatie. Door herhalingsmetingen uit te voeren kunnen veranderingen in de kwaliteit van het grondwater gevolgd worden.

Methode

Voor de boorgatmeting is gebruik gemaakt van een elektromagnetische (EM) inductie sonde van Century Geophysical LCC. Met deze sonde zijn de volgende metingen verricht:

- Gamma (*GR*; *Gamma Ray*) meting. Met deze meting wordt de natuurlijke gammastraling van de ondergrond gemeten. Klei zendt over het algemeen meer gammastraling uit dan zand. Voor de *GR* resultaten is de gestandaardiseerde eenheid gAPI (gamma-ray American Petroleum Industry) gehanteerd. Een hoge gAPI waarde duidt op de aanwezigheid van klei, een lage gAPI waarde duidt op zand. Aanvulklei en het mineraal glauconiet hebben doorgaans ook invloed op de *GR* waarden.
- EM-inductie meting. In een spoel in de sonde wordt een primair EM veld opgewekt. Door geleiding in de ondergrond induceert het primaire EM veld een secundair EM veld, dat in amplitude en fase verschilt van het primaire veld. Aan de hand van deze verschillen kan de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond (EC_{bulk}) worden afgeleid. De EC_{bulk} wordt zowel door de lithologie als door de waterkwaliteit beïnvloed; in zout grondwater is de EC_{bulk} hoger dan in zoet grondwater, in klei is de EC_{bulk} doorgaans hoger dan in grof zand.

Datum
6 juni 2019

Ons kenmerk
11203637-014-BGS-0001

Pagina
2 van 3

Resultaten

Wijze van weergave

In de bijlage van dit briefrapport vindt u de resultaten van de boorgatmeting, de lithologische beschrijving van het boorbedrijf, het peilbuisontwerp en de aanvulstaat van het boorgat. Naast de *GR* en EC_{bulk} metingen is ook de elektrische weerstand van de ondergrond ($\rho_{bulk} = 1/EC_{bulk}$) weergegeven, om variaties in het lage bereik van de EC_{bulk} beter zichtbaar te maken.

Voor de lithologische beschrijving van het boorbedrijf zijn de lithoklassen 'uiterst fijn zand', 'zeer fijn zand' en 'matig fijn zand' weergegeven met dezelfde kleur ('Fijn zand'), maar met een nadere specificatie ernaast. De lithoklasse 'klei' is weergegeven als 'Klei'. De kleur, textuur en de bijmenging (bijvoorbeeld van klei, schelpen of veen/houtresten) in de boorbeschrijving van het boorbedrijf zijn niet weergegeven in de bijlage.

In de uitwerking van de aanvulstaat is een afdichting met zwelklei weergegeven als 'kleiafdichting', uitgekomen of ingestorte grond als 'aanvulgrond' en de omstorting van het filter als 'filterzand'.

Interpretatie van de resultaten

Hoewel kleiafdichtingen normaliter een vrij duidelijke invloed hebben op de *GR* waarden, lijkt de invloed op deze locatie beperkt. Het is onduidelijk wat hier de reden van is. Van 0 – 22 m -mv zien we een fining-up van de korrelgrootte en een toename van de *GR* waarden van beneden naar boven. De bovenste 2 meter van de ondergrond bestaat uit klei, met daaronder een meter uiterst fijn zand. Hier zijn de *GR* waarden duidelijk hoger dan daaronder.

Tussen 22.1 en 22.3 m -mv bevindt zich een dunne kleilaag. Deze kleilaag is niet zichtbaar in de gammameting. Wel nemen vanaf deze diepte de *GR* waarden toe, wat duidt op een hoger kleigehalte in het sediment en een afname van de korrelgrootte.

Op 32.8 m -mv nemen de *GR* waarden duidelijk verder toe. Op deze diepte bevindt zich een dunne kleilaag. Daaronder bevindt zich tot 34.5 m zeer fijn zand. De hoge *GR* waarden tussen 34.5 en 37 m -mv komen overeen met de kleilaag op deze diepte. Vanwege de lengte van de sonde zijn dieper dan 37 m -mv geen gammametingen verricht. In de boorbeschrijving neemt de korrelgrootte onder de kleilaag (beneden 37 m -mv) over het algemeen weer toe (uiterst fijn tot zeer fijn zand).

De dunne kleilaag tussen 22.1 en 22.3 m -mv komt ongeveer overeen met de grens tussen de bovenliggende Naaldwijk en Eem formaties en de onderliggende Waalre formatie. De dunne kleilaag op 32.8 m -mv markeert ongeveer de overgang van de bovenliggende Waalre formatie naar de Oosterhout formatie. In de Oosterhout formatie kan het mineraal glauconiet voorkomen, wat normaliter zorgt voor hogere *GR* waarden. De toename van de *GR* waarden vanaf 32.8 m -mv duidt op de aanwezigheid van glauconiet.

De EC_{bulk} en ρ_{bulk} resultaten worden vanwege de afstelling van de spoelen niet significant beïnvloed door de aanvulling. Bovenin is de kleilaag te herkennen aan de relatief lage ρ_{bulk} waarden. In de bovenste 1.6 m is de ρ_{bulk} iets hoger dan tussen 1.6 en 2.5 m -mv. Dit hangt samen met de onverzadigde zone; de grondwaterstand bevindt zich op ongeveer 1.9 m -mv. Vanaf 2.5 m -mv neemt de ρ_{bulk} toe. Dit hangt samen met een toename van de korrelgrootte en een afname van het kleigehalte.

Datum
6 juni 2019

Ons kenmerk
11203637-014-BGS-0001

Pagina
3 van 3

Tussen 11.5 en 12.5 m is een opvallende afname van de ρ_{bulk} te zien, zonder een duidelijke toename van de GR waarden. Het is onduidelijk waar dit mee samenhangt. Een toename van de porositeit (veen of schelpenlaag met een hoge poriegehalte) behoort tot de mogelijkheden. Onder deze laag neem de ρ_{bulk} af tot $80 \Omega m$ tot 17.5 m -mv, waarbij de GR iets hoger zijn dan vlak daarboven. Beneden 17.5 m -mv nemen de GR waarden sterker af en de ρ_{bulk} ook. Deze verandering duidt op een verandering van de grondwaterkwaliteit (toename van het zoutgehalte van het grondwater).

In het zoute grondwater wordt een maximale EC_{bulk} waarde bereikt van ruim 500 mS/m. Dit zoute water betreft Holoceen transgressiewater. Onder de dunne kleilaag die het begin van de Oosterhout formatie markeert neemt de EC_{bulk} geleidelijk af in het zeer fijne zand. In de klei is de afname vervolgens sterker. Dit wijst ook weer op een verandering van de grondwaterkwaliteit (afname van het zoutgehalte). In de Oosterhout formatie is het poriewater dus zoeter dan in de Waalre formatie. Zeer waarschijnlijk gaat het hier om pre-Holoceen grondwater.

Filterstelling en aanvulstaat

Volgens de aanvulstaat zijn kleiafdichtingen aangebracht om kortsluiting tussen de filters van de peilbuizen te voorkomen tijdens het bemonsteren, en om de natuurlijke kleilagen af te dichten. De filters van de drie peilbuizen zijn geplaatst in het zoete grondwater (ondiepste filter van 11 tot 12 m -mv), brakke grondwater (van 19 tot 20 m -mv) en het zoute grondwater (van 29.5 tot 30.5 m -mv). Onderaan de basis van het diepste filter reikt de peilbuis tot 40 m -mv, om de EM-inductie meting in dit bereik mogelijk te maken.

Nadere informatie

Dit briefrapport is opgesteld door Pieter Pauw. Voor nadere vragen en/of opmerkingen kunt u telefonisch contact opnemen met hem opnemen via 06 5498 6235. De review van dit briefrapport is uitgevoerd door Pieter Doornenbal.

Met vriendelijke groet,



drs. M. Blauw
Afdelingshoofd Toegepaste geologie en geofysica
Unit Bodem- en Grondwatersystemen

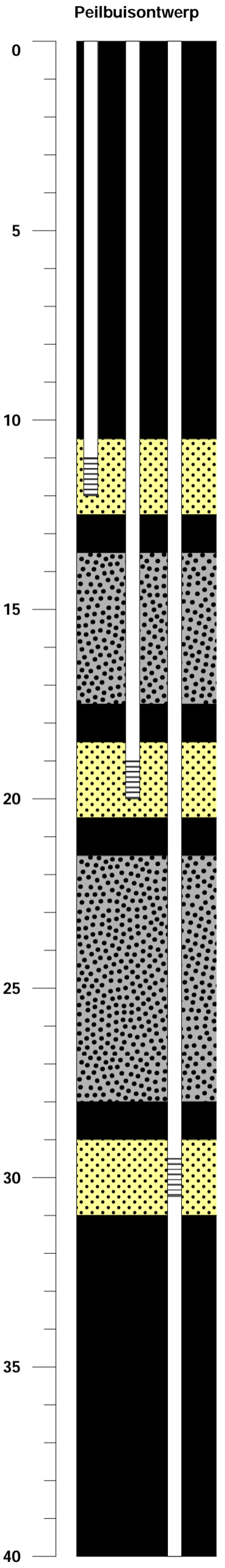
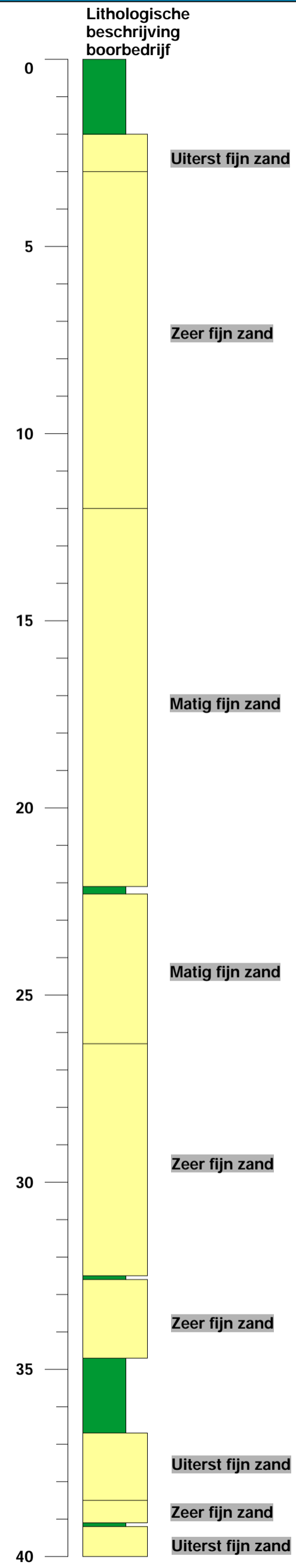
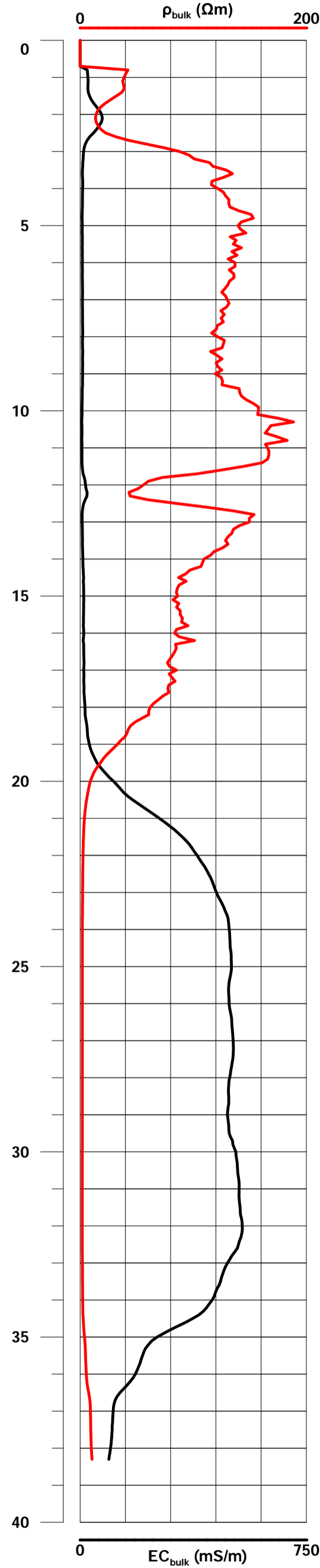
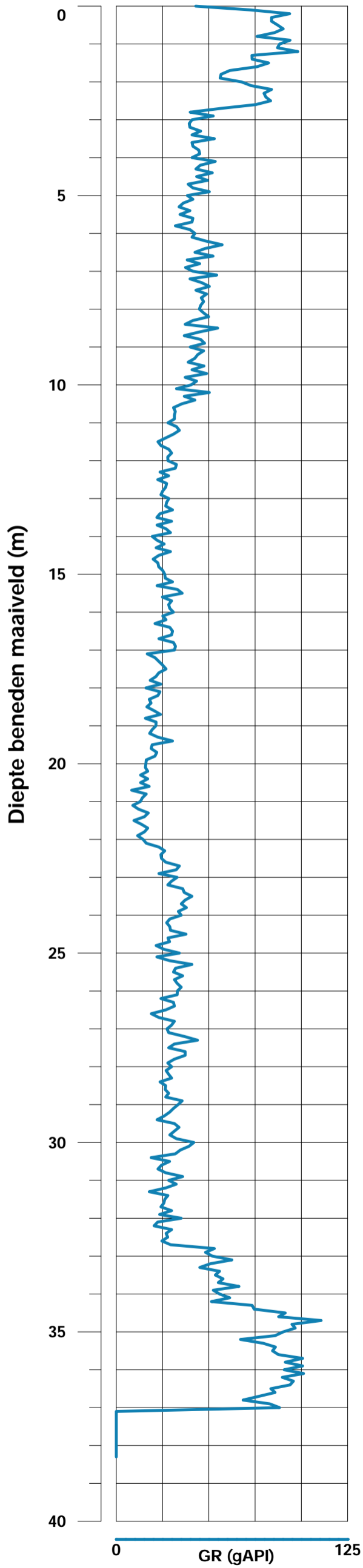
Bijlage: 1



Bijlage

Plaatsnaam: Kruijningen
Straatnaam: Polderweg
RD - coördinaten: X: 62601.1, Y: 383855.1
Maaiveldhoogte: 0.59 m NAP
Datum: 20-05-2019

Opdrachtgever: KWR Watercycle Institute
Boorbedrijf: Fugro
Naam put: B1
Boormethode: Pulsboren
Diameter boorgat: -



- Legenda lithologie**
- Klei
 - Fijn zand
- Legenda putontwerp**
- Aanvulgrond
 - Kleiafdichting
 - Filterzand
 - Stijgbuis
 - Filterbuis

Bijlage VI Methode voor berekenen drainafstand

Voor de bepaling van de benodigde afstand tussen de drainagebuizen is gebruik gemaakt van de formule van Hooghoudt, aangepast voor situaties met subirrigatie (Van Bakel, 2013):

$$L = \sqrt{\frac{8k_2dm_u + 8k_1(h_p - m_u)m_u + 4k_1m_u^2}{q_i}}; m_u < h_p \quad (0.1)$$

met (zie Figuur I-6):

L = drainafstand [m]

q_i = infiltratie-intensiteit [m/d]

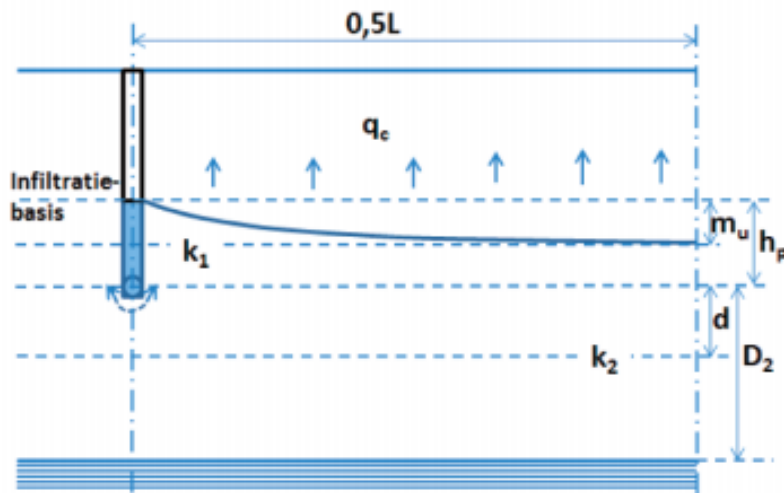
h_p = peilopzet [m]

m_u = uitholling [m]

k_1 en k_2 = verzadigde horizontale doorlatendheid respectievelijk boven en onder drainniveau [m/d]

d = dikte van de equivalentlaag [m]

In de theorie van Hooghoudt voor stroming naar drains door een doorlatende ondergrond, wordt met de radiale weerstand nabij de drains rekening gehouden door de dikte van de aquifer D_2 aan te passen naar de dikte van de equivalentlaag d . d is berekend uit L , D_2 en de straal van de drainagebuizen r [m] volgens Van der Molen & Wesseling (1991).



Afbeelding 3: Schematische voorstelling van 'Hooghoudt' voor subinfiltratie.

Figuur 8-1: Schematische voorstelling van de formule van Hooghoudt voor subirrigatie (uit Van Bakel (2013))

Voor de bepaling van de dikte van de equivalentlaag (d) is de volgende formule opgenomen in het Cultuurtechnisch vademecum (Cultuurtechnische vereniging, 1988):

$$d = \frac{D}{1 + \left(\frac{8D}{\pi L}\right) \ln\left(\frac{D}{\pi r}\right)}$$

Waarin D de diepte (in meters) is van de ondoorlatende laag beneden de draandiepte en r de straal (in meters) van de drain. Met behulp van de formule voor d en voor L is iteratief bepaald wat de drainafstand moet zijn.

Bijlage VII Bovenaanzichten ontwerp

Drainstore: Puttenveld



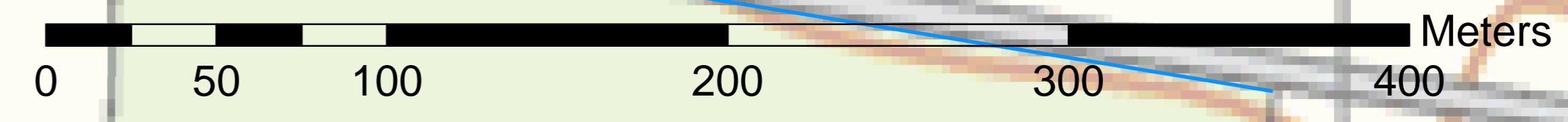
Drainstore: Overstort en ontluchting



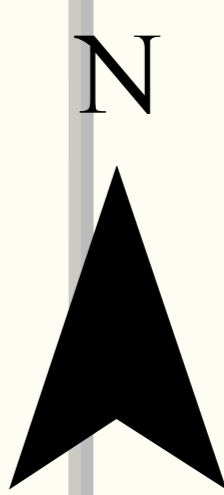
Perceel/peilvak	min. overstort p.u.
P1	58
P2a	40
P2b	35
P3a	60
P3b	88
P3c	69
P4	117
Totaal_Meulwaeter	467

Legenda

- Waterruimte
- Drainputten_peilvak
- 700AC_Transportleiding
- 500AC_Transportleiding
- Watergangen
- Leidingstraat
- Overstortleiding
- Ontluchting



1:1.500 Papiermaat: A1



Drainstore: Leidingwerk van/naar drains

